质子应用产业化平台
可行性研究报告
（修编稿）

项目主管单位：东莞市科学技术局

项目单位：散裂中子源科学中心

编制单位：广州市国际工程咨询有限公司

二〇二六年四月

质子应用产业化平台

可行性研究报告

（修编稿）

工程咨询资信证书号：甲 232024031025

甲 232024011025

项目编号：PC-B25077.0

项目主管单位：东莞市科学技术局

项目单位：散裂中子源科学中心

编制单位：广州市国际工程咨询有限公司

二〇二六年四月

董事长	张　维	高级工程师
总经理	喻　兵	高级工程师
项目经理	别　冲	咨询工程师
项目负责人	古倩仪	工　程　师
技术负责人	谭　盛	高级工程师
		咨询工程师
编写人员	谭　盛	高级工程师
		咨询工程师
	曾治朝	咨询工程师
	别　冲	咨询工程师
	曾思敏	咨询工程师
	古倩仪	工　程　师
	张天姿	工　程　师
	梁晓君	咨询工程师
	张　遂	咨询工程师
	邓志汇	咨询工程师
		高级工程师
审　核	徐梅凤	咨　询　工　程　师
审　定	冯　敏	高　级　工　程　师
		咨　询　工　程　师

中华人民共和国咨询工程师（投资）执业专用章 张遂 石化、化工、医药 电子、信息工程 咨登:2320230204342

中华人民共和国咨询工程师（投资）执业专用章 冯敏 铁路、城轨交通 公路 咨登:2320251256314

中华人民共和国咨询工程师（投资）执业专用章 曾治朝 铁路、城轨交通 公路 咨登:2320240836170

中华人民共和国咨询工程师（投资）执业专用章 梁晓君 其他（技经） 咨登:2320250[illegible]374

中华人民共和国咨询工程师（投资）执业专用章 邓志汇 石化、化工、医药 生态和环境 咨登:2320241046143

中华人民共和国咨询工程师（投资）执业专用章 徐梅凤 市政公用工程 水利水电 咨登:2320231252063

中华人民共和国咨询工程师（投资）执业专用章 谭盛 建筑 其他（技经） 咨登:2320231255903

中华人民共和国咨询工程师（投资）执业专用章 曾思敏 电力 生态和环境 咨登:2320251256313

中华人民共和国咨询工程师（投资）执业专用章 别冲 市政公用工程 水运 咨登:2320240309582

目 录

第一章 概述.....1

1.1 项目概况.....1

1.2 相关单位概况.....5

1.3 编制依据.....6

1.4 主要结论和建议.....7

第二章 项目建设背景和必要性.....9

2.1 项目建设背景.....9

2.2 规划政策符合性.....20

2.3 项目建设必要性.....25

第三章 需求分析与产出方案.....31

3.1 需求分析.....31

3.2 项目功能定位.....42

3.3 项目建设需求.....42

3.4 项目建设内容和规模.....51

3.5 项目产出方案.....53

1.技术路线合理性.....54

2.建设规模合理性.....54

第四章 项目选址与要素保障.....56

4.1 项目选址.....56

4.2 项目建设条件.....57

4.3 要素保障分析.....63

第五章 项目建设方案 66

5.1 技术方案 66

5.2 设备方案 131

5.3 工程方案 182

5.4 征地拆迁方案 272

5.5 数字化方案 273

5.6 建设管理方案 277

第六章 项目运营方案 283

6.1 运营模式选择 283

6.2 运营组织方案 283

6.3 安全保障方案 287

6.4 绩效管理方案 290

第七章 项目投融资与财务方案 297

7.1 投资估算 297

7.2 财务分析 375

第八章 项目影响效果分析 385

8.1 经济影响分析 385

8.2 社会影响分析 387

8.3 生态环境影响分析 390

8.4 资源和能源利用效果分析 400

8.5 碳达峰碳中和分析 403

第九章 项目风险管控方案 407

9.1 风险识别与评价 407
9.2 风险管控方案 410
9.3 风险应急预案 412
第十章 研究结论及建议 422
10.1 主要研究结论 422
10.2 问题与建议 422
第十一章 附件和附图 424
附件一：不动产权证 424
附件二：建设用地规划许可证 427
附件三：用地预审与选址意见书 433
附件四：相关药企应用证明（两份） 437
附件五：鉴定意见 439
附表一：经营收入及税费估算表 442
附表二：成本费用估算表 443
附表三：固定资产折旧估算表 444
附表四：利润和利润分配表 445
附表五：项目投资现金流量表 446
附表六：借款还本付息计划表 447
附表七：评估意见执行情况表 448

第一章 概述

1.1 项目概况

1.1.1 项目名称

质子应用产业化平台。

1.1.2 项目性质

新建。

1.1.3 建设地点

项目建设地点位于广东省东莞市松山湖中子源路散裂中子源科学中心。

1.1.4 项目建设目标和任务

1.1.4.1 建设目标

依托散裂中子源伴生质子束，建设高能强流质子束线站、高功率靶站及医用α核素分离纯化量产线，突破医用α核素量产关键技术，实现镭$^{-223}$、锕$^{-225}$、铅$^{-212}$/铋$^{-212}$等百居里级年产能。锕$^{-225}$、镭$^{-223}$和铅$^{-212}$是公认的最具应用前景的三种医用阿尔法同位素，生产难度大，其中锕$^{-225}$全球产量仅约 2 居里。医用α核素是核药研发基石及关键原材料。CSNS“一机两用”的成本优势和国内率先突破相关制备技术瓶颈的技术优势，CSNS 量产的医用α核素使得东莞已具有成为α核素靶向核药研发与生产基地的先发优势，并具备产业链链头的核心条件，CSNS 量产的医用α核素将为东莞打造我国千亿级的核药产业集群提供坚实的基础，服务于粤港澳大湾区和东南亚乃至全世界，早日实现我国《医用同位素中长期发展规划（2021—2035 年）》的战略规划目标。

1.1.4.2 核心任务

高功率靶站及叠层靶研制：开发自动化远控靶站，实现靶体更换、辐照及转运自动化，掌握厚靶冷却、装卸等关键技术，建设核素产生理论与实验研究平台。

α核素分离纯化及质控体系建设：研发快速、高效、稳定的辐照钍靶中多种医用核素的联合分离纯化技术，准确的质控分析技术及经济可行的放射性废液减容技术，建立镭$^{-223}$、锕$^{-225}$与铅$^{-212}$/铋$^{-212}$的批量化、自动化分离纯化工艺流程及

标准化分装工艺流程，建设甲级放化生产设施，实现百居里级高纯医用α核素的年产能。

1.1.5 建设内容和规模

项目建设内容包括高功率靶站及叠层靶的研制、α核素分离纯化及质控体系建设以及相关土建工程和配套设施。

1．高功率靶站及叠层靶的研制，设计和建设靶站屏蔽防护结构，并研制相关设备，实现靶区热室、真空室和屏蔽体等区域耦合，实现在高辐照环境下远程控制靶体更换、辐照、转运等重要的功能。搭建同位素产生研究的辐照和实验测量条件，在理论和实验基础上，研制针对锕$^{-225}$、镭$^{-223}$和铅$^{-212}$等同位素生产的叠层靶技术方案，实现高功率靶和靶站的冷却系统搭建。

2．α核素分离纯化及质控体系建设，将研发快速、高效、稳定的辐照钍靶中多种医用核素的联合分离纯化技术，准确的质控分析技术及经济可行的放射性废液减容技术，建立镭$^{-223}$、锕$^{-225}$与铅$^{-212}$/铋$^{-212}$的批量化、自动化分离纯化工艺流程及标准化分装工艺流程，建设甲级放化生产设施及医用α核素分离纯化分装生产线，实现百居里级高纯医用α核素的年产能。

3．质子应用产业化平台项目新建一栋单体建筑，总占地面积 7490 平方米，总建筑面积为 23917 平方米，地上 4 层，地下 3 层。地下三层为相关工艺及公辅设备间；地下二层及一层西侧为靶厅相关部分，包含靶前隧道、靶站、靶厅及一期隧道延长隧道，地下二层及一层东侧为热室操作间、分装室。地上首层南侧设置主入口门厅，一层至四层内廊两侧功能用房主要设置实验室及相关设备用房。

1.1.6 建设工期

项目建设期约 3 年 6 月，计划从 2026 年 1 月至 2029 年 6 月。

前期工作及设计阶段为 2026 年 1 月至 10 月，土建及装修工期为 2026 年 10 月至 2029 年 6 月。

项目工艺技术工期约 6 年，计划从 2025 年 12 月至 2031 年 12 月。

具体如下：

2025 年 12 月至 2026 年 12 月：初步掌握镭-223、锕-225 等医用同位素的批量化生产，实现镭-223、锕-225 百毫居里年产能。

2026 年 12 月至 2027 年 12 月：完成镭-223、锕-225 的分离中试、铅-212 小试验证，建立相应质量控制体系；

2027 年 12 月至 2028 年 12 月：完成镭-223、锕-225 等医用同位素分离纯化的中试验证及自动化分离工艺设计；

2028 年 12 月至 2031 年 12 月：实现百居里镭-223、锕-225 和铅-212/铋-212 的年产能技术验证并实现批量供应。

1.1.7 投资规模和资金来源

项目总投资 125007.25 万元，其中，工程费用 115907.09 万元，工程建设其他费用 5459.17 万元，预备费 3640.99 万元，项目建设管理费 0.00 万元。根据《市政府工作会议纪要》（〔2025〕501 号），资金来源主要依靠申报地方政府专项债券资金解决，若地方政府专项债券资金获批总额不足以覆盖项目概算批复的建设经费总额，由市财政、松山湖财政按照 1:1 比例分摊补足。

1.1.8 项目财务效益

项目全部投资财务内部收益率为 51.85 %（基准收益率 18%），全部投资财务净现值为 489660 万元，全投资回收期为 6.70 年（含建设期）。在整个评价期内，本项目全投资税后财务内部收益率大于基准收益率，财务净现值大于零，项目财务评价可行。

1.1.9 建设模式

东莞市科技局是项目主管单位，散裂中子源科学中心是项目单位，东莞市城建工程管理局是项目集中建设管理单位。

1.1.10 技术经济指标表

序号	项目名称	单位	数量	备注
1	**占地面积**	**㎡**	**7490**	小红线范围
2	**总建筑面积**	**㎡**	**23917**	
2.1	地下建筑面积	㎡	10745	
2.2	地上建筑面积	㎡	13172	
3	**罐区构筑物**	**㎡**	**329**	
4	**核心产能指标**			

序号	项目名称	单位	数量	备注
4.1	镭-223 年产能	--	百居里	放射性核纯度≥99%
4.2	锕-225 年产能	--	百居里	放射性核纯度≥99%
4.3	铅-212/铋-212 年产能	--	百居里	放射性核纯度≥99%
5	**土建及装修工期建设周期**	**月**	**42**	计划 2026 年 1 月至 2029 年 6 月。
6	**总投资**	**万元**	**125007.25**	
6.1	工程费用	万元	115907.09	
6.2	工程建设其他费	万元	5459.17	
6.3	预备费	万元	3640.99	
6.4	项目建设管理费	万元	0.00	如果由法人单位建设，则增加项目建设管理费
7	**财务指标**			
7.1	全投资内部收益率	%	51.85	
7.2	全投资财务净现值	万元	489660.17	折现率 18%
7.3	全投资回收期	年	6.70	含建设期

1.1.11 项目绩效指标

1.技术突破目标突破

开发高辐照环境下高功率靶站自动化远控技术，完成靶体更换、辐照、转运全流程自动化，在理论和实验基础上，研制针对锕-225、镭-223 和铅-212 等同位素生产的叠层靶技术方案，掌握厚靶的冷却、装卸等同位素生产的关键技术。

研发快速、高效、稳定的辐照钍靶中多种医用核素的联合分离纯化技术，准确的质控分析技术及经济可行的放射性废液减容技术，建立镭-223、锕-225 与铅-212/铋-212 的批量化、自动化分离纯化工艺流程及标准化分装工艺流程，建设甲级放化生产设施，实现百居里级高纯医用α核素的年产能。

2.产能保障目标

在 2029 年 6 月前完成α同位素量产设施土建装修的基础上，2031 年完成项目工艺设备的安装调试，实现百居里级镭$^{-223}$、锕$^{-225}$、铅$^{-212}$医用α核素的年产能。

1.2 相关单位概况

1.项目单位：散裂中子源科学中心

散裂中子源科学中心是中国散裂中子源项目的地方事业法人机构，致力为科技、国防、经济和粤港澳大湾区、广深科技创新走廊建设和地方产业转型升级提供强大的技术支持。

2007 年 2 月 13 日，中国科学院（甲方）与广东省人民政府（乙方）共同签订了《中国散裂中子源项目暨广东东莞散裂中子源国家实验室合作备忘录》，根据该文件第三项“组织领导和建设机制”规定：“中国散裂中子源项目暨广东东莞散裂中子源国家实验室建设以甲方为主，乙方（包括东莞市）积极配合，为项目建设提供必要的协助。甲方下属的高能物理研究所为中国散裂中子源项目暨广东东莞散裂中子源国家实验室的法人单位，具体承担该项目和国家实验室的建设。甲方决定设立中国科学院高能物理研究所广东分部（以下简称高能所广东分部），该分部是高能物理研究所在珠三角地区设立的中央事业单位二级法人，注册地点在广东省东莞市，由甲方向中央编制委员会申请设立。在高能所广东研究部设立前，先申请设立地方事业法人‘东莞中子科学中心’，作为过渡时期的法人机构。”

2007 年 4 月 10 日，经东莞市机构编制委员会批复，成立“东莞中子科学中心”，直属松山湖科技产业园区委员会管理，为不定行政级别的事业单位。

2013 年 2 月 19 日，经中国科学院高能物理研究所所务会议研究，决定成立“中国科学院高能物理研究所东莞分部”，以下简称“东莞研究部”，为中国科学院高能物理研究所直属机构，执行中国科学院、高能所的规章制度，以及必需的属地化政策和规定。

2019 年 6 月因工作需要，经与广东省、东莞市相关部门协商，“东莞中子科学中心”更名为“散裂中子源科学中心”，升级为省属科研事业单位，由广东省事业单位管理局批准成立，东莞市事业单位管理局代管。“东莞研究部”与“散裂中子源科学中心”为一个机构，两个牌子，所属领导均由中国科学院高能物理研究所任免。

2.项目集中建设管理单位：东莞市城建工程管理局

东莞市城建工程管理局成立于2003年5月，是项目集中建设管理单位。下设9个科室，分别为办公室、总工室、人事监察科、技术科、工程科、合同科、工程预结算科、拆迁办公室、财务科。

1.3 编制依据

1.3.1 法律法规

1．《中华人民共和国核安全法》；

2．《中华人民共和国放射性污染防治法》；

3．《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》；

4．《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》。

1.3.2 国家和地方有关支持性政策及依据

1．《国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》；

2．《“健康中国2030”规划纲要》；

3．《医用同位素中长期发展规划（2021—2035年）》；

4．《“十四五”国民健康规划》；

5．《核技术应用产业高质量发展三年行动方案（2024—2026年）》；

6．《关于贯彻落实推进放射性药物研发与应用的攻关方案的通知》（国卫科教发〔2023〕8号）；

7．《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》；

8．《关于贯彻落实推进放射性药物研发与应用的攻关方案的通知》（粤卫科教函〔2023〕24号）；

9．《广东省培育发展未来绿色低碳产业集群行动计划》；

10．《东莞市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》；

11．《松山湖科学城发展总体规划（2021—2035年）》。

1.3.3 产业政策与行业准入条件

1．《产业结构调整指导目录（2024年本）》；

2．《市场准入负面清单（2022 年版）》（发改体改规〔2022〕397 号）。

1.3.4 主要建设标准与规范

1．《核医学科建设规范（T/CIRA36-2022）》；

2．《核技术利用放射性废物库选址、设计与建造技术规范》（HJ1258-2022）。

1.3.5 专题研究成果及其他依据

1．《2023 年核药行业白皮书》；

2．《医用同位素关键技术攻关方案》；

3．《不动产权证》；

4．《建设用地规划许可证》；

5．《用地预审与选址意见书》；

6．《东莞市大朗镇2021-02地块规划选址评估及地块控制性详细规划图则》；

7．国家发展改革委《政府投资项目可行性研究报告编写通用大纲（2023 年版）》。

1.4 主要结论和建议

1.4.1 主要研究结论

1．项目建设是贯彻落实国家、省、市相关规划政策的需要；是提高我国医疗水平，提升人民健康水平，推动健康中国建设的需要；是推动我国核医学产业上下游全链条发展，培育壮大新兴产业集群的需要；是培养核医学人才，提升促进核医学创新和发展的需要。项目的建设是迫切和必要的。

2．项目要素保障完备。项目建设地点位于广东省东莞市松山湖中子源路散裂中子源科学中心，所在地区周围环境条件较好，水、电、通信等公共配套条件完善，交通条件较好，周边环境符合项目的要求，有利于项目建设和建成后投入使用。

3．项目技术和经济性优势独一无二。依托我国首台散裂中子源，项目利用我国唯一的高能强流质子加速器，只要散裂中子源正常开机运行，即可提供稳定束流，不需要额外的运行队伍和费用，它的建设和运行成本比专用质子加速器要低很多，具有很强的技术先进性和经济可行性。同时切合国家发改委等部门发布的《国家重大科技基础设施管理办法》中所要求的：“更大程度地发挥国

家重大科技基础设施的科学效益和社会效益，提高创新驱动发展能力”的新要求。

4．项目建设内容与规模合理。项目建设内容包括高功率靶站及叠层靶的研制、α核素分离纯化、分装生产线及质控体系建设以及相关土建工程和配套设施。

5．项目的工程建设方案、工程组织计划与进度计划安排基本合理。

6．项目投资规模合理，资金来源可靠。项目总投资 125007.25 万元，其中，工程费用 115907.09 万元，工程建设其他费用 5459.17 万元，预备费 3640.99 万元，项目建设管理费 0.00 万元。根据《市政府工作会议纪要》（〔2025〕501 号），资金来源主要依靠申报地方政府专项债券资金解决，若地方政府专项债券资金获批总额不足以覆盖项目概算批复的建设经费总额，由市财政、松山湖财政按照 1:1 比例分摊补足。

7．项目财务评价可行。项目全部投资财务内部收益率为 51.85 %（基准收益率 18%），全部投资财务净现值为 489660 万元，全投资回收期为 6.70 年（含建设期）。在整个评价期内，本项目全投资税后财务内部收益率大于基准收益率，财务净现值大于零。

1.4.2 问题与建议

1．项目为医用同位素项目，存在辐射等敏感因素，建议尽快做好环境影响评价和社会稳定风险评估工作，推进项目的顺利建设。

2．下一阶段建议尽快开展地质勘察工作及物探工作。

3．项目建设期间应尽量避免影响周边居民的生活，做好围蔽设施。

4．建议将环境影响评价等关键评估工作作为项目推进的重要前提，确保依法合规、按期完成，保障项目顺利实施。

第二章 项目建设背景和必要性

2.1 项目建设背景

2.1.1 基本概念

医用同位素是核医学诊疗的物质基础，利用医用同位素对心脑血管、恶性肿瘤、神经退行性等重大疾病进行诊断及治疗，具有不可替代的优势：在诊断方面，可对尚未出现形态结构改变的病变进行早期诊断；在治疗方面，可实现微小病灶的精准清除，达到较好的治疗效果。譬如钼-99（锝-99m）是显像检查中最常用的放射性同位素，占全世界显像药物 80%以上；基于钼-99（锝-99m）的单光子发射计算机断层成像（SPECT）诊断技术是心脑血管疾病、骨扫描、肾动态显像和癌症早期检测的必备手段；用于治疗肿瘤骨转移的锶-89，它通过静脉注射进入人体后，会主动识别骨代谢异常活跃的骨肿瘤病灶部位，并采用自身携带的强力武器—β射线将身体内的癌细胞“赶尽杀绝”。而且在治疗过程中不会产生对人体造成损伤的射线，是极具安全感的“抗癌战士”。还有检测幽门螺杆菌的碳$^{-14}$、治疗甲亢和甲癌的碘$^{-131}$……这些医用放射性同位素与人们的生命健康密切相关。

医用同位素根据用途可分为诊断用同位素、治疗用同位素。在显像、诊断、治疗、消毒、药物作用机理研究等方面都有很好的应用，对促进医学领域的发展具有非常重要的作用。医用同位素分类见下图。

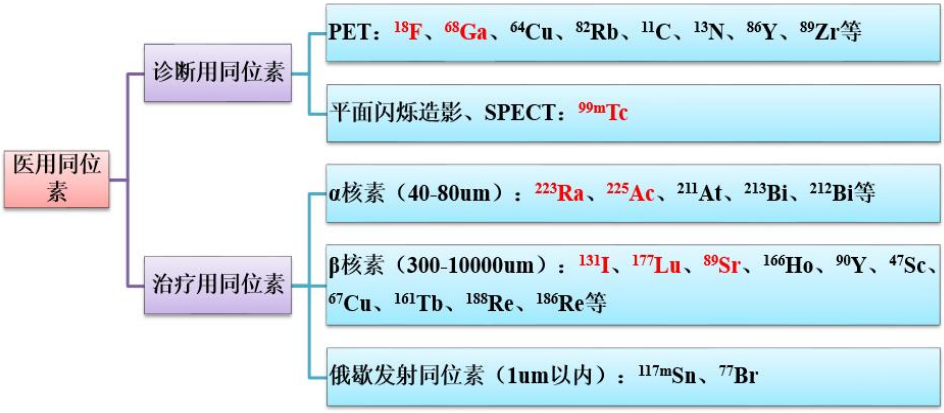
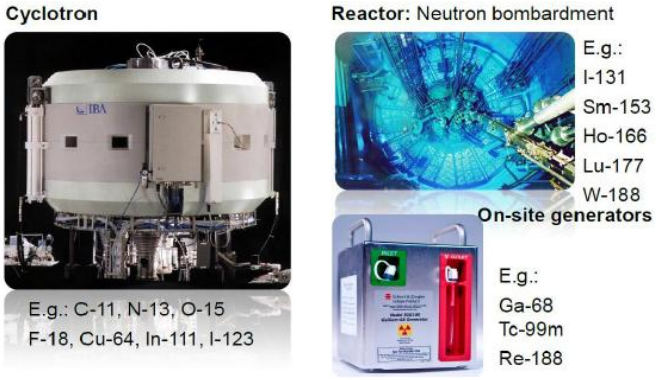


图 2.1-1 医用同位素分类

医用同位素主要通过核反应堆辐照、加速器生产、高放废液提取以及发生器

制备等 4 种方式产生，其中核反应堆（Nuclear reactor）辐照、加速器生产是最主要的来源。高放废液提取是从核燃料后处理过程中可取少量医用同位素，但整体技术尚未形成生产能力；发生器制备主要由反应堆或加速器生产提供母系核素，再通过“母牛法”淋洗出医用同位素。

核反应堆辐照及加速器生产同位素制备方式如下图所示：



超导加速器设备（Superconducting Accelerator Facility）

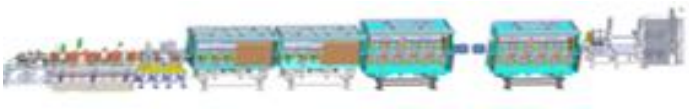


图 2.1-2 医用同位素主要的制备方式图示

两种方式制备特点见下表：

表 2.1-1 同位素制备特点对比

生产方式	反应粒子	核反应	比活度	主要同位素	特点
反应堆辐照	中子	(n，γ) (n， p) (n，2n) ……	低比活度、有载体（大部分核素）	^{14}C、^{32}P、^{89}Sr、^{125}I、^{131}I、^{99}Mo、^{177}Lu、^{60}Co、^{192}Ir 等	丰中子核素 （β-） 半衰期较长 产量大
加速器生产	p, D，^{3}He，α-	(p，xn) (p，x) (α，x)	高比活度 无载体	^{11}C、^{18}F、^{111}In、^{64}Cu、^{89}Zr、^{68}Ge、^{201}Tl、^{225}Ac、^{223}Ra 等	缺中子核素 （EC、β+） 半衰期较短 产量小

（1）反应堆制备同位素

反应堆生产医用同位素技术的优势在于能产生丰中子同位素，辐照操作简便，靶材制备简便，可同时辐照多种产品。但丰中子同位素，通常伴有β衰变，不利于制备诊断用放射性药物；产物与靶大多数属于同一元素，化学性质相同，难以得到高比活度产品；同时，反应堆核安全监管要求高、建设周期长、运行维护和总投入高。当前，全球约有 79 座研究用反应堆用于生产放射性同位素，国际上生产医用同位素的反应堆运行时间大多超过 30 年，面临停堆检修、关停或退役问题。目前，国内在役的可用于放射性同位素制备的非专用反应堆有 5 座，主要为科研需求，很难长期用于医用同位素批量化的生产，难以满足医用同位素的生产供货。

建设专用同位素生产反应堆的投资成本极高，核反应堆维护较难、存在严重的公共安全问题，并且反应堆的退役、处置问题是目前国际上一大难题，有待解决。因此，美国、加拿大、比利时等国家提出了利用加速器大规模开展同位素生产的方案，已投入大量经费设计建设同位素生产专用大型加速器，来替代反应堆的生产。

（2）加速器制备同位素

加速器是用人工方法把带电粒子加速到较高能量的装置。利用加速器产生的高能带电粒子轰击含有特定核素的靶件，得到目标放射性同位素。

用于生产同位素的加速器包括回旋加速器、直线加速器以及静电加速器等，其中回旋加速器在放射性同位素制备中应用最广。近年来，加速器装置及相关靶件装配等技术的发展拓宽了加速器制备放射性核素的种类并提高了产额，为大量地生产一些关键的放射性核素提供了可能性。

2019 年，国际原子能机构发布的《Interntional Symposium on Trends in Radiopharmaceuticals》报告显示全球 76 个国家用于放射性同位素制备的回旋加速器有 1300 余台，其中有 20 多台中高能回旋加速器（质子能量>40 MeV），主要集中在国外 LANL、BNL、TRIUMF 等科研院所。

而我国目前仅有百余台专用加速器用于 ^{18}F 等同位素的生产，尚无大型中高能强流加速器量产医用同位素的综合性研发平台。用于医用同位素生产的加速器也大部分依赖进口，且医用α放射性同位素的生产研发基本处于空白阶段，亟须通过创新性核心技术攻关，解决我国用于肿瘤诊疗的医用同位素关键技术和装备

瓶颈问题，规避我国医用同位素被“卡脖子”的风险，解决阻碍我国创新型α核药研发及生产的核素供应短缺问题。

（3）医用同位素药物研发

全球共有 100 多种放射性同位素应用于医学领域，其中 30 余种医用同位素用于疾病的诊断和治疗。目前，常用于临床诊断和治疗的医用同位素主要有 8 种，包括钼-99/锝-99m（^{99}Mo/ ^{99m}Tc）、碘-125 （^{125}I）、碘-131（^{131}I）、碳-14（^{14}C）、镥-177（^{177}Lu）、氟-18 （^{18}F）、钇-90（^{90}Y）、锶-89（^{89}Sr）等。

放射性治疗药物可分为三类：第一类是利用放射性核素（具有合适的物理半衰期和生理半衰期，通过α、β或电子俘获衰变）或核素标记的分子载体在组织中天然的选择性浓集实现局部辐射杀伤作用的常规放射性制剂；第二类为内介入法放射性治疗药物，如将放射性药物 ^{125}I－粒子、^{90}Y-微球、^{131}I－微球或者 ^{32}P-玻璃微球埋入或局部注射到肿瘤组织内，以达到杀伤癌细胞的目的；第三类是针对病变组织（如肿瘤）具有的特征结合位点（过表达抗原等），通过核素标记的特异性靶向生物分子（如多肽、抗体）与抗原的结合，实现集中辐射效应来抑制和破坏病变组织（如肿瘤）以达到治疗目的。

2.1.2 发展现状

全球常用诊疗同位素生产与研制状况如下：

1．医用同位素的生产现状

目前，全球约有 79 座研究用反应堆可以生产放射性同位素，主要有美国的（HFIR、MURR）、荷兰（HFR）、比利时（BR2）、法国（OSIRIS）、南非（SAFARI-1）、澳大利亚（OPAL）、阿根廷（RA-3）和俄罗斯（WWR-TS）等，HFR 反应堆占全球放射性同位素市场份额的 40%，与比利时共同负责提供世界上 65% 的医用同位素。如下图所示：

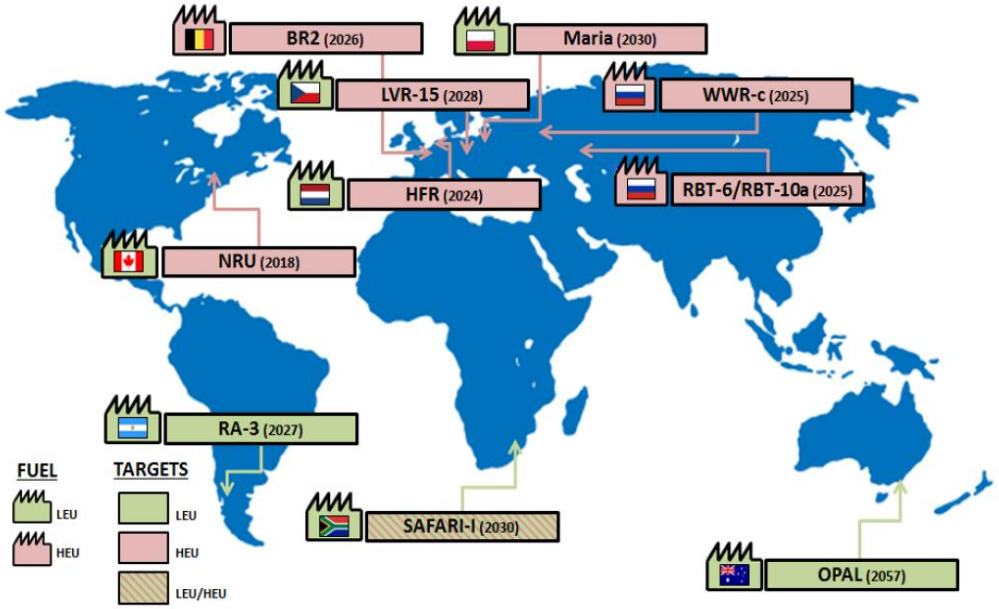


图 2.1-3 全球供应放射性同位素的主要反应堆分布图

反应堆大部分建于二十世纪五六十年代，生产医用同位素的反应堆的运行时间大多也超过了 40 年，面临停堆检修、关停或退役问题。

在加速器制备同位素方面，国际上多以回旋加速器为主。自 20 世纪 80 年代以来，国际上大约有 20 多家企业先后开展医用小型回旋加速器的研发。以日本、美国、比利时、南非为主要代表，强流加速器生产同位素呈现出经济性、安全性和灵活性等优点，国际上正积极开展基于加速器生产的技术研究。

目前，我国主要有 5 座研究堆可用于医用同位素的生产和制备，包括中国原子能科学研究院先进研究堆（CARR）、游泳池反应堆（SPR），中国核动力研究设计院的高通量工程试验堆（HFETR）、岷江试验堆（MJTR），中国工程物理研究院的绵阳研究堆（CMRR）等。受能力条件、束流孔道和束流时间等因素影响，现阶段我国绵阳研究堆可自主生产碘$^{-131}$和小批量镥$^{-177}$，高通量工程试验堆实现了锶$^{-89}$小批量生产，据报道秦山重水反应堆也具备了镥-177、碳-14 的批量化生产能力，其他研究堆不具备医用同位素批量化生产能力。此外，我国具有较强生产潜力的商用堆在医用同位素生产方面还处于早期起步研发阶段。从近年生产情况来看，我国自主生产的碘$^{-131}$、锶$^{-89}$仅满足国内 20%的需求，镥$^{-177}$仅满足国内 5%的需求，其他常用堆照医用同位素全部依赖进口。另外，我国有百余台小型专用加速器用于氟$^{-18}$等同位素的生产，基本满足大中城市综合性医院临床需要，但用于医用同位素生产的加速器大部分依靠进口。从高放废液中提取医

用同位素处于技术验证阶段，尚未形成生产能力。

对于加速器应用方面：据统计数据至 2019 年年底，我国共有小型医用回旋加速器约 170 台，公立医疗机构占 70%以上。主要分布于北京、上海、广东、江苏、山东等沿海或经济发达地区，这些加速器，99%依赖于进口产品，仅 1%为国产。

突破基于加速器生产同位素的关键技术及规模化生产技术与工艺的难题，已成为国际医用同位素药物研发、制备的新方向和新趋势。对于中高能加速器，相关自主产权的核心技术主要集中于科研院所，但是该部分国产加速器受各种条件的限制，尚未开展相关医用同位素批量生产。另外，国内部分公司进口了少量的中能加速器用于医用同位素的生产，部分大学引进了中能加速器开展医用同位素制备的生产工艺研究。我国加速器分布及运行情况见下表：

表 2.1-2 我国国内加速器情况表

设备	数量	所属单位	主要产品	运行状态	流强μA
100 MeV 质子回旋加速器	1	原子能院	——	科研使用	200
Cyclone30 MeV	2	原子高科	^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{64}Cu、^{123}I、^{89}Zr 等	改造中	200
CS30 MeV	1	四川大学	^{18}F、^{211}At、^{89}Zr 等	科研使用	200
10-18 MeV	～50	高科、安迪科等	^{18}F	运行中	80-160
10-18 MeV	～120	医疗机构	^{18}F	运行中	80-160

2．医用同位素行业发展现状

在国外，医用同位素研发及量产关键技术属于高科技严控领域，而我国目前尚无中高强流加速器量产医用同位素的研发平台，且α放射性同位素的生产研发基本处于空白阶段，整体医用同位素行业发展水平与国外存在显著的差距。主要

表现在如下几个方面：

（1）国产医用同位素供应短缺，行业壁垒难突破

当前由于多种因素影响，我国医用同位素制备及药物研发进展缓慢，原有的相关制备技术缺乏工程转化和应用，创新能力不足，用于医用同位素生产的设施运行单位生产供给能力不足。临床上国产医用同位素药物以诊断类为主，约占80%，治疗类占20%，从近年来的生产情况看，我国自主生产的^{131}I、^{89}Sr仅能满足国内20%的需求、^{177}Lu仅能满足国内5%的需求，其他常用医用同位素超过90%依赖进口。国际市场供应能力不能满足人民日益增长的健康需求，国际上生产医用同位素的反应堆由于运行时间也面临着停堆检修、关停或退役问题，医用同位素供给能力面临严峻挑战。目前不仅供应出现短缺问题，而且同位素进口价格逐年上升，增大了我国患者与国家医保的经济负担。

随着全球局势的变化，中国面临的进口制约也将更加严重，新建用于同位素生产的专用核反应堆成本高、技术复杂、政策门槛高，这些因素造成整个行业迫切需要研发不依赖反应堆的同位素生产技术。另外，我国大部分重要医用同位素的生产工艺几乎是模仿国外成熟生产工艺，具有自主知识产权的生产技术与工艺甚少。利用加速器生产制备^{225}Ac、^{223}Ra、^{212}Pb/^{212}Bi、^{67}Cu、^{124}I等同位素几乎未深入展开，因此利用加速器技术生产医用同位素实现自主研发，提高创新能力具有重要意义，也是国际同位素生产的主要发展趋势。

（2）α放射性医用同位素产额低、纯度低、无量产能力，需要研发新技术。^{225}Ac作为现阶段全球最具潜力的靶向α治疗同位素之一，其年产量仅为约1.8居里，供应量远不能满足全球临床医学研究需求（现阶段实际需求在十居里级/年），规模化生产^{225}Ac的相关技术已成为美国、欧洲及日本等发达国家的研发热点。美国能源部于2015年组织开展医用同位素计划，由布鲁克海文（BNL）、洛斯阿拉莫斯（LANL）、橡树岭（ORNL）等三家国家实验室联合成立“Ac-^{225} Tri-Lab”研发基于加速器生产^{225}Ac关键核心技术，目前每次生产批量为0.05~0.1居里，计划四年内提高至0.1~1居里。2019年10月，加拿大粒子与核物理国家实验室（TRIUMF）和加拿大核实验室（CNL）利用回旋加速器成功地完成了首次^{225}Ac的联合生产。比利时利用加速器驱动系统及同位素质量分离设施（ISOL@MYRRHA）开展^{225}Ac的研发，日本理化学研究所（RIKEN）和大阪

大学也在开展基于加速器生产的 ^{225}Ac、^{211}At 等医用同位素研发。我国α放射性医用同位素研究十分有限，远落后于欧美发达国家，需要突破其关键技术及规模化生产技术研究，建设基于中高能量加速器生产同位素的研发平台，是我国医用同位素药物研发和制备的新方向和新趋势。

（3）医用同位素下游核医学产业规模较小，有待打通

我国核医学检查数量和消费远低于发达国家，核医学科尚未完全普及。根据近年来核医学普查结果：全球平均每万人开展核医学检查的人数约 64 人，美国 695 人，欧盟国家 240 人，日本 111 人，我国只有 19 人，仅为全球平均水平的 30%左右，远低于世界发达国家水平。在放射性同位素药物应用数量方面，美国目前有 58 种放射性药物获批上市，国内共有 38 种放射性药品上市，且主要依赖进口。面对巨大差距，需要适时改变现状，加快同位素药物研发的进程和临床应用，加强核医学产业的应用，提高人民生命健康水平。

（4）医用同位素药物研发

目前，我国药品监管部门共批准了 38 种放射性药品上市，持续很长一段时间无新的放射性药品批准上市，我国整体放射性药物研制进展缓慢，放射性同位素药物的生产、流通、使用受到多个国家部委较为严格的监管。由于准入门槛较高，放射性同位素药物从研发到生产、供应市场的周期比较长，一般都需要 5 年以上，有的甚至超过 10 年。放射性同位素药物新产品的注册要经历立项、研发、检测、动物实验、临床试验等严格、漫长的步骤，直至送到国家药品监督管理局评审，这也是我国放射性同位素药物发展较慢的原因之一。

我国的自主原创性放射性药物缺乏，临床使用的放射性药物大部分为国外仿制药物。可选择的核素类型单一，尤其是在新型治疗核素相关药物方面无论是原研药还是仿制药均与欧美存在明显差距。

国际上，近年来α-同位素靶向肿瘤治疗药物的研究取得了相当大的进展，利用α医用同位素制备靶向药物治疗肿瘤优势显著，具有高效（使癌细胞 DNA 双键断裂）、精准（靶向、50-80 微米短射程）和安全（低剂量、低毒副作用）的特点，特别适合于非实体肿瘤、术后残留小病灶、复发或转移的弥散性肿瘤治疗。

α放射性同位素靶向治疗药物在欧美已进入临床研究阶段，特别是美国食品药品监督管理局（FDA）与欧盟药品管理局（EMA）已将 ^{223}Ra（氯化镭）批准

用于临床治疗，基于 ^{211}At、^{213}Bi、^{225}Ac、^{212}Pb 核素用于脑肿瘤、卵巢癌、急性髓性白血病、前列腺癌等治疗的放射性药物已进入临床III期。2021 年 6 月 3 日国际著名药业公司诺华宣布已在全世界布局 15 项α靶向药物研制项目。其中 $^{223}RaCl_2$ - Xofigo 已获得美国 FDA 批准上市（我国于 2020 年批准该药物进入中国市场）。

然而我国在α放射性同位素药物的研制方面尚处于起步阶段。临床科研能使用到的原料品种少，治疗用药的研发周期长、种类少、价格高，新药申报流程长、难度大，从事放射性药物研发的专业人才储备不足，这些都极大地制约了我国放射性同位素药物研发的进程及临床应用。同时大部分的α治疗同位素生产价格昂贵，其特定的衰变链和加速器束流等条件使α-同位素的生产方式受到限制，辐照钍靶产生的核素种类大约有数百种 ，还存在大量靶材基质的干扰，分离难度极大。从大量基质及多种杂质核素的体系中高效地分离制备高纯度α同位素是一个极具挑战性的课题。我国更是由于缺乏用于医用α同位素批量生产的中高能量加速器研发平台以及高功率靶系统和相适应的分离纯化生产线技术，极大地影响了我国新型放射性药物研发的发展进程和同位素生产技术的提高。

要突破这一困局，必须坚持基础研究与临床转化并重的发展路径。当务之急是重点发展诊疗用医用同位素研发体系，加快建设具备批量生产能力的中高能加速器平台，从根本上解决“卡脖子”问题，建立安全稳定的自主供应体系。

3.发展方向

核反应堆辐照与**加速器辐照**是最重要的两种医用同位素生产方式。随着医用同位素靶向治疗药物的发展，**加速器辐照作为医用同位素制备的重要方式**，其地位和作用日益突出。核反应堆辐照的技术优势是可以产生丰中子同位素，但反应堆核安全监管要求高、建设周期长、运行维护和总投入高。离子加速器技术优势是可以产生大量缺中子同位素，所需装置结构紧凑、总投入较低，但其产生束流强度较大，技术难度高，利用离子加速器和反应堆技术生产医用同位素可以实现优势互补，取长补短。我国目前一部分医用同位素由反应堆生产，但仅通过反应堆生产放射性核素不能完全满足临床及医学研究的需求，且有些核素反应堆无法生产，国内在役的可用于放射性同位素制备的反应堆有 5 座，但都不是专用同位素生产堆。而美国、加拿大等发达国家正积极发展不依赖于反应堆的规模化同位

素生产方式，设计建设同位素生产专用加速器平台。利用加速器加速高速带电粒子轰击含有特定稳定核素的靶件，可以得到更多种类的放射性同位素。加速器生产放射性同位素具有比活度高、半衰期短、使用灵活等优点，可以在很大程度上弥补放射性同位素种类（特别是治疗用α同位素）与产能的不足，利用加速器进行放射性同位素制备已成为发展的主要趋势。

医用同位素按照其功能可分为诊断类和治疗类。核医学中用于治疗的放射性同位素所占的比例远远小于诊断类同位素。近年来，α-同位素标记的肿瘤治疗药物的研究取得了相当大的进展。α－同位素相比较β－同位素具有射程短、能量沉积密度高、对肿瘤杀伤力强、副作用小等优点，对肿瘤的治疗有巨大潜力，一直是良好的备选同位素。因此，靶向α放射性治疗（TAT）药物针对微小肿瘤、散在性癌和微转移癌有良好的应用前景。美国、加拿大设计建设了同位素生产专用加速器平台，在靶向α放射性治疗同位素及其药物研发上投入大量经费，且已经将医用α同位素研制上升为国家战略。目前，美国用于肿瘤治疗临床研究的α放射性同位素的生产和提纯主要是由美国能源部的三个国家实验室（BNL、LANL、ORNL）利用加速器大科学装置和核素发生器进行生产。利用加速器技术生产α放射性同位素已凸显出其产量大、经济性高等巨大优势，是未来医用同位素制备最有潜力的技术发展方向。

2.1.3 项目提出的背景

WHO 发布的统计数据显示，2020 年中国新发癌症 457 万人，占全球 23.7%；死亡人数 300 万，约占全球 30%。中国癌症新发病例和死亡人数位列全球第一。目前我国恶性肿瘤负担日益增重，新型癌症诊断和治疗药物是降低死亡率的关键。

放射性同位素药物作为靶向和粒子发射体可用于肿瘤显像诊断与治疗，是目前癌症放射治疗最重要的发展方向。但高质量α同位素分离纯化核心技术属核不扩散军控，西方国家严格管控，限制出口。目前我国医用同位素制备及药物研发基本处于缓慢发展状态，创新能力不足，大于 90%医用同位素进口，短缺，断供，面临被“卡脖子”风险。α同位素产生截面低，产额低、纯度低、化学分离难度大、全世界奇缺，我国α同位素更是极度匮乏、供不应求，100%依赖进口。如：前列腺癌、神经内分泌肿瘤等适应症对镭-223、锕-225 需求旺盛，但进口供应周期长（需 3-6 个月）、成本高（单剂价格超过 10 万元），铅$^{-212}$/铋$^{-212}$更是无处购买，

严重制约放射性治疗新药的研制与临床应用。

2021 年 3 月，国家八部委联合发布了我国《医用同位素中长期发展规划（2021—2035 年）》，提出总目标要**建立稳定自主的医用同位素供应保障体系**，满足人民日益增长的健康需求，为建成与社会主义现代化国家相适应的健康国家提供坚强保障。2025 年目标为一批制约医用同位素发展的关键核心技术取得突破。2023 年 3 月，国家卫健委联合发改委、科技部等 11 个部委发布《医用同位素关键技术攻关方案》。

另外，全球同位素生产向高能加速器转型，我国散裂中子源已具备 25 Hz/80 MeV 质子束流基础，通过升级至 50 Hz/300 MeV 可提供一半的束流用于同位素生产，降低新建加速器成本 40%以上。散裂中子源医用同位素研发团队已于近期成功完成了单批次毫居级医用α核素（镭$^{-223}$、锕$^{-225}$、铅$^{-212}$/铋$^{-212}$）的制备实验，率先实现了十克级辐照钍靶中上述三种医用α核素的联合分离纯化的小/中试验证。

依托上述设施及医用核素分离技术，突破医用α核素量产关键技术与工艺，实现镭$^{-223}$、锕$^{-225}$、铅$^{-212}$/铋$^{-212}$等百居里级年产能，年产值按照现在市价的十分之一计算也在百亿级别。依托 CSNS“一机两用”的成本优势和国内率先突破相关制备技术瓶颈的技术优势，CSNS 量产的医用α核素不仅使得东莞具有了成为α核素靶向核药研发与生产基地的先发优势，而且具备了千亿级的核药产业集群产业链链头的核心条件，为早日实现我国《医用同位素中长期发展规划（2021—2035 年）》以及《广东省加快推动核医疗产业高质量发展行动方案（2025—2030 年）》中制定的战略规划目标奠定了技术与物质基础。因此，为进一步推动质子技术的应用和医用同位素高质量发展，打造粤港澳大湾区国际科技创新中心的重要科研平台，散裂中子源科学中心拟开展质子应用产业化平台项目。

质子应用产业化平台项目基于中国散裂源装置，利用散裂中子源高能强流质子束（最高 300 MeV，200 kW 的质子束流），通过建设高功率靶站及叠层靶技术，轰击钍靶制备稀缺医用α核素。项目建设单位已经完成了辐照钍靶中医用α核素分离制备的小/中试验证，研发掌握了辐照钍靶中医用α核素分离纯化工艺。分离纯化分总体研发制定了放射性废物的减容处置方案。工艺热室内产生的放射性废气首先经过研制的废气捕集装置捕收，排放出的其他废气经吸附和高效过滤

装置处理后高空排放。放射性废液在废物减容间内经过沉淀及离子交换浓缩后与其他放射性固体废物一并转移至负三层放废厅暂存。散裂中子源目前在运行国内功率最高功率散裂靶，具有高功率靶、靶站、热室和放射性设施设计、建设和操作运行的经验。

目前现有园区的区域规划、路网设计、停车位等满足本项目的需求。因量产项目有不间断运行的要求，本项目水电冷水动力等自行配置。打靶高功率质子束流 100 kW，打靶后靶及靶件放射性约 2 万居里，需要建设屏蔽能力 200 kW 的高功率站，以及具备 2 万居以上操作能力的靶更换操作热室，及靶自动化转运装备。这些高功率靶、靶站和相应实验装置具有极高建设难度，需要非常专业的技术人员，散裂中子源园区已经有国内唯一最高功率散裂靶在长期稳定运行，具备高放射性装置设计、建造、操作、维护运行的经验，可以保证项目顺利完成。在分离纯化方面，项目建设团队前期已经完成了质子辐照钍靶中医用α核素的分离纯化全流程工艺验证，自动化分离纯化设备也正处于紧张研发阶段。同时，针对医用α核素临床应用的高质量要求，分离纯化分总体已经率先建立了包括 ^{225}Ac、^{223}Ra、^{212}Pb 等在内的质控分析技术，可以确保项目产出的医用同位素产品满足核药企业的应用需求。为配合项目推进，现委托广州市国际工程咨询有限公司编制项目可行性研究报告。

2.2 规划政策符合性

2.2.1 规划符合性分析

2.2.1.1 《国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》

强化应用研究带动，鼓励自由探索，制定实施基础研究十年行动方案，重点布局一批基础学科研究中心。

支持北京、上海、**粤港澳大湾区形成国际科技创新中心**，建设北京怀柔、上海张江、大湾区、安徽合肥综合性国家科学中心，**支持有条件的地方建设区域科技创新中心。**

2.2.1.2 《核技术应用产业高质量发展三年行动方案（2024—2026 年）》

到 2026 年，我国核技术应用产业自主创新能力显著提升，产业领域进一步拓展。围绕**核技术在医学诊疗**、农业育种、食品加工、材料改性、安检安保等重点方向或领域的应用，突破一批关键技术，建设一批创新平台，培育一批专精特

新企业，力争核技术应用产业年直接经济产值达 4000 亿元，为传统产业转型升级注入强劲动能。

——**重点同位素供应能力显著提升**。开展新堆建设和在役堆优化改造，形成重点同位素生产能力，具备 3 种以上放射性同位素自主化供应能力，突破 5 种以上放射性同位素生产技术，基本扭转关键同位素产品供应受制于人局面。

提前布局钪$^{-47}$、铽$^{-161}$、铼$^{-186/188}$、**镭$^{-223/226}$**、锗$^{-68}$、铜$^{-64}$、锆$^{-89}$、钯$^{-103}$、**锕$^{-225}$**、碘$^{-123/124}$等前景好的医用同位素技术研发。

2.2.1.3 《医用同位素中长期发展规划（2021—2035 年）》

总目标：**建立稳定自主的医用同位素供应保障体系**，满足人民日益增长的健康需求，为建成与社会主义现代化国家相适应的健康国家提供坚强保障。

2035 目标：医用同位素研制、生产受制于人的局面得以彻底扭转，研、产、用有序衔接的稳定自主医用同位素供应保障体系更加完善，主要衡量指标进入高收入国家行列，在充分保障人民健康需求的基础上，在全球医用同位素供应体系中占有一定份额。

2.2.1.4 《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》

支撑引领全省有效提升科技创新能力。加快粤港澳大湾区国际科技创新中心和综合性国家科学中心建设，强化与港澳创新资源协同融合，**瞄准世界科技和产业发展前沿，联合攻克关键环节核心技术难题，加快实现科技自立自强和新技术产业化规模化应用**；强化企业创新主体地位，激发人才创新创造活力，着力优化鼓励创新的制度环境和技术基础，加快形成以创新为主要动力和支撑的经济体系，打造全球科技创新高地。

瞄准世界科技发展前沿和产业技术变革方向，立足广东市场机制和产业基础优势，发挥企业创新主体作用，**加快科技成果转化应用**，持之以恒加强基础研究和关键核心技术攻关，聚力推进关键核心技术自主化。

2.2.1.5 《广东省培育发展未来绿色低碳产业集群行动计划》

推进质子医疗科技创新和产业发展，开展医用同位素生产反应堆关键技术研究，推进研究反应堆医用同位素生产，**建立医用同位素研发、生产和供应保障体系，推动发展核医疗产业**。

2.2.1.6 《广东省加快推动核医疗产业高质量发展行动方案（2025-2030）》

总体目标是到2030年，广东省核医疗自主创新能力显著提升，突破一批关键技术，建设一批创新平台，常用医用同位素实现稳定供应，一批放射性药物和高端核医疗装备完成或进入临床试验，培育3—5年在全国范围内具有示范引领作用的核医疗龙头企业和一批专精特新企业，打造形成具有全球竞争力的核医疗产业集群。加快推进国家和地方重大科技基础设施建设，提升重大科技基础设施对核医疗产业的支撑作用。支持散裂中子源装置配套建设医用同位素生产项目，提高α核素的生产供应能力。

2.2.1.7 《东莞市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》

布局面向产业的前沿基础研究平台。优化基础力量布局，聚焦基础研究的前沿科学交叉领域，在材料科学、信息科学、**生命科学**等领域，布局建设材料基因组研究平台、中子治疗技术探索设施、原子运动规律及化学变化过程可视化平台、量子计算核心材料与器件平台等前沿交叉研究平台，夯实前沿技术突破的物质技术基础，带动前瞻性、战略性、颠覆性技术创新。

加强基础与应用基础研究。依托散裂中子源等在莞重大科技基础设施，加强与国家发展改革委、科学技术部、中国科学院等国家部委及科研机构合作，争取国家在东莞布局更多基础与应用基础研究项目。组织实施一批重大基础科学研究、科学家自由探索研究、重大科技基础设施关键技术研究，推动在若干前沿领域实现重大突破。加大对基础研究、应用基础研究扶持力度，鼓励高校和科研机构开展基础研究和应用基础研究，引导企业研发机构开展应用基础研究。推动建立完善符合基础研究特点和规律的评价机制，探索开展基础研究差别化评价试点。

加快粤港澳中子散射科学技术联合实验室等高水平实验室建设，围绕半导体、人工智能、应用终端、分子生物学等领域探索建设若干国家重点实验室、省级实验室。加快建设东莞大科学智能计算数据中心、东莞市科研仪器设备共享平台等一批科技基础支撑服务平台，满足重大科技基础设施、实验室、研究平台、大学与科研机构、创新型企业进行计算、分析、测试的使用需求。推动前沿基础研究平台与重大科技基础设施形成交叉融合、紧密协作、相互支撑的创新内核，为产业关键技术突破提供支撑，催生更多从“0”到“1”的重大创新成果。

2.2.1.8 《松山湖科学城发展总体规划（2021—2035 年）》

松山湖科学城将以打造具有全球影响力的科学城为总目标，努力建成重大原始创新策源地、中试验证和成果转化基地、粤港澳合作创新共同体、体制机制创新综合试验区。

到 2025 年，科技实力、营商环境大幅跃升，关键核心技术实现重大突破，重大科技基础设施建设取得重大进展，科研能力快速提升，基本建成世界一流的重大科技基础设施集中地以及具有全球影响力的新兴产业发源地、创新人才集聚地、知识产权示范地；到 2035 年，建成一批全球领先、开放共享的重大科技基础设施，培育一批世界一流大学和科研机构，实现一批关键核心技术的群体性突破，初步成为具有全球影响力的原始创新高地。

空间布局：北接松山湖，南靠巍峨山，是松山湖科学城所具备的独特区位及生态优势。松山湖科学城将山水生态与科学功能有机融合，推进大湾区综合性国家科学中心先行启动区双城联动，形成“北湖南山、一核四区”的空间布局。

--“北湖南山”是指彰显北湖、南山的生态区位特色，保育山湖生态绿核，修复山湖生态联系，建立“双核、多廊”的生态安全格局。依托北湖南山的稀缺景观资源，重点在依山环湖布局科技研发功能，营造一流的科研环境与氛围。外围邻近布局中试验证与成果转化功能。

--“一核四区”是指**依托中国散裂中子源等重大科技基础设施打造大装置集聚区为核心，布局大学院所、新材料产业、新一代信息技术与生命科学、深莞科技成果合作等“四区”，推动产业链、创新链、人才链、生态链等多链融合协同发展。**

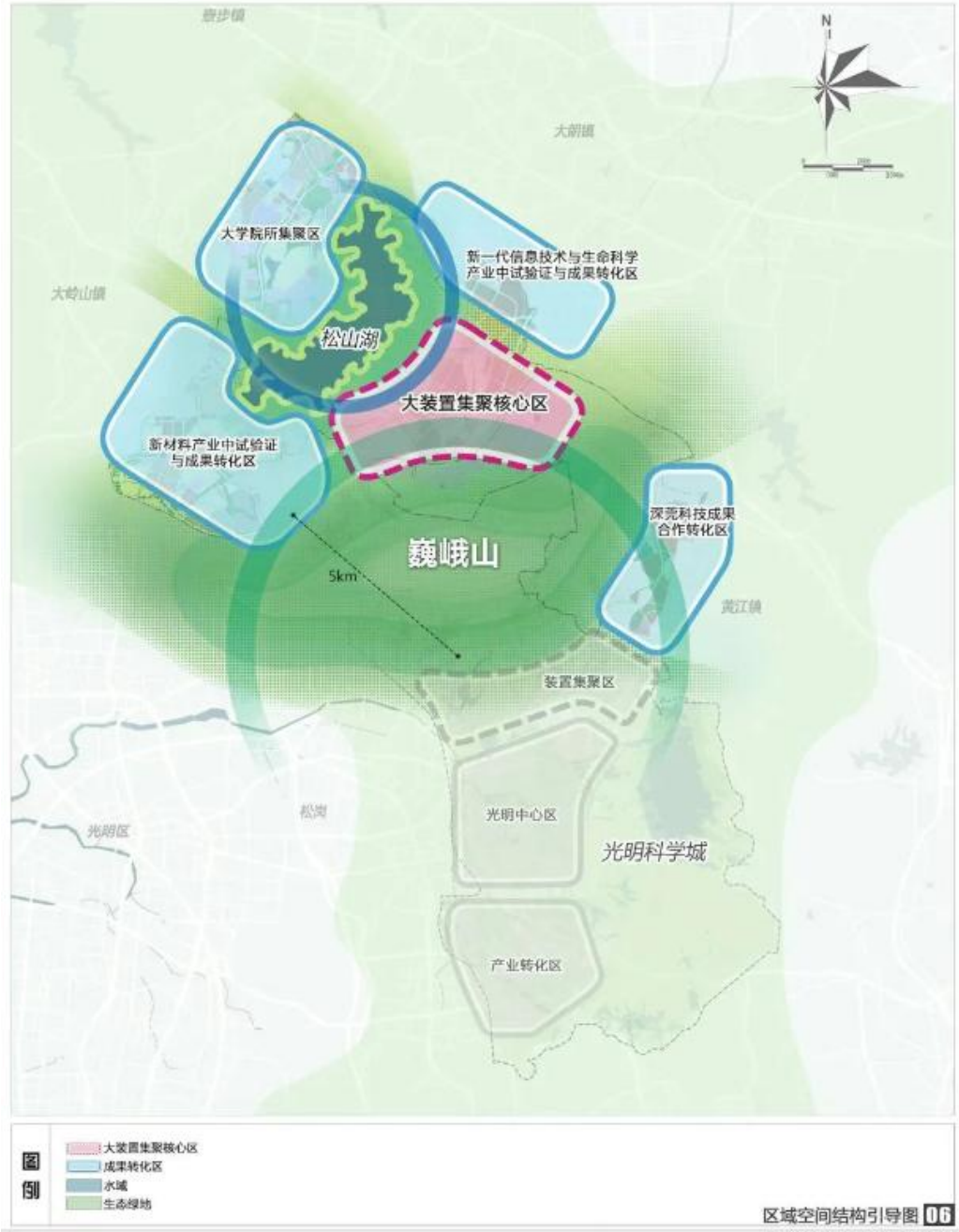


图 2.2-1 松山湖科学城空间总体规划区域空间结构引导图

2.2.2 土地政策符合性

项目选址位于广东省东莞市松山湖中子源路散裂中子源科学中心园区内。建设用地总面积 267623 平方米，现有建筑面积约 70000 平方米，目前地块正在进行中国散裂中子源二期工程建设。项目用地性质为科研用地，已完成土地权属、规划用途等预审，符合国土空间规划要求。

2.2.3 产业政策符合性

本项目属于许可准入类事项，根据《市场准入负面清单（2022 年版）》（发改体改规〔2022〕397 号）的“三 制造业”中“21 未获得许可，不得从事涉核、放射性物品生产、运输和经营”。许可准入措施描述为“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的辐射安全许可”，项目需由主管部门（广东省生态环境厅）批准《辐射安全许可证》，在许可范围内从事核技术利用相关活动。

经核查《产业机构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于“鼓励类”第六项：核能中的核技术利用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造。本项目的建设与产业政策符合。

2.3 项目建设必要性

2.3.1 项目建设是贯彻落实国家、省、市相关规划政策的需要

从国家层面来看，核药产业迎来快速发展时期。例如，《医用同位素中长期发展规划（2021—2035 年）》指出：建立稳定自主的医用同位素供应保障体系，满足人民日益增长的健康需求，为建成与社会主义现代化国家相适应的健康国家提供坚强保障。医用同位素研制、生产受制于人的局面得以彻底扭转，**研、产、用**有序衔接的稳定自主医用同位素供应保障体系更加完善，主要衡量指标进入高收入国家行列，在充分保障人民健康需求的基础上，在全球医用同位素供应体系中占有一定份额。

《核技术应用产业高质量发展三年行动方案（2024—2026 年）》提出“围绕核技术在医学诊疗、农业育种、食品加工、材料改性、安检安保等重点方向或领域的应用，突破一批关键技术，建设一批创新平台，培育一批专精特新企业”；《关于改革完善放射性药品审评审批管理体系的意见》提出“充分考虑和结合放射性药品特点，在科学性基础上，改革完善审评审批工作”；《国家药监局关于改革完善放射性药品审评审批管理体系的意见》提出“充分考虑和结合放射性药品特点，在科学性基础上，改革完善审评审批工作”。其中，在沟通交流申请方面，对放射性药物给予优先处理；在审评方面，为放射性药品设立专门通道，给予单独审评序列。提高了放射性药品审评审批的效率，提振了研发企业的积极性。

从地方层面来看，全国多个地区出台支持核药产业发展的政策。其中，四川

省在核药领域支持力度较大，出台了《四川省人民政府关于促进核医疗产业高质量发展的意见》，提出“支持医用同位素发生器关键技术攻关，推动锶-90/钇-90、镝-166/钬-166、钨-188/铼-188等医用同位素稳定供给”“推动高特异性诊断标记药物、放射性治疗药物、放射性诊疗一体化药物生产与应用”等任务内容。广东省出台了《广东省加快推动核医疗产业高质量发展行动方案（2025—2030 年）》，提出“建设一批创新平台，常用医用同位素实现稳定供应，加快推进国家和地方重大科技基础设施建设，提升重大科技基础设施对核医疗产业的支撑作用”；“**支持散裂中子源、强流重离子加速器装置配套建设医用同位素生产项目，提高α核素生产供应能力”。**

从企业层面看，**中国核药企业数量持续增长，为核药创新突破贡献力量。**2020 至 2024 年间，中国已涌现出 87 家核药研发企业，展现出蓬勃的产业活力。过亿元大额融资频繁，单次融资、早期阶段超亿元的现象普遍。从投资轮次和频次来看，处于 A 轮阶段的企业最多，占比为 31%，企业累计投资额超过亿元的有 8 家，占比高达 50%，其中先通医药已完成 D+轮融资，累计融资额超 10 亿。尽管创新药领域近年对于大额投资较为谨慎，2022 年下半年资本市场遇冷，但核药在 2022 年仍是过亿级融资事件占比最高的细分赛道，证明正处于发展早期的中国核药市场吸金能力强，有巨大的投资空间。

质子应用产业化平台项目聚焦镭-223、锕-225、铅-212/铋-212等稀缺α同位素，建设百居里级年产能基地，有利于解决我国医用同位素及其药物的供给问题，推动我国核医学产业上下游全链条发展。项目的建设是贯彻落实国家、省、市相关规划政策的需要。

2.3.2 项目建设是提高我国医疗水平，提升人民健康水平，推动健康中国建设的需要

国民健康长寿，是国家富强、民族振兴的重要标志，也是全国各族人民的共同愿望。当前，心脑血管病、癌症、神经退行性疾病等已成为严重威胁人类健康的主要因素。放射性核素药物在诊断和治疗上都具有独特的优势，放射性核素药物在临床可用于影像诊断和治疗；在诊断方面，相较其他影像学成像，能够更早地检查出人体的异常病变，属于高端疾病筛查技术；治疗方面，RDC（放射性核素偶联药物）实现了研发突破，为肿瘤患者提供了一种全新的治疗手段，打开了

创新核药市场空间。

全球共有 100 多种放射性同位素应用于医学领域，其中 30 余种医用同位素用于疾病的诊断和治疗，目前，常用于临床诊断和治疗的医用同位素主要有 8 种。而全球 ^{225}Ac 靶向同位素药物已有 22 项进入临床试验 I-III期，临床治疗效果良好。

2020 年全球新发癌症病例约 2000 万，死亡病例约 1000 万，而中国新发癌症病例和死亡病例分别为 457 万例、300 万例，发病率及死亡率分别占到了全球的 22.9%及 30%，我国癌症患者数量和因癌症死亡人数高居世界第一，平均每分钟约有 7 人确诊。预计至 2040 年，我国的癌症发病率仍然以 2.18%的增长率呈上升趋势。

质子应用产业化平台项目的建设会突破以α同位素生产技术为代表的“卡脖子”问题，填补国内空白，实现我国医用α同位素及其他高价值医用同位素的自主生产，促进我国放射性同位素应用技术创新和技术进步，带动我国抗癌创新靶向核药的量产，带动区域抗癌创新药的研发，是彻底解决国内医用放射性同位素供应安全问题，推动我国核医学应用进一步普及与发展，是全面提升人民医疗健康水平的重要手段。

2.3.3 项目建设是推动我国核医学产业上下游全链条发展，培育壮大新兴产业集群的需要

医用同位素技术是当前国际科技前沿领域之一，也是我国重点发展的战略性新兴产业。医用同位素短缺正在成为全球性难题，欧洲、日本、南非等均在加大产能布局。虽然医用同位素供应的基本格局并未发生颠覆性变化，但由于主要反应堆将关停，医用同位素短缺正在成为全球高度关注的问题，多个国家、地区在加大产能，欧洲计划未来 10—15 年在比利时和荷兰建造新的同位素生产和研究堆；南非计划未来 10 年新增一座反应堆；日本发布首份《促进医用放射性同位素生产和使用行动计划》；俄罗斯宣布建设欧洲最大的医用放射性同位素生产厂。这些动作或将催生全球医用同位素供应链变局。

我国缺乏可大批量生产的商用堆和中高能加速器，医用同位素严重依赖进口。根据中国核工业杂志的报道，80%的医用同位素都是通过反应堆辐照进行制备。我国现有 5 座可用于生产医用同位素的反应堆，仅有绵阳研究堆（CMRR）、高通量工程试验堆（HFETR）有批量生产医用同位素的能力，由于缺乏可大批量

生产的商用堆，绝大部分医用同位素只能依靠进口。并且，反应堆建设周期长、投入大、审批严格，在相当长的一段时间内，我国医用同位素都将依赖进口。

从源头稳固核药产业链，中游研发企业正在加快上游医用同位素布局，将扭转我国医用同位素依赖进口局面提上日程。受时效性、供应链不稳定、海外部分反应堆即将关停等因素影响，医用同位素急需打破进口垄断。中国通过研发加速器、建设医用同位素生产堆、将医用同位素生产纳入现有反应堆年度生产计划、加强人才培养等措施，将加快医用同位素国产化进程。特别是不少中游研发企业也在积极介入上游核素供应，推动更多医用同位素从实验室走向产业化、规模化。

加速器高效便捷、环保性高，是医用同位素制备发展趋势之一，但我国使用的加速器大部分依赖进口。反应堆辐照是当下医用同位素的主要制备方式，但操作繁杂，工艺复杂，并且反应堆没有完全的商业化，加速器则能够比较便捷地实现商业化。根据中华医学会核医学分会的统计，我国共有医用回旋加速器 120 台，分布于全国 117 个医疗机构。我国主要应用医用加速器生产氟[^{18}F]，未来会加速推进自主化小型回旋加速器的应用，布局中高能回旋加速器，保障氟[^{18}F]稳定生产，制备钼[^{99}Mo]、锕[^{225}Ac]等医用同位素。国内已经有企业在尝试通过加速器替代反应堆生产医用同位素。

核医学行业产业链上游主要指核素原料药的制备，包括核反应堆制备、加速器生产及核燃料废液分离提取；中游由放射性产品研发、生产及流通企业和核药房 / 药物中心组成；下游则是医疗机构和患者。

核药产业链中游方面，根据 UNM college of pharmacy 官网数据，目前美国有 400 多家放射性药房，全球有 600 多家放射性药房，美国每百万人拥有约 1.2 个核药房。根据美国核药房代表企业 Cardinal Health 官网数据，其拥有超过 130 家核药房，逾 30 台回旋加速器，能向全美 95%以上医疗机构提供 3 小时内配送服务的供应链能力。中国的核药房资源基本集中在中国同辐、东诚药业两家公司。根据《核药行业白皮书》统计，其中中国同辐有 17 家核药房，东诚药业有 14 家核药房。另外，欣科医药也拥有 7 家核药房，东诚药业和中国同辐分别拥有欣科医药 51%和 49%的股份，中国核药市场庞大，需要布局更多的核药房资源满足临床需求。

随着核药大规模商业化，将倒逼上游解决核素供应问题。无论是从产能还是

从加速器技术壁垒角度看，都不建议中游企业耗费重金自主布局专业度极高的上游。

《广东省培育发展未来绿色低碳产业集群行动计划》指出：推进质子医疗科技创新和产业发展，开展医用同位素生产反应堆关键技术研究，推进研究反应堆医用同位素生产，**建立医用同位素研发、生产和供应保障体系**，推动发展核医疗产业。

综上所述，质子应用产业化平台项目分属核医学行业产业链上游，项目建设有助于推动我国核医学产业上下游全链条发展，也有助于培育壮大新兴产业集群。

2.3.4 项目建设是符合东莞市战略布局与产业升级的需要

东莞市人民政府办公室关于印发《关于壮大战略性新兴产业集群和培育未来产业加快发展新质生产力的实施方案》的通知（东府办〔2024〕18 号），战略性新兴产业重点细分领域包括新一代电子信息产业集群、高端装备产业集群、半导体及集成电路产业集群、新材料产业集群、新能源产业集群、生物医药及高端医疗器械产业集群、人工智能产业集群、低空经济产业集群等八大领域。其中生物医药及高端医疗器械产业集群：重点发展一类创新药、干细胞与基因治疗、体外诊断、高值医疗耗材（心脑血管植入器械、骨科医疗器械、牙科医疗器械等）、核医学和医疗影像器械。加强智慧医疗、第三方医学检验检测及康养三大健康服务行业的支撑作用，构建以生物医药及高端医疗器械为核心引擎，以智慧医疗与大健康服务为支撑的“研发+临床+制造+应用”全链条生物医药产业支持体系。支持以松山湖、滨海湾、石龙、水乡为重点建设集聚区，打造生物医药产业发展高地。

根据《松山湖科学城发展总体规划（2021—2035 年）》空间布局：形成“北湖南山、一核四区”的空间布局。其中“一核四区”是指依托中国散裂中子源等重大科技基础设施打造大装置集聚区为核心，布局大学院所、新材料产业、新一代信息技术与生命科学、深莞科技成果合作等“四区”，推动产业链、创新链、人才链、生态链等多链融合协同发展。

医用α核素是核药研发基石及关键原材料，依托 CSNS“一机两用”的成本优势和国内率先突破相关制备技术瓶颈的技术优势，CSNS 量产的医用α核素使得东莞已具有了成为α核素靶向核药研发与生产基地的先发优势，并具备了产业链

链头的核心条件，将为东莞打造我国千亿级的核药产业集群提供坚实的基础，服务于粤港澳大湾区和东南亚乃至全世界，早日实现我国《医用同位素中长期发展规划（2021—2035 年）》的战略规划目标。本项目的建设符合东莞市战略布局与产业升级的需要。

2.3.5 项目建设是建设核医学科研供给平台，培养核医学人才，提升促进核医学创新和发展的需要

核医学是国际医疗领域的前沿学科之一，也是衡量一个国家医疗水平的重要指标。加快核医学人才培养，有助于提升我国在国际核医学领域的地位和竞争力，吸引更多的国际合作和交流机会。

核医学在医疗领域中具有独特的作用，尤其在肿瘤、心血管等疾病诊断和治疗方面。随着核医学技术的不断进步和应用范围的扩大，对专业人才的需求也在增长。通过培养具备核医学专业知识和技能的人才，可以促进核医学领域的创新和发展。

《医用同位素中长期发展规划（2021—2035 年）》指出：加快医用同位素、放射性药物及核医学特色学科建设，培养一批技术人才及管理人才。依托医用同位素生产和放射性药物研发重大项目，造就一批学科领军人才。制定高效精准引才政策，靶向引进一批高精尖人才。建立科学、客观、公正的人才价值评价体系，形成重实绩、重贡献，与社会主义市场经济体制相适应的自主灵活的分配激励机制。

质子应用产业化平台项目为核医学人才提供实践操作的科研平台，加深对核医学理论知识的理解，提高实际操作技能，实现核医学创新和发展。

项目建设是十分必要且迫切的，项目的建设是可行的。

基于散裂中子源开展医用同位素制备具有方法的创新性、技术先进性和经济可行性。

第三章 需求分析与产出方案

3.1 需求分析

3.1.1 同位素需求现状及发展趋势

3.1.1.1 需求现状

同位素在生命健康、国防、能源安全以及科学研究等领域处于不可替代的重要地位。我国在《1956—1967 年科学技术发展远景规划纲要》中就已将同位素研究列为重点任务。在老一辈核科技领域科学家的带领下，科研院所、高校和核工业相关单位协同攻关，使我国掌握了一批同位素的生产技术，为国家做出了重要的贡献。中国医用放射性同位素和放射性药物的研究和生产始于 20 世纪 50 年代，1958 年中国第一座重水堆以及第一座加速器由中国科学院原子能研究所建成并投入使用，开创了中国放射性同位素和放射性药物研发及应用先河，如今常用的放射性同位素诸如 ^{131}I、^{32}P 以及 ^{24}Na 均在首批放射性同位素研发成功队列中。此后发展阶段，更多放射性同位素生产技术建立，包括 ^{99}Mo、^{99m}Tc 等。进入 21 世纪以来，中国放射性药物监管法规日益完善，市场规模有望在未来进一步扩大。

随着科学技术的进步，同位素生产技术也在不断发展。当前，我国的同位素供应在新形势下面临着新的挑战。党和国家高度重视同位素的科研、生产和应用工作，国家原子能机构及国家卫生健康委员会分别会同国家相关部委先后联合发文，明确指出了我国发展自主可控的同位素生产制备能力的必要性和紧迫性。当前，我国医用同位素基本依赖进口，部分战略同位素生产保障能力受限，亟须发挥中国科学院和高校在基础研究和技术研发方面的优势，结合核工业相关企业的实际需求和产业优势，研发医用同位素生产技术，解决医用同位素严重依赖进口等“卡脖子”问题，为构建安全自主可控的同位素生产技术创新体系提供坚实保障。

打个比方，核医学设备是枪，放射性药物是子弹，可以实现有效的核医学靶向诊疗。所以说，放射性药物是核医学发展的“灵魂”。医用同位素是核医学诊疗的重要物质基础，在恶性肿瘤、心脑血管疾病、神经退行性疾病等重大病症的诊

断治疗方面具有不可替代的作用。我国早在 1989 年就出台了《放射性药品管理办法》。《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的出台使得放射性药物生产企业面临药品管理、卫生、能源、环保等多方面的制约，市场形成准入壁垒，行业逐渐向规范化发展；21 世纪以来，中国核技术发展迅速，带动了中国放射性药物行业的快速发展，市场规模逐年提高；中国放射性药物行业技术水平不断进步，SPECT/PET 等检验设备在中国医院逐渐普及；2017 年，《放射性药品管理办法》再次修订，对放射性药物的检验、生产、进口、销售进行了进一步的规范； 2021 年我国首个针对核技术在医疗卫生应用领域发布的纲领性文件《医用同位素中长期发展规划（ 2021—2035 年）》颁布（以下简称《规划》）和《推进放射性药物研发与应用的攻关方案》中指出，用于疾病诊断和治疗的医用同位素中，我国目前仅低能加速器生产的氟$^{-18}$能实现自主供给，自主生产的碘$^{-131}$、锶$^{-89}$仅能满足国内 20%的需求，镥$^{-177}$仅能满足 5%的需求，而其他常用医用同位素，包括最具治疗前景的镭$^{-223}$、锕$^{-225}$、砹$^{-211}$和铅$^{-212}$/铋$^{-212}$四种靶向α治疗（Targeted Alpha Therapy，TAT）同位素全部依赖进口，且铅$^{-212}$/铋$^{-212}$因半衰期短，而无法实现进口，国内也无供应，致使国内铅$^{-212}$核药研制处于停滞状态，远落后于欧美发达国家。医用同位素供给数量和周期无法得到充分保障，严重阻碍了人民群众生命健康需求。建立稳定自主的医用同位素供给保障体系，对于“实施健康中国战略”意义重大。

3.1.1.2 发展趋势

美、俄、欧等先进国家和地区均具有庞大、系统、先进的同位素研发与生产体系，主导着全球医用同位素的生产与供应，同时仍在持续加大对医用同位素生产、分离创新技术的投入，完善技术体系，促进新技术商业化。美国“同位素计划（Isotope Plan）”自 2009 年以来，已经累计投入超过 9 亿美元，以发展国际领先、自主可控的同位素供应链，并计划于 2023—2027 年再投入 9 亿美元用于同位素的研究、开发和生产。2021 年，欧洲启动医用放射性同位素计划（PRISMAP），以保障医学研究用高纯度放射性同位素的可持续供应。

目前我国人均核医学诊疗资源不足，仅为全球平均水平的 30%。对标发达国家的核医学诊疗水平，我国医用同位素需求量将呈现爆发式增长。保守估计，到 2030 年常用的 8 种医用同位素需求总量将增加 10 倍以上。

国际上用于生产医用同位素的反应堆运行时间大多超过 40 年，面临停堆检修、关停或退役等问题，全球医用同位素供给能力面临严峻挑战。同时由于国际贸易秩序不稳定，生产国往往将其作为稀缺资源进行管控，存在禁运风险。我国目前除氟$^{-18}$能自主供应外，仅碘$^{-131}$、锶$^{-89}$和镥$^{-177}$等少量同位素具备小批量生产能力。

医用同位素中最具治疗前景的镭$^{-223}$、锕$^{-225}$和铅$^{-212}$/铋$^{-212}$三种α同位素在全球极其紧缺（镭$^{-223}$全球产量约 40 居里，锕$^{-225}$全球产量约 2 居里），其批量化生产是世界级难题，被美国“同位素计划”列为最高优先级。常规的制备方法（锕$^{-225}$采用钍$^{-229}$/锕$^{-225}$发生器或在反应堆、低能加速器中以镭$^{-226}$为靶制备；镭$^{-223}$采用在反应堆中以镭$^{-226}$为靶制备），由于国内尚无钍$^{-229}$，且镭$^{-226}$极其短缺，短期内难以实现对国内药物研发和市场需求的供应。目前，国际上公认的新一代量产技术是利用高能强流质子（大于 100 MeV）轰击钍靶生产上述α同位素，全球仅 7 个实验室建有该类型的加速器。**美、俄、欧等国家预计在 2032 年实现约 670 居里锕$^{-225}$的年产量，可满足 200 万患者的用药需求。**我国近年来积极部署高能强流加速器生产α同位素，以期解决国内α同位素严重依赖进口的“卡脖子”问题，满足国内患者的用药需求，实现α医用同位素的自主供应。

美、俄、欧等国家和地区持续加大对创新性同位素生产技术的投入，以继续保持其引领地位。我国目前在上述领域的技术水平与美、俄等国存在较大差距，亟须创新体系、发展新技术、提升产能。2024 年，国家原子能机构等十二部门印发《核技术应用产业高质量发展三年行动方案（2024—2026 年）》，统筹部署同位素实施供应保障和前沿基础研究等方面重点任务。专项利用国际领先的大科学装置等科研资源，充分发挥中国科学院基础研究能力强、学科专业全、建制化合作攻关机制成熟等优势，结合工业部门的工艺方法和工业生产能力，坚持创新驱动，不断完善技术创新体系，提升自主可控水平，为我国同位素高质量发展提供有力保障。

3.1.1.3 科技制高点分析

医用同位素是核医学发展的基石，受限于医用同位素供给能力不足，我国核医学的应用水平与发达国家存在明显差距。基于此，利用散裂中子源直线加速器高功率束流，攻克叠层靶制备、高效联合分离纯化等技术难点。突破目前同位素

种类短缺和产量受限的技术卡点，提升同位素产量，实现镭$^{-223}$、锕$^{-225}$和铅$^{-212}$/铋$^{-212}$等α同位素的量产，改变我国目前医用同位素长期依赖进口、受制于人的局面。

3.1.2 相关市场需求分析

3.1.2.1 国际市场

全球核医药市场价值2020 年为56 亿美元；尽管受到新冠疫情影响，2021年仍同比增长7%，达到60 亿美元。加拿大放射性同位素委员会预计，2031 年全球核医药市场价值将达140 亿至330 亿美元。最近数十年的经验表明，新型医用同位素及其配套药物生产技术的突破，能够促使核医药市场价值出现爆发式增长。

2020 年以来，全球^{99}Mo、^{131}I、^{89}Sr 等用量最多、市场规模较大的医用同位素仍主要由比利时、荷兰、南非、捷克、波兰、澳大利亚等国的6 座反应堆供应，供应量超过全球供应量的90%。俄罗斯、美国、阿根廷等国也能够小规模生产相关核素，主要供给本国需求，未进入或较少进入全球供应链。但由于除波兰的MARIA 堆和澳大利亚OPAL 堆外，其他反应堆接近或即将接近使用寿命，国际同位素产能布局正发生悄然变化。

欧洲计划在未来10～15 年在比利时和荷兰建造新的同位素生产/研究堆，南非也计划在未来10 年新增一座反应堆，美国则同步布局加速器/研究堆同位素产能建设工作。2022 年5 月，日本发布首份《促进医用放射性同位素生产和使用行动计划》，推动利用国内研究堆及其他方式实现同位素生产并解决进口依赖问题。2022 年7 月，俄罗斯更是宣布建设欧洲最大的医用放射性同位素生产厂，在全面满足国内需求的情况下积极进入国际市场。

2020 年以来，国际放射性药物研发和上市应用进入一个高产期，多种新型显像类与治疗类药物进入国际市场，治疗用放射性药物、诊疗一体化放射性药物展现出良好的应用前景。以美国为例，截至2022 年11 月，美国食品药品监督管理局（FDA）批准的放射性药物达69 种，涉及核素种类22 个，以^{99m}Tc 标记药物的数量最多。其中，2020 年以来，FDA 批准上市的新型放射性药物达到10 种，包括治疗性核素药物4 种，正电子显像核素药物6 种。全球放射性药物市场规模持续扩大，预计到2030 年，全球市场规模将达到300 亿～400 亿美元，

其中治疗放射性药物有望达到 240 亿美元，如果出现爆款药物，其市场增长远超此预估值（以镥-177 的药物为例单一品种 2025 年达到了 14 亿美元产值，如果镥-177 供应充足，产值将更大）。

3.1.2.2 国内市场

从规模来看，2024 年中国核药市场规模为 67 亿元，同比增长 24.1%。随着政策红利的持续释放，以及同位素加速器与反应堆辐照生产工艺的持续突破，中国核药将迎来创新发展阶段，更多核药将加速进入临床应用，市场规模将持续保持高速增长，预计到 2027 年中国核药市场规模将达到 154 亿元。

从结构来看，2024 年诊断类核药是核药占比最大的细分领域，超过 60%。其中，以肿瘤、神经系统、心血管系统疾病显像诊断类产品为主。

截至 2023 年 10 月，42 款放射性药物获 NMPA 批准上市，其中，22 款药物已纳入乙类常规医保目录，20 款药物为非医保产品。根据临床用途分类，24 款放射性药物仅用于诊断、15 款放射性药物仅用于治疗、3 款放射性药物既用于诊断也用于治疗。诊断用放射性药物主要为 PET 显像药物和 SPECT 显像药物，代表药物分别为氟[^{18}F]脱氧葡糖和锝[^{99m}Tc]及其标记化合物。治疗用放射性药物主要针对肿瘤， 代表药物包括碘[^{125}I]密封籽源、氯化锶[^{89}Sr]、氯化镭[^{223}Ra]、钇[^{90}Y]树脂微球。目前已上市的 3 款诊断&治疗用放射性药物均为碘[^{131}I]化钠，用于诊断和治疗甲状腺疾病。

目前，中国已上市放射性药物大多数为仿制药，临床使用时间较长。2020 年后，2 款创新治疗用放射性药物获 NMPA 批准上市，分别是拜耳的氯化镭[^{223}Ra]，用于治疗伴症状性骨转移且无已知内脏转移的去势抵抗性前列腺癌患者以及 Sirtex、远大医药的钇[^{90}Y]树脂微球，用于治疗经标准治疗失败的不可手术切除的结直肠癌肝转移患者。

随着“健康中国”战略的实施及公众健康管理意识的提升，我国多层次、多样化的核特色医疗产品及服务需求逐年快速增长。根据中华医学会核医学分会发布的最新权威统计数据，“十三五”期间，我国钼锝发生器、^{18}F-FDG、锝标药物使用量年均增速达 10%，放射性药物整体市场规模增速超过 15%，2020 年市场规模达约 50 亿元；我国接受 PET、单光子检查的人数年均增速分别达 20%～30%和 10%，2020 年检查总人数达 300 万～400 万；我国年接受核素诊疗、放射治疗的病例总数更是达 200 万以上。总体来看，目前我国核特色医疗整体市场需

求已超千亿元，对标发达国家的核医学治疗水平，我国医用同位素实际需求量未来还有很大的增长空间，预计未来将保持 10%～15%的年均增速，2025 年市场规模将超过 2000 亿元。

由此可见，核特色医疗市场空间巨大，且需求逐年快速增加，中国核医学市场有较大的发展空间。依据镥-177 新药上市的经验，如有新的创新型α核药上市，其市场规模将被迅速成倍放大。

3.1.2.3 本项目产出产品及上下游市场需求分析

核药偶联的放射性同位素的物理特性和其临床效果之间，有着直接的、决定性关系。核素药效能力的主要指标包括：半衰期及在放射性衰变过程中释放的粒子类型，这些粒子具有不同的辐射能级和组织穿透距离。一般来说，药效的优异表现，和核素释放的较高能量、较短距离内的沉积有关。而更好的安全性则与较短的射程和更快的半衰期有关，这可最大程度减少射线对邻近及全身健康组织的辐射暴露。基于上述考量，新一代核药正在聚焦在α核素上。

截至 2023 年 10 月，全球已有 64 款放射性新药获批上市，其中 50 款放射性新药仅用于诊断、13 款放射性新药仅用于治疗、1 款放射性新药既用于诊断也用于治疗。2013 年，拜耳的氯化镭[^{223}Ra]获 FDA 批准上市，为全球首个α粒子靶向治疗药物。

与β粒子相比，α粒子具有更高的能量和更短的穿透距离，这可能带来更优疗效的同时，减少脱靶毒性。锕-225 是目前应用最广泛的α粒子同位素，占临床产品的 28%，如 FPI-2265 和 RYZ101 等。^{225}Ac 市场预计年复合增长率约 15%，未来价值潜力显著。利用α粒子的高线性能量传递（LET）和精准的亚毫米级杀伤范围，高效诱导肿瘤细胞 DNA 损伤。已在前列腺癌（190 例）、白血病、淋巴瘤、神经内分泌肿瘤等多种癌症中进行临床试验。临床研究显示，^{225}Ac-PSMA 疗法能有效降低 PSA 水平，并延长晚期前列腺癌患者的总生存期和无进展生存期。铅-212 是一种较新的α粒子同位素，占临床产品的 9%。与 Ac-225 相比，Pb-212 具有更短的半衰期和更简单的衰变链，有助于提升安全性，并允许优化剂量、提高疗效。质子应用产业化平台项目以规模化生产阿尔法同位素（包括 ^{225}Ac、^{223}Ra、^{212}Pb/^{212}Bi）为目标，构建从束流生产到核素分离的全链条自主技术体系。

2025 年全球核药领域延续了近年来的**爆发式增长**态势，资本对放射性药物的关注度达到历史新高。根据行业数据，2024 年全球核药融资总额突破 120 亿

美元，较 2020 年增长 3 倍，而 2025 年上半年全球核药领域融资总额已突破 60 亿美元，较去年同期增长 45%。这一趋势背后，是精准医疗需求的爆发、技术突破的积累以及政策支持的共振——从诺华 Lutathera 的商业化成功，到阿斯利康 24 亿美元收购 Fusion Pharmaceuticals 布局α粒子疗法，核药正从“小众治疗”走向肿瘤治疗的核心战场。

几乎同期，德国生物技术公司 **Actithera 宣布完成 7550 万美元 B 轮融资**，押注靶向 Claudin 18.2 的α粒子疗法；老牌核药巨头 ITM **获得蓝猫头鹰资本（Blue Owl）高达 2.625 亿美元的非稀释性债务融资**；来自中国杭州的初创企业**景嘉航（AB-RayBio）也完成数千万元天使轮融资**。

截至 2023 年 10 月，全球共计有 339 款放射性新药处于临床试验及申请上市阶段，其中 232 款为诊断用放射性新药、107 款为治疗用放射性新药。放射性新药多处于临床研发早期，其中 293 款放射性新药处于临床 I 期、临床 I/II期以及临床II期。相信随着放射性新药研发进展，将会有更多药物进入临床III期。

根据 BBC Research 数据，2020 年全球放射性药品市场规模约 93 亿美元，其中诊断药物占据主要市场，规模达到 77.2 亿美元，占比 83.4%，未来随着治疗用同位素药物的接连上市，预计全球放射性药品市场在 2022—2026 年复合增速为 11.6%，2026 年的市场规模将达到 175 亿美元，市场规模如图所示。



图 3.1-1 全球放射性药物行业市场规模

我国癌症患者数量和因癌症死亡人数高居世界第一，主要原因是缺乏对肿瘤的早期诊断及有效治疗。针对实体肿瘤，目前主要的治疗手段是手术、放疗、化

疗及生化药物治疗等，实体肿瘤治愈率较高；对于全身扩散、微小散在肿瘤，主要依靠化疗、生化药物、常规靶向药、免疫治疗等，这些治疗方法毒副作用大，易产生抗药性，治愈率较低。而 90%的癌症患者死于转移、扩散微小散在肿瘤，放射性靶向核药是治疗此类病患的最后且有效的手段。**百万级以上病患的需要，**使得我国医用同位素药物的需求展现出巨大的发展空间，市场需求量巨大。

医用同位素药物分为三类：诊断类、治疗类和诊疗一体化类。我国诊断类同位素药物占到药物市场总量的 80%，远大于治疗类同位素药物。随着核医学的发展及国家和公众对于放射性药物认识的不断提高，中国同位素医疗应用市场不断扩大，销售总额以约 20%/年的比率在增长，如图所示。



图 3.1-2　国内同位素药物市场规模

2017 年国内放射性药物市场规模达到 43.82 亿元人民币，2013—2017 年期间年复合增长率约为 12.1%，2017—2022 年期间年复合增长率约 19.4%。其中各治疗药物的比例情况占比见图所示。



图 3.1-3 各治疗药物的比例情况占比

放射性药物近十年来呈现了高比率增长，代表市场具有巨大需求，特别是用

于转移、扩散、微小散在肿瘤治疗的靶向α-同位素药物。**一旦实现临床应用的突破，我国医用同位素药物的需求将会呈现爆发式增长，具有重要的社会和经济意义。**

同时，随着分子生物学、肿瘤免疫学等医学学科的发展，在分子、受体及抗原抗体层面的多种肿瘤靶点机理研究不断深入，相关放射性靶向药物在重大疾病诊断治疗方面的机制逐渐得到揭示，一批新型医用同位素在人体组织及细胞的作用将发挥更大作用，这对于医用同位素也提出了需求。对标世界发达国家的核医学治疗水平，以常用的 8 种医用同位素为例，保守估计每年需求量将以 5%～30%的速度增长，预计到 2030 年需求总量将增加 10 倍以上。每年我国将有数千万人次需要开展核医学诊断与治疗，我国医用同位素需求将呈现爆发式增长。未来 15 年是我国提升医用同位素供应保障能力，助推健康中国建设的重要战略机遇期。

总之，从供需平衡来看，放射性同位素药物在我国需求量巨大，需要及时开展医用同位素研发。未来随着医用同位素核心技术发展和临床大规模应用，以及我国市场需求的逐步增加，行业供给管制将会有所放松。另外随着分级诊疗制度的不断完善和医疗保险覆盖面的扩大，以及我国目前仍旧不断提高的老龄化比例和癌症患病率，放射性同位素药物未来市场供不应求状态在短期内将难以改变。因此，开展医用同位素的研发和自主供给，将对国家安全、人民健康，对东莞国民经济的高质量发展具有重大意义。

3.1.3 项目产品或服务的可接受性

1.临床价值明确

α核素比β核素在治疗上的优势如下：1）**更高能量**：α粒子的传能线密度（LET）极高，可达 60~110 keV/μm，是β粒子的数百甚至千倍。α粒子释放的巨大能量可高效造成癌细胞难以修复的 DNA 双链断裂，为抗癌治疗提供了强大的火力支持。2）**更短射程**：α粒子在生物组织中的射程非常短，仅为 30~100 μm，相当于数个细胞直径。这一特性使得α核素能够精准地集中杀灭肿瘤细胞，而对周围的正常组织几乎不造成伤害，堪称“定点爆破”。3）**更强疗效**：α粒子在其穿行路径末端接近布拉格峰时，释放出最大能量，展现出极高的相对生物学效应（RBE），对细胞 DNA 的杀伤力极强。并且这种杀伤作用不依赖于水分子裂解产生的氧自由

基，也不受细胞周期的影响，在治疗难治性肿瘤方面具有显著的独特优势。α放射性治疗药物已成为放射性同位素药物研究的热点。近年来欧美发达国家陆续有治疗用放射性药物被批准上市，还有许多治疗用放射性药物处于动物试验和临床前试验阶段。根据 Journal of Nuclear Medicine August 2023 最新报道，目前全球有 27 种正在开发的 Ac^{-225} 标记分子，有 13 种（22 项）已进入临床试验阶段，其中 1 个管线进入III期临床，8 个管线处于临床II 期，14 个管线处于临床I期。目前中国企业开展了 2 项基于锕$^{-225}$ 的核药管线，因国内缺乏锕$^{-225}$，均在国外开展研发。据悉，艾博兹医药的 RYZ101 是全球首个进入临床阶段的锕$^{-225}$ 偶联靶向核药，旨在将高效放射性同位素锕$^{-225}$ 递送至表达 SSTR2 的肿瘤部位。Fusion Pharmaceuticals、Actiniym Pharmaceuticals 也是锕[^{225}Ac]核药的重要参与者，Actinium Pharmaceuticals 靶向 CD33 治疗急性髓细胞性白血病的管线 Lintuzumab-Ac^{-225} 处于临床 lI 期，Fusion Pharmaceuticals 针对多种实体瘤的管线 [^{225}Ac]-FPI^{-1434} 也处于II期临床。

核药联合用药前景可观。核药可与多种药物联用，比如与肿瘤合成致死疗法联用，与肿瘤免疫疗法联用等，实现更好的疗效。目前已经开展了数项核药联合用药的研究，Peter MacCallum Cancer Centre.Australia 尝试将 PAPR 抑制剂他拉唑帕尼（Talazoparib）与 ^{177}Lu-DOTA-Octreotate PRRT 联合用药以治疗神经内分泌肿瘤，研究正处于临床期。OncoC4 将 ONC-392 与 Lutetium Lu ^{177} Vipivotide Tetrax-etan 联合用药，用于转移性去势抵抗性前列腺癌，正处于临床 Il 期。

靶点、分子、适应症、核素创新，做 first in class。创新核药成功的案例不多，为后来者提供了空间。接下来，更多靶点验证、更多创新靶向分子、更多适应症是决定核药市场能否做大的关键。比如，在靶点上，还有很多已经被临床验证的靶点，比如 EGFR、HER2、PD-L1、ALK、KRAS、BRAF、ROS1、NTRK 等成熟靶点，没有成功应用于核药中，现在是布局这些靶点的窗口期。在 SSTR 和 PSMA 之外，已经有企业着眼于更多靶点的布局，进军更多适应症。如诺华与 Bicycle Therapeutics 合作，开发基于双环肽的放射性偶联药物；诺宇医药完成了胰腺癌、肾癌、胃癌、前列腺癌、帕金森病等重大疾病领域中数十个靶点的筛选及临床开发策略验证工作；拜耳在研的 RDC 管线靶点涉及 Her^{2}、CD^{20}、CD^{22}、MSLN；智核生物布局 $PD\text{-}L^{1}$、Her^{2} 等靶点，聚焦乳腺癌、胃癌、甲状腺癌：lpsen

布局 NTSR-1 靶点，管线正处于 I 期临床。分子创新方面，多肽、抗体各有优劣，需要发现更多突破性分子；核素创新方面，锕$^{-225}$、铅$^{-212}$/铋$^{-212}$、砹$^{-211}$、镭$^{-223}$是值得期待的创新核素。

核药领域正在上演“天使与魔鬼”的双重叙事：一方面，Actithera 的α粒子疗法让胃癌患者生存期延长近一倍；另一方面，Ac^{-225}的生产仍依赖发生器，面临地缘政治风险。这种矛盾性恰恰折射出新兴产业的成长轨迹。本项目目标产品锕$^{-225}$、铅$^{-212}$/铋$^{-212}$、镭$^{-223}$覆盖了国际上α核素医药研发最有前途四种核素中的三种，项目的成功实施，将带动数千亿级国内α核素创新药的蓝海市场。

2、技术路径可行

技术与设备可行性：经二期改造，中国散裂中子源直线加速器（300 MeV，300-670 μA）的能量和流强均处于国内外领先水平，通过专用切束装置，直线加速器可以为同位素线站，提供稳定 100 kW 的束流；散裂中子源加速器每年运行时间接近 7000 小时，加速器开机期间，原则上均可以提供打靶质子束流。散裂中子源将建设 2 万多平方米的具有甲级辐射安全资质的同位素大楼，为α同位素的生产提供充足的场地。团队目前掌握了联合分离纯化技术工艺，在国内外首先实现了锕$^{-225}$、镭$^{-223}$和铅$^{-212}$的同靶分离纯化，并首次实现了单批次三种医用α同位素的毫居里级产量，核素的放射性核纯度≥99%，经药企标记实验验证，锕$^{-225}$标记率达到≥ 98%，铅$^{-212}$标记率达到≥ 98 %，其纯度与国外进口一致或超过了国外进口核素纯度。另外，团队还掌握了不含锕$^{-227}$的锕$^{-225}$批量化生产（利用核反应 ^{232}Th（p，x）^{225}Ra 产生镭$^{-225}$，经β衰变获得高纯度锕$^{-225}$）技术工艺，并同时制备大量的可供药物临床前研究的锕$^{-225}$（含锕$^{-227}$）。结合沉淀分离技术可实现大质量钍靶的自动分离操作，通过钍$^{-227}$衰变产生镭$^{-223}$，并通过衰变分离，获得高纯度的镭$^{-223}$。另外，程序化分离技术首次解决了钍$^{-232}$、钍$^{-227}$等同位素干扰难题，利用核反应 ^{232}Th（p，x）^{228}Th，可实现高纯度铅$^{-212}$/铋$^{-212}$的批量化生产。团队目前掌握了上述核素的中试生产技术工艺，无论技术上还是设备上均具备了开展大规模化量产的软硬件条件，可实现大规模化量产锕$^{-225}$、镭$^{-223}$和铅$^{-212}$，实现上述医用α核素的稳定自主供应，解决国内医用α同位素紧缺的“卡脖子”问题。

3.质量标准达标

本项目所研制或生产的医用α核素的放射性核纯度≥99%，可满足临床药物研

发的需求，中试实验也验证了我们制备的锕$^{-225}$、镭$^{-223}$和铅$^{-212}$的放射性核纯度和化学纯度均与国外进口产品质量一致或好于国外进口产品。所制备或生产的医用α核素质量均达标。另外，团队已掌握医用α核素的质量控制分析方法，制定了相应的质控体系。

3.2 项目功能定位

医用同位素中最具治疗前景的镭$^{-223}$、锕$^{-225}$和铅$^{-212}$/铋$^{-212}$三种α同位素极其紧缺（镭$^{-223}$全球产量约 40 居里，锕$^{-225}$全球产量约 2 居里），其批量化生产是世界级难题，被美国“同位素计划”列为最高优先级。常规的制备方法（锕$^{-225}$采用钍$^{-229}$/锕$^{-225}$发生器或在反应堆、低能加速器中以镭$^{-226}$为靶制备；镭$^{-223}$采用在反应堆中以镭$^{-226}$为靶制备），由于国内极度缺乏钍$^{-229}$源和镭$^{-226}$靶材，短期内较难实现对国内药物研发和市场需求的足量供应。目前，国际上公认的新一代量产技术是利用高能强流质子（大于 100 MeV）轰击钍靶生产上述α同位素，项目依托散裂中子源高能强流质子加速器生产α同位素，以期解决国内α同位素严重依赖进口的“卡脖子”问题，实现α医用同位素的自主生产供应，满足国内患者的用药需求。

质子应用产业化平台项目聚焦于锕$^{-225}$、镭$^{-223}$和铅$^{-212}$/铋$^{-212}$等稀缺α同位素，建设百居里级年产能基地，解决国内医用α核素紧缺的问题，同时，实现高能强流束线、高功率靶站、高效分离纯化等关键技术突破，构建从束流生产到核素分离的全链条自主技术体系。

3.3 项目建设需求

质子应用产业化平台项目基于中国散裂中子源装置，聚焦锕$^{-225}$、镭$^{-223}$和铅$^{-212}$/铋$^{-212}$等稀缺α同位素的生产制备，建设百居里级年产能基地，以期解决国内α同位素严重依赖进口的“卡脖子”问题，实现α医用同位素的自主生产供应。项目建设是贯彻落实国家、省、市相关规划政策的需要，对于提高我国医疗水平，提升人民健康水平，推动健康中国建设具有重大作用。质子应用产业化平台项目的建设有助于推动我国核医学产业上下游全链条发展，助力新兴产业集群培育与壮大。

由于本项目具有一定的前瞻性，并无具体建设标准，目前规划是按照工艺需

求和布局进行建筑设计，提出了具体功能用房需求：

整个建筑分为地下 3 层，地上 4 层，总面积约 23917 平方米，其中：

负三层主要为冷却系统循环间、污水处理区、液体废物暂存区、固体废物暂存区、低放液体储罐区、气体吸附和过滤间等，所需建筑面积约 3028 平方米。

负二层主要为医用同位素分离纯化工艺间、高功率靶站、热室和靶制备间、同位素研究实验区、加速器束线设备区、废束站、设备转运区及辐射防护检查区域。所需建筑面积约 4840 平方米。

负一层主要为医用同位素 GMP 分装、分析检测及医用同位素产品暂存区域。所以建筑面积约 2877 平方米。

一层主要为乙级放化实验室，同位素生产中控室、靶研究实验室、辐射防护测量和分析实验室、放射药物研发实验室、变配电站、低温厅、冷冻站、压缩空气站、纯水站、空调机房、加速器高频设备本地设备厅、脉冲电源厅等。所需建筑面积约 3290 平方米。

二层主要为分离纯化工艺优化及设备测试实验室、同位素核反应测量实验室、激光电离实验室、直流电源厅、真空本地站、加速器本地控制室、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。

三层主要为医用同位素标记及生物医学应用研发实验室、束测本地站、控制本地站、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。

四层主要为医用同位素质控分析技术研发实验室、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。

另外，在屋面设置消防水池、冷却塔、排风机等。

在首层配置有罐区构筑物，所需建筑物面积约 329 平方米。

3.3.1 各功能用房需求描述

层数	修改后名称	面积（㎡）	用途及必需性
4F	质控技术研发实验室	101.79	医用α核素必须满足严格的质量标准才能用于临床，为此需要一系列质控分析方法，4 楼化学实验室主要用于质控分析技术研发，包括质谱、α谱仪、液闪谱仪、XRF、ICP-AES 等分析测量实验室
4F	质谱样品制备实验室	105.3	
4F	α谱仪分析实验室	98.28	
4F	液闪测量分析实验室	105.3	
4F	XRF 分析测量实验室	102.96	
4F	ICP-AES 样品分析室	102.96	
4F	质控耗材存放室	162.63	
4F	γ谱仪分析测量室	115.71	
4F	试剂准备间	119.70	
4F	生化检测实验室	111.72	
4F	生物化学实验室 1	234.08	
4F	生物化学实验室 2	130.34	
4F	排风中心	474.81	用于北区各楼层放射性气体的集中排放
4F	排风中心	604.56	用于南区各楼层放射性气体的集中排放
4F	其他（走廊，楼电梯厅，卫生间及外墙体）	723.86	
3F	工艺设备测试实验室	101.79	同位素分离产线的工艺设备自动化要求较高，研制加工的设备需要在 3 楼实验室进行测试改进
3F	溶靶装置测试实验室	105.30	
3F	色谱分离纯化装置测试实验室	98.28	
3F	自动化反应装置测试实验室	115.71	
3F	离心设备研发测试实验室	119.70	
3F	试剂准备间	111.72	

3F	样品制备间	105.30	
3F	光谱测量室	102.96	
3F	质谱测量室	102.96	
3F	色谱分析检测室	162.63	
3F	生物化学实验室 1	234.08	
3F	生物化学实验室 2	130.34	
3F	真空束控厅	474.81	
3F	3F 通用设备间	631.81	用于 3F 各实验室的化学气体处理和排放，用于 2F 各电源厅的全空气空调系统，用于 3F 各房间新风处理
3F	其他（走廊，楼电梯厅，卫生间及外墙体）	696.61	
2F	分离工艺研发实验室	93.09	
2F	分离工艺验证实验室	115.71	
2F	工艺样品测试实验室	119.70	
2F	分离纯化材料合成实验室	89.88	
2F	试剂间	96.30	
2F	化学用品库	111.72	
2F	核数据测量准备间	96.30	样品材料准备及实验装配，辐照终端实验准备
2F	核电子学研究室	100.58	多道、同步电子学等核电子学器件，数据采集设备及机柜
2F	核探测器研究室	104.87	用于钍靶散裂反应截面实验的半导体探测器、闪烁探测器、MCP、带电粒子探测设备等设备
2F	样品活化分析室	122.36	靶站和辐照终端的活化样品分析，设备包括伽马谱仪等
2F	同位素分离研究室	130.35	离线同位素共振分离，包括热腔，高压引出，四极磁铁，分析磁铁等设备
2F	激光研究室	131.60	光学实验室，设备包括多路可调谐激光，含激光水冷机组
2F	加速器控制室	109.05	
2F	同位素真空束控厅	234.08	

2F	同位素电源厅	238.07	
2F	电源厅	631.81	
2F	其他（走廊，楼电梯厅，卫生间及外墙体）	768.53	
1F	钍靶片制备室	93.09	电子天平、冷压机、手套箱、真空热压烧结炉等设备，钍靶片研发制备区域
1F	靶站控制室	97.37	包括中控台、会议桌，方便对内沟通、对外展示
1F	异形靶成型研究室	52.63	手套箱，多孔靶研究，靶片后加工处理设备（切割、打磨、清洗）
1F	靶热性质研究室	54.45	氦气吹扫实验，分析靶片的热传导性能研究
1F	靶基础物性分析室	61.33	基础物理性质：密度测量、硬度检测、金相观察等
1F	靶放射性测量室	63.45	靶片放射性活度，伽马分析、alpha 谱检测
1F	靶材料表征室	50.82	宏观微观性质表征：力学性质（拉伸、压缩），TEM 电镜等
1F	吊装口	59.22	
1F	标记实验室 1	75.42	
1F	化学试剂间	18.90	
1F	标记实验室 2	69.56	
1F	样品制备室	29.14	
1F	放射性测量室 1	55.66	
1F	手套箱操作间	48.40	
1F	放射性测量室 2	64.86	
1F	分离热室操作间	56.40	
1F	放射性检测去污间	33.05	
1F	化学实验室	40.47	
1F	低温设备间	375.06	
1F	公辅设备间	431.95	布置冷冻站、纯水站、压缩空气站及 1F 相关房间的空调设备
1F	气瓶间	102.86	

1F	设备吊装转运大厅	132.03	
1F	脉冲电源厅	359.38	
1F	高频厅	196.30	
1F	其他（门厅、走廊、电梯厅、卫生间及外墙体）	667.98	
-1F	GMP 分装室	831.64	
-1F	分装产品库房 1	28.56	分装产品库房用于存放分离制备的 Ac^{-225}、Ra^{-223}、Ra^{-224}、Pb^{-212}、Ra-Pb 发生器、Mo^{-99}/Tc^{-99m} 发生器
-1F	分装产品库房 2	30.24	
-1F	分装产品库房 3	29.68	
-1F	分装产品库房 4	29.68	
-1F	分装产品库房 5	29.68	
-1F	分装产品库房 6	26.32	
-1F	质控样品准备间 1	26.32	
-1F	质控分析室 1	25.76	
-1F	质控分析室 2	52.78	
-1F	质控样品准备间 2	50.96	
-1F	维修间	51.87	
-1F	设备吊装转运大厅	76.44	
-1F	分装铅罐库房	78.26	
-1F	废物暂存间	95.53	
-1F	化学用品库	121.46	
-1F	靶站维修间	258.72	
-1F	设备吊装转运大厅	139.89	
-1F	加压机房	32.10	
-1F	其他（走廊，楼电梯厅，卫生间及	861.23	

	外墙体）		
-2F	预留设备间	47.31	
-2F	预留设备间	50.16	
-2F	预留设备间	50.16	
-2F	预留设备间	88.06	
-2F	热室操作间 2	30.14	热室操作间为 Th 靶中医用同位素分离提取的主要工艺场所， 整个工艺过程包括溶靶、组分离、同位素（Ra、Ac、Mo）纯化、Th 靶回收储存、 废液减容处置等若干工艺步骤。
-2F	热室操作间 3	30.37	
-2F	热室操作间 4	23.62	
-2F	热室操作间 5	27.00	
-2F	热室操作间 6	27.90	
-2F	热室操作间 7	20.13	
-2F	热室操作间 8	20.13	
-2F	热室操作间 9	20.13	
-2F	热室操作间 10	21.19	
-2F	热室操作间 11	21.19	
-2F	热室操作间 12	25.43	
-2F	热室操作间 13	25.43	
-2F	热室操作间 14	81.00	
-2F	Th 沉淀储存间	61.43	
-2F	热室样品稀释间	15.89	
-2F	样品准备间 1	28.81	
-2F	样品准备间 2	34.57	
-2F	测量室 1	29.39	
-2F	测量室 2	27.37	
-2F	耗材准备间	31.12	

-2F	试剂准备间	31.69	
-2F	化学用品库	31.69	
-2F	制靶准备间	39.15	手套箱，冷压机，金属钍粉末存储
-2F	制靶间	37.80	真空热压烧结炉，用于批量生产钍靶
-2F	维修间	38.47	
-2F	设备吊装转运大厅	56.70	
-2F	同位素质量分离生产间	130.26	热腔，高压引出，四极磁铁，分析磁铁、多路激光等激光同位素分离设备，用于稳定生产
-2F	轨道传送	227.5	
-2F	靶站	30.57	
-2F	大厅	1461.24	
-2F	设备吊装转运大厅	101.46	
-2F	其他（走廊，楼电梯厅，卫生间及外墙体）	1816.02	
-3F	消防水泵房	131.40	
-3F	公辅设备间	544.68	用于-1F～-3F 全部带有放射性气体的吸附、过滤等处理，用于-2F 部分房间的涉及放射性的空调系统
-3F	设备吊装转运大厅	76.44	
-3F	废液减容厅	316.18	
-3F	公辅设备间	233.18	用于-1F～-3F 全部带有放射性气体的吸附、过滤等处理，用于-2F 部分房间的涉及放射性的空调系统
-3F	消防水泵房	52.44	
-3F	高放废物厅	341.04	
-3F	低放废物厅	322.48	
-3F	废液储存厅	225.32	
-3F	其他（走廊，楼电梯厅，卫生间及	785.04	

	外墙体）		

3.4 项目建设内容和规模

3.4.1 项目总体布局

项目主要分为两大建设内容，沿技术路线逐步推进，最终实现预期目标。

1.高功率靶站及叠层靶的研制，设计和建设靶站屏蔽防护结构，并研制相关设备，实现靶区热室、真空室和屏蔽体等区域耦合，实现在高辐照环境下远程控制靶体更换、辐照、转运等重要的功能。为目标同位素产生研究建设实验测量条件，建设辐照实验终端和紧凑型质子升能装置实现中高能质子辐照条件，搭建高纯核素分离研究条件并实现高纯核素分离的条件。在理论和实验基础上，研制针对锕$^{-225}$、镭$^{-223}$和铅$^{-212}$/铋$^{-212}$等目标同位素生产的叠层靶技术方案，实现高功率靶和靶站的冷却系统搭建，实现靶和靶站的稳定运行，最终实现中高能质子束流下目标同位素的生产和实验研究能力。

2.α核素分离纯化及质控体系建设，在优化辐照钍靶中多种医用核素（包括镭$^{-223}$、锕$^{-225}$、铅$^{-212}$/铋$^{-212}$医用α核素及钼$^{-99}$等）的联合分离纯化技术、质控分析技术与放射性废液减容技术的基础上，研制快速、高效、稳定的自动化分离纯化生产装置，建设甲级医用核素量产设施，搭建放化分离纯化生产线及医用同位素规范化生产（GMP）分装线，建立相关核素质量控制体系及质控分析实验室，研制放射性废液减容装置设备并建设放射性废物存贮厅，最终实现百居里级高纯医用α核素的年产能。

两项内容组成质子应用产业化平台的主要内容，满足国家在医用同位素领域的重大需求。

3.4.2 建设内容及规模

项目建设内容包括高功率靶站及叠层靶的研制、甲级α核素分离纯化生产设施及质控分析实验室建设以及相关土建工程和配套设施。

1.高功率靶站及叠层靶的研制

高功率靶站及高功率靶是同位素生产过程中关键设施和设备，围绕要解决的目标同位素生产问题，分阶段实现目标同位素量产所需的辐照靶站和靶条件。建设高功率辐照所需的靶站，设计和建设靶站屏蔽防护结构，并研制相关设备，实

现靶区热室、真空室和屏蔽体等区域耦合，实现在高辐照环境下远程控制靶体更换、辐照、转运等重要的功能。为目标同位素产生研究建设实验条件，在理论和实验基础上，研制针对锕$^{-225}$、镭$^{-223}$和铅$^{-212}$/铋$^{-212}$等同位素生产的叠层钍靶技术方案，掌握厚靶的冷却、装卸等同位素生产的关键技术。

在基础土建工程上，靶站部分建立靶站的准直测量控制网，实现复杂结构下的靶站设备准直定位安装，建设具备 100-200 kW 运行的完整屏蔽防护系统和监控联锁系统，搭建稳定的冷却系统实现 100 kW 的高功率靶及靶站屏蔽体上大量热沉积的带出，保障靶和靶站的稳定运行。为目标同位素产生研究建设所需的在线和离线测量条件，开展截面测试实验；建设辐照实验终端和紧凑型质子升能装置实现中高能质子辐照条件，实现宽能区的小剂量同位素产生辐照能力，为在线截面测量和新型医用同位素研究提供条件；搭建高纯核素分离研究条件开展高纯核素分离研究的激光共振电离实验条件，最终建立完整的中高能质子束流下目标同位素的生产和实验研究条件。

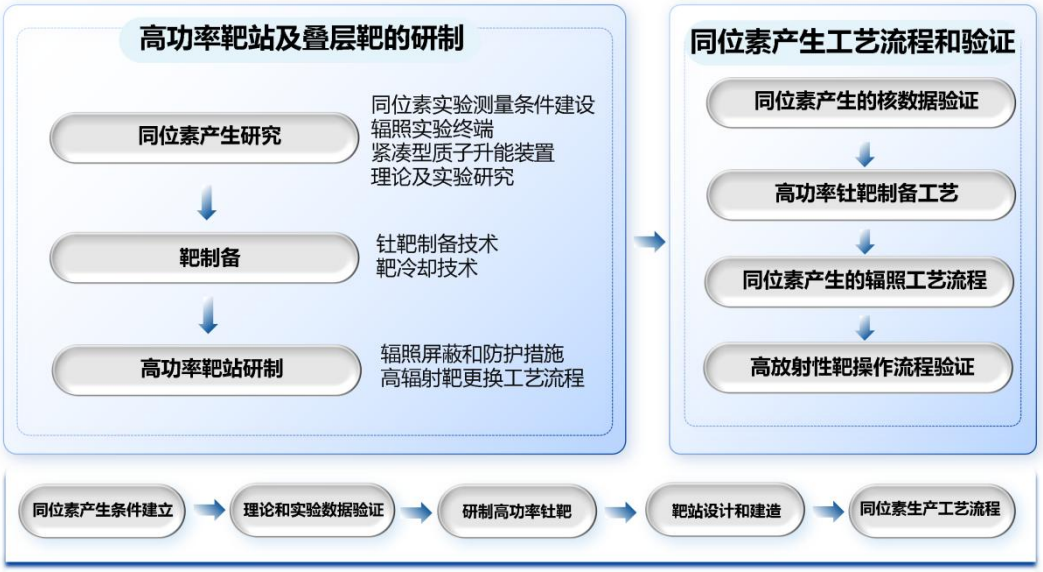


图 3.4-1 功率靶站和叠层靶的研制任务部署图

2.α核素分离纯化生产设施及质控实验室建设

本部分内容承担辐照钍靶中锕$^{-225}$、镭$^{-223}$和铅$^{-212}$/铋$^{-212}$等医用核素的分离纯化工作。基于液闪、α谱仪、γ谱仪、XRF、ICP-AES、ICP-MS 等分析仪器，建立辐照钍靶中关注核素镭$^{-223}$、镭$^{-224}$、镭$^{-225}$、铅$^{-212}$、锕$^{-225}$、锕$^{-227}$、钍$^{-232}$、钍$^{-227}$和钍$^{-228}$以及其他裂变产物干扰核素的分析方法。在此基础上建立辐照钍靶中锕$^{-225}$、镭$^{-223}$和铅$^{-212}$的分离纯化流程并进行不断优化，通过小试、中试验证并固化

工艺流程。建立快速、高灵敏的医用α核素质控分析方法和质量控制技术，完成锕-225、镭-223 和铅-212/铋-212 质控体系标准化，为临床应用提供医用级纯度的核素产品。同时考虑医用核素分离过程的放射性废物最小化，研制放射性废液减容装置，开发新的放射性废液减容技术。此外，建设甲级医用α核素生产设施、质控分析实验室及放射性废物存贮厅，搭建医用核素自动化分离纯化生产线及 GMP 分装线，实现医用核素锕-225、镭-223 和铅-212/铋-212 的规模化生产制备。任务包括α核素分离纯化、质控分析技术研发、放射性废液减容技术研发、甲级医用α核素生产设施建设，如图 3.2.2-2 所示。



图 3.4-2 辐照靶中放射性同位素的分离纯化任务部署图

3.主要单体建筑建设内容与规模

质子应用产业化平台项目新建一栋单体建筑，总占地面积 7490 平方米，总建筑面积为 23917 平方米，地上 4 层，地下 3 层。地下三层为相关工艺及公辅设备间、放射性废物存贮厅；地下二层及一层西侧为靶厅相关部分，包含靶前隧道、靶站、靶厅及一期隧道延长隧道，地下二层及一层东侧为分离纯化热室操作间及分装室。地上首层南侧设置主入口门厅，一层至四层内廊两侧功能用房主要设置实验室及相关设备用房。

3.5 项目产出方案

3.5.1 项目产出或服务能力

本项目设计产能：实现镭-223、锕-225、铅-212/铋-212 百居里级年产能。

3.5.2 质量标准要求

项目达产后，预计核素纯度≥99.9%，放射性活度误差≤±5%，符合 GMP 全流程管理要求，按照医药工业 GMP 场所建设管理规定（C 级洁净区）执行。

3.5.3 产出合理性要求

1.技术路线合理性

加速器辐照作为医用同位素生产的主要方式之一，与反应堆辐照形成优势互补，可以产生大量缺中子同位素，具有装置结构紧凑、辐照灵活和总投入低等特点。本项目利用正在建设的中国散裂中子源（CSNS）二期，同步建设同位素生产设施，以较小的成本投入，采用不同的技术路线攻克一批同位素的规模化生产技术并实现α同位素镭$^{-223}$、锕$^{-225}$、铅$^{-212}$/铋$^{-212}$的量产，解决医用同位素源头供给问题。

利用质子能量为 80 MeV-300 MeV 的直线加速器辐照钍靶，可通过 ^{232}Th(p，x)^{225}Ac/^{223}Ra/^{212}Pb 等核反应产生锕$^{-225}$、镭$^{-223}$和铅$^{-212}$/铋$^{-212}$等同位素。目前代表同位素生产最高技术水平的美国、加拿大等国家均在薄层靶技术阶段（产量低、能损大），运行功率仅为几十千瓦。如何在高功率（稳定 100 kW 运行）条件下，实现叠层靶（产量高、能效高）的稳定可持续运行，进一步提高目标同位素产率、减少杂质同位素的生成是迫切需要解决的关键科学问题，目前国内外均没有可借鉴的技术案例。

2.建设规模合理性

中国散裂中子源二期稳定运行后，可以提供 300 MeV，最大 200 kW 的质子束流。在此最大功率下每年打靶 40 次，每次辐照叠层钍靶 6 天，Th^{-227}及 A^{c-225}的年理论产额（EOB，辐照结束时的靶上产额）分别为 3160 Ci/年和 2300 Ci/年；^{223}Ra 从辐照后的 ^{227}Th 衰变获取；另外，还有约 400 Ci/年的 ^{225}Ra 理论产额可用于获取高纯医用 ^{225}Ac。考虑分离提纯及冷却后所致的损失后只剩 10%左右的 ^{223}Ra 及 ^{225}Ac，其年产能达到百居里。对于 Pb^{-212}来说，可以从多次打靶累积的 Th^{-228}中分离获取，由于 Th^{-228}半衰期较长（1.91 年），从中提取 Pb^{-212}有显著的累积倍增，较保守按 20 倍的倍增系数估算，仅需 15 Ci 的 Th^{-228}存量即可实现 300 居里 Pb^{-212}的年产量；采用 300 MeV、200 kW 的质子束流辐照 Th^{-232}叠层靶仅约需 10 次打靶即可获得足够的 ^{228}Th 存量。

项目涉及产能匹配国内2030年预测需求（保守估计需求增长10倍）。以锕$^{-225}$为例，项目建成后可支撑数十万级临床应用，解决进口依赖（国内α同位素完全依赖进口）。

第四章 项目选址与要素保障

4.1 项目选址

4.1.1 建设地点

项目建设地点位于广东省东莞市松山湖中子源路散裂中子源科学中心。

本项目建设场址所在地理位置详见下图：



图 4.1-1 项目场址所在地理位置示意图

4.1.2 场址现状

场址现状情况。现状情况如下图所示：



图 4.1-2 项目现状情况

4.2 项目建设条件

4.2.1 自然环境条件

4.2.1.1 社会经济情况

东莞松山湖地处东莞中部，与深圳市光明科学城接壤。2001 年设立产业园区，2010 年升格为国家级高新区；2018 年，在松山湖国家高新区部分区域基础上，整合大朗、大岭山、黄江等周边镇部分区域共 90.5 平方公里，规划建设松山湖科学城；2020 年 7 月，与深圳光明科学城共同获批建设大湾区综合性国家科学中心先行启动区。

先进制造业集聚。形成了以华为公司为龙头的千亿级智能移动终端产业集群；重点布局智能装备制造、生物医药、新能源、新材料等战略性新兴产业；大力发展数字经济，入选省产业集群数字化转型试点、省数字服务出口基地名单。市场主体超过 17000 户，拥有 7 家上市企业、37 家专精特新“小巨人”企业、222 家省级专精特新中小企业。拥有千亿元企业 1 家，百亿元企业 6 家，50 亿元企业 5 家，10 亿元企业 25 家。2024 年，先进制造业增加值占比 57.7%，高技术制造业增加值占比 89%。获评国家绿色产业示范基地、国家级外贸转型升级基地。

科创资源集聚。先后建成中国唯一、全球第四台脉冲式散裂中子源、南方光源研究测试平台；散裂中子源二期、先进阿秒激光设施已动工建设。以国家实验

室标准建设的省实验室—松山湖材料实验室于 2018 年投入使用。现有广东医科大学、东莞理工学院、香港城市大学（东莞）、大湾区大学（松山湖校区）等 6 所高校。拥有省级新型研发机构 18 家，国家级孵化器 15 家，国家高新技术企业 750 家，市级以上重点实验室和工程技术研究中心 389 家。全社会 R&D 投入强度达 13%。

创新创业氛围浓厚。东莞市高层次人才在松山湖相对集聚，现有各类国家级人才 102 名、东莞市特色人才 924 名、海外人才 3500 余名，本科及同等学历以上人才占比超 50%。截至 2024 年 10 月底，有效发明专利累计 13793 件，PCT 专利申请 1838 件，获评国家知识产权强国建设试点园区。建成国际创新创业社区、港澳青年创新创业基地等平台，密集举办松山湖科学会议、数学论坛、粤港澳大湾区科技创新论坛、粤港澳大湾区院士峰会、华为全球开发者大会等科技创新活动，人才吸引力不断提升。

4.2.1.2 地形地貌

东莞市地势东南高、西北低。东莞市地貌以丘陵台地、冲积平原为主，丘陵台地占全市陆地面积的 44.5%，冲积平原占 43.3%，山地占 6.2%。东莞市东南部多山，东部山体庞大，分割强烈，集中成片，起伏较大，海拔在 200～600 米，坡度约 30°，其中银瓶嘴山主峰高 898.2 米，为东莞市最高峰；中南部低山丘陵成片，为丘陵台地区；东北部接近东江河滨，岗地发育，陆地和河谷平原分布其中，海拔 30～80 米，坡度小，地势起伏和缓，多为易于积水的埔田区；西北部是东江冲积而成的三角洲平原，多为地势低平、水网纵横的围田区；西南部是濒临珠江口的江河冲积平原，地势平坦而低陷，是受潮汐影响较大的沙咸田地区。

项目所属区域为珠江三角洲和丘陵台地两种地貌类型区，地貌以平原、丘陵为主，有山地、台地、岗地等类型。地势东南高、西北低，东南向西北倾斜，由海拔 800～400 米逐渐降到 2~0.0l 米。可分为三大基本自然地理区：东江平原及三角洲区、中部和东南山丘区、中南部丘陵台地区。

园区范围属于丘陵和残丘区，多为丘陵、丘间洼地、沟坎、山前平地，局部为鱼塘、小河谷，地形起伏不平。一期工程地面高程在 27.5～144.2 米之间，其中最高山体标高为 144.2 米，山体坡度约为 1:1.5，拟建场地的中部为一近圆形山包，山顶高程为 86 米，圆形山包向西南方有一个小山包，顶部高程为 70 米；

场地内冲沟标高在 38.8 米至 27.5 米之间。

园区附近范围的浅表层受人类活动影响改造明显，北部低丘地带多为荔枝园，种植荔枝、龙眼、桉树，南部为樟木头林场茂密的人工林；原来的一些河谷被利用改造成 3 个小型水库（水流石水库、草芝坑水库和竹子陂水库），西南部有一中型罗田水库，山间洼地和沟谷多为养鱼池塘，在一些宽浅沟谷中种植蔬菜。

4.2.1.3 气候条件

东莞市属于亚热带季风气候，长夏无冬，光照充足，热量丰富，气候温暖，温度变幅小，雨量充沛，干湿季明显。2024 年东莞市总降水量为 2623.5 毫米，较常年平均值偏多 39%，排名历史第二位，仅次于 2008 年；年平均气温为 23.7℃，较常年偏高 0.8℃，位居历史第三高；年日照时数为 1644.6 小时，较常年平均值偏少 13%。

4.2.2 工程地质

参考中国散裂中子源二期工程地质情况，本项目选址与参考资料选址位于同一地块，具备参考价值。

4.2.2.1 层岩性

场地原始地貌属于山前坡地地貌单元，地表原为耕地和荔枝种植地，经人工填土整平后，原有地貌特征已改变。

本区从新到老地层依次为：

① 第四系坡积层（Q^{dl}）

粉质黏土（层序号为 2）：黄色，棕黄色，黄红色，稍湿－湿，可塑，主要由粉粘粒组成，含少量粗砂、砾石颗粒，胶结一般，黏性稍强，高干强度，高韧性。层顶埋深 1.50～15.90 米，平均 9.09 米，层顶高程为 33.43～47.63 米，平均 38.40 m。

②震旦系（Z）基岩

主要为震旦系变质岩，受区域动力热流变质作用后形成的产物，场地内岩性、岩体结构较复杂，主要包括有混合花岗岩、混合片麻岩、（蚀变）闪长玢岩（岩脉）等。

其岩石特征主要为：

混合片麻岩：岩石矿物成分主要为长石、石英和黑云母，细粒结构，片麻状构造；

闪长玢岩：岩石矿物成分主要为斜长石和闪长石，斑状结构，块状构造；

混合花岗岩：岩石矿物成分主要为长石、石英和云母，中细粒结构，块状构造。

4.2.2.2 水文地质条件

据钻探揭露，场地内地下水按其埋藏条件和含水介质特征含水层主要为第四系孔隙水和基岩裂隙水；

人工填土层厚度大，存在少量上层滞水，局部透水性较好，受大气降雨补给，其赋水性因雨季和干旱季节差异较大，排泄方式主要为自然蒸发和垂直下渗；

坡积含砂粉质粘土层水量贫乏，属弱透水层，相对隔水，赋水性差；残积粗粒带（砂质粘性土和全风化岩）水量中等－贫乏，属弱透水层，相对隔水，赋水性差；地下水来源主要接受大气降水渗透补给，水位变化受季节和降雨量影响较大，排泄方式主要为自然蒸发和侧向径流。

本场地裂隙水主要赋存于基岩风化裂隙中，赋水性中等，含水层厚度因裂隙、节理发育程度不同而差异较大，透水性不均匀，透水性取决于裂缝宽度及贯通性，本场地裂隙水在强风化下部和中风化岩上部及碎裂岩一带透水性相对较好，基岩裂隙水补给主要来源于外围基岩裂隙水的侧向补给，并接受上部土层孔隙水补给，排泄方式主要为侧向迳流。

4.2.3 工程水文

项目所在流域地表水系属珠江水系东江支流寒溪河和南部东宝河支流。项目附近分布着几个中型水库，分别是松木山水库、罗田水库（深圳）。2005 年末松木山水库蓄水量 2892 万立方米，年蓄水量 1737 万立方米。水库水质较好，全年均能保持在II～III 类。小型水库有水流石水库、草芝坑水库和竹子陂水库，是当地村镇生活用水的主要来源。在丘间谷地和洼地还分布有不少用于养育和灌溉的池塘。

根据项目周围的地形地貌，项目地面整体由东南坡向西北面。项目的南侧、东南侧为山地，地势较高，由于项目用地为山体坡地，在场地平整后项目东南及

南侧出现挖方的高边坡，在暴雨洪水出现时，山体及边坡的洪水会直接影响到地块内设施的安全。因此，在边坡顶部和坡脚分别设置了截洪沟和排洪沟，主要收集山体坡面、部分地块雨水及高边坡汇水，最终排向附近的水库中。

4.2.4 交通运输条件

松山湖地处粤港澳大湾区核心位置、东莞地理几何中心，坐落于“广深港”黄金腹地，南邻香港、深圳，北靠广州，是珠三角国家自主创新示范区重要成员、广深港澳科技创新走廊重要节点。

园区道路交通便捷，交通路网四通八达。距离广州、深圳机场两大国际航运枢纽均在 1 小时车程以内，距离澳门国际机场、香港国际机场均在 2 小时车程以内。

高速公路方面，莞深高速（G94）由南北方向穿过园区北部工业区，常虎高速（G9411）紧靠园区南部，莞番高速紧靠园区北部通过。园区周边共设有松山湖大朗站和石大路站（莞深高速）、松山湖站和大岭山站（常虎高速）、松山湖南站（龙大高速）5 个高速出入口。

交通干道方面，园区内部及周边涵盖了 G107 莞长公路、S122 石大公路、S357 莞樟公路、S529 东平大道、松山湖大道、生态园大道、东部快速、桑茶快速等交通干道。此外，环莞快速三期、松山湖科学城至光明科学城通道（东莞段）已动工。

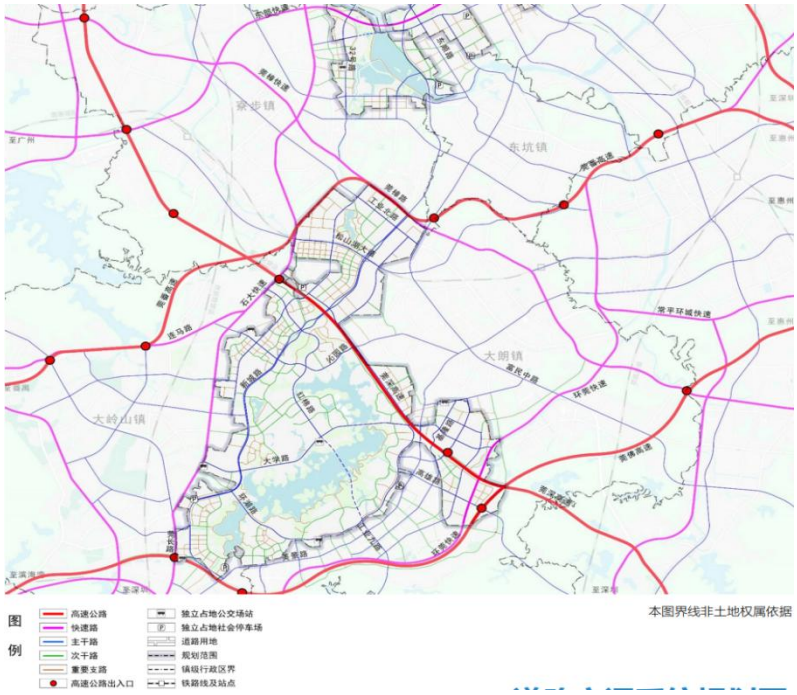


图 4.2-1 松山湖道路交通系统规划示意图

城际轨道方面，广深铁路和莞惠城际均经过园区，其中：广深铁路穿过生态园片区，去往广深铁路东莞站约 20 分钟车程；莞惠城际在园区设有松山湖北站，目前已与佛莞城际、广佛南环、佛肇城际实现“四线贯通”运营，从松山湖北站至番禺站（广州南站）最快仅需 48 分钟。另外，佛穗莞城际、中轴城际、中南虎、深莞增城际等四条涉及松山湖的城际轨道线路正在规划中。

城市轨道方面，在建的市域轨道 R1 线在松山湖设松山湖站和广东医科大学站，近期规划建设的市域轨道 R3 线在松山湖设松山湖北站、松山湖站、广东医科大学站、大学城站和金多港站。

4.2.5 施工条件

项目所在地紧靠高速铁路，运输条件优越，施工材料运输方便；项目所在地劳动力资源丰富，能够满足项目建设的需求；项目所在地建筑材料供应条件较好。总体来看，项目建设的施工条件具备。

4.2.6 公用工程条件

1、给水条件

给水水源采用市政供水，引自中国散裂中子源园区给水管网，可以满足项目用水需求。

消防水源可引自中国散裂中子源园区消防管网，室内外消防用水由园区消防水池提供，消防水池位于办公区地下层，消防贮水总容积 800 立方米。

2、排水及低放废水排放

园区已统一建设园区污水管网系统，最终排入市政污水管网。直线、RCS、靶站等部位排放少量有放射性的低放废水，这些低放废水经分区域收集储存，经衰变至水质合格后，直接排入园区污水管网系统。

3、供电条件

为保证供电的可靠性要求，中国散裂中子源园区已从当地电网引入两回 110 kV 线路，可以满足本项目供电需求。园区内设置一座 110 kV/10 kV 总变电站，站内配置 110 kV/10 kV 有载自动调压变压器。在园区内按照靠近用电负荷中心的原则，可设置相应的本地 10 kV/0.4 kV 二级变配电所。主装置区设备可采用 10 kV 高压直接供电、380/220 V 低压供电等供电形式。

4.3 要素保障分析

4.3.1 土地要素保障

1、用地权属

本项目已于 2019 年获得不动产权证书（粤 2019 东莞不动产权第 0277344 号）（详见附件一），为中国科学院高能物理研究所单独所有，权利类型为国有建设用地使用权，权利性质为划拨。用地位于广东省东莞市松山湖中子源路散裂中子源科学中心，已获得《建设项目用地预审与选址意见书》（用字第 441900202100149 号）（详见附件三），土地用途为 C6 教育科研设计，用地面积 26.7623 公顷，容积率为 0.40，绿地率≥35%，建筑密度≤20%；目前园区并未改变用地属性，满足本项目建设生产要求。

2、东莞市大朗镇 2021-02 地块规划选址评估及地块控制性详细规划

根据《东莞市大朗镇 2021-02 地块规划选址评估及地块控制性详细规划图则》（详见下图），本项目地块编号为 DL2021-02，用地性质为科研设计用地，用地面积为 267623.07 平方米，容积率≤1.5，建筑密度 50%，建筑限高 40 米，绿地率≥25%。详见下图：

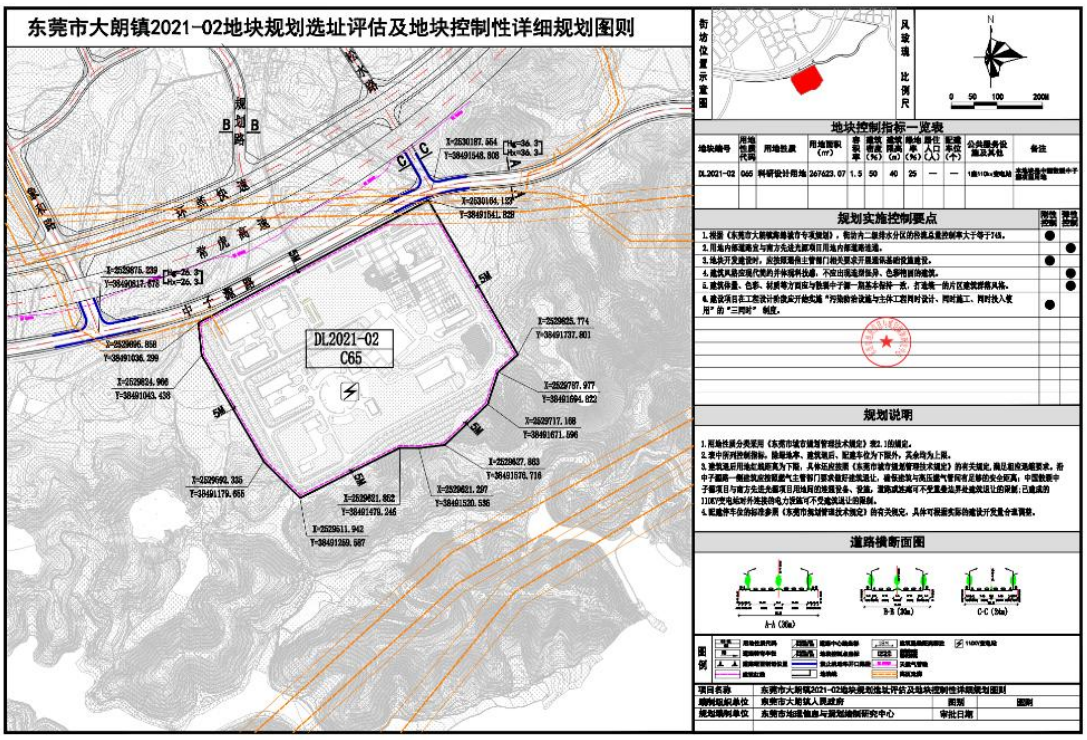


图 4.3-1 东莞市大朗镇 2021-02 地块规划选址评估及地块控制性详细规划

图 4.3-2

4.3.2 资源环境要素保障

1、水资源承载能力

项目周边给水管网较完善，能够基本满足各项目建成后的用水需求。

2、能源承载力

项目周边电网及燃气管网建设较完善。供电及供气能力能基本满足项目的用电需求。

3、环境敏感区

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），环境敏感区主要包括下列区域：（一）国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区；（二）除（一）外的生态保护红线管控范围，永久基本农田、基本草原、自然公园（森林公园、地质公园、海洋公园等）、重要湿地、天然林，重点保护野生动物栖息地，重点保护野生植物生长繁殖地，重要水生生物的自然产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道，天然渔场，水土流失重点预防区和重点治理区、沙化土地封禁保护区、封闭及半封闭海域；（三）以居住、医疗卫生、文化教育、科研、行政办公为主要功能的区域，以及文物保护单位。

本项目周边主要为山体及村落，环境敏感区涉及村落，不涉及风景名胜区、生态红线区、水源保护区、自然保护区和其他需要特别保护的环境敏感地区，存在泥石流、滑坡、塌陷、溶洞等潜在地质灾害影响的地区。项目在运营期内严格落实水、气、固体废物等各项环境要素的环境影响减缓措施，减少对周边环境影响。从环境保护的角度，项目的实施是可行的。

4、大气环境承载能力

根据《2024 东莞市生态环境状况公报》，2024 年东莞市空气质量综合指数为 3.02，空气质量指数（AQI）范围为 20-151，达标天数比例为 89.3%，全年空气质量优 206 天、良 121 天、轻度污染 37 天、中度污染 2 天，未出现重度及以上污染。2024 年东莞市空气质量同比改善，综合指数下降 0.12，达标天数比例上升 0.5 个百分点，优良天数增加 5 天。

本项目对居住和公共环境基本无干扰、污染和安全隐患，所在环境空气可承载本项目的实施。

5、水环境承载力

项目实施后，产生的生活污水按照污水排放的标准规定，严格执行污染治理措施，达到国家和地区现行排放标准，对所在地区的水环境质量不会造成影响。

运营过程产生的放射性废液处理拟通过提前预留废液存储空间暂时储存再处理。

第五章 项目建设方案

5.1 技术方案

5.1.1 靶站分总体

5.1.1.1 高功率靶站及靶

高功率靶站是高功率质子束轰击靶产生目标同位素的场所，是包括冷却、远程更换强放射性靶体、屏蔽防护和运行监测等功能的复杂设施，本项目重点是建设高效的屏蔽防护、冷却、控制和准直测量条件。

为满足同位素生产所需的能力条件建设，高功率靶站设计为 200 kW，保证 100 kW 稳定运行，同时为未来保留进一步升级的可能性。高功率靶站是保证目标同位素达到产量的基本条件，满足稳定运行需求，预留功率为未来 CSNS 具备进一步升级的潜力。

本项目采用的方案是质子束轰击钍靶产生目标放射性同位素，如 Ac^{-225}、Ra^{-223} 等医用放射性同位素。流强 200 kW 的 300 MeV 中能质子束轰击重金属钍靶，将发生复杂的散裂反应过程，在此过程中产生的放射性核素超过 400 种，如下图 5.1-1 所示。在打靶运行过程中还会产生大量中子、伽马、电子、次级质子等多种粒子。打靶过程中产生的中子能谱宽，高能中子和快中子多，高能伽马能量有几十 MeV。因此靶站的首先功能是起到高放射性屏蔽功能，对人和自然环境起到保护作用。

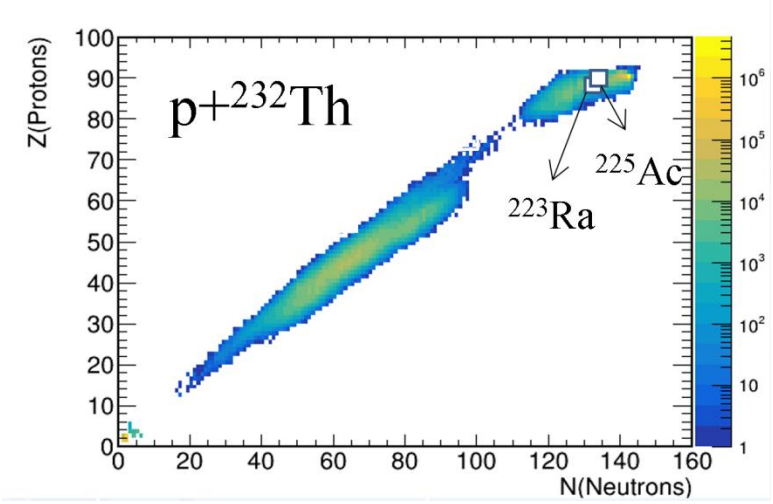


图 5.1-1 300 MeV 质子轰击钍靶产生的核素图

在产生的所有重离子和次级粒子中，中子和高能伽马是屏蔽难点。同时考虑建设经济性，根据屏蔽设计的实际经验，综合考虑建设成本，采用铁和混凝土的组合屏蔽，屏蔽设计思路如下图 5.1-2 所示。在打靶时，钍靶体放在真空靶室内部，环绕靶体真空靶室的第一层屏蔽采用普通钢屏蔽，能将次级中子能量迅速降低到热中子附近，然后采用混凝土将热中子吸收。靶站的后部直接与土壤接触，可以利用天然土壤屏蔽，以此降低屏蔽体整体厚度。靶站顶部和侧边需要作为高功率靶的维护空间，为了减少插入件的长度，采用重混凝土结构，以此节省维护空间。靶前质子隧道也采用钢和普通混凝土的屏蔽方案，可以节省靶站整体占地的空间。

靶的更换和靶站的维护分别在侧边热室和顶部维护间，根据 CSNS 运行周期，每周辐照 6 天，维护 1 天。在维护当天将靶插入件从靶站中心抽出到侧面热室，取出辐照后钍靶，放入靶站后部的衰变孔道，随后将新靶体布置在插入件上，然后将插入件放入靶站中心开始下一轮辐照，衰变 10～20 天的靶体采用自动传输装置送到下游热室进行分离纯化处理，以此循环，实现目标同位素的辐照生产。靶站顶部设置维护间，用于维护靶站屏蔽、质子束窗、冷却设备和靶站配套电气等设备。

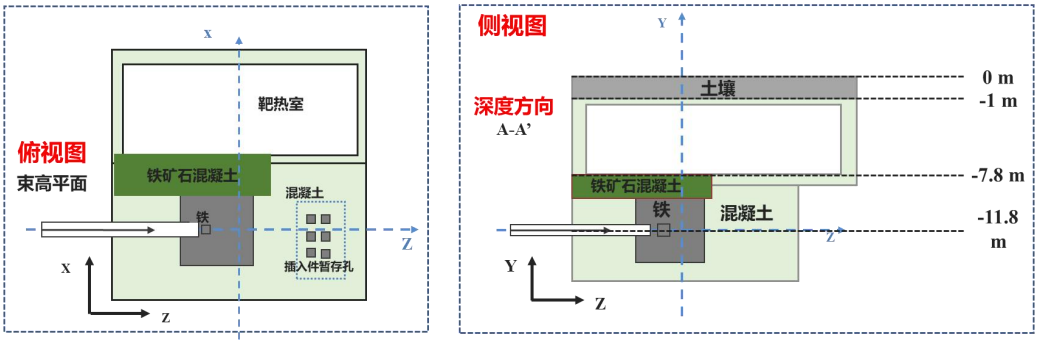


图 5.1-2 靶站布局图水平方向（左图），竖直方向（右图）

在 200 kW 的质子束轰击约 72 mm 厚钍靶情况，在靶站顶部维护区域设置屏蔽剂量限值 100 μSv/h，在后部设置屏蔽剂量限值 5.5 mSv/h，在左边由于靠近热室和样品暂存间，设置屏蔽剂量限值 25 μSv/h，靶站右侧设为监督区，外边界屏蔽限值 2.5 μSv/h，靶前隧道两侧设置屏蔽限值 2.5 μSv/h。模拟计算结果如下图 5.1-3 所示，此屏蔽设计方案是满足屏蔽要求情况下的优化方案。

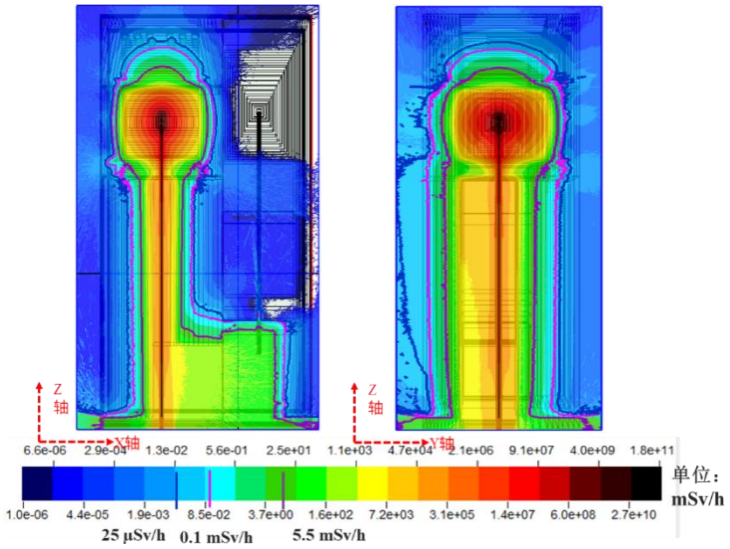


图 5.1-3 靶站瞬发剂量率水平方向（左图），竖直方向（右图）

高功率质子束轰击厚钍靶过程，考虑到目标同位素的产生的效率及节省昂贵的靶材问题，钍靶厚度约 72 mm，打靶后质子能量剩余还有 115 MeV 左右，100 kW 打靶过程中质子能量分布如下图 5.1-4 所示。参与反应的质子激发的次级质子处在 100 MeV 以下为主，这部分总功率约 0.5 kW，穿过靶后的质子能量峰值在 115 MeV 附近，总功率约 11 kW，有一部分在靶前部发生小角度散射的质子，能量范围较宽，从 125 MeV 到 300 MeV，这部分功率较大，约 31 kW，总体上打完靶后对于 100 kW 质子束，还有近 42.5 kW 的质子束将散射在屏蔽体上，造成很大热沉积，另外靶上沉积热量约 51 kW。在 200 kW 情况下，将近 85 kW 的热量将沉积在屏蔽体上，102 kW 热量沉积靶上，因此靶和屏蔽体必须采取有效的冷却措施。

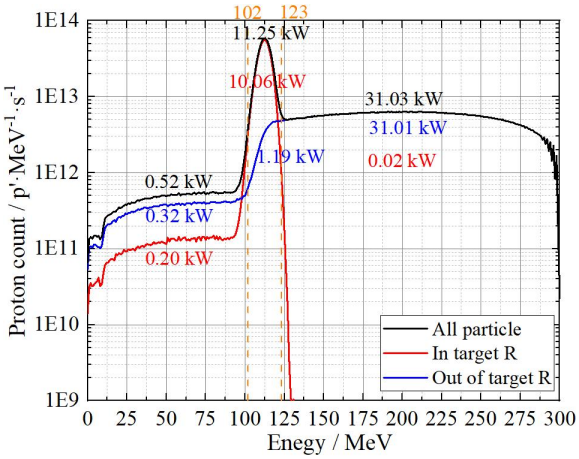


图 5.1-4 100 kW 质子束打钍靶后质子能量谱图

本项目中靶体将在高温下运行，采用氦气冷却方案，使用高速氦气流将靶片热量带出，从而实现高功率靶的稳定运行。靶的氦气冷却方案如下图 5.1-5 所示，靶体为片状靶，高速氦气从侧面气道穿过靶片，通过表面热交换带走热量，如图 5.1-6 所示，采用直径 25 mm 钍靶片进行热力学计算，平衡温度远低于钍靶的熔点。另一方面，在打靶过程中会有一些产生的放射性核素析出，这部分放射性核素析出后如果进入氦气冷却系统，将污染整个冷却系统，对运行操作带来困难，因此在氦冷却回路中需要过滤掉放射性核素，保持回路的洁净。本项目将在一级回路中增加一套高效核级过滤系统，如图 5.1-5 所示，用于吸附过滤放射性核素。

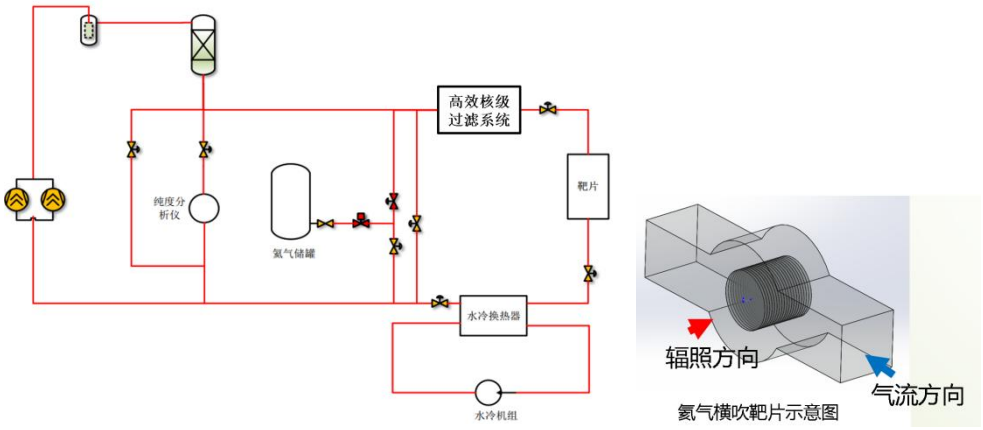


图 5.1-5 氦气冷却循环系统（左）和靶片冷却示意图（右）

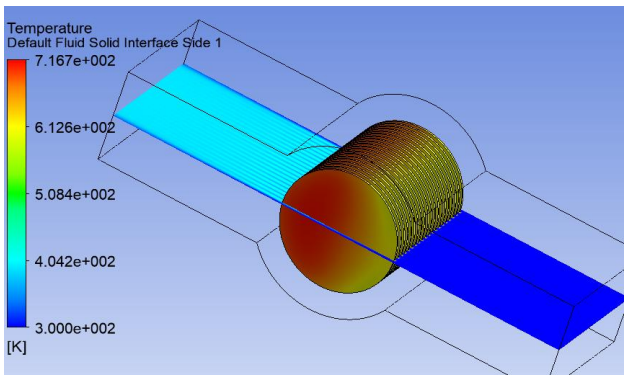


图 5.1-6 氦气冷却靶的热力学计算

另一方面，剩余质子和次级粒子会沉积大量的热在屏蔽体上，如图 5.1-7 所示，经过模拟计算发现，由于中能质子穿透能力有限，大量的热量沉积在真空靶室和屏蔽钢上，且在靶后部集中，沉积热密度约 10 W/cm³，整体上比较分散，由于总体热沉积密度不大，本项目中将首先采用效率较高的水冷方式，在真空靶室外壁和

屏蔽体中通冷却水管，将内部热量带出了内屏蔽体，内屏蔽外部包覆密封层，防止水的意外泄漏，少量的外屏蔽层热量，将在外屏蔽体中设计风道，使用循环风冷方式。

水冷系统是屏蔽体冷却的核心，由于还存在水活化的问题，水冷系统的一级循环是封闭回路，采用二次热交换方式与外界换热，一级回路上包含延迟罐、换热器、过滤器和交换器等，其中树脂捕集器、粒子交换器和过滤器用于水的放射性核素过滤和杂质过滤。延迟罐用于冷却水的存放和短寿核素衰变，流程图如图5.1-8 所示。

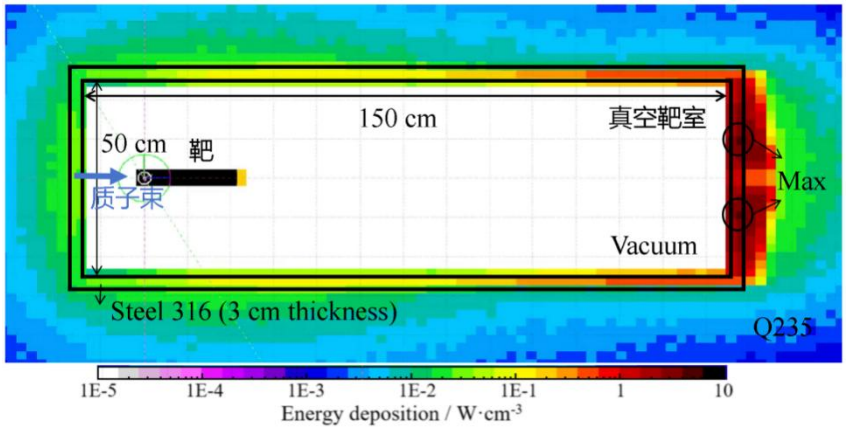


图 5.1-7 真空靶室和屏蔽钢上的热沉积分布

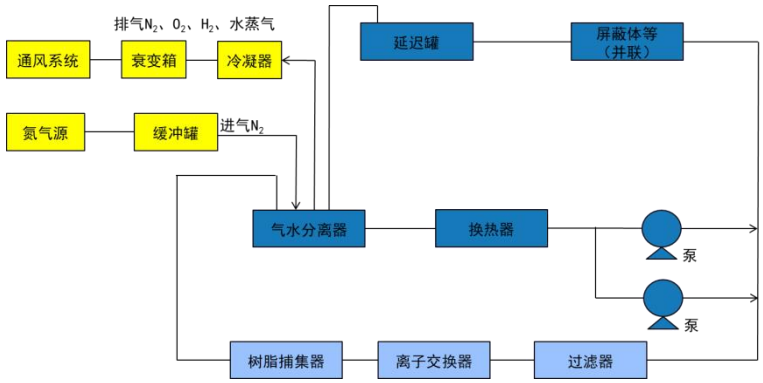


图 5.1-8 水冷却系统工艺流程图

靶站控制系统是靶站稳定运行的核心支撑，主要涵盖运行数据收集、设备远程控制、放射区域视频采集及中控室搭建等关键内容。在数据采集方面，系统聚焦于温度、流强、设备状态信息等核心参数的实时监测，确保关键数据的准确性与实时性。远程控制功能则实现对设备运动、参数调整切换等，提升操作的便捷

性与安全性。针对放射区域的特殊操作需求，系统配备高清远程传输设备，可实时采集并传输设备运行状态与操作画面，为中控室提供清晰、稳定的现场影像。考虑到热室、靶站顶部维护间等区域放射性较强，本项目特别部署抗辐照靶站监控系统，满足高辐射环境下的视频采集与实时监控要求，保障操作人员对关键区域的可视化管理。靶站监控系统总体方案如下图 5.1-9 所示，通过合理的硬件部署与软件架构设计，实现数据采集、远程控制与视频监控的有机协同，为靶站的安全、稳定运行提供全面的技术保障。

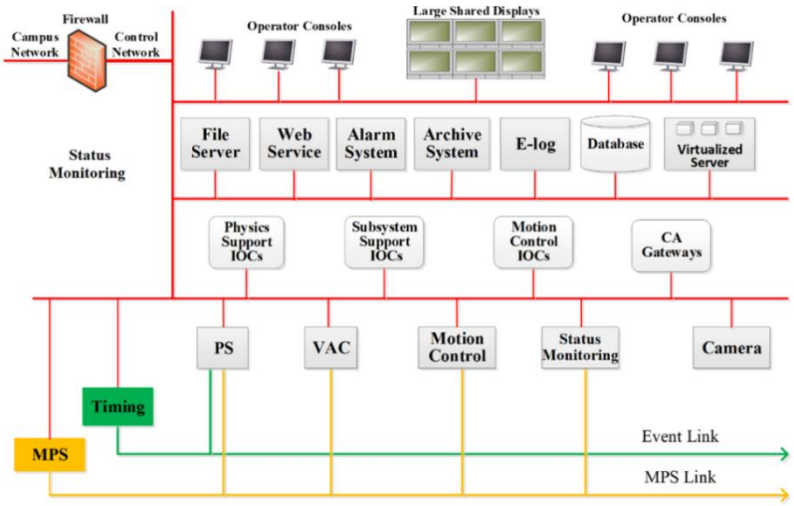


图 5.1-9 同位素项目靶站监控系统方案

由于质子束打靶过程中，要求束流与靶中心对齐，另外靶中设备和屏蔽安装都需要精确确定设备位置，靶站需要一整套的准直测量系统，本项目主要考虑将靶位置引出外部，实现与质子加速器的束流对中。靶体本身在靶站内部，在打靶后将不能直视测量。因此，一方面需要布置准直控制网，并测量控制网坐标，从而为首次安装和后期复测提供设备基准位置；另一方面，由于靶站放射性剂量较高，人员和仪器无法近距离进行接触式测量，需要进行远距离非接触式精密扫描测量。准直控制网布局及测量示意图如下图 5.1-10 所示，本项目为准直控制网的测量以及靶站设备的测量提供高性能的准直设备，实现控制网坐标测量和设备高精度定位。

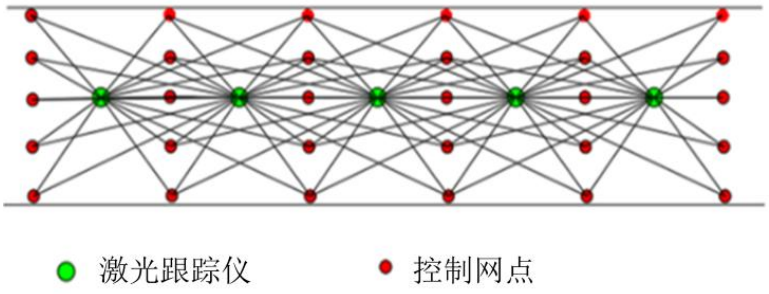


图 5.1-10 靶站准直测量控制网布局和测量示意图

5.1.1.2 同位素产生研究

利用中能质子束轰击钍靶产生目标医用同位素过程中，由于钍是重金属，已经有很强的散裂反应过程，除了所需的目标同位素外，产生大量的杂质，即使目标同位素的产生过程，也有多个产生反应道到达目标的同位素。然而，目前关于产生 Ac^{-225} 的微观反应机制还不清晰，理论计算还存在较大差异，随着能量变化的实验总反应截面也存在很大误差，如图 5.1-11 所示，理论与实验差距较大，同时实验截面之间也差异较大。一方面，目标同位素生产成本非常高，需要优化靶物理设计和工艺设计，如果能获得优化靶几何从而获得高产额，将对于降低生产成本和提高辐照效率具有重要影响，这要求我们对同位素产生理论和实验进行深入研究。另一方面，医用同位素对分离出来的核素纯度要求特别高，这需要我们开展同位素本底核素的核数据测量，同时开展高纯核素分离研究，从而为后续药物实验提供实验用的高纯核素。同位素产生研究包括理论建模研究、辐照终端、实验测量、高纯同位素分离、紧凑型质子升能装置几部分，其中各组成部分关系如图 5.1-12 所示。

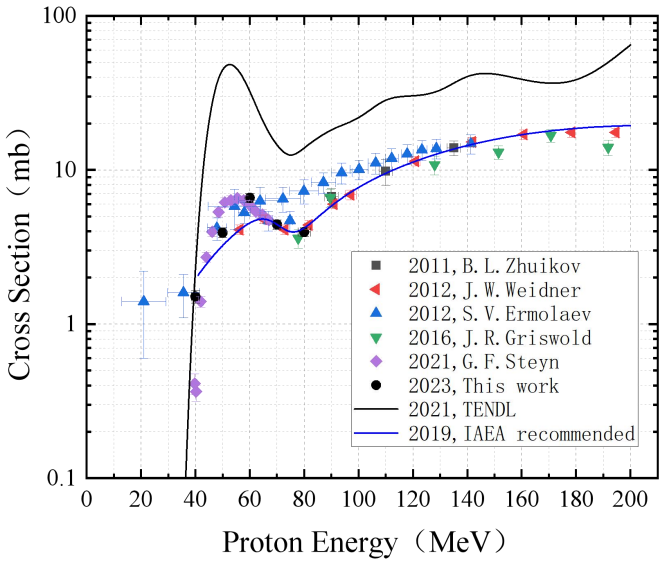


图 5.1-11 质子打钍靶的实验截面数据与理论预研比较

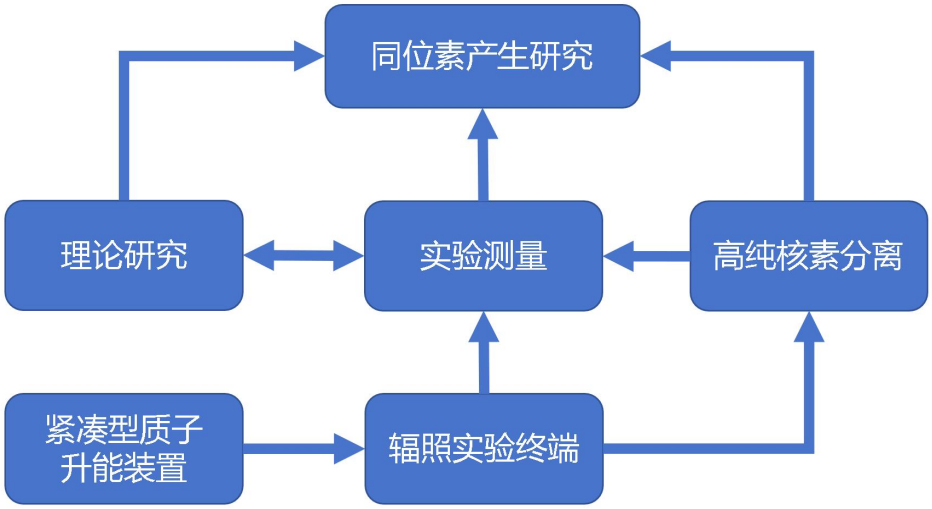


图 5.1-12 同位素产生研究的组成及关系

5.1.1.2.2 辐照实验终端

辐照实验终端是开展中能质子轰击钍靶的基础反应过程和机制实验研究的设施，同时也是辐照获取小剂量目标同位素的设施，为解靶、分离和纯化工艺研究提供辐照条件。辐照终端包括废束站、传输线、实验终端及束流条件和测量等部分。

考虑到建设成本及目标同位素单次产额需求，辐照实验终端设计承受的束流功率上限为 200 kW，最高质子能量 300 MeV，能量可以在 100-300 MeV 之间调节。辐照实验终端的布局如下图 5.1-13 所示，分为两个实验厅，前面一个实验厅 1 为低本底实验厅，用于核反应过程的实验研究，通过控制从废束站反冲回来的中子和伽马本底实现实验厅 1 的低本底；下游实验厅 2 为高剂量辐照厅，用于辐照样品产生目标同位素，可以为开展离线伽马测量、分离和纯化的实验研究提供辐照条件。在厅 1 上游束线上布置降能器，实现束流能量在 100-300 MeV 之间调节。同时布置准直器，用于实现束流的准直，为实验终端提供所需的束斑尺寸。在终端的末端放置废束站，用于吸收剩余废束。考虑建设成本，废束站与高功率靶站共用屏蔽体。本项目主要建设辐照终端废束站、实验厅及质子隧道部分。

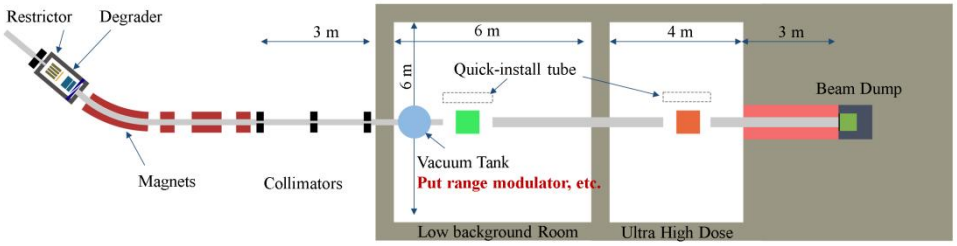


图 5.1-13 辐照实验终端的布局

辐照实验终端是同位素技术研发和生产之间的桥梁，是可以开展新方法、新技术的探索、验证的基础设施。设计 1 kW 的束流功率，在屏蔽难度和运行成本上都比较低。辐照实验终端将建成国内第一个专用的同位素产生研究平台。

5.1.1.2.3 核反应数据实验测量

利用质子与 Th^{-232} 反应生产 Ac^{-225} 等目标放射性同位素，目前实验测量及不同理论模型给出的放射性同位素的产生截面数据差异大，且缺乏质子能量大于 200 MeV 时的放射性同位素产生截面数据。同时质子与 Th^{-232} 反应生成目标同位素的反应道比较多，涉及不同的反应过程及衰变过程。

本项目计划基于辐照实验终端 100-300 MeV 质子束流开展同位素生产，为了优化靶的设计以及目标同位素的实际生产流程方案，详细测量目标放射性同位素产生反应道的截面，得到不同质子能量、不同打靶分离周期等实验情况下的产额信息。

计划建设同位素产生研究实验室，在本实验室中构建同位素产生实验研究系

统，对质子与 Th^{-232} 反应生成目标同位素的截面数据开展实验测量，最终得到100-300 MeV 质子能区目标同位素产生截面数据及中间反应过程具体信息，明确不同反应道对最终同位素产生的产额影响。

实验室建设具备高精度伽马射线测量、级联伽马符合测量、α/β等带电粒子探测、α/β与伽马射线符合测量等测量能力，用于同位素产生研究。为了具备这些研究能力，计划使用 2 台高纯锗探测器、硅探测器、塑料闪烁体探测器、气体电离室探测器等探测器。实验室需要为这些探测器提供工作条件，实验室内计划有电制冷高纯锗探测器、铅室、屏蔽系统、真空靶室、机械泵及分子泵、半导体探测器、塑料闪烁体探测器、高压电源、低压电源、电源滤波器、UPS 电源、波形数字化采样、样品架、操作台、干燥柜等设备，以及地线、电压滤波器（获取干净电）、洁净间等条件。由于匹配屏蔽铅室的高纯锗探测器重量较大，需要实验室的地板承重能力达到 2 t/㎡ 。设计实验室功能分为：高精度伽马射线测量区、带电粒子测量区、β-γ符合测量区、数据采集功能区、材料储存区、样品储存区、实验操作台等区域，占地面积预计约为 60 ㎡。

具体功能区域划分：

高精度伽马射线测量区：匹配屏蔽铅室的高纯锗探测器，对样品进行伽马射线测量，区分不同核素，需要匹配高压电源、低压电源、UPS 电源、多道分析器等设备。

带电粒子测量区：需要真空环境，使用真空靶室及相应的真空泵组搭建实验条件，开展出射带电粒子测量，需要匹配高压电源、低压电源、前置放大器、波形数字化采样等设备。

β-γ符合测量区：塑料闪烁体与高纯锗探测器符合探测，对β缓发伽马等衰变过程开展测量，需要匹配高压电源、低压电源、前置放大器、铅屏蔽材料、波形数字化采样等设备。

数据采集功能区：计划放置 PXIe 机箱、波形数字化采样电子学插件等设备，用于探测器系统的数据采集。

5.1.1.2.4 高纯核素分离研究

医用同位素在应用到人体治疗中，受副作用及放射性排泄物管理等问题，通

常对医用同位素的纯度要求很高。然后由于化学分离通常无法分离同一元素的同位素，例如在提纯医用同位素 Ac^{-225} 过程中，需要将 Ac^{-226} 和 Ac^{-227} 分离掉，特别是 Ac^{-227} 的半衰期 21 年，远大于 Ac^{-225} 的半衰期。采用物理方法是目前最优的选择方法，目前国际上在研究中的装置是质量分离系统。

我们正在考虑质量分离系统方案如下图 5.1-14 所示，首先采用化学分离方法，分离出纯度较高的 Ac 元素，然后将 Ac 放置在高温靶室中进行高温蒸发，蒸发后的 Ac 原子在引出管中被激光电离，电离后的 Ac 离子被电极加速，然后经过分析磁铁偏转，对 Ac^{-225}、Ac^{-226} 和 Ac^{-227} 进行分离。

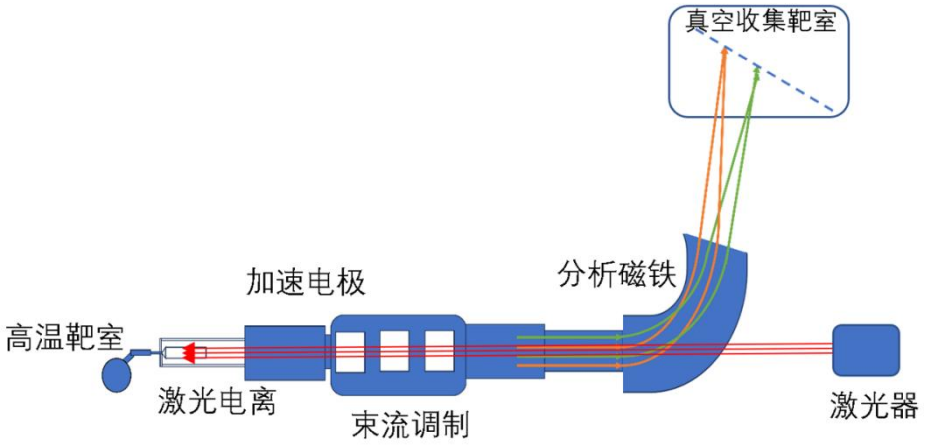


图 5.1-14　质量分离系统组成

质量分离系统中 Ac 原子电离中电离效率和激光器稳定性和波长选择是核心，建立先进激光共振电离研究系统是急需的。部署高温靶室、加速电极系统、离子测量设备、多路高功率、高精度固态可调谐激光系统，波长范围覆盖目标同位素原子所需的特定共振跃迁。该系统是实现高选择性、高效率两步（或多步）共振电离的关键核心装备。

依托该实验平台，本项目将重点开展：

1．高效、高选择性共振电离方案开发：针对特定医用同位素（如 Ac^{-225} 等），筛选最优激光波长组合，开发并验证高效、高纯度的电离路径。

2．激光－同位素原子相互作用机制研究：深入探究目标医用同位素原子在特定激光参数下的激发、电离截面及动力学过程，为优化分离效率与纯度提供理论基础。

3．分离工艺集成与验证：实现从辐照产物到激光选择性电离、再到质量分离的全流程集成与工艺验证，并最终获得满足医疗要求的高纯度同位素样品。

该实验平台将有助于攻克原子激光电离的关键环节，掌握原子激光共振电离这一分离高纯同位素的核心技术，填补国内在该领域的空白，实现高纯医用同位素的高效、快速分离，为国内放射性药物研发与产业化提供关键的高纯度核素来源，推动核医学产业升级与高质量发展。

5.1.1.2.5 紧凑型质子升能装置

目前治疗型医用α同核素是开发肿瘤靶向放射疗法（TRT）的重要基础原料，近年来，α核素凭借射程短、线性传能密度高、细胞毒性强等特点正受到越来越多市场关注。基于中能质子加速器生产多种应用广泛的医用放射性同位素，如 Z=90（^{227}Th/^{228}Th）、Z=89（^{225}Ac）、Z=88（^{223}Ra/^{224}Ra/^{225}Ra）、Z=85（^{211}At）、Z=83（^{212}Bi）和 Z=82（^{212}Pb）等。是解决未来医用 Ac^{-225} 等同核素的优选途径，如果需要实现医用α同核素的量产，需要解决以下几方面的问题：

1．开展中高能质子区核反应研究，准确掌握核数据。

中高能质子束轰击钍靶或者铀靶产生 Ac^{-225} 等α放射性目标同位素过程，由于散裂反应已经打开，物理过程非常复杂，产生几百种同位素，如图 5.1-15 所示。然而当前基于质子产生 Ac^{-225} 等同核素的截面数据不足，特别是在高能质子区，如图 5.1-16 所示，国际实验数据库中目前缺乏 200 MeV 以上的数据，需要开展相应的核数据测量实验研究。同时，由于本底对于下游同位素分离至关重要，需要详细的本底核数据，以便确定分离方法和路径。

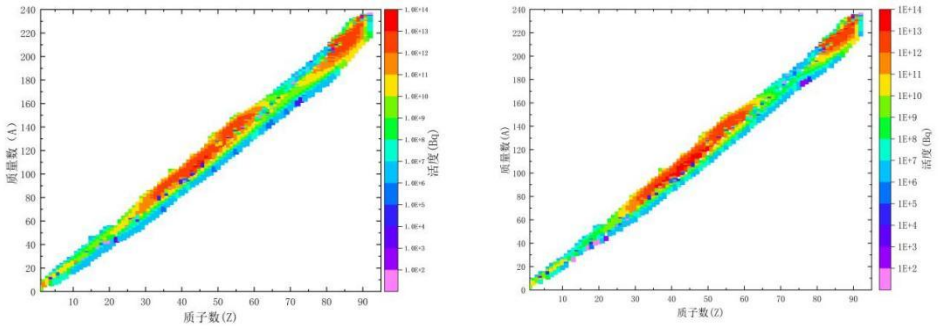


图 5.1-15 质子束轰击钍靶产生的核素分布图。（左）600 MeV@100 kW，（右）300 MeV@100 kW

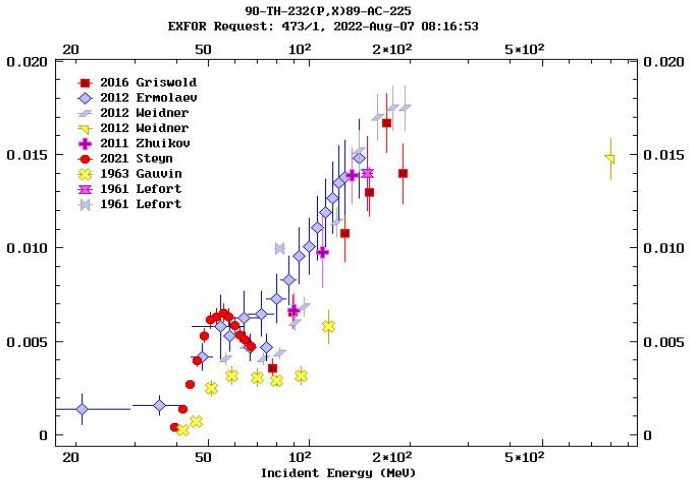


图 5.1-16 质子与钍相互作用产生 Ac-225 的截面

2．较高质子能量对于锕$^{-225}$同核素的产额更有效。

理论上对入射质子轰击钍靶进行了相应模拟，在相同的束流功率下，研究发现，如下图 5.1-17 所示，Ac^{-225}同位素的产额在 500 MeV 附近最高，由于 500-600 MeV 质子在钍靶中射程更高，因此靶中最大功率密度也较低，更利于工程实现。目前 CSNS 质子能量 300 MeV，如果将能量提升到 500-600 MeV 附近，更有利于量产 Ac-225 同位素。

另外，当前 500-600 MeV 附近的传统加速器造价都比较昂贵，造成生产成本较高，未来急需低成本、高效运行的中小型加速器，以此降低生产成本和占地面积，便于推广。

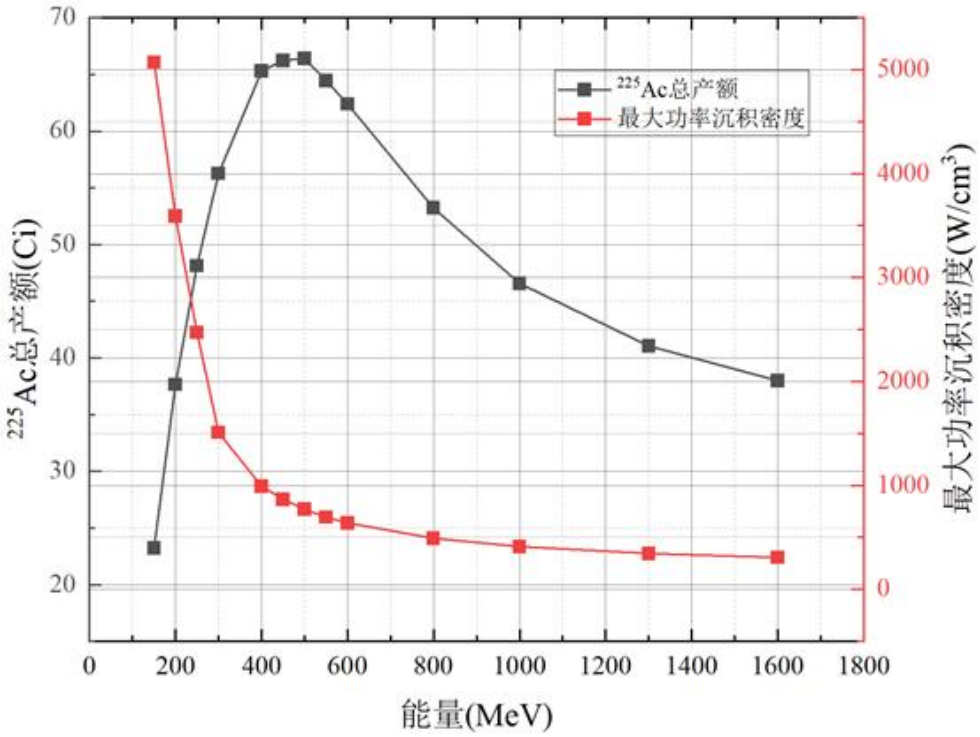


图 5.1-17 相同质子束流功率下，不同质子能量轰击钍靶的 Ac-225 产额情况

利用 CSNS 直线上开展同位素生产的质子能量为 300 MeV，将引出 300 MeV 的质子束到辐照实验大厅，将质子束注入升能装置环中，将质子能量提升到 500 MeV-600 MeV 之间，然后引出束流开展较高质子能段的核数测量和辐照产生实验研究。

环形加速器将经过直线加速器预加速的 H^-束流剥离成质子，并累计、加速到 600 MeV。600 MeV 能量的质子束流以 25 Hz 的重复频率引出打靶。环形加速器累积粒子数为 4.16×10^{12}，平均注入束流功率和引出束流功率分别为 5 kW 和 10 kW。根据束流功率需求及 CSNS 运行经验，为了降低加速器研制和运行成本，将研制新一代升能的环形加速器。

环形加速器采用十二折对称磁聚焦结构，有十二个约 2 米长直线节，用来安排束流涂抹注入、快速引出、射频加速、横向束流准直系统、束流诊断和误差校正的硬件，其中注入系统占用 5 个直线节、引出系统占用 2 个直线节、高频系统占用 2 个直线节，准直系统占用 1 个直线节。环形加速器的磁聚焦结构如下图 5.1-18 所示。

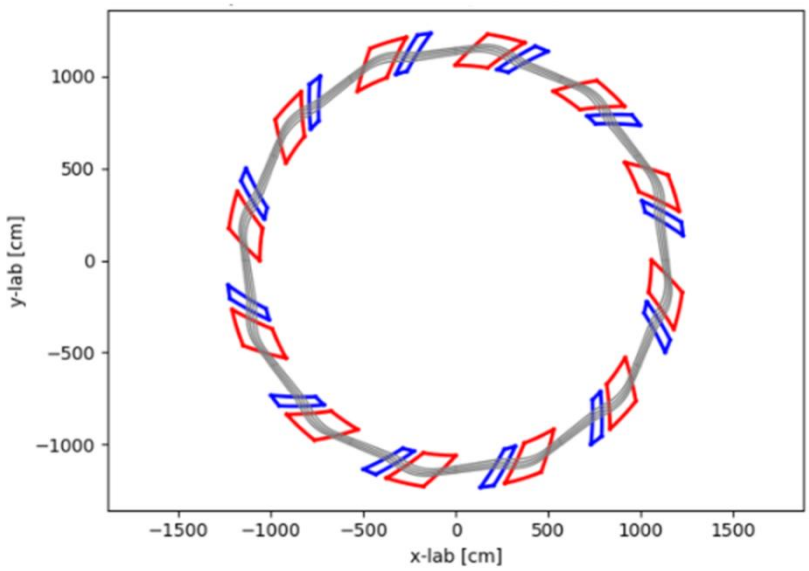


图 5.1-18 环形加速器磁聚焦结构

工作点的选择对于高功率环形加速器的调束运行是非常重要的。对于有十二个超周期的 Lattice 结构，考虑到空间电荷效应引起的频散，工作点的选择需要尽量避开低阶结构共振线。Lattice 设计时保持了在较大范围调整工作点的能力。工作点可以调整至半整数以上区域或者半整数以下区域，水平垂直工作点也可以产生半整数或一个整数的分离。

空间电荷效应、束流不稳定性等引起的发射度增长和束流损失是限制强流环形质子加速器功率提升最重要的因素。对于高功率高流强环形质子加速器，空间电荷效应和束流不稳定性更加严重，同时对各种误差效应有更严格的要求。一般用空间电荷频移表征强流环形质子加速器空间电荷效应强弱，空间电荷频移表达式为：

$$\Delta\upsilon = -\frac{Nr_0}{2\pi\varepsilon\beta^2\gamma^3 B_f}$$

其中 r_0 为质子经典半径，N 为粒子数，ε为束流发射度，β、γ为相对论因子，B_f 为束流聚束因子。

为了满足 300 MeV 能量束流注入的要求，同时为了大幅度降低空间电荷效应，环形加速器设计了全新的注入方案。采用 H－剥离注入方案，以满足对高注入效率的要求。环形加速器设计了可靠、灵活的相空间涂抹注入方案：在水平方向上

采用位置涂抹方法，在垂直方向上采用扫角涂抹方法。区别于其他加速器，为了降低循环束穿越剥离膜的平均次数，水平涂抹曲线下降沿分为两部分：一部分用于涂抹，一部分用于产生一个固定凸轨。注入束流从 60 mm 涂抹到 30 mm，注入完成后，水平轨道从 30 mm 降为 0。该涂抹方案可以实现相关和反相关涂抹自由切换。环形加速器的注入系统布局如下图 5.1-19 所示。

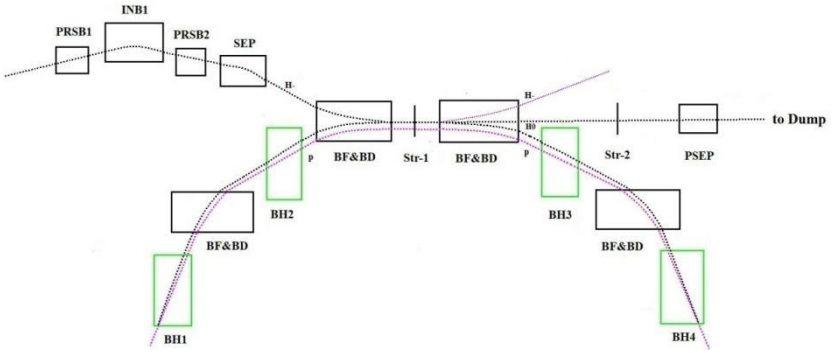


图 5.1-19 注入系统布局图

束流集体效应是限制强流环形质子加速器功率提升的另一个重要因素。束流集体效应与束流流强直接相关，即流强越高，集体效应越强。当流强达到一定阈值时，束流集体效应将引起束流大量丢失，流强无法继续提高，这时束流集体效应就成为流强提高的限制性因素。束流集体效应的来源是真空、高频、Kicker 等部件的耦合阻抗，因此阻抗是束流集体效应研究的关键。为了应对束流集体效应，环形加速器根据阻抗计算结果和不稳定性分析结果，提出了多种抑制束流不稳定性的方法。

环形加速器的各种动态误差效应可能导致束流损失，从而限制束流流强和功率的提高。为此，我们设计了闭合轨道校正、色品校正、Twiss 参数校正和工作点优化等众多方案。为了减小非可控束流损失，环形加速器还设计了束流准直系统，将束流损失限制在有屏蔽的准直器区域，有效控制其余区域的束流损失，确保机器的安全和可靠运行。

环形加速器采用单圈快引出方案，将能量为 600 MeV 的质子束流在水平方向引出。引出过程的重复频率同样为 25 Hz，在每一个循环周期中，将一次引出环中

一个束团，束团长度约为 40 ns，束团的长度与注入及加速过程中的 RF 电压曲线有关。引出系统采用了一组冲击磁铁加一块切割磁铁的设计，冲击磁铁设计为水平偏转，配合同样水平偏转的 Lambertson 型切割磁铁。冲击磁铁（kicker）组必须在束团间隙之内建立引出所需的平顶磁场并保持 150 ns 以上，以保证束流引出的高效率和减小对引出束流品质的破坏。基于此，冲击磁铁的总上升时间确定为不大于 90 ns。冲击磁铁的磁场提供的偏转可以使引出束流在切割磁铁入口处产生足够的相对于循环束流轨道（环的接收度区）的分离，从而允许在内外束流之间插入切割磁铁的切割板，对于 Lambertson 型切割磁铁，切割板为铁轭。切割磁铁的较大偏转能力使引出束流进入靶输运线。环形加速器的引出系统布局如下图 5.1-20 所示。

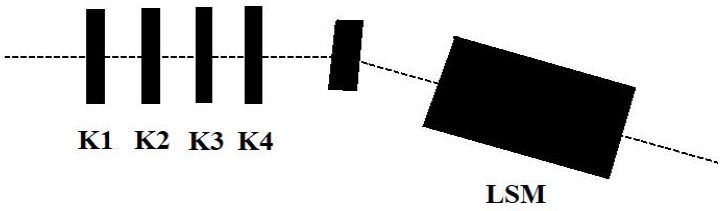


图 5.1-20 引出系统布局图

5.1.2 分离纯化分总体

辐照钍靶中医用同位素的分离纯化及 GMP 分装总体工艺流程如下图所示。

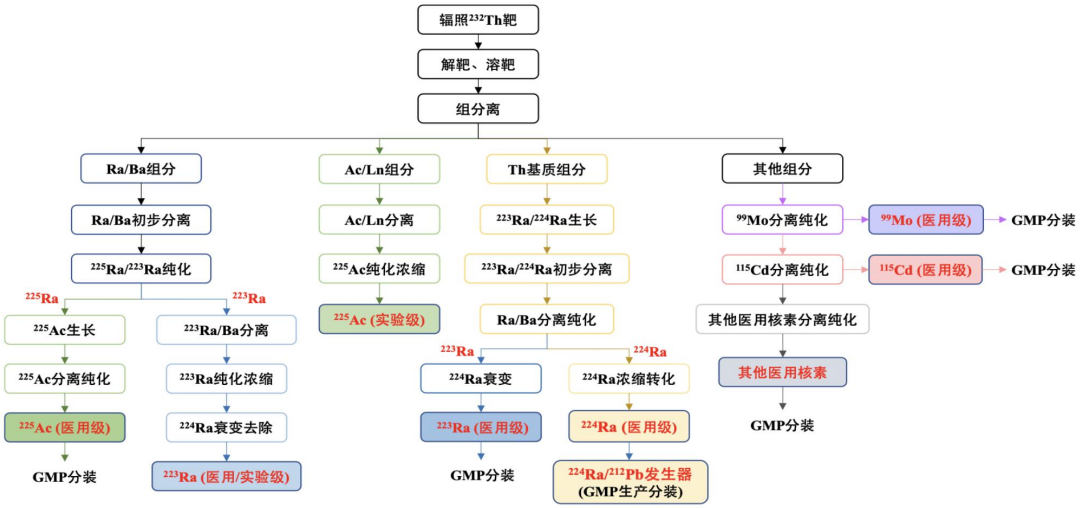


图 5.1-21 同位素分离纯化及 GMP 分装总体工艺示意图

辐照结束后，叠层钍靶首先转移至冷却孔，冷却适当时间后转入解靶热室进行拆解，其后分批次转运至分离纯化厅的溶靶热室中用混酸加热溶解。钍靶溶解液中的不同元素经由离子交换色谱结合共沉淀离心预分离初步分成镭/钡（含镭$^{-223/224/225}$）、锕/镧（含锕$^{-225}$）、钍基质沉淀（含钍$^{-232/228/227}$）及其他元素（含钼$^{-99}$、镉$^{-115}$）等不同组分。随后，不同组分将再次通过多级离子交换/固相萃取色谱柱分离纯化和衰变－生长放置，分别得到医用级/实验级纯度的镭$^{-223}$、锕$^{-225}$，以及医用级纯度的镭$^{-224}$、钼$^{-99}$、镉$^{-115}$、银$^{-111}$、钌$^{-103}$、铑$^{-105}$、铀$^{-230}$、氙$^{-133}$等其他医用核素原料。之后，上述医用同位素原料将立即转至规范化生产（GMP）分装厅进行分装、灭菌及医用同位素原料制剂和发生器（如镭$^{-224}$/铅$^{-212}$、钼$^{-99}$/锝$^{-99\,m}$发生器）的装配生产。

为了能够顺利实现居里级以上医用α同位素的年产能，我们不仅需要建设甲级医用同位素分离纯化及GMP分装实验设施，而且需要搭建自动化分离纯化生产线，以尽可能减少操作人员所受的辐射剂量并保证医用同位素的稳定足量供应。由于本项目主要聚焦于医用α同位素（包括锕$^{-225}$、镭$^{-223}$、镭$^{-224}$/铅$^{-212}$）与钼$^{-99}$（钼$^{-99}$是目前市场应用最为广泛的医用同位素锝$^{-99m}$的母体核素），我们将重点建设上述医用α同位素及钼$^{-99}$的分离纯化及GMP分装所必要的工艺生产线热室及装置；而镉$^{-115}$、银$^{-111}$、钌、铑及铀$^{-230}$等其他同位素生产线在本次建设中只进行有限度的基建和空间预留，这些医用同位素的纯化热室和GMP分装热室及装置在将来经费充足时再进行后期建设。

5.1.2.2 分离纯化系统

辐照钍靶中医用同位素的分离纯化工艺流程包括解靶、溶靶、不同组分之间的预分离、目标医用同位素的精分和纯化等主要工艺环节。本节将简要介绍各主要工艺环节的具体功能和步骤。医用同位素分离纯化系统主要由解靶、溶靶与吸收过滤、离心分离、钍沉淀存取、多级离子交换/固相萃取色谱柱分离纯化、酸碱度调节与化学反应控制、放射性在线监测与分析、全域样品调度与转运等子系统及各子系统所涉及的自动化分离纯化装置设备构成。

5.1.2.2.1 解靶

辐照后的叠层钍靶在冷却孔经适当时间（通常5～6 天）冷却后，由于短寿命

（半衰期<1 天）核素的放射性活度快速衰减导致靶片的辐射剂量大幅下降，即可转入解靶热室拆解靶片，并按次序分批暂存，以备后续将靶片分批转运至溶靶热室。

5.1.2.2.2 溶靶

同批次的靶片运至溶解热室后，靶片从转运罐中取出投入溶解罐中，加入适量的混酸后加热溶解。溶解时产生的酸气及易挥发的气态放射性物质（如惰性气体、碘及砹放射性同位素等）将通过碱性吸收液和多级过滤吸收装置分离吸收，以避免气态易挥发放射性物质泄漏。

5.1.2.2.3 预分离

靶片溶解液中除溶有大量钍基质外，还含有覆盖大半个元素周期表中的 60 多种元素、上百种放射性核素。为了将有价值的医用同位素提取出来，首先需要将化学性质相近的元素组分与其他组分初步分开，以便后续医用同位素的进一步纯化。根据已建立的分离纯化工艺流程，我们采用共沉淀离心分离钍靶溶解液中的大量钍基质，结合离子交换色谱分离镭/钡、锕/镧及其他元素组分。各组分之间初步分离后将转运至相应的分离纯化热室中完成医用同位素的纯化制备。

5.1.2.2.4 钍基质分离与暂存

钍靶溶解液中的大量钍基质可以沉淀后通过离心与主要的目标医用同位素初步分离，但质子辐照钍靶后产生的放射性钍同位素（钍$^{-227}$、钍$^{-228}$及极少量的钍-229）将保留在钍基质组分中。半衰期 18.72 天的钍$^{-227}$为镭$^{-223}$的母体核素，钍$^{-228}$（半衰期 1.91 年）为镭$^{-224}$的母体核素，与镭钡组分预分离的钍基质组分经适当时间的放置能重新生长出镭$^{-223/224}$，可通过钍镭分离再次获取医用镭同位素；特别是较长寿命的钍$^{-228}$可通过长期存放（放置 6 年其放射性活度约降 10 倍）用于镭$^{-224}$/铅$^{-212}$的反复提取。同时，经过预分离的钍靶基质在放置 3 个月后其主要的外照射剂量由钍$^{-228}$贡献，特别是其子体核素铊$^{-208}$的高能γ射线（2.6 MeV）屏蔽相当困难。因此，不同批次含钍$^{-228}$的钍基质需要长期存放在钍基质暂存室的厚重屏蔽盒内，且要定期循环取出（每隔两周一次）进行钍镭分离操作以提取镭$^{-224}$。

5.1.2.2.5 镭/钡分离纯化

预分离得到的镭钡组分将根据最终要获取的镭同位素的不同（镭$^{-225/223}$或镭$^{-224}$）

分别转至相应的分离纯化热室中，经由多级离子交换/固相萃取色谱分离纯化，以除去钡同位素并完成医用级锕-225（镭-225的子体核素）、镭-223和镭-224同位素原料的纯化。

5.1.2.2.6 锕/镧分离纯化

预分离获取的锕镧组分将转至锕镧分离热室中经由多级离子交换/固相萃取色谱将锕-225与镧系核素分离后，得到的锕-225组分再转入锕-225纯化热室中实现实验级锕-225同位素原料的纯化。

5.1.2.2.7 其他医用同位素分离纯化

除上述主要医用α同位素外，辐照后的钍靶中还含有钼-99、镉-115、银-111、钌-103、铑-105、铀-230、氙-133等其他有提取价值的医用同位素原料。其中，半衰期65.9小时的钼-99作为医用诊断同位素锝-99m的母体核素产量可观，按300 MeV质子能量、功率100 kW、全年40 次辐照及每次辐照6 天后钍靶停照时的预期年产额可达10000居/年；即使考虑提取效率、冷却7天及运输衰变损失，高比活度钼-99的预期年产能也将达千居/年的量产级别。鉴于锝-99 m标记的放射性药物成熟的市场应用需求且目前国内钼-99全部依赖进口，本项目将建设钼-99纯化及GMP分装热室和装置，以尽快实现对国内钼-99供应缺口的补充。如前所述，对于镉-115、银-111、钌铑及铀-230等其他同位素原料生产线，本项目只作基建和空间预留，不作相关医用同位素的纯化热室和GMP分装热室及装置建设。这些预留空间也可用于今后医用α核素（镭-223/224、锕-225）的纯化生产能力扩容的备用场所。

5.1.2.3 放射性废物减容及存贮

5.1.2.3.1 放射性废物减容

辐照钍靶分离纯化过程中会产生可观体积的中低放废液，主要含多种短寿命放射性核素（半衰期<30天）及少量中短寿命放射性核素（半衰期30～120天之间），半衰期大于2年的长寿命核素在产生的各类放射性废液中的总活度占比估算低于0.1%。由于放射性废液的处理处置成本高昂且本项目产生的放射性废液因核素成分复杂而难以找到合适的放废处置场所收贮，我们需要将放射性废液分类暂存于放射性废物贮存厅约半年时间，等其中的短寿命核素降至中短寿命核素的活度水平，即可转至放射性废液减容热室内，通过共沉淀或者离子交换/固相萃取树脂吸

附将放射性核素吸附沉淀至固相以大幅减小废液的体积；而去除放射性的剩余废液可进行放射性检测分析，如果放射性活度水平低于排放标准即可排入衰变池，经定期监测获得生态环境部排放许可后排放。

5.1.2.3.2 放射性废物存放与处置

本项目需设计建设放射性废物存放厅，用于低中放固体废物的分类存放、放射性废液的分类暂存。所存放的放射性废物将定期交由具备相关资质的专业放射性废物处理处置场所/单位进行最终处理处置。

5.1.2.4 医用同位素 GMP 分装及质控分析系统

为确保医用同位素原料符合临床应用的预期质量特性与纯度要求，同位素原料及制剂的生产、分装及质量控制需要遵循极为严格的优良制造规范（即 GMP）。对此，本项目将建设医用同位素 GMP 分装生产线，并建立医用同位素质量控制分析实验室，以对生产的同位素原料、制剂及发生器进行相关质量特性和纯度检验。

5.1.2.4.1 同位素 GMP 分装工艺流程

医用α同位素锕$^{-225}$、镭$^{-223}$及镭$^{-224}$制剂的 GMP 分装生产线，以及镭$^{-224}$/铅$^{-212}$和钼$^{-99}$/锝$^{-99m}$医用发生器生产线。同时，考虑到未来其他医用核素的 GMP 分装，将一次性设计预留部分 GMP 分装车间以备后期的量产增容。同位素 GMP 分装系统需配置核素分装装置、核素分样制样及在线检测设备、自动洗瓶与灭菌设备等。

5.1.2.4.2 质控分析

为保证同位素制剂的质量特性和纯度（包括化学纯度、放射性核纯度）满足临床应用要求，将建立完善的质控分析实验室，用于同位素制剂的理化特性、纯度与无菌性检验分析。质控分析实验室需配置电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）、电感耦合等离子体原子发射光谱仪（ICP-AES）、X 射线荧光分析仪（XRF）、高纯锗（HPGe）γ谱仪、液体闪烁计数器（LSC）、高分辨α谱仪、高效液相色谱仪（HPLC）、活度计、PCR 检测系统等必要的化学纯度、放射性核素纯度及无菌检测仪器设备。

5.1.3 公用设施分总体

质子应用产业化平台的电力电子设备，运行时将消耗大量的电能，这部分能耗最终将转化为热量，需要通过循环冷却水和通风空调系统散发于大气中或热回

收作为热源。建设配套的工艺供配电、工艺循环冷却水、工艺通风空调、压缩空气等基础设施，为加速器、靶站、谱仪及各类实验生产设备提供稳定的电力、高效的热传递，对装置放射性空气实施安全可靠的处理和控制，高精度完成工艺设备的安装等。作为公用设施的主要组成部分，上述各系统的安全性、可靠性和稳定性将直接影响装置的运行效率和生产效率。

5.1.3.1 工艺供配电系统

5.1.3.1.1 编制依据

1．基础资料

工艺设备对供配电提出的需求资料（可研阶段）。

2．标准规范

1) 《建筑电气与智能化通用规》GB 55024-2022；

2) 《民用建筑电气设计标准》GB 51348-2019；

3) 《供配电系统设计规范》GB 50052-2009；

4) 《20kV 及以下变电所设计规范》GB 50053-2013；

5) 《低压配电设计规范》GB 50054-2011；

6) 《通用用电设备配电设计规范》GB 50055-2011；

7) 《电力工程电力设计标准》GB 50217-2018；

8) 《建筑物防雷设计规范》GB 50057-2010；

9) 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB 50343-2012；

10) 《交流电气装置的接地设计规范》GB/T 50065-2011；

11) 《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB 50058-2014；

12) 《建筑设计防火规范（2018 年版）》GB 50016-2014；

13) 《建筑防火封堵应用技术标准》GB/T 51410-2020；

14) 《科研建筑设计标准》JGJ 91-2019；

15) 《公共建筑节能设计标准》GB 50189-2015；

16) 《绿色建筑评价标准》GB/T 50378-2019；

17) 《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981-201；

18) 《电力设施抗震设计规范》GB 50260-2013。

5.1.3.1.2 负荷等级

一级负荷：辐射防护系统，排风中心工艺通风设备。

二级负荷：工艺用电负荷（含配套设备）。

三级负荷：除一、二级负荷以外的用电负荷。

5.1.3.1.3 供电电源

一期工程已在 CSNS 园区内建有一座 110/10 kV 专用变电站，两路 110 kV 电源引自两个不同的上级变电站，两路电源同时工作，互为备用，每路电源均能承担全部负荷。110 kV 变电站装机容量为 2*63 MVA，经与供电局沟通，且仍有预留 10 kV 回路，满足使用，原室外 10kV 管沟/埋管、弱电/消防埋管不够，需要增加相应管沟/埋管，110 kV 变电站距离各变配电室的平均距离约为 0.6 km。各项电能指标满足国标电能质量的要求。

本项目新增的工艺实验仪器设备较多，用电负荷较大，本项目通过扩容 CSNS 直线设备楼变配电室、新建 1 座直线设备楼（二期）变配电室、1 座质子应用产业化平台变配电室，从园区的 110 kV 变电站 10 kV 专用回路到这两个新建变配电室，为项目各用电设备提供电源。目前考虑用电设备均为低压设备，10 kV 开关柜预留部分高压回路，作为备用。

5.1.3.1.4 供电系统组成

本项目新建 2 座变配电室，直线设备楼（二期）变配电室采用一组高压配电，质子应用产业化平台变配电室采用两组 10 kV 高压配电，每组采用 10 kV 双路电源，分别由上级变电站不同 10 kV 母线段以电缆引入；变配电室的 10 kV 主接线采用单母线分段（联络），互为备用，每路电源均能带 100%负荷。在运行期间，如需要进行进线电源切换，10 kV 母联开关先手动合闸，系统短时并列运行，之后再断开其中一路进线开关，由另一路电源供所有负荷，以保证连续供电的要求。

低压侧采用单母线分段，每组两段低压母线之间设联络开关。正常情况下，同组母线联络开关处于开断状态，两台变压器分列运行；当出现线路或变压器故障和检修时，要求能不停电切换，由其中的一路承担全部的一、二级负荷的连续供电要求。

直线设备楼（一期）变配电室也是采用同样的高低压配电方式。

重要负荷为双电源末端切换。

5.1.3.1.5 变配电所

本工程总用电负荷约为 19.39 MW，拟扩容一个变配电室，新建两个 10 kV 变配电所，各系统安装容量及计算容量见下表。

表 5.1-1 质子应用产业化平台用电设备参数表

序号	系统名称	设备功率（kW）	计算容量（kW）
CSNS 直线设备楼（一期）变配电室扩容			
1	射频功率源	2785.95	2479.68
2	直线水冷	175.00	89.00
	小计	**2960.95**	**2568.68**
直线设备楼（二期）和质子应用产业化平台变配电室			
1	磁铁电源系统	4948.90	4074.63
2	脉冲电源	111.11	88.89
3	功率源	5693.98	4785.60
4	同位素本地机柜	161.52	161.52
5	靶站设备	534.00	534.00
6	控制系统	297.04	272.98
7	束测系统	93.56	85.17
8	低温设备	1610.99	1606.58
9	真空系统	331.77	275.16
10	辐射防护系统	63.33	63.33
11	机械系统	20.00	20.00

序号	系统名称	设备功率（kW）	计算容量（kW）
12	分离等设备	1030.20	515.10
13	水冷、空调设备	6323.50	3968.33
14	排风中心	230.00	207.00
15	照明	125.00	68.00
16	插座	300	100.00
	小计	**21874.90**	**16826.28**
	合计	**24835.85**	**19394.96**

5.1.3.1.6 继电保护及计量

10 kV 高压柜选用 10 kV 户内中置式金属封闭开关柜，直流 110 V 操作，设综合继电保护装置。

干式变压器设高压侧绕组、低压侧绕组、铁芯超温保护，高温报警。

低压采用金属封闭型抽出式开关柜，设置短路、过载保护。并设置在线温度监测模块，能实时监测开关进线侧或出线侧触头温度。

变配电室设置 110 V 直流馈电屏。

各高低压回路的仪表应具有电量计量功能。

5.1.3.1.7 功率因数补偿及电能质量监测

各变电所低压侧集中设置无功功率自动补偿装置，补偿后功率因数≥0.95。

本工程工艺用电设备较多，低压侧应设置有源滤波器的接入接口。

结合电力自动化系统设置电能质量监测系统，对电能、电压、电流、频率、功率因数、谐波等参数实时监测。

5.1.3.1.8 工艺设备低压配电系统

本工程采用 TN-S 三相四线制，交流 220/380 V、50 Hz 低压配电系统。

为保证供电质量，工艺设备及相关设备的低压配电系统采用放射式的配电方式。主要配电干线沿电缆桥架敷设。动力配电线路采用低烟无卤阻燃电缆。

5.1.3.1.9 电力监控系统

质子应用平台的配电室设置电力监控子站，可独立运行，通过光纤接入 CSNS 电力监控总站，质子应用平台电力监控子站应与 CSNS 总站完全兼容，最终实现电力监控系统统一管理，其功能主要有：

1．监测功能：各高低压回路的电流值、电压值、功率值、电量、谐波值等；各开关的运行和故障状态；变压器温控仪和直流屏控制器的状态和数值；高低压柜的触头、接插件、母排温度。

2．数据采集、显示、保存及分析计算，包括显示主要参量的实时趋势图、历史趋势图、谐波曲线图和表格化数据。监控设备要求交流直接采样，以保证实时性。

3．动态显示系统图、结线图、网络拓扑图、桑基图，包括开关状态、设备运行状态、实时运行参数、能量流向等。

4．故障及报警功能，包括开关变位报警、保护告警、越限报警，并实现声光、语音报警。

5．要求事件顺序记录（SOE）和事故追忆（故障录波）功能，以便于分析确定故障原因。

6．信息查询、报表打印、用户及项目管理。

7．系统冗余设计，与上位机的网络通信能力，以及系统故障诊断功能。

5.1.3.1.10 主要设备

1．10kV 开关柜

所有 10 kV 开关柜采用 10 kV 户内中置式金属封闭开关柜，应满足相应电流等级的燃弧试验。母排采用铜材，纯度不低于 99.95%，铜排搭接处镀银。真空断路器为 DC110 V 电动机弹簧储能，采用操作机构与本体一体化，固封式极柱和模

块化机构。综保具有 SOE 和故障录波功能，支持 IEC61850 规约，支持 B 码对时。互感器采用固体绝缘浇注式。避雷器配置放电计数器及泄漏电流监测仪。配置温度监测装置，用来监测 10 kV 断路器触头、母排的温度，能提供温度显示和报警，并具有向上通讯功能。

2．变压器

采用三相铜芯双绕组环氧树脂浇注 10 kV 干式配电变压器，能效等级为 GB 20052《电力变压器能效限定值及能效等级》中的二级能效。外壳采用铝合金外壳，厚度不小于 2 mm。设置温度传感器和温控仪，能实时监测和显示绕组和铁芯温度、告警，并具有向上通讯功能，共有 16 台变压器，其中 12 台 2500 kVA，4 台 2000 kVA。

3．低压柜

变配电室低压柜采用金属封闭型抽出式开关柜，800A 及以上采用框架断路器，800A 以下采用塑壳断路器，采用电子式等保护装置。母排采用铜材，纯度不低于 99.95%，铜排搭接处镀银。每路开关应配置数字仪表，可实时显示三相电压、三相电流、有功、无功、电量，以及 31 次及以下谐波等，并具备上传通讯功能。配置温度在线监测功能，并能够在本地显示及上传后台。无功功率补充电容器采用自动愈合式干式电容器，配置调谐电抗器；低压柜低压侧预留有源滤波器的接口，低温设备采用了电压暂降措施。

4．母线槽

母线槽采用密集型绝缘铜母线槽，铜材纯度不低于 99.95%，母线槽搭接处镀银。

5．配电箱、变频器控制柜、启动控制柜

开关选用断路器等，进线开关采用电子式等脱扣器，出线回路开关配置热磁等脱扣器。电动机回路的元器件按照 2 型配合选型。对于有节能和调速要求的水泵和风机，应配置变频器。配电箱体和控制柜应配置多功能仪表，显示三相电压和三相电流，并具备上传通讯功能。母排采用铜材，纯度不小于 99.95%。根据建筑防雷要求配置相应的防雷设施，并具有防雷计数及失效显示功能。在总配电箱

处配置电气火灾报警装置。

6．直流馈电屏

直流馈电屏输出工作电压为 DC110 V，高频开关电源的充电模块采用 N+1 热备份型式。

5.1.3.2 工艺循环冷却水

5.1.3.2.1 编制依据

1．基础资料

工艺设备对工艺循环冷却水提出的需求资料（可研阶段）。

2．标准规范

1) 《工业循环水冷却设计规范》 GBT 50102-2014；
2) 《工业循环冷却水处理设计规范》 GB 50050-2017；
3) 《工业金属管道设计规范》 GB 50316-2000；
4) 《建筑给水排水设计标准》GB 50015-2019；
5) 《室外排水设计标准》GB 50014-2021；
6) 《室外给水设计标准》GB 50013-2018；
7) 《科学实验建筑设计规范》JGJ 91-2019；
8) 《环境空气质量标准》GB 3095-2012；
9) 《建筑设计防火规范》GB 50016-2014（2018 年版）；
10) 《民用建筑绿色设计规范》JGJT 229-2010；
11) 《公共建筑节能设计标准》GB 50189-2015；
12) 《工业企业设计卫生标准》GBZ1-2010；
13) 《声环境质量标准》GB 3096-2008；
14) 《工作场所有害因素职业接触限值》GBZ2.1-2019；
15) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871-2002；
16) 《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981-2014；
17) 《工业企业总平面设计规范》GB 50187-2012。

5.1.3.2.2 系统设计

1．系统概述

质子应用产业化平台在 CSNS 装置的基础上，增加了直线低温超导系统、超导腔射频功率源、伴生质子束线、靶站和同位素分离生产线，以及相应的实验支撑设备等，同时对 CSNS 直线原有部分工艺设备进行了功率提升，增加和扩容了大量的电力电子设备，需要消耗大量电能，这些电能最终都将转化为热量，其中大部分热量需要通过工艺循环冷却水及时带走，以保证工艺设备处于适宜的工作环境，维持运行状态的稳定。

工艺循环冷却水的功能是吸收和转移这些设备所产生的热量，同时也作为某些温度变化敏感部件的恒温调节手段，以保证装置设备的长期、可靠、稳定运行。在满足上述功能的同时，在水冷系统建设过程中还需要考虑以下方面的问题：1）大量加速器工艺设备的电路与水路常为一体，为了降低这些用电设备的漏电流，对水质有一定的电气绝缘要求；2）提高用水设备的散热效率，防止腐蚀结垢及用水设备管路的堵塞，特别是减少承受高电压、高流速水路通道的铜腐蚀；3）防止陶瓷接头等陶瓷部件内壁上氧化物的沉积，避免造成电气短路；4）尽量减少水体的感生活化，防止水中活化颗粒散发于大气中等。

基于以上因素及相关工程经验，工艺循环冷却水系统采用双循环冷却方式，即利用低电导率循环水作为传热介质与冷却对象直接接触，组成封闭式内循环回路（简称一次水），带走冷却对象的热功耗，维持温度的稳定，并通过板式换热器将热量传递给外循环冷却水（简称二次水）；因工艺设备要求一次水温度偏低并结合北方气象条件，外循环回路采用冷水机组提供的冷冻水为主，结合使用冷却塔（或空冷器）等直接散热手段。最终，各冷却对象散发的热量经冷却塔散发于外界大气中。

2．系统组成及工艺流程的选择

水冷系统主要由以下部分组成：一次水（内循环回路）、二次水（外循环冷却水）、补充水系统、低放废水收集和排放系统、恒温监控系统。

一次水系统为封闭式机械循环回路，由水泵、板式换热器、电加热器及调功

器、过滤器、离子交换柱、膨胀水箱、稳压装置、供回水干管和配水管，以及流量、温度、压力、液位、水质等监测仪表、相应的动力设施和控制系统等组成。在一次水回路中，设置旁流水质处理装置以维持一定的水质指标。系统排放的内循环水需汇集于低放废水集水池中，经必要的存放时间衰减及检测后方可排放。

二次水系统的功能是为一次冷水系统提供冷源。二次冷水系统的主要设备有：水冷冷水机组、水泵、过滤器、定压补水装置等。水冷冷水机组采用循环水冷却方式，其主要设备有：冷却塔、循环水泵等。由于热负荷较大，在设计中需考虑热回收及节能措施。二次水系统设备集中布置，设于冷冻站。

补充水系统主要是进行纯水制备，通过室外纯水管网，为一次水系统补水，同时可为各实验室和实验设备提供去离子水水源。

此外，对于局部辐射剂量较大或者温度要求极端的系统采用多级循环方式或独立制冷系统。

3．总体布置

质子应用产业化平台水冷系统布置原则为：结合平台规划布局，以 CSNS 已有的水冷系统规划布局为基础，进行相应的扩展；一次水系统分散就近布置、区域集中，二次水系统和补充水系统集中设置，部分区域设置集中低放废水储存系统，同时在主要区域设立监控本地站。同时，本阶段的设计规划应为平台未来的发展和扩大生产预留冷却能力和设备安装空间。

一次水系统总体布局按照冷却对象的不同工艺要求（温度、压力、材质、水质等）、放射性污染程度及位置分布，在对 CSNS 直线、LRBT 原有的水冷子系统进行改造扩容的基础上，另外增加 5 个分别独立运行的水冷子系统，就近集中布置在平台大楼内用水设备附近的水冷泵房。

二次水系统与空调系统在平台大楼内新建设冷冻站 1 座，集中供冷；直线和 LRBT 扩容所需的冷源通过 CSNS 冷冻站扩容进行供给。

一次水补水系统（纯水制备）利用 CSNS 原有的纯水站补给去离子水，质子应用产业化平台不再新建纯水站。

低放废水储存系统需在质子应用平台大楼内新建 1 处低放废水储存间，收集伴生质子束线、靶站的低放废水。对于 CSNS 原有的建设范围内，已建成的低放废水收集和排放系统满足质子应用产业化平台的需求。

CSNS 一期恒温监控系统功能齐全、运行良好。质子应用产业化平台仅需在平台大楼新增 1 处水冷控制本地站，将 CSNS 新增或扩容的水冷子系统就近纳入 CSNS 原有的水冷本地控制站，并与 CSNS 通用设施监控室联网即可。

4．系统设计

(1) 一次水系统

1）设计参数

工艺热负荷约为 11080.3 kW；一次水总设计热负荷为 11754.0 kW；

一次水总需求流量约为 2285.5 m^3/h；一次水总设计流量 2523.3 m^3/h。

2）系统布置

质子应用产业化平台一次水系统的建设主要分为两部分：

一是对 CSNS 直线原有的水冷系统进行扩容和新建：1）扩容直线射频功率源水冷子系统。拆除 CSNS 原有的直线射频功率源水冷子系统设备和管道，在原安装位置重新安装水冷系统，以满足直线功率源功率升级后的换热需求。2）新建直线超导射频功率源水冷子系统，满足直线超导功率源换热需求。

二是在质子应用平台大楼新建 5 个水冷子系统：1）平台磁铁电源水冷子系统负责平台的磁铁电源、功率源等设备用水；2）平台磁铁水冷子系统负责 LRBT 至平台靶站的加速器束线设备用水，包括磁铁、BPM、真空泵等；3）平台高频腔水冷子系统为高频腔、末级功率柜供水；4）平台低温水冷子系统负责低温氦压缩机、冷箱、纯化机组等用水；5）平台靶站中间循环水冷子系统为靶站水冷子系统提供冷源，采用多级循环方式，增加安全冗余。

各系统设计参数如下表所示：

表 5.1-2　　一次水系统设计参数一览表

系统名称	供水温度(℃)	工艺负荷(kW)	工艺流量（m³/h）	设计流量（m³/h）	水泵功耗(kW)	设计负荷（kW）
CSNS 原有水冷子系统扩容						
直线功率源及电源（一期）	*25±1*	*936*	*260.6*	*286.7*	*79.6*	*1195.0*
直线功率源及电源新增	25±1	1201.9	266.9	267.6	74.2	1281.6
直线功率源及电源（二期）	*25±1*	*2138.9*	*527.6*	*554.3*	*153.8*	*2476.7*
质子应用产业化平台新建						
直线超导射频功率源	25±1	4425.2	1540.1	1617.1	484.7	4990.8
质子应用平台磁铁电源	25±1	1215.8	13.1	128.3	35.9	1276.6
质子应用平台磁铁	25±1	2355.4	257.6	282.0	107.1	2476.6
质子应用平台高频腔	25±1	520.0	84.0	92.4	20.3	572.0
质子应用平台低温	25±2	860.0	90.0	99.0	23.7	946.0
质子应用平台靶站中间循环	25±1	198.1	33.6	37.0	11.8	210.4
总　计		11080.3	2285.5	2523.3	757.7	11754.0

3）系统工艺流程

从各冷却设备返回的高温冷却水混合后，经过滤器后由循环水泵加压进入板式换热机组降温，再通过电加热器进行温度补偿调整，供给至各用水设备，以此循环。为了满足工艺设备对一次水的水质要求，设置水质旁流处理系统，包含离子交换柱、精滤、UV 杀菌以及移动式活性炭吸附等装置，维持一次水系统的水质在稳定水平，各系统具体水质设计参数见下表。系统采用高位膨胀水箱进行补水，为保持系统恒压起见，在泵后设置稳压装置。一次水典型工艺流程如下图。

表 5.1-3　　一次水系统水质参数一览表

系统名称	电导率	PH	溶解氧含量	细菌总数	总有机碳	颗粒物（>1um）
	μS/cm	——	ppb	CFU/mL	mg/L	个/mL
直线功率源及电源	0.2~1	6.8~7.5	——	<10	≤1	≤50
直线超导射频功率源	0.2~1	6.8~7.5	——	<10	≤1	≤50
质子应用平台磁铁电源	0.2~1	6.8~7.5	——	<10	≤1	≤50
质子应用平台磁铁	0.2~1	6.8~7.5	≤20	<10	≤1	≤50

系统名称	电导率	PH	溶解氧含量	细菌总数	总有机碳	颗粒物（>1um）
	μS/cm	——	ppb	CFU/mL	mg/L	个/mL
质子应用平台高频腔	≤0.3	6.8~7.5	——	<10	≤1	≤50
质子应用平台低温	0.2~1	6.8~7.5	——	<10	≤1	≤50
质子应用平台靶站中间循环	0.2~1	6.8~7.5	——	<10	≤1	≤50

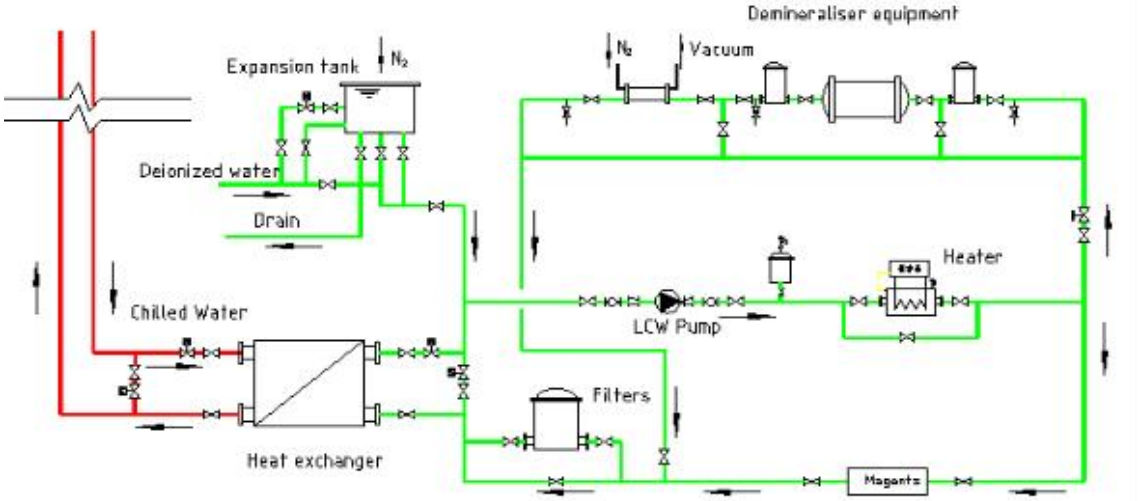


图 5.1-22 一次水系统典型工艺流程图

4）减振设计

一次水处于装置区的核心区域，与工艺设备紧密结合，对系统的稳定性要求极高，需全面采取振动隔离和抑制等减振措施，如减振基础、管道隔振支架等，并在设计中应充分考虑流体产生的振动影响以及需采取的预防措施。

(2) 二次水系统

1) 设计参数

设计冷负荷约为 12272.3 kW（一次水系统设计热负荷总计约 11754.0 kW，二次水系统水泵功耗约 277.7 kW，同时考虑到系统冷量损失和预留冷负荷 240.6 kW）。

二次水设计流量约为 1263.3 m³/h，二次水供回水温度：14.5℃/22.5℃；

冷却塔冷却水设计流量为 2321.5 m³/h，供回水温度：32℃/37℃。

表 5.1-4　　二次水系统设计参数一览表

系统名称	一次水设计负荷（kW）	二次水水泵功耗(kW)	管网损失（kW）	二次水设计流量（m³/h）	二次水设计冷负荷（kW）
CSNS 冷冻站（扩容）	6272.4	148.2	128.4	674.2	6549.0
直线功率源及电源（扩容）	1281.6			137.8	
直线超导射频功率源	4990.8			536.4	
质子应用平台冷冻站（新建）	5481.6	148.2	112.2	589.2	5723.3
质子应用平台磁铁电源	1276.6			137.21	
质子应用平台磁铁	2476.6			266.19	
质子应用平台高频腔	572.0			61.48	
质子应用平台低温	946.0			101.68	
质子应用平台靶站中间循环	210.4			22.61	
总　计	11754.0	277.7	240.6	1263.3	12272.3

2）系统布置

质子应用产业化平台的冷源由两部分组成：质子应用平台大楼内新建冷冻站 1 座（与空调系统合建），供给冷源给该单体内新建的水冷子系统；直线和 LRBT 扩容所需的冷源通过 CSNS 冷冻站扩容进行供给。考虑到二次水系统需不间断连续运行，且大部分时间为满负荷工况，但短期热停机时负荷较小。为使整个制冷系统在部分负荷运行时具有更好的适应能力，以及运行的可靠性、连续性，具体的布置如下：

质子应用平台新建冷冻站：拟采用 2 台变频水冷离心式冷水机组，相对应一机一塔方式，冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔（或空冷器）均为 2 台。冷冻水泵及冷却水泵均采用变频控制。冷却塔采用超低噪声冷却塔，一机一塔方式，安装于冷冻站房顶。为了防止冬季冷却水结冻，将冷却水水箱设置在冷冻站内。考虑质子应用平台未来冷源需求，预留 1 套冷水机组及水泵、冷却塔安装位置。

CSNS 冷冻站扩容：拟在预留机位安装 1 台变频水冷离心式冷水机组，相对应一机一塔方式，冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔（或空冷器）均增加 1 台。

二次水系统尽量按同程管道敷设，供回水干管通过管沟将冷媒送至各水冷本

地站，并在入户端设置平衡阀组，以保证供水均衡。为了利于管网运行稳定，供回水总管间设置压差旁通装置，同时采用膨胀水罐定压补水。CSNS 冷冻站和质子应用平台冷冻站冷冻水主管道之间采用阀组进行联通，两个冷源在检修期可互为备用。

3）系统工艺流程

从各换热器返回的二次水混合后，经由冷冻水泵加压至冷水机组，在冷水机组蒸发器内与制冷剂进行热交换，降温后进入管网，通过室外管网供给各系统的换热器或直接和冷却对象进行热交换，升温后再次返回至冷冻站完成制冷循环。

4）质子应用平台的低温系统采用独立的二次水系统，采用闭式冷却塔和冷冻水的组合进行散热。

冷水机组的冷却由冷却循环水系统完成，其工艺流程为：经过冷却塔冷却降温后的冷却水经冷却水泵加压后，进入冷水机组冷凝器中，对冷凝器中的冷媒进行冷却后返回冷却塔散发热量，以此循环。二次水典型工艺流程如下图。

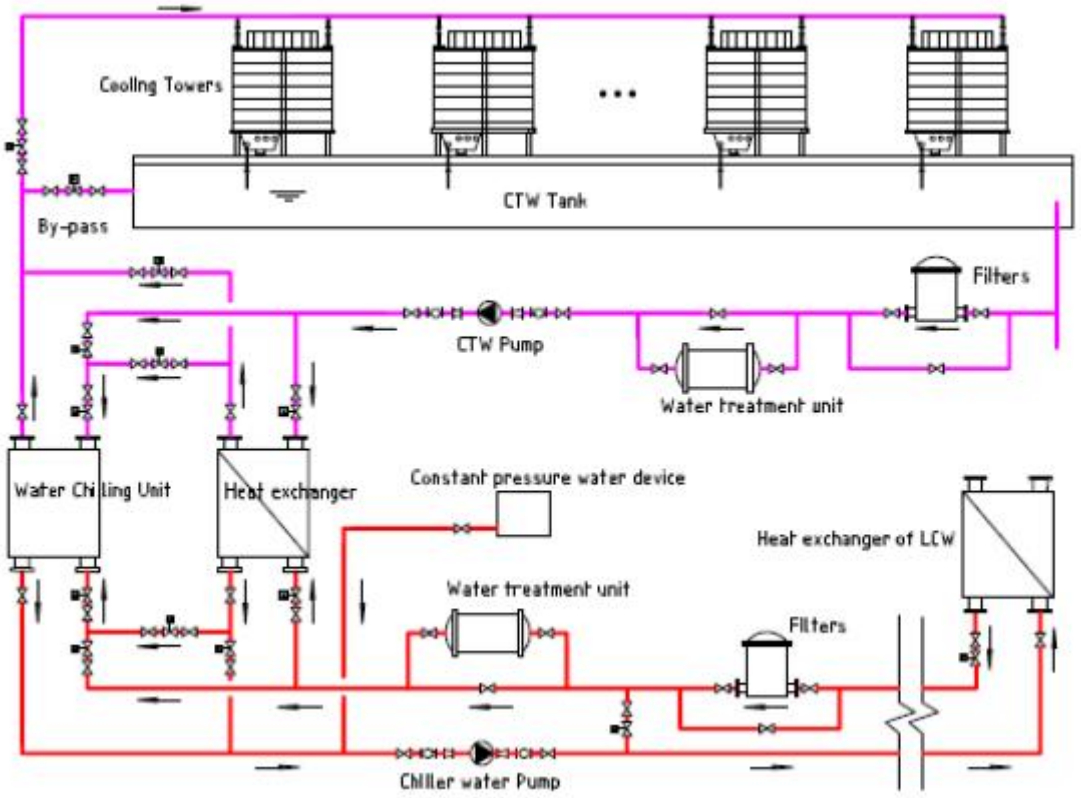


图 5.1-23　二次水系统典型工艺流程图

4）节能设计

二次水系统按照绿色设计理念，根据一年四季不同的气象条件，利用高温型冷水机组与冷却塔循环水的组合，在满足冷却功能的条件下实现冬季自然冷却的最大化利用，以达到高效节能运行的目标。

(1) 补充水系统

补充水系统（纯水制备）的主要目的是提供工艺系统循环补充水（一次水补水）和其他实验用水，主要组成包括设置在冷冻站内的纯水站，以及管网分配系统。

CSNS 纯水制备系统的各项指标和制水量如下：制水量 5 m^3/h；水质标准：DO 含量小于 10 ppb，其余指标符合国标 GB/T11446.1-1997 规定的 EW-I 级水质标准。CSNS 纯水制备系统的各项指标和制水量满足质子应用产业化平台的需求，本项目无需进行新建纯水制备系统。纯水供水主干管沿室外综合管沟敷设，通过支管连接至质子应用产业化平台各用水点。管网采取循环的方式维持各用水点水质。

(2) 恒温监控系统

1）低放废水收集及排放系统

工艺废水中包括普通废水和低放废水（带有低放射性的废水），其中：普通工艺废水视水质情况直接排放或经处理后排放；低放废水需集中收集储存进行自然衰减，经检测后按国家相关标准和规范要求排放。具体流程如下图所示。

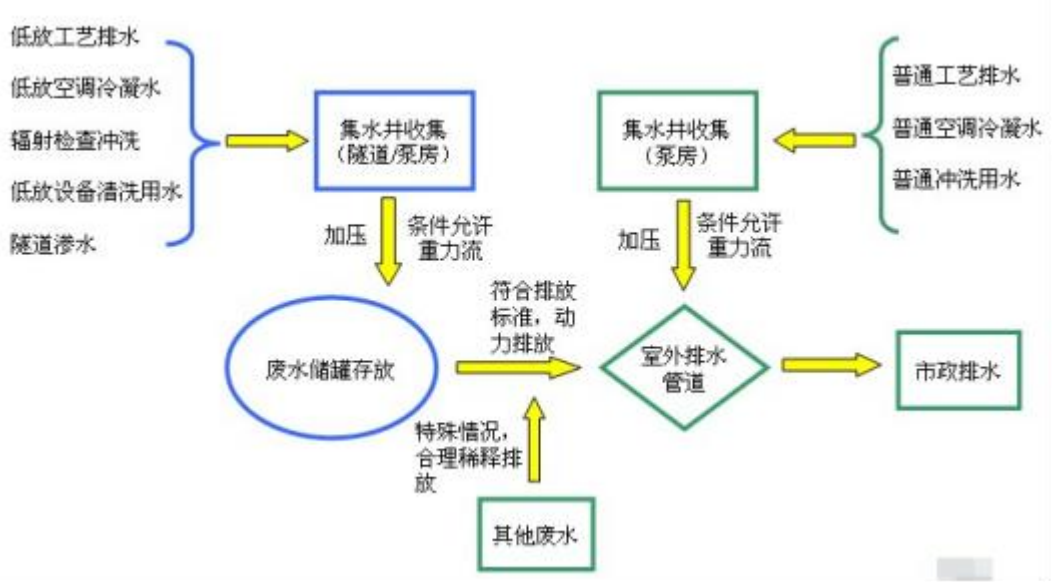


图 5.1-24　工艺废水收集及排放流程图

根据 CSNS 和质子应用产业化平台的低放废水排放点的规划，以及可能发生的排放量，本项目低放废水收集及排放的规划如下：保持 CSNS 的直线、LRBT 低放废水收集及排放系统不变，即可满足这两个区域的收集和排放需求，同时可以收集 LRBT 至质子应用平台靶站隧道区域的低放废水；质子应用平台大楼地下三层设置 1 处低放废水储存区（设计存储容积为 2x15 m^3），将该区域内各排放点的低放废水收到该储存区内。

低放废水的收集主要通过两种方式：重力流，通过地漏和排水管道排至废水储存间水封井；各区域按用水设备设置相应数量的集水井，收集区域内低放废水，并加压传输至废水储存间水封井；然后通过加压排至废水储罐内。各集水井按照功能不同，分为普通集水井和水封井。

2）废气排放系统

质子应用平台的磁铁水冷子系统设有部分流量脱气单元的水冷子系统，脱气单元通常采用液体脱气膜氮气吹扫、真空抽吸组合模式。为防止吹扫气体和水体析出气体沉积在水冷泵房内，需采取一定措施保证此部分气体顺畅排出。具体措施如下：水冷泵房内设置多个脱气单元的，将各脱气单元的排气管与排气横干管连接起来，排气横干管采取一定坡度与排气立管相连，坡度应保证各脱气单元都能排气通畅；水冷泵房内设置单个脱气单元的，脱气单元的排气管直接与排气立

管相连。各部分排气管道应尽量避免大的转弯，以免形成气阻。最终按照水体活化程度的高低，将排气管道接入不同的排气系统，或过滤处理后直接排出室外。

3）安全设计

装置对辐射防护控制区域有严格划分，且对不同划分区域之间有严格的空气负压要求。为了防止不同区域之间的空气通过低放废水管连通，杜绝涉放区域空气流通至普通区域的可能，低放废水收集及排放系统在涉放区域和普通区域之间应设置管道水封和水封井，另外在各低放废水储存间分别集中水封井。以上各水封井同时加装监控和防止水封破坏的措施，增加安全冗余。

(3) 恒温监控系统

1）总体要求

工艺循环冷却水恒温监控系统必须满足水冷工艺要求，能够根据有关工艺需求对各冷却水子系统实施监控，能够长期连续稳定运行，具有极高的可靠性和易维护性，具备在强电磁干扰和高辐照下的高精度测量控制，整体和分级监控管理的网络通讯能力以及系统的先进性、开放性和可扩展性，并与装置中央控制室联网。

2）系统简述

结合工艺循环冷却水工艺流程，恒温监控的主要被控对象为水温，本项目主要通过调节电加热器功率和电动调节阀实现温度可调；监控对象包含温度、压力、流量、液位、水质等工艺参数，主要仪表有温度、压力、流量、液位、电导率、PH、溶解氧等传感器。为了达到高精度恒温控制要求，本项目将采用自制的石英晶体温度传感器，稳定性好，抗干扰能力强。

各子系统基于 PLC 作为现场控制器实现分布式控制，并通过现场总线和工业以太网将数据送至控制过程站和数据库服务器。其中现场控制器为面向生产过程的，主要功能是采集和控制现场的工艺参数。

3）系统布置

各子系统的现场控制器采用现场总线网络联网通讯，组成直接控制层，并经区域主 PLC 连接本地过程操作站。采用工业以太网将水冷过程操作站及数据库服务器等连成局域网，组成操作监控层，并把数据传送至集中控制室。构成一个完整的监控系统。CSNS 一期恒温监控系统功能齐全、运行良好。质子应用产业化平台仅需在平台大楼新增 1 处水冷控制本地站，将 CSNS 新增或扩容的水冷子系统就近纳入 CSNS 原有的水冷本地控制站，并与 CSNS 通用设施监控室联网即可。

5.1.3.2.3 主要设备

1．水泵

一次水各系统均采用不锈钢离心水泵，循环水具有活化可能的系统采用无泄漏泵（磁力驱动泵或屏蔽泵）；二次水系统采用碳钢离心水泵；纯水制备系统均采用不锈钢离心水泵。工艺废水排放系统所用水泵按照安装场合划分：各泵房、隧道和低放废水储存间的集水井采用不锈钢潜水泵；低放废水储罐后的排水泵采用不锈钢立式离心水泵。水泵具体规格参数见表 5.3.2.2.4。

2．换热器、电加热器及机械过滤器

除膜脱气换热器外，其余一律选用板式换热器，板片的材质为 S31603 不锈钢。电加热器选用管道型电加热器，S30408 不锈钢材质。机械过滤器采用 S30408 不锈钢材质。换热器、电加热器具体规格参数见表 5.3.2.2.4。

3．阀门

一次水系统所有阀门均选用 S30408 不锈钢材质。二次水系统阀门以选用碳钢法兰蝶阀为主，但所有调节阀选用 S30408 不锈钢材质设计。低放废水、废气的收集及排放系统阀门均选用 304 不锈钢材质。纯水制备系统阀门采用不锈钢或 FRPP\UPVC\CPVC 材质。电动调节阀具体规格参数见表 5.3.2.2.4。

DN＞100，选用法兰蝶阀。DN≤100，用于起调节作用的，选用截止阀；用于起关断作用的，选用球阀。

4．管道管件

一次水、工艺废水及废气管道采用 S30408 材质，二次水系统管道采用碳钢材质。

5．水箱及低放废水储罐

各类水箱和废水储罐均采用 S30408 材质。

水冷系统主要设备规格参数见下表。

表 5.1-5 水冷系统主要设备规格参数表

序号	设备名称	规格型号	单位	数量
1	冷水机组	Q1=700~800 m³/h，Q2=1300 m³/h: P=5500~6000 kW	台	3
2	卧式离心水泵	Q=180~1300 m³/h，H=35~95 m: P=55~160 kW	台	13
3	立式离心水泵	Q=10~120 m³/h，H=50~95 m: P=3~45 kW	台	6
4	磁力泵	Q=40~80 m³/h，H=80~95 m: P=15~37 kW	台	6
5	不锈钢潜水泵	Q=5 m³/h，H=60 m: P=2.2 kW	台	6
6	冷却塔	Q=450 m³/h，P1=2500 kW，P2=22 kW	台	8
7	闭式冷却塔	Q=45 m³/h，P1=260 kW，P2=5 kW	台	2
8	板式换热器	Q1=37~638 m³/h，Q2=22~1300 m³/h: P=10~5500 kW	台	11
9	电动调节阀	Q=22~600 m³/h	台	8
10	脱气装置	Q=1~10 m³/h	台	3
11	旁流水质处理装置	Q=1~20 m³/h	套	9
12	电加热器	Q=1~810 m³/h，P=2~200 kW	台	7
13	调功柜	P=10~250 kW	台	8
14	机械过滤器	Q=10~300 m³/h	台	14
15	恒温控制系统	0.1-1℃	套	8

5.1.3.3 工艺通风空调系统

5.1.3.3.1 编制依据

(1) 基础资料

工艺设备对供配电提出的需求资料（可研阶段）。

(2) 标准规范

1) 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012；

2) 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 20019-2015；

3) 《建筑设计防火规范》GB 50016-2014(2018 版）；

4) 《建筑防排烟系统技术标准》GB 51251-2017；

5) 《大气污染物综合排放标准》GB 16297-1996；

6) 《工作场所有害因素职业接触极限》GBZ1-2010；

7) 《机械工业厂房建筑设计规范》GB 50681-2011；

8) 《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243-2016；

9) 《科研建筑设计标准》JGJ 91-2019；

10) 《广东省公共建筑节能设计标准》DBJ 15-51-2020；

11) 《工业金属管道设计规范》GB 50316-2000)(2008 年版）；

12) 《工业金属管道工程施工及验收规范》GB 50235-2010；

13) 《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》GB 50236-2011；

14) 《现场设备、工业管道焊接工程施工质量验收规范》GB 50683-2011；

15) 《工业设备及管道绝热工程设计规范》GB 50264-2013；

16) 《空气冷却器与空气加热器》GB/T 14296-2008；

17) 《公共建筑节能设计标准》GB 50189-2015；

18) 《环境空气质量标准》GB 3095-2012；

19) 《办公建筑设计标准》JGJ/T 67-2019；

20) 《民用建筑绿色设计规范》JGJ/T 229-2010；

21) 《绿色建筑评价标准》GB/T 50378-2019；

22) 《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981－2014；

23) 《空调通风系统运行管理规范》GB 50365-2019；

24) 《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010；

25) 《民用建筑隔声设计规范》GB 50118-2010；

26) 《声环境质量标准》GB 3096-2008；

27) 《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002；

28) 《公共建筑室内空气质量控制设计标准》JGJT 461-2019 ；

29) 《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB 50325-2012；

30) 《广东省绿色建筑评价标准》DBJ/T 15-83-2017；

31) 《民用建筑暖通空调设计统一技术措施》2022。

5.1.3.3.2 系统概述

工艺空调系统功能包括：（1）为 CSNS 直线的电源厅、速调管大厅、直线超导大厅等涉及本项目扩容的工艺房间提供空调条件，使其温度、湿度、新风量等指标满足工艺需求，对原有或原设计空调系统进行扩容。（2）为新建的加速器隧道、高功率靶、同位素分离纯化、GMP 分装等设施的隧道和工艺房间提供通风和空调条件，使其负压、通风量、温度、湿度、洁净度等满足工艺需求。相关通风和空调系统采用全密闭形式，即工作区域的全部风管和设备无可见泄漏。上述区域的通风系统及其附属设备的功能应当合理、可行、可靠；放射性物质的扩散量和向环境的排放量必须执行国家现行标准和遵循“合理可行尽量低”的原则。在分区布置的建筑物中，各区设有独立的通风系统，各区之间保持不同的负压确保空气流动方向顺序地由非污染区到污染区，由低污染区到高污染区。各区的机械送风经过滤处理，保证上述区域达到一定洁净要求，减少排风中放射性污染物处理量。排风通过过滤、吸附等一系列有效的处理措施后高空排放，使得排向外部环境空间的气载放射性物质或其他有毒气体符合国家有关卫生标准。（3）为建筑内各类实验室提供通风和空调条件，使实验室内温湿度满足工艺需求，为实验室通风橱等装置提供工艺新风和工艺排风。（4）为建筑内低温、功率源、磁铁电源、本地站（用于布置各类控制机柜等）工艺房间提供空调条件，使其温度、湿度、新风量等指标满足工艺需求。（5）为上述通风空调系统提供冷源和冷水系统。

5.1.3.3.3 室内外参数

1．室外设计参数

本项目室外设计参数见下表：

表 5.1-6 空调系统室外计算参数

计算参数	单位	夏季	冬季
大气压力	hPa	1002.4	1016.6
空调计算温度	℃	33.7	6.0
通风计算温度	℃	31.2	14.9
湿球温度	℃	27.5	/
相对湿度	%	/	72
室外风速	m/s	2.2	2.8

2．室内设计参数

本项目室内设计参数见下表：

表 5.1-7 空调系统室内设计参数

房间名称	温度 ℃	相对湿度 %	负压 Pa	通风量 m³/h	围护结构冷负荷 kW	工艺散热量 kW	新风负荷 kW
靶前加速器隧道	25±2	<65	-30±10	6000	25.4	28.4	86.7
环形加速器隧道	25±2	<65	-50±10	43000	93.6	245.4	621.7
靶室及配套房间	25±2	<60	-50~-450	37000	20	-	87
热室	25±2	<65	-350±10	4000	7.8	20	58
B3 层各辅助用房	25±2	<60	-50~-100	12000	-	58	434
B2 层各分离纯化室	25±2	<60	-50~-100	15000	-	257.5	217
B1 层各 GMP	25±2	<60	-10~-100	15000	-	20	217

房间名称	温度 ℃	相对湿度 %	负压 Pa	通风量 m³/h	围护结构 冷负荷 kW	工艺散热量 kW	新风负荷 kW
分装室							
首层同位素实验室	25±2	<60	维持负压	30000	-	-	433.7
功率源厅	25±2	<60	-	1500	75.6	42	21.7
低温厅	25±2	<70	-	1500	44.4	50	21.7
各处磁铁电源厅	25±2	<60	-	1500	87.6	227.7	21.7
各处本地站	25±2	<60	-	1000	61.7	305.2	14.5
首层至四层各实验室	25±2	<60	-	60000		415.6	867.5

5.1.3.3.4 系统设计

1．靶前加速器隧道和环形加速器隧道的密闭通风空调系统

包括循环风系统，新风系统和排风系统。循环风系统用于控制隧道内的温度和湿度，其流程为：隧道回风→密闭空调箱→密闭离心风机及二次回风→送风机→隧道送风。新风系统负责将室外新风进行温湿度处理后送入隧道，在运行模式下关闭，在快速换气模式下与排风系统配合，负责控制隧道内负压，新风系统流程为：组合式新风机组→流量计→快速开关阀→隧道新风。排风系统负责将隧道内气体进行过滤处理后高空排放。在运行模式下，排风系统负责控制负压，在快速换气模式下与新风系统配合，负责控制排风量。过滤采用效率为 99.97%@0.3 μm 的一级高效空气粒子过滤器。排风系统流程为：隧道排风→高效空气粒子过滤器→流量计→排风机→快速开关阀→高空排放。上述系统流程图见下图。

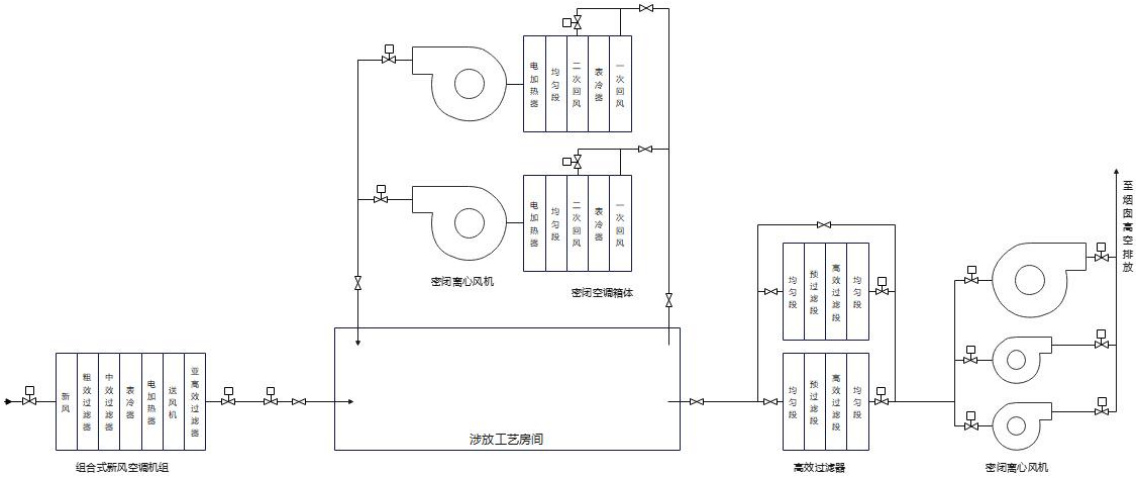


图 5.1-25　加速器隧道通风空调系统流程图

2．靶密闭通风系统

包括主密闭排放系统（PCE，Primary Confinement Exhaust），次密闭排放系统（SCE，Secondary Confinement Exhaust）和废气排放系统（HOG，Hot-Off Gas）。

PCE 系统用于对靶及与其相邻房间的通风。PCE 新风为无动力系统，运行期间控制负压，停机期间关闭。其流程为：新风→快速开关阀→过滤器→调节阀→止回阀→靶及配套工艺房间。PCE 排风在运行期间控制排风量，停机期间关闭。其流程为：靶及配套工艺房间→过滤器→吸附器→流量计→排风机→高空排放。排风过滤采用效率为 99.97%@0.3μm 的二级高效空气粒子过滤器。吸附根据介质配置固态填料吸附器。当出现故障时，关闭快速开关阀确保运行安全。PCE 流程图见下图。

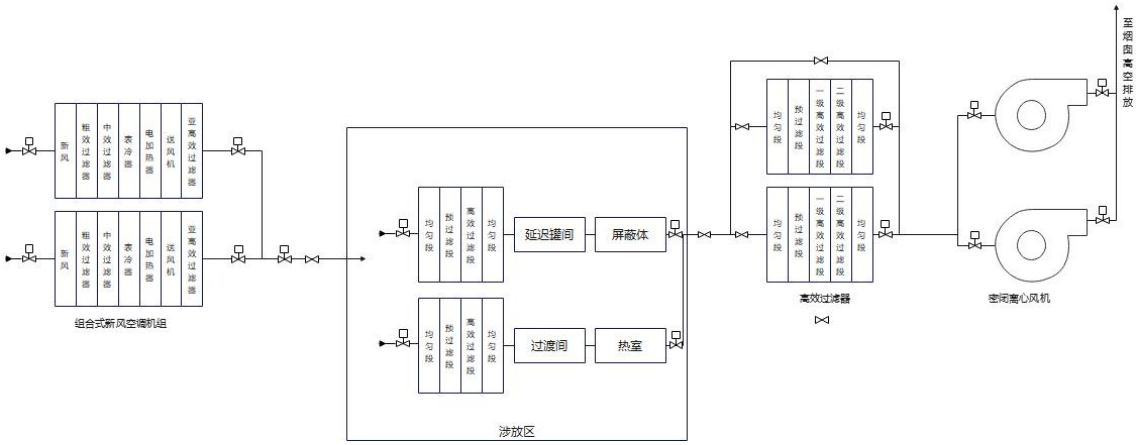


图 5.1-26　PCE 系统流程图

SCE 系统用于对 B3 层各工艺房间及 B2 层较低放射性房间的通风。SCE 系统流程为：组合式空调机组→流量计→快速开关阀→新风调节阀→各工艺房间→排风调节阀→过滤器→吸附器→流量计→排风机→高空排放。其中新风调节阀用于控制单个工艺房间的负压，排风调节阀用于控制单个工艺房间排风量。新风调节阀、排风调节阀均为压力无关流量调节阀，外部采用专用密闭罩确保对外零级泄漏。过滤采用效率为 99.97%@0.3 μm 的二级高效空气粒子过滤器。吸附根据介质配置固态填料吸附器。SCE 系统与 PCE 和 HOG 设置硬线联锁，当 PCE 或 HOG 停止运行时，立即关闭 SCE 系统，确保运行安全。SCE 流程见下图。

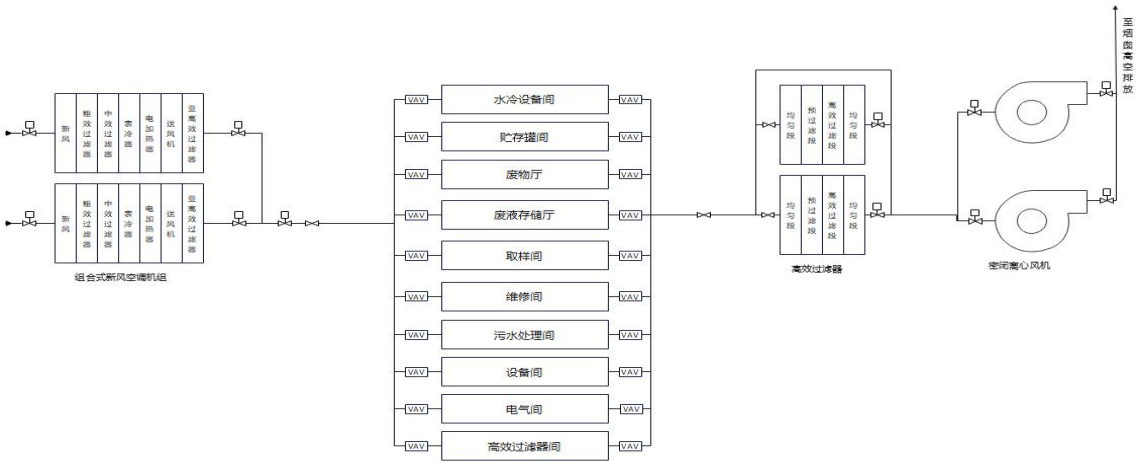


图 5.1-27 SCE 系统流程

HOG 系统用于靶运行时工艺设施产生的带有压力且有一定放射性排气的处理。HOG 系统流程为设备排气→过滤器→吸附器→压力流量调节装置→流量计→排风机→高空排放。过滤采用效率为 99.97%@0.3μm 的二级高效空气粒子过滤器。吸附根据介质配置固态填料吸附器。压力流量调节装置用于在排气量有变化时，对系统运行压力和流量进行安全可靠的调节。

3．分离纯化通风空调系统、GMP 分装通风系统

上述系统用于对分离纯化室、GMP 分装室等 71 个工艺房间的通风，负责其负压和通风量控制。上述房间并联运行，每个房间外门开闭或是否运行均不影响其他房间正常运行，且与走廊和邻近房间形成可靠的负压梯度，确保空气由剂量相对较低的房间流向相对较高的房间。系统流程为：组合式空调机组→流量计→快速开关阀→新风调节阀→分离纯化实验室或GMP分装室→排风调节阀→过滤器→吸附器→流量计→排风机→高空排放。过滤采用效率为 99.97%@0.3μm 的一级高效空气粒子过滤器。吸附根据介质配置固态填料吸附器。典型流程图见下图。

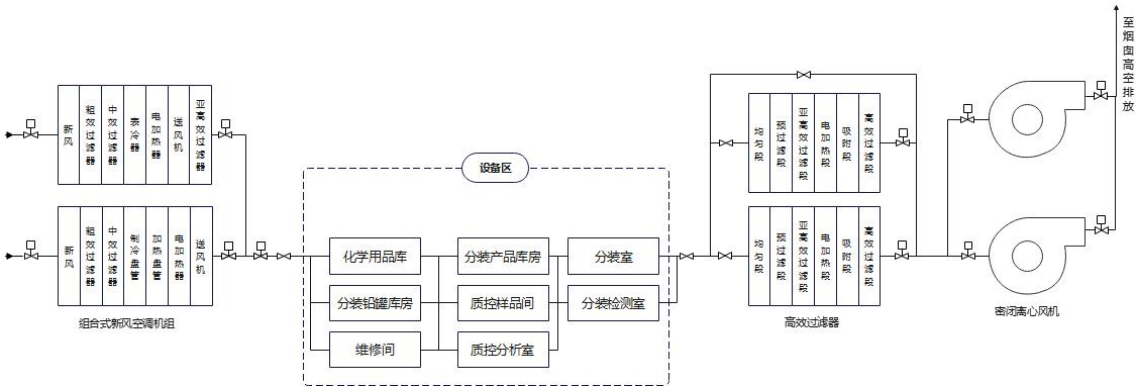


图 5.1-28 分离纯化通风空调系统/GMP 分装通风系统流程图

4．实验室通风空调系统

实验室通风空调系统用于维持首层至四层各类实验室的温度、湿度、压力梯度，并对实验室内有局部排风的各类装置提供通风。各实验室采用风机盘管＋新风的空调系统，风机盘管用于控制室内温湿度，每个楼层的新风系统为实验室提供人员所需的新风。对于实验室内的工艺设备，通过专用新风和专用排风系统进

行通风换气，避免异常情况对所在的实验室和临近实验室的干扰。系统流程为：组合式空调机组→流量计→新风调节阀→工艺设备→排风调节阀→吸附器→流量计→排风机→高空排放。吸附根据介质配置固态填料吸附器。典型流程图见下图。

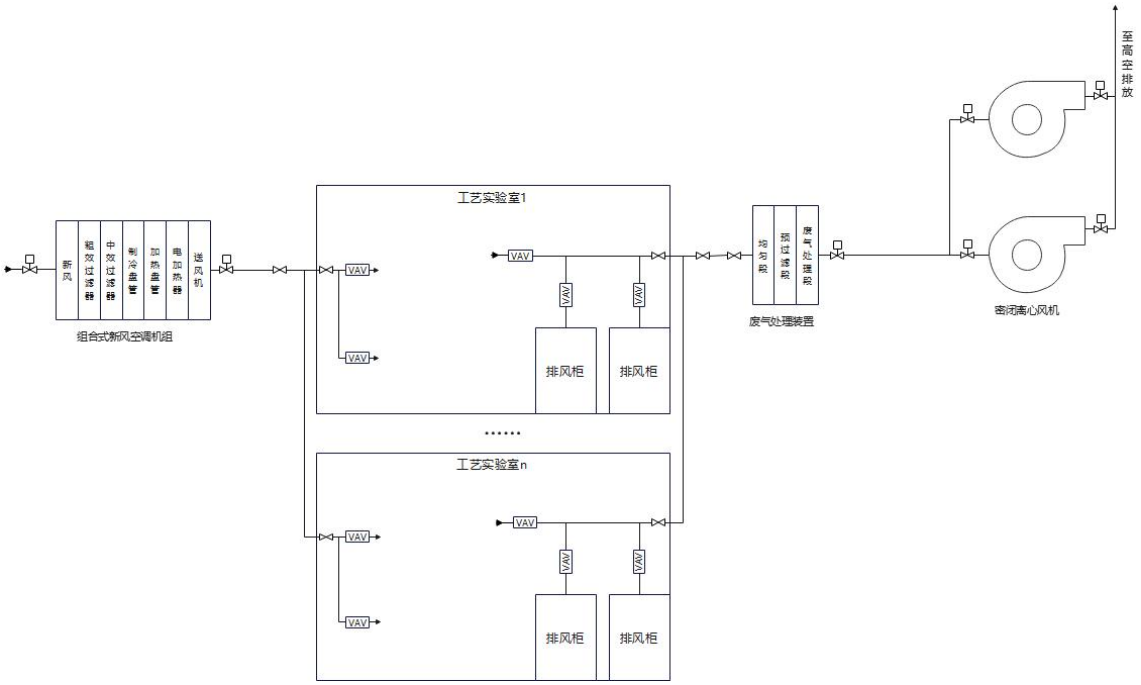


图 5.1-29　实验室通风系统流程图

5．工艺用房空调系统

工艺用房空调系统分为全空气系统和空气－水系统。

功率源厅、低温厅、电源厅等各类工艺房间空间较大，散热量大，温度波动一般要求控制在±2℃内，湿度要求低于 60%。采用全空气系统进行空气调节。根据房间内的工艺布局，气流组织采用上送风或侧送风。空调机房采用就近布置原则，对于有条件的区域，部分空调箱体集中设置机房。空调处理过程和典型的系统流程见下图。

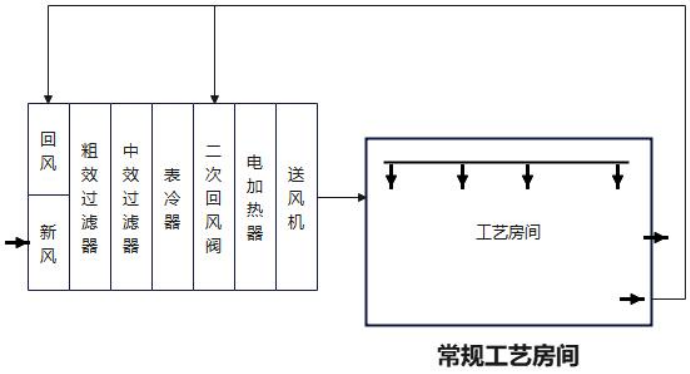


图 5.1-30 全空气系统流程图

束侧、真空、控制、辐射防护等控制机柜由本地站集中布置，其空间相对较小，散热密度大，采用空气－水系统进行空气调节。空调设备采用柜式空调机组，布置在工艺房间内，柜式空调机组的检修空间与过道或者其他设备检修空间共用。气流组织形式采用地板送风或侧送风。空调处理过程和典型的系统流程见下图。

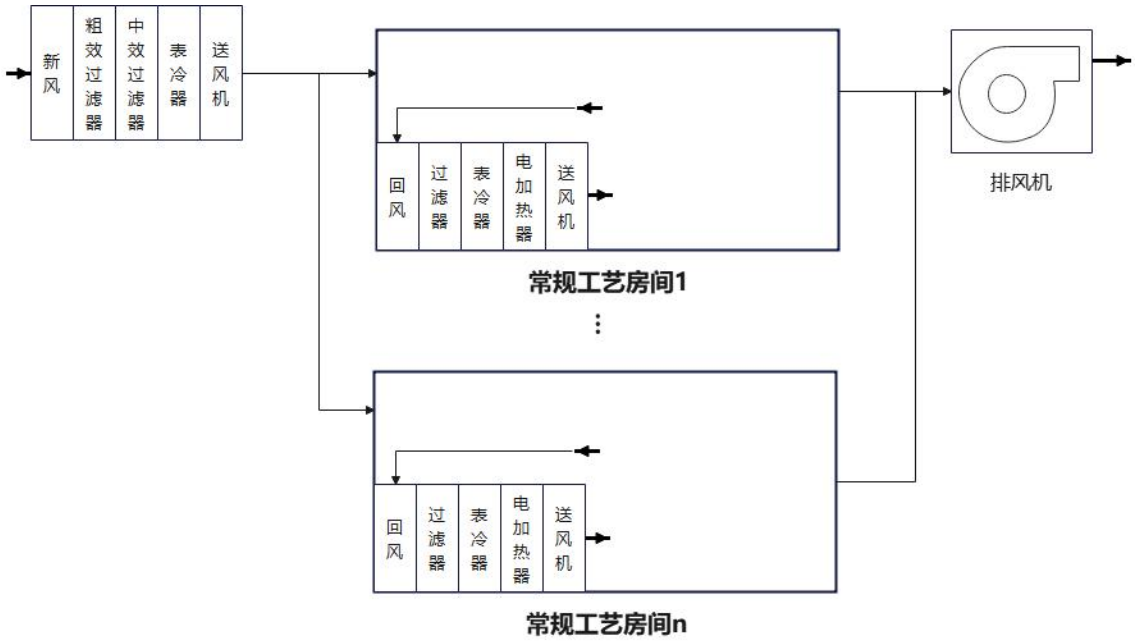


图 5.1-31 空气－水系统流程图

6．通用机房通风空调系统

变配电室、冷冻站、水冷泵房、空压站、空调机房等通用设备机房，采用常规通风系统实施通风。新风和排风设备就近布置。考虑到东莞当地夏季极端温度

较高，在新风设备布置换热盘管，当室内温度过高影响设备运行时，通过提供少量冷源（变配电室采用制冷剂冷媒，其他采用冷水冷媒）适当降低室内温度。

7．冷源及冷水系统

工艺空调设计冷负荷为 5304 kW，采用 2 台制冷量为 3580 kW 的离心式水冷冷水机组，考虑到调试和检修期间负荷较低，采用变频式电机驱动避免喘振情况发生，同时有较好的节能效果。冷水机组、冷却水泵、冷冻水泵、水处理和定压装置等布置在首层冷冻站，冷却塔及水池布置在屋面。典型的系统流程见下图。空调冷水系统采用二管制系统，每层设置静态平衡阀调节管网流量特性。

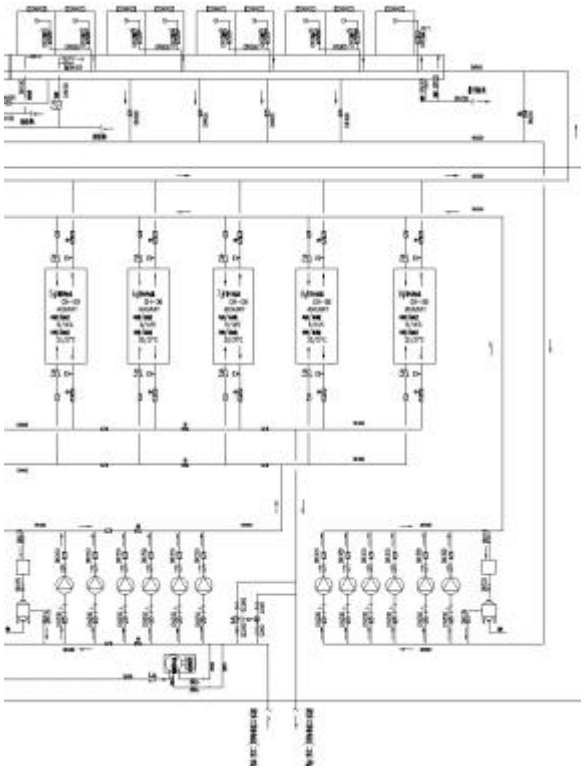


图 5.1-32　冷源系统流程图

5.1.3.3.5 自动控制

工艺空调控制系统的主要任务包括：实现工艺房间温度、湿度、负压、通风量等参数控制与监测，以及系统中各设备运行状态监控；实现冷却风系统供风量、供风温湿度、供风压力等参数控制与监测，以及系统中各设备运行状态监控；实现冷源设备运行状态监控和冷水制备参数（如供回水温度、供回水压力、流量、

电导率等）；实现压缩空气系统供气量、供气压力、供气温度、露点温度等参数以及设备运行状态等的监控。

空调自控系统的控制网络由现场控制层、服务器层、操作层共三层结构组成。现场控制层由 PLC（可编程逻辑控制器）或 DDC（直接数字控制器）等控制器、传感器、执行机构、动力设备等组成，完成现场直接控制需求。服务器层由集中布置于中控室内的数据采集服务器（EPICS、WinCC 等）、数据记录服务器、报警服务器、WEB 服务器等组成。操作层由操作站、管理站、打印机、语音报警系统等组成，提供直接人机交互界面服务。

涉及放射性的通风系统，控制逻辑为：由空调控制器采集排风管风量传感器信号，控制排风风机频率，以满足通风需求；并采集室内压力传感器信号，控制房间压力状态，维持涉放控制区域负压状态。涉及放射性的空调系统，控制逻辑为：由空调控制器采集设置在回风总管的温、湿度传感器信号，控制空调机组上的电动两通阀，以及调功柜或二次回风阀（二次回风系统）等再热量，以满足室内的温、湿度要求。工艺性空调系统的控制逻辑为：由空调控制器采集设置在室内的温、湿度传感器信号，控制空调机组上的电动两通阀，以及调功柜或二次回风阀（二次回风系统）等再热量，以满足室内的温、湿度要求。并采集室内 CO^2 含量，控制新风量，以满足新风需求。相关的控制逻辑见下图。

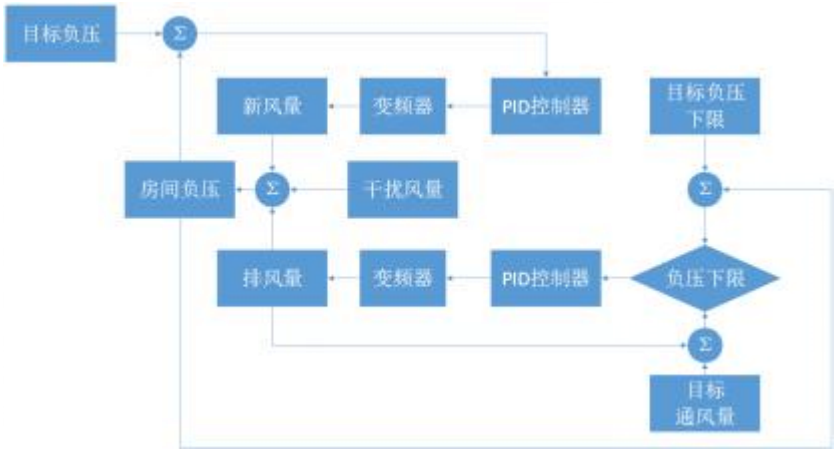


图 5.1-33 涉及放射性通风系统控制逻辑

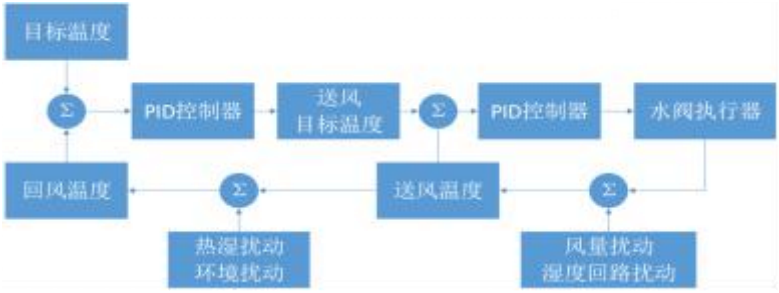


图 5.1-34　涉及放射性空调系统的控制逻辑

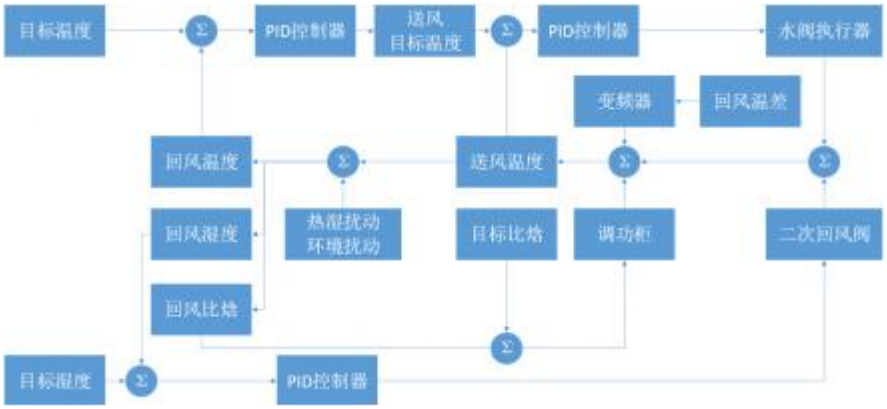


图 5.1-35　工艺性空调系统的典型控制逻辑

5.1.3.3.6 主要设备

1．不锈钢密闭离心风机

该设备是涉及放射性通风和空调系统的动力设备。轴通过机壳位置采用双端面干气密封等密封措施，机壳拼接采用满焊焊接，确保运行无可见外泄漏，保证运行环境安全。过流面材质选用不锈钢 S30408。

2．不锈钢密闭空调箱体

该设备是涉及放射性通风和空调系统的空气调节设备，用于调节循环空气的温度和相对湿度。对密封性要求高，整机运行时无可见外泄漏，保证运行环境安全。过流面除换热器外均为不锈钢 S30408。

3．高效空气粒子过滤器和吸附器

加速器隧道、靶、热室操作间、分离纯化室、GMP 分装室及相关房间在运行时，空气含有一定量的放射性粉尘和气溶胶，高效空气过滤装置用于对这部分空

气的过滤处理，过滤效率优于 99.97@0.3μm，根据空气的特性配置必要的固态吸附器进行吸附处理。

4．空调末端设备

组合式空调机组、立柜式空调机组等用于工艺性空调系统对温度、相对湿度进行调节，并通过初中效过滤器保持工艺房间的洁净环境。要求风机、冷热盘管配置优良，适合全年不间断运行。风机在工作区的运行曲线平稳，对变频运行的适应性较好。

5．冷水机组、水泵、冷却塔

冷水机组选用变频离心式冷水机组，冷水供回水温度为 6.5/11.5℃，冷却水供回水温度为 32/37℃。换热器、换热盘管和冷媒循环系统的配置应充分考虑东莞当地的气候条件，使在夏季仍能维持较高制冷性能并稳定运行。冷水泵、冷却水泵采用端吸泵形式，采用长期稳定性高的密封件、联轴器和电机，工作区的运行曲线应平稳，电机采用变频电机，水泵对变频运行有较好的适应性。冷却塔采用开式逆流或横流冷却塔，电机防护等级不低于 IP54。

6．不锈钢密闭风阀

不锈钢密闭风阀（蝶阀）主要用于涉及放射性的通风空调系统中，包括开关阀和调节阀。开关阀用于隔断气流，内、外泄漏等级为零级泄漏，快速开关阀采用气动执行机构，其他开关阀采用电动或手动执行机构；调节阀用于对温湿度、压力及流量的控制，内泄漏等级为一级泄漏，外泄漏等级为零级泄漏，调节阀采用电动执行机构。

7．密闭风管系统

涉及放射性的通风空调管道系统有密闭要求，采用不锈钢焊接风管。按《流体输送用不锈钢无缝钢管》GB/T 14976-2012、《流体输送用不锈钢焊接钢管》GB/T 12771-2019 标准中的系列 2、0.25 MPa 选择管道管件。

8．水管系统和工艺性空调风管系统

冷水管、冷冻水管全部采用碳钢管，冷凝水管采用热镀锌钢管。通风空调除密闭风管系统外，均采用镀锌钢板风管，空调风管厚度按《通风与空调工程施工质量验收规范》（GB50243-2016）选用。空调水管和空调送、回风管及新风管（新风处理机出风段）采用橡塑保温板或管壳进行保温，保温层热阻优于 0.84 ㎡·K/W。

工艺空调系统的主要设备参数见下表。

表 5.1-8 工艺空调系统主要设备参数表

设备名称	主要参数	单位	数量
不锈钢离心风机	过流面均为不锈钢 S304 材质，整机耐压 1 kPa，轴封采用双端面干气密封，运行期间无泄漏。风量 3000 ~30000 m³/h，风压 1~5 kPa，采用专用变频电机，使用频率 10～50 Hz	台	31
通风机	风量 10000 ~30000 m³/h，机外余压 500～1500 Pa，采用专用变频电机，使用频率 10～50 Hz	台	25
不锈钢密闭空调箱	过流面均为不锈钢 S304 材质，整机耐压±3 kPa，零级泄漏。风量 10000~30000 m³/h，冷量 50~200 kW，电加热量 15~45 kW。	台	10
高效空气粒子过滤器	过流面金属部分均为不锈钢 S304 材质，整机耐压 10000 Pa，运行期间无泄漏。采用 1 级或 2 级 HEPA 滤芯，过滤效率 99.97%@0.3μm。单台风量 3400 m³/h。	台	41
吸附器	单台风量 3400 m³/h，过流面金属部分均为不锈钢 S304 材质，整机耐压 10 kPa，运行期间无泄漏。吸附介质为带有放射性气体。	台	10
气体处理装置	对有害排风的过滤、吸附、中和等处理装置，过流面均为不锈钢 S304 或 PP 材质，耐压±10 kPa，对外零级泄漏。	套	6
空调末端设备	风量 3000 ~50000 m³/h，冷量 10~250 kW，机外余压 500～1500 Pa，过滤效率 F4～H14。	台	57
不锈钢密闭风阀	不锈钢 S304 材质，外泄漏等级为零级泄漏，内泄漏等级为零级泄漏或一级泄漏。外径 DN50～DN1000，法兰式蝶阀，采用电动调节、电动开关、气动开关或手动开关操作装置。	台	280
不锈钢烟囱	不锈钢 S304 材质，出口管径 DN1500，高度 40 m。	台	1
变频柜	功率 4~75 kW，含变频器、配套元器件、控制二次回路及柜体等	台	115
调功柜	功率 10~150 kW，含可控硅无级调节器、配套电气元件、控制二次回路及柜体等。	台	65
控制柜	含 PLC 控制器和相关各类模块，本地显示，数据记录存储等设备	台	94
密闭式风量调节装置	控制风量 200~1000 m³/h，含风量调节阀、本地控制器及相关配件。风量控制阀为非标设计，对外零级泄漏。过流面及密封装置均为不锈钢 S304 材质。	项	148
冷水机组	冷量 3580 kW，用电量 640 kW，冷冻水供回水温度 6/14℃，冷却	台	2

设备名称	主要参数	单位	数量
	水进出水温 32/37℃。		
水泵	水量 375~720 m³/h，扬程 30～50m，功率 55~90 kW。	台	4
冷却塔	水量 800 m³/h，功率 30 kW，进出水温度 37/32℃。	套	2
水处理装置	水质处理和定压补水等。	套	3

5.1.3.4 压缩空气系统

5.1.3.4.1 系统功能

压缩空气系统为真空、低温、机械远程操作等系统的工艺设备的气动装置提供干燥、洁净的气源，也为部分设备提供冷却用气以及吹扫用气等。这些用气设备和用气点均匀分布在地下隧道和相关的工艺设备房间。连续稳定的压缩空气直接影响本项目正常运行，在设备配置、调压稳压等方面需要有可靠措施，确保整套系统安全、稳定、可靠性高。

质子应用产业化平台压缩空气系统的建设主要分为两部分：一是对 CSNS 直线原有的压缩空气系统进行本项目相关扩容；二是在质子应用平台大楼新建压缩空气系统。

5.1.3.4.2 系统设计和组成

参考《供气仪表设计规范》（HGT20510-2014）对气源供气设计容量的计算要求，同时考虑吸附式干燥机占用 15%耗气量等条件，本项目压缩空气计算用气量为 8 Nm³/min。压缩空气品质：常压露点（D.p）≤-40℃；微粒＜0.1μm；含油≤1 mg/Nm³；使用点压力 0.6/0.8 MPa。

压缩空气站由空压机、干燥机、过滤器等设备，以及调压、稳压及安全泄压等组件组成。空压机采用螺杆式压缩机，将室外大气压缩至 0.9~1.1 MPa，通过冷却式干燥机和吸附式干燥机将压缩空气的露点温度逐步降低至-20℃，通过三级过滤组件使空气含尘和含油量满足设计要求，通过调压组件处理后提供压力分别为 0.6±0.03 MPa 和 0.8±0.03 MPa 的压缩空气。关键设备和组件采取冗余配置，使设备保养、设备故障或特检等情况发生时，仍可确保压缩空气站的连续用气。压缩空气站的系统流程见下图。

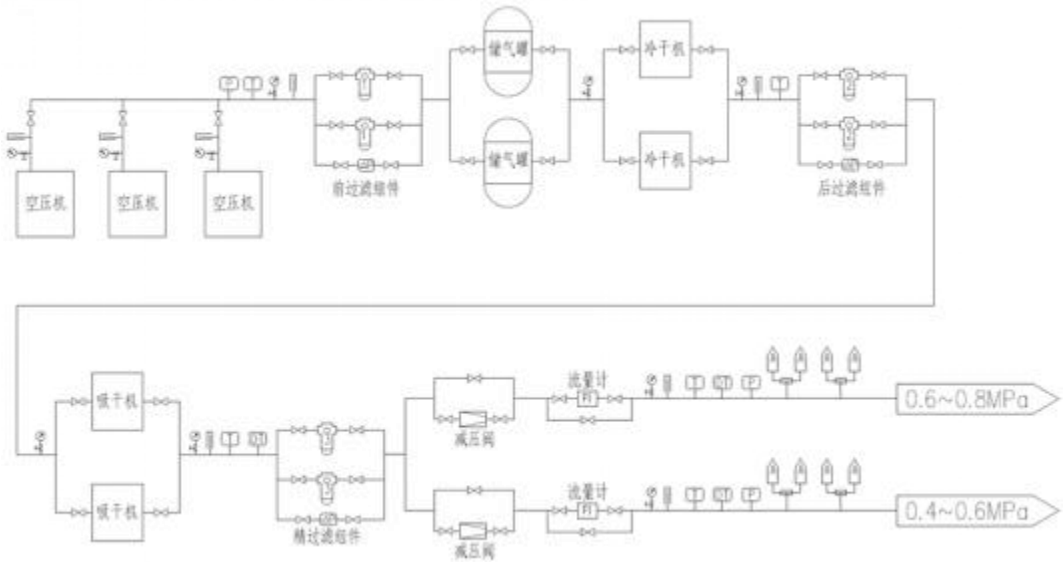


图 5.1-36 压缩空气站工艺流程图

输配管线将压缩空气站生产的压缩空气送至用气设备附近。输气干管形成环路，提高整体用气安全性。根据用气设备需求配置支管系统，除开关阀外，部分用气点还设置了缓冲罐、减压阀、流量计、现场仪表等装置。

自控系统以集中管理、分散控制为配置原则。压缩空气站采用以空压机为主体的本地控制系统，通过监测设备和传感器的指标，自动实现设备的启停、切换以及运行指标的调整。输配管线设置传感器监测压力、流量、露点温度及冷凝水等数据，通过就近控制器和通讯系统上传至值班工作站。当现场发生堵塞、漏气等故障时，可通过值班工作站对输配管线进行快速切换，减少影响范围。

5.1.3.4.3 主要设备

压缩空气系统主要设备见下表。

表 5.1-9 压缩空气系统主要设备参数表

设备名称	主要参数	单位	数量
空压机	排气压力 1.0 MPa，排气量 8 m³/min，功率 55 kW	台	2
冷冻式干燥机	露点温度 5~7℃，气量 12 m³/min	台	2
吸附式干燥机	露点温度-40℃，气量 13.5 m³/min	台	2
过滤器	含尘<0.01 μm，含油<0.01 mg/m³，气量 13.5 m³/min	台	6
储气罐	容积 0.6~5 m³，设计压力 1.0 MPa，材质	台	6

	不锈钢（S30408）		

5.1.3.5 设备安装系统

5.1.3.5.1 设备安装系统

质子应用产业化平台各系统中的部件和设备数量较多，安装要求很高，且贵重易碎，其中有些设备的体积或重量较大。它们中间相当大一部分设备在安装完成以后还需要考虑到运行中的更换及检修，特别是放射水平较高的区域要求快速拆卸及安装。因此，在适当的位置必须配备足够起重能力的移动天车、运输设备及安装专用设施等。

5.1.3.5.2 吊装通道布置

结合辐射防护设计要求，质子应用产业化平台所在建筑内设置两处吊装口和合适的运输通道，以分别满足同位素分离和废物存储、靶站及加速器设备吊运需求。

5.1.3.5.3 起重机布置

本项目需要为加速器工艺房间、靶站、低放废物存储区、产业化平台预留区域等设置适当起重能力的起重机；对于质子应用束线所在的不规则建筑区域，则需要在束线的上方预埋单轨行车的轨道；其他设备用房根据需要设置单轨行车轨道或者预埋吊点等。各建筑需要的起重机参数见下表。

表 5.1-10　　质子应用产业化平台起重机设计参数表

安装位置	起重荷载（t）	跨度（m）	数量
质子应用平台吊装口 1	30	7	1
质子应用平台吊装口 2	10	7	1
质子应用大厅	30/5	30	1
靶站	10	8	1
低放废物存储厅	20	15	1
功率源厅	10	25	1

5.1.3.5.4 其他

质子应用产业化平台工艺设备安装与一般机器设备安装有极大不同，最突出是设备昂贵、安装精度高、安装条件苛刻。项目安装前要设计加工较多的工装，配置可移动的垂直及水平运输设备，如小型起重机、气垫船等等。依靠 CSNS 工程建设所积累的丰富经验和人才，组织一支胜任工艺设备安装的力量，不仅能够保证工艺设备安装成功，而且能节约经费；投资估算中也对此给予了适当考虑。

5.1.3.6 计算与网络通讯系统

5.1.3.6.1 网络子系统

同位素生产大楼共七 层，所有非屏蔽区域需覆盖园区有线及无线办公网络，双网物理独立，整体采用星形三层结构。首层弱电间为汇聚层，采用双冗余热备模式，向上直连至园区 A1 一 层 108 数据中心机房的办公网络核心设备，向下直连至各楼层的接入网络设备，实现稳定、高效的主干网络环境；各楼层弱电间的接入网络设备，负责本楼层的有线及无线办公网络覆盖。对于有数据传输需求的楼层，需部署实验数据传输网络，直连至 A1 一层数据中心机房的计算网络核心设备。所有网络同时支持 IPv4/IPv6 双栈协议，实现高效、可靠和可扩展的网络环境。网络拓扑结构如下：

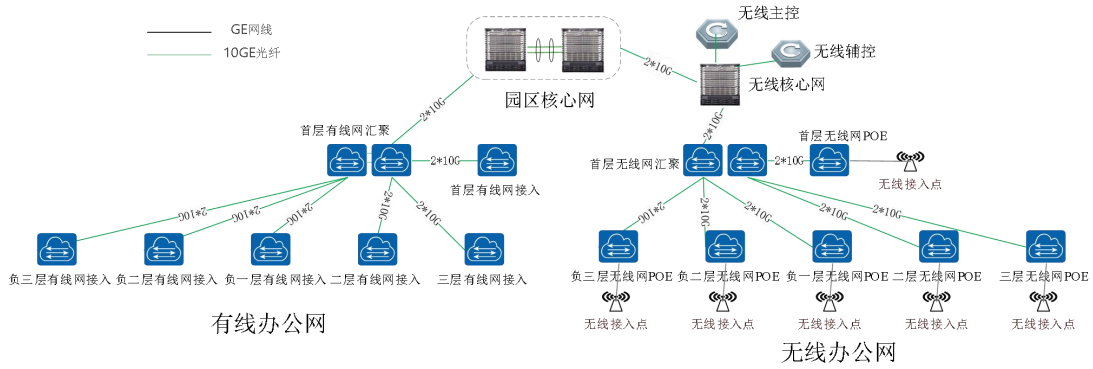


图 5.1-37 同位素生产大楼网络拓扑图

网络性能主要参数：

实验数据传输网络：接入速率不低于：10 Gbps，上行速率不低于：2*25 Gbps；

有线办公网络：接入速率不低于：1 Gbps，上行速率不低于：2*10 Gbps；

无线办公网络：POE 接入速率不低于：1 Gbps，上行速率不低于：2*10 Gbps，无线网络接入支持：802.11a/b/g/n/ac/ax，无线 AP 整机接入速率不低于 1 Gbps。

（1）弱电间及光缆

首层弱电间为汇聚弱电间，至园区 A1 一 层 108 数据中心机房需配备不少于 48 芯的单模光缆（室外铠装光缆），光缆两端熔接在机柜的光纤配线架上，用于楼宇网络互联。各楼层所有弱电间需至少配置一个 42U 机柜，单机柜配置一个不低于 8 口 PDU 插座，机柜里有光纤配线架（适配 SC 接头）和网络配线架，弱电间内需配置空调或通风设备以防温度过高影响稳定运行。首层弱电间至其他各楼层的弱电间需配备不低于 24 芯的单模光缆，光缆两端熔接在机柜的光纤配线架上，用于楼层间的网络互联。

（2）综合布线

所有弱电间至办公室、走廊等末端接入区域需采用 6 类双绞线，单条网线的布线长度不超过 90 米。

有线办公网络：所有人员办公、需要联网的设备、实验区域均需提供有线接入点位，且每个房间不低于 4 个网口（可根据现场规划情况适量增减）。具体为以下原则：办公房间或实验室内，每二十 平米有线网络面板不少于 4 个；实验厅等大型区域，每 5-7 米距离不低于 1 个网口。网口面板距离地面 300 mm，部署相应的网络线缆连接到弱电间配线架。

无线接入点位置：所有开放活动区域均需要无线网络覆盖，采用 6 类双绞线，单条网线的布线长度不超过 100 米，末端线缆预留 2 米，采用六 类水晶头制作。墙面安装的无线接入点需离地面 2.5 米高，走廊安装的需位于天花板下面吊装。采用放装型 AP，每台 AP 无遮挡情况下覆盖半径 20 米，设计考虑部分冗余，如有遮挡物，最多不能超过 2 堵墙，即两堵墙外需增设一 台 AP。

（3）线缆标签标识

线缆编号唯一且各段两端点标识保持一致，标签标识样式如下：

网络设备标识：弱电间－功能（汇聚/接入/POE，汇聚：AGG，接入：ACC，无线网：POE）－编号（1），例：F1-AGG-1 / F1-ACC-1。

网络设备线缆标识：网络设备标识-P 端口号--D 配线架号-端口号，例：

F1-ACC-1-P11--D1-111。

配线架线缆标识：D 配线架号-端口号-－楼层－房间－编号，例：D1-111--F1-R101-01。

网络设备互联标识：网络设备标识-P 端口号--网络设备标识-P 端口号，例：F1-AGG-1-P11--F1-ACC-1-P11。

楼层光缆或大对数电缆标识：楼号－楼层－弱电间编号－编号，例：A1-F1-108-1。

各房间信息插口应粘贴配线架编号，例：D1-111。

配线架内线缆编号顺序：从上至下、从左至右依次排列。

标签采用专业防水标签，打印并粘贴牢固。

（4）网络设备需求

A）所有 AP 的工作模式为瘦终端模式，由无线控制器集中控制，使用园区 A1 一层 108 数据中心机房无线控制器。

B）所有弱电间内有线网络和无线网接入交换机物理隔离，不能混用。交换机级联使用 2 个 SFP+聚合端口。弱电间内交换机级联层数不超过 2 层，即多台接入交换机时，这些接入交换机应级联至汇聚交换机，不允许接入交换机 A-B-C 多级互联。最终由汇聚交换机上连至核心交换机。

（5）实验数据传输需求

实验数据传输网络与园区办公网络物理隔离，各楼层均需配置 1 台高性能的实验数据传输交换机，该交换机物理直连园区 A1 一层 108 数据中心机房，实现实验数据的高效传输。

（6）关键设备

序号	设备名称	建议型号	参数	数量	单价（万元）	总价（万元）
1	汇聚交换机	RG-S6120-20XS 4VS2QXS	不低于 20 个 10G SFP+光口，4 个 10G/25G SFP28 光口；2 个模块化电源	4	2	8
2	POE 交换机	RG-S5310-48GT 4XS-P-E	不低于 40 个 10/100/1000 M 自适	6	2	12

序号	设备名称	建议型号	参数	数量	单价（万元）	总价（万元）
			应电口，不低于 4 个 10G SFP+光口；PoE 满载不低于 1000 W			
3	接入交换机	RG-S5310-48GT 4XS	不低于 40 个 10/100/1000 M 自适应电口，不低于 4 个 10G SFP+光口	12	1	12
4	无线 AP	RG-AP840-I	不低于 6 条空间流；工作频段：802.11a/b/g/n/ac/ax	110	0.5	55
5	无线 AP 管理 license	128 节点	可增加管理 128 个 AP	2	2	4
6	实验数据传输交换机	RG-S6510-48VS 8CQ	不低于 40 个 10G/25G SFP28 端口，不低于 6 个 40G/100G QSFP28 端口	6	10	60
总计				**151 万元**		

5.1.3.6.2 数据存储子系统

（1）建设目标

为提供同位素实验数据存储与数据共享服务，建设数据存储系统。系统为所有同位素的实验数据、分析数据提供存储服务，并面向所有用户提供高性能的数据共享服务和数据长期保存服务。建设包括 500 TB 实验数据存储，20 TB 用户工作目录数据存储及初始容量为 1 PB 的磁带库存储系统。

（2）建设内容

1）实验数据存储系统建设

实验数据存储系统将基于 Lustre 分布式文件系统管理非结构化数据，Lustre 是高性能计算领域使用最广泛的分布式文件系统，通过元数据和数据分离的架构实现吞吐率的线性可扩展。同时部署相关监控组件，将其集成至数据中心监控系统。

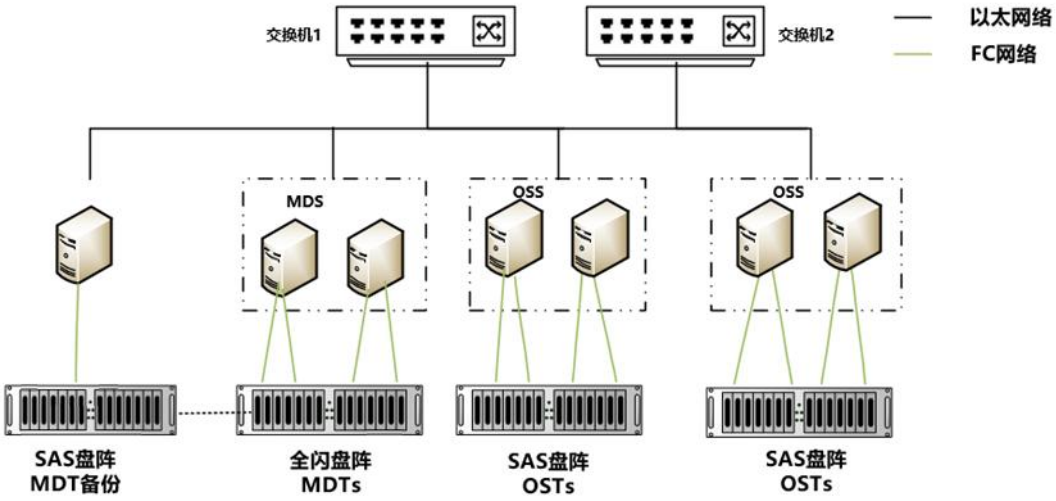


图 5.1-38 Lustre 存储架构图

2）用户工作目录数据存储系统建设

用户工作目录可复用实验数据存储系统建设的基于Lustre的分布式文件系统。实现云分析平台、科学计算平台的对接，为云分析平台和计算平台用户提供工作空间。

3）磁带库存储系统建设

目前散裂机房已经建设来一套EOSCTA分级存储系统，用于长期进行数据的保存并实现数据的管理、迁移和透明访问。同位素实验用户可利用现有的磁带库存储系统采用磁带库进行实验数据等重要数据的长期保存，并利用分级存储管理系统进行数据的管理、迁移和访问，以及依赖分级存储系统实现与实验数据存储系统之间的透明流动。

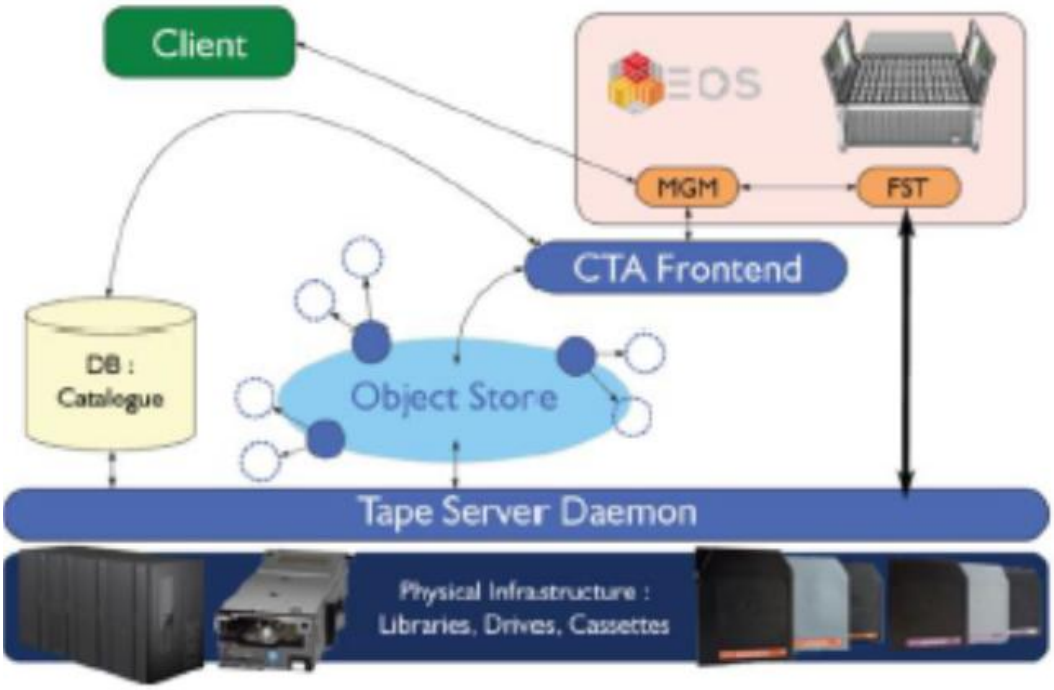


图 5.1-39 EOSCTA 分级存储管理系统架构图

表 5.1-11 存储系统性能指标

存储系统	容量指标	写入性能	读出性能
实验数据存储	1210 TB	1 GB/s	3 GB/s
用户工作目录数据	80 TB	1 GB/s	3 GB/s
磁带库存储	(2*N+1)PB	1 GB/s	1 GB/s

（3）关键设备

系统	设备名称	构成及描述	作用	数量（台/套）
实验数据存储	服务器 1	内存：192 GB； 光纤 HBA 卡数量：1 块双口 16Gb FC HBA 卡	作为元数据服务器&存储服务器	3
	SAS 阵列	硬盘数量：6； 单硬盘容量：14 TB	存储实验数据	1
	SSD 阵列	硬盘数量：3； 单硬盘容量：3.84 TB	存储实验数据元数据	1
分级存储系统	服务器 1	配备 2*1 TB 数据盘	作为 cta 管理节点和 PostgreSQL 节点	1
	服务器 1	配备 2*1 TB 数据盘	作为 Ceph 和 QuarkDB 节点	1
	服务器 2	配备 12*12 TB 数据盘	作为 EOS 存储服务	1

			器	

5.1.3.6.3 数据分析子系统

（1）建设目标

基于云计算、虚拟化、分布式存储等技术，面向实验用户研发符合同位素实验特点的数据分析平台，为用户提供数据分析资源、交互式分析桌面及可视化环境。基于云计算和虚拟化技术部署私有云平台，为用户提供不少于 400 CPU 核、1 TB 内存、16 张 GPU 卡的数据分析资源能力；基于 GPU 透传和视频推流技术，为用户提供高效、流畅的交互式分析桌面和可视化环境。

（2）建设内容

1）私有云平台部署

该部分主要包含 OpenStack 系统计算、存储、网络等模块的高可用部署架构设计，支持高可用、网络、存储等组件的大规模云平台部署工具开发，面向用户的细粒度数据共享存储系统研发，云分析环境初始化工具开发等。

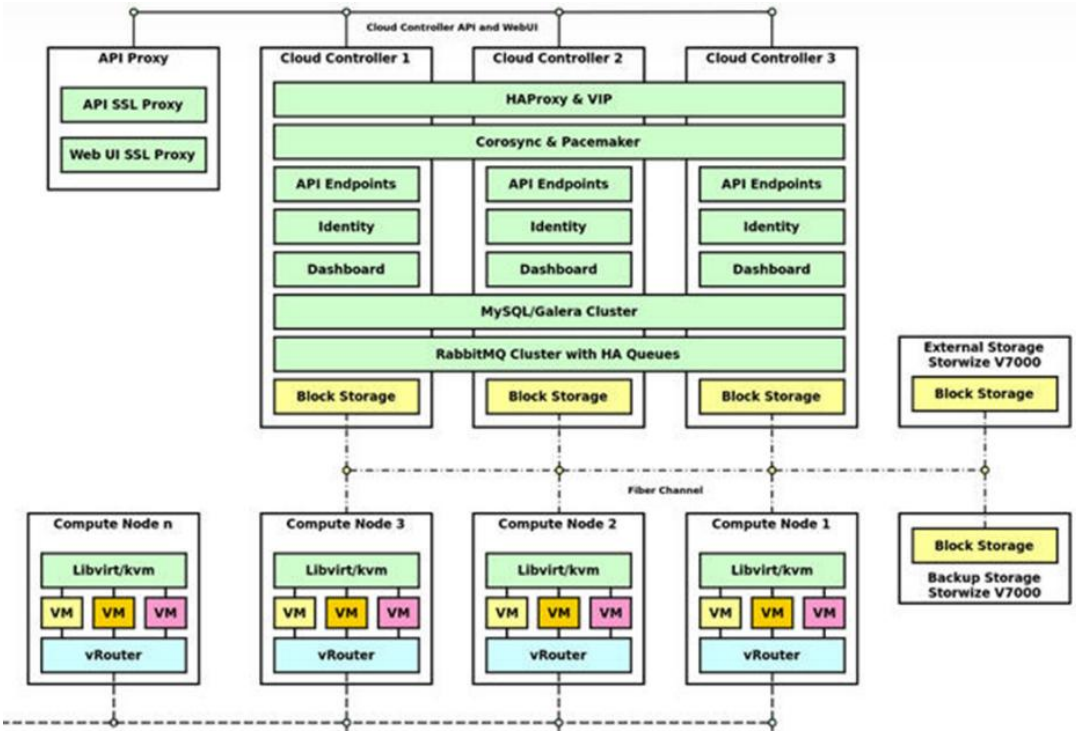


图 5.1-40 台管理节点+N 台计算节点的部署架构

2）异构计算云分析主机

为了提升云分析主机的计算能力及桌面图像渲染能力，云主机需要提供 GPU 卡的支持。通过 GPU 透传或者 GPU 虚拟化技术，使得云主机可以单独连接或者

共享宿主机的 GPU 卡来构建异构云主机。

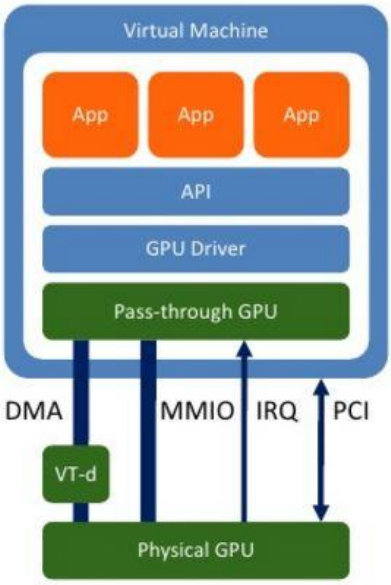


图 5.1-41 GPU 透传

3）基于 web 的远程桌面技术

未来规避操作系统及桌面软件的兼容性问题，本系统拟研究基于 web 的远程桌面技术。拟通过视频推流技术将云主机桌面推动到客户浏览器，并利用客户端浏览器调用本机资源来提升桌面传输的帧率和码率。

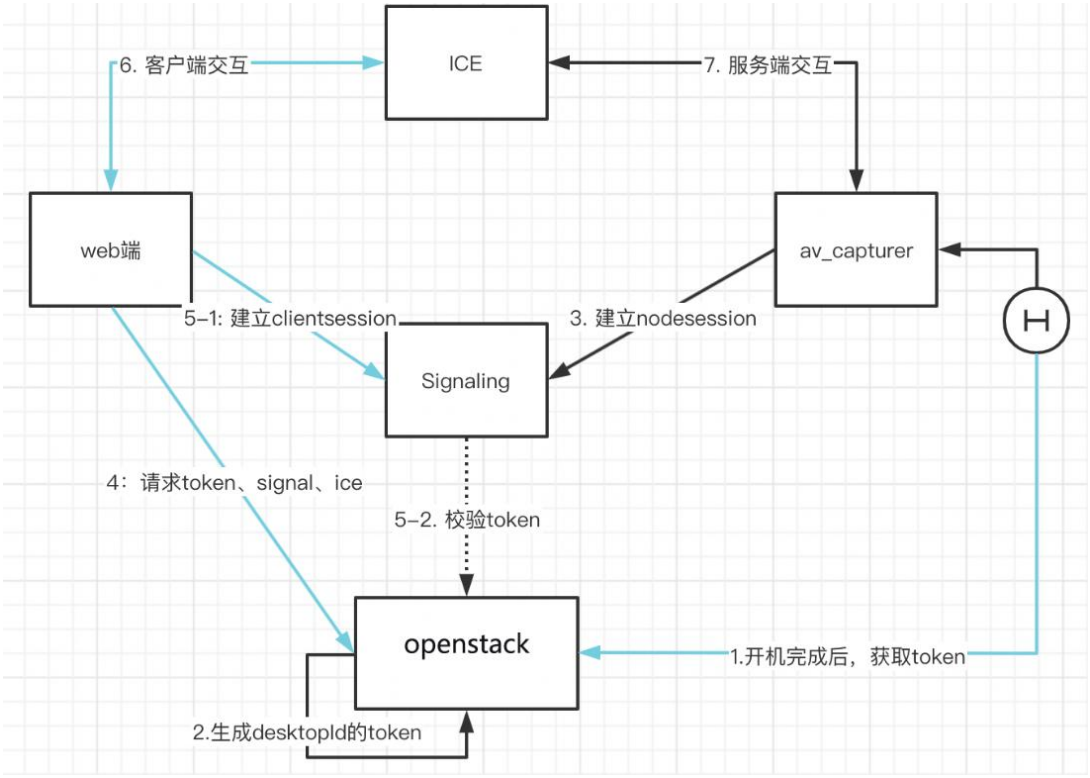


图 5.1-42 桌面推流系统架构

（3）关键设备

经初步核算，需要建设拥有至少 4 个计算节点的数据分析平台，每个节点的资源不少于 100 个 CPU 核，250 GB 内存，4 块 GPU 图像卡。

设备/系统名称	描述	数量（台）
管理节点	普通服务器	3
推流节点	普通服务器	2
计算节点	包含双路 CPU 和 4 个 GPU 卡的服务器	4

5.2 设备方案

5.2.1 靶站分总体

5.2.1.1 高功率靶站及靶

5.2.1.1.1 屏蔽系统

根据分总体的分工以及辐射防护的计算结果，机械系统负责的屏蔽系统主要包括靶站顶部普通混凝土屏蔽和铁混活动屏蔽、热室顶部铁混活动屏蔽块、靶区铁屏蔽、隧道铁屏蔽、不锈钢屏蔽、停束体、包覆密封容器、风冷密封罐、吊装转运屏蔽罐、放废厅铅屏蔽墙以及相关预埋工艺管线，如下图 5.2-1 所示。

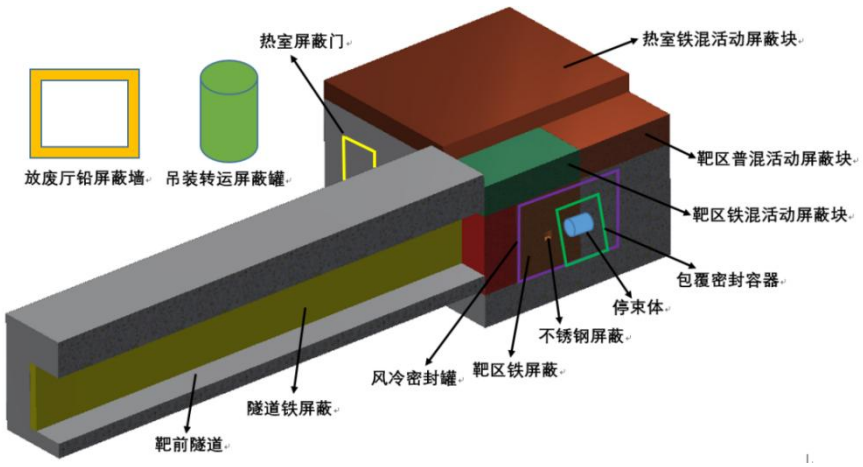


图 5.2-1 高功率靶站屏蔽系统

另外，本项目中的屏蔽系统还包括辐照束线所需的铁屏蔽，包括辐照束线实验厅铁屏蔽、废束站铁屏蔽以及降能器铁屏蔽，如下图 5.2-2 所示。

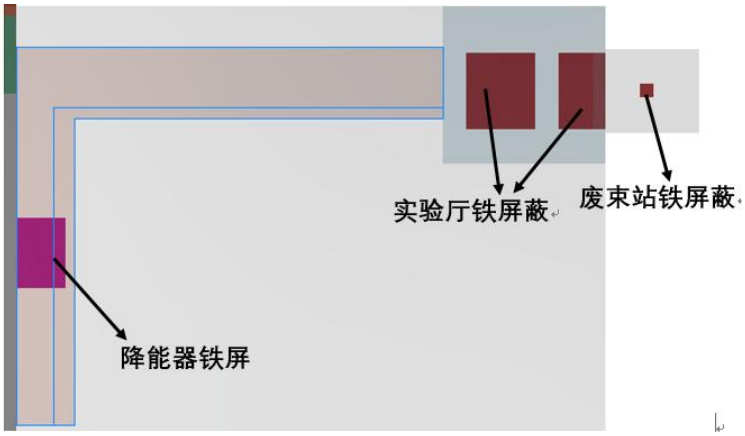


图 5.2-2 辐照束线铁屏蔽系统

（1）活动混凝土屏蔽块

为了便于靶区和热室内部设备的安装及维护，顶部屏蔽采用可以拆卸的活动屏蔽块，其中热室顶部及靶心顶部的活动屏蔽采用掺加铁矿石的混凝土制作，靶区顶部其他区域的活动屏蔽体采用普通混凝土制作。活动屏蔽块的主要技术要求如下表 5.2-1 和 5.2-2 所示。

表 5.2-1 活动屏蔽块的主要技术指标

序号	项目		技术参数
1	密度	普通混凝土	≥2.4 吨/立方米
2		掺铁矿石混凝土	≥3.5 吨/立方米

序号	项目		技术参数
3	强度等级	普通混凝土	C50
4		掺铁粉混凝土	C50
5	屏蔽体制作精度	屏蔽块外形尺寸偏差	-5~-10 mm
6		屏蔽块开口尺寸偏差	+5~+10 mm
7		预留孔截面内部尺寸	+5~+10 mm
8		屏蔽块平面度	≤5 mm
9		屏蔽块平行度、垂直度	≤5 mm
10		安装螺栓孔位置度偏差	≤Ø3 mm
11		吊装螺栓孔中心位置度偏差	≤Ø10 mm
12		预埋管件位置度偏差	≤Ø5 mm
13	安装精度	屏蔽体间的缝隙	0~+15 mm
14		整体轮廓高度尺寸偏差	-10~+5 mm
15		整体轮廓长度尺寸偏差	-10~+5 mm
16		整体轮廓宽度尺寸偏差	-15~+5 mm

活动屏蔽块的制作需要单独的模具，且在模具内部需提前布置钢筋及吊装螺栓等预埋件，浇注混凝土后，后期还需定期养护并打磨涂漆，其制造成本远高于浇注混凝土。

表 5.2-2 活动混凝土屏蔽块所需数量

序号	名称	数量（m^3）
1	靶区顶部普混活动屏蔽块	1424
2	靶区顶部铁混活动屏蔽块	160
3	热室顶部铁混活动屏蔽块	115

（2）铁屏蔽

根据辐射防护计算结果，靶区内部、靶前隧道内部、辐照束线实验厅内部、废束站内部及降能器外部需使用铁屏蔽，采用 Q235 低碳钢，密度 7.8 吨/立方米。另外，靶核心部分区域需要水冷，考虑到该区域复杂的工作环境，为防止铁屏蔽氧化生锈及腐蚀，需采用 304 不锈钢，密度 7.93 吨/立方米。靶区内部铁屏蔽、不

锈钢屏蔽以及降能器外部铁屏蔽为活动屏蔽，靶前隧道内部、辐照束线实验厅内部、废束站内部铁屏蔽需预埋，与混凝土一起浇注。铁屏蔽和不锈钢屏蔽的主要技术要求如下表 5.2-3 所示。

表 5.2-3 铁屏蔽块的主要技术指标

序号	项目		技术参数
1	材质	Q235	密度 7.8 kg/cm³
2		304	密度 7.93 kg/cm³
3	屏蔽体制作精度	厚度偏差	±2 mm
4		屏蔽块外形尺寸偏差	-3~-1 mm
5		屏蔽块开口尺寸偏差	0~+2 mm
6		屏蔽块平面度	≤3 mm
7		屏蔽块平行度、垂直度	≤3 mm
8		安装螺栓孔位置度偏差	≤Ø1 mm
9		吊装螺栓孔中心位置度偏差	≤Ø1 mm
10	安装精度	屏蔽体间的缝隙	0~+5 mm
11		整体轮廓高度尺寸偏差	±5 mm
12		整体轮廓长度尺寸偏差	±5 mm
13		整体轮廓宽度尺寸偏差	±5 mm

考虑到天车的起重重量，铁屏蔽单块的重量不允许超过 25 吨，根据辐射防护的计算结果，同位素高功率靶站铁屏蔽体和不锈钢屏蔽所需数量如下表 5.2-4 所示。

表 5.2-4 铁屏蔽及不锈钢屏蔽所需数量

序号	名称	数量（吨）
1	靶区铁屏蔽	1017
2	靶区核心区域不锈钢屏蔽	144.6
3	靶前隧道铁屏蔽	936

序号	名称	数量（吨）
4	辐照束线实验厅铁屏蔽	523
5	辐照束线废束站铁屏蔽	28
6	降能器铁屏蔽	233

（3）停束体

质子束流打靶后，还有部分束流会穿过靶体继续前行，需要设计专门的停束体来吸收这部分剩余束流。剩余束流作用到停束体会产生较高的热沉积能量，按照靶站钢屏蔽热沉积冷却经验，以热沉积能量密度高于 1 mW/cm³的热沉积边界作为水冷边界，对该边界范围内的钢屏蔽区域进行水冷。停束体水冷区域结构如下图 5.2-3 所示。

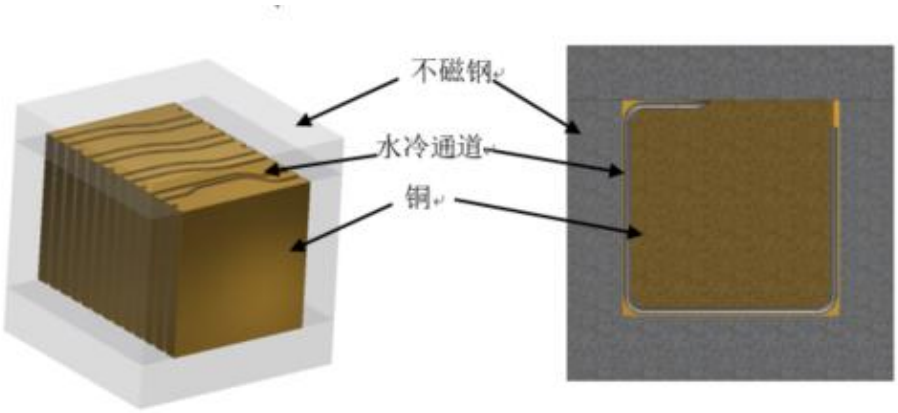


图 5.2-3 停束体结构

由于钢屏蔽导热性能较差，会导致钢屏蔽温升过高。因此对热沉积热量较大区域使用耐高温的钨块进行停束，外围包裹无氧铜进行导热，无氧铜外部通过水路进行环绕冷却。

（4）包覆容器

包覆容器位于靶站核心区，钍靶、靶真空室、停束体及部分不锈钢屏蔽均位于包覆容器内部，防止高放水及活化气体出现意外泄漏污染环境，确保操作人员人身安全。包覆容器底部与废水储存罐相连，一旦出现液体泄漏，可以通过排水管将废液收集到储存罐中；顶部安装密封盖板，要求二级密封，预留排气管，可以将活化空气及时排出。包覆容器结构如下图 5.2-4 所示。

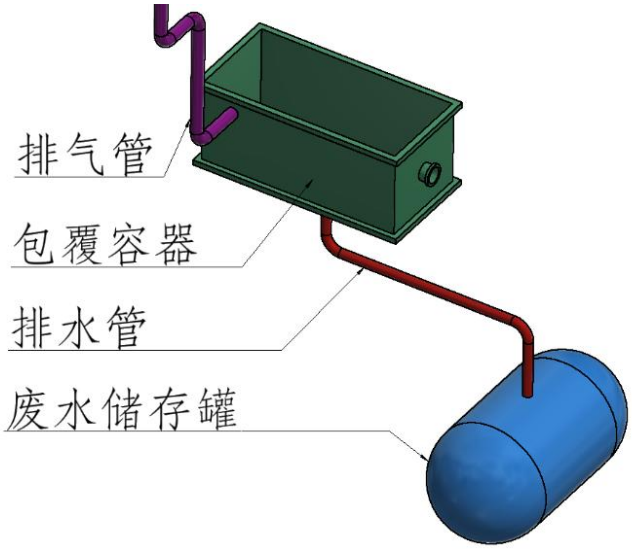


图 5.2-4 靶核心区包覆容器

包覆容器采用 304 不锈钢钢板焊接，四周钢板厚度 40 mm，内部采用真空密封焊，外部加强焊。

（5）吊装转运屏蔽罐

同位素靶站是高功率质子束轰击靶产生目标同位素的场所，在同位素生产过程中，不可避免地会产生各种高放射性的退役设备及废弃物。参照相关规定，高放射性废弃物必须转运至放废厅统一储存和管理，为保证人员及设备安全，在转运过程中，需要多种转运屏蔽罐，确保表面剂量满足防护要求。另外，根据散裂运行经验，质子束窗通常 3 至 5 年需要进行维护更换，需要设计专用的转运装置，包括转运容器和吊装三轴平台，二者组装为一体结构，如下图 5.2-5 所示。

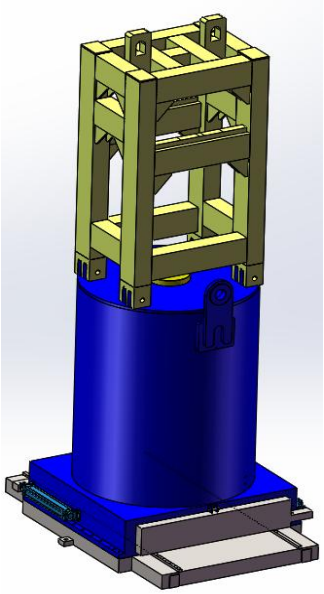


图 5.2-5 吊装转运屏蔽罐

吊装转运屏蔽罐底部安装电机、导轨及梯形丝杆，能够实现底盖的电动开合，罐体壁厚 150 mm，外部为不锈钢焊接的浇注模具，夹层浇注铅屏蔽。顶部的三轴吊装平台采用方形钢管焊接，可承重 25 吨，确保可以与铅屏蔽容器一起吊装。另外，三轴吊装平台上还安装了 3 吨的吊装葫芦，吊钩和链条从屏蔽罐顶部预留的孔洞穿过，能够将高放射性的物品直接吊入铅屏蔽容器内，并关闭底盖，从而实现高放射性物品的转运。

（6）风冷密封罐

束流打靶时会产生大量热量，部分热量也会在靶周边的钢屏蔽上沉积，为防止钢屏蔽过热，需要强制风冷。采用闭循环气冷，具有非常好的稳定性；同时，可以高效带走沉积的热量。为实现气冷却，需要一个风冷密封罐，实现气的循环使用，同时可以将靶体与外界环境隔绝，防止放射性物质泄漏。风冷密封罐结构，如下图 5.2-6 所示。

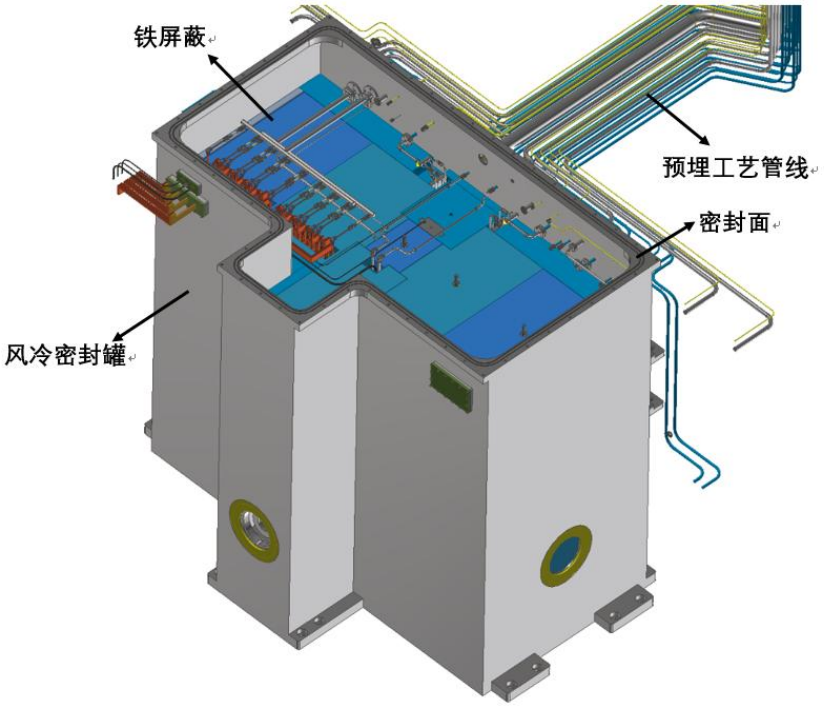


图 5.2-6　风冷密封罐

风冷密封罐底板要承受核心区钢屏蔽及停束体的重量，选用厚度 100 mm 的 304 不锈钢钢板，四周采用壁厚 40 mm 的 304 不锈钢板，采用焊接工艺，内部焊缝为真空密封焊接，外部焊缝为加强焊，极限真空度为 1000 Pa。顶部盖板要具备承受约 1 个大气压力的能力，因此选用 100 mm 厚的不锈钢。

（7）热室屏蔽门

热室共需要 2 套屏蔽门，其中一套用于维修人员出入，另一套用于物料进出。两套屏蔽门可自动开合，并与束流连锁。考虑到高辐照工况，屏蔽门自动开合出现故障时，应具备手动开合的能力。为防止热室气溶胶泄漏，两套屏蔽门均需要采用密封设计。屏蔽门由内向外依次为 15 cm 厚的低碳钢、20 cm 厚的铅屏蔽以及 15 cm 厚低碳钢，外部包裹 3 mm 厚的不锈钢装饰板。屏蔽门的设计如下图 5.2-7 所示。

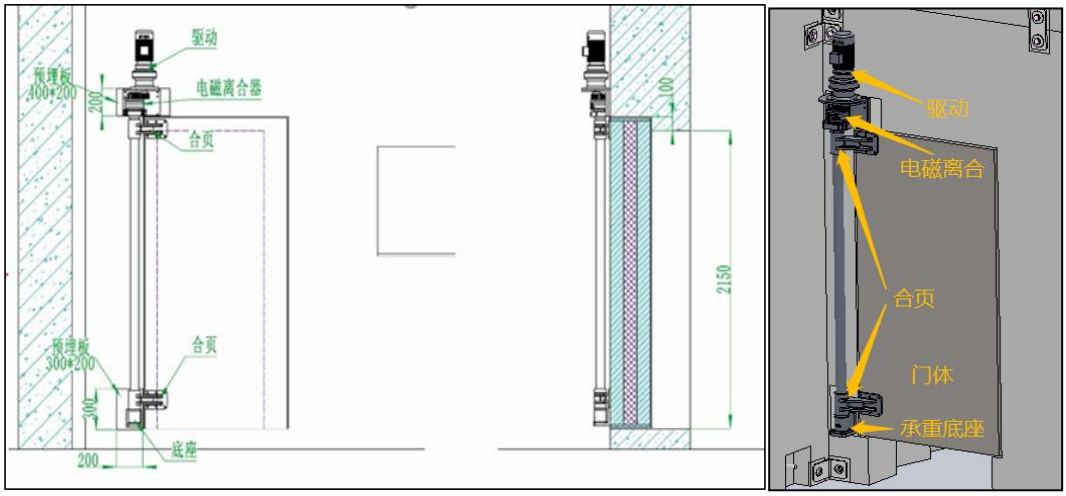


图 5.2-7 热室屏蔽门

（8）放废厅铅屏蔽墙

放废厅用于存储高放射性废弃物，为了提高利用率，往往需要人员进入放废厅对高放废弃物进行规整放置。为了保证人员安全，放废厅通常会搭建铅屏蔽墙，将放废厅分隔成多个不同区域，用于放置不同剂量的高放废弃物。如下图 5.2-8 所示，铅屏蔽墙用蓝色图框表示，采用活动的铅砖搭建，厚度 30 cm，离地高度 160 cm，共 2 处。

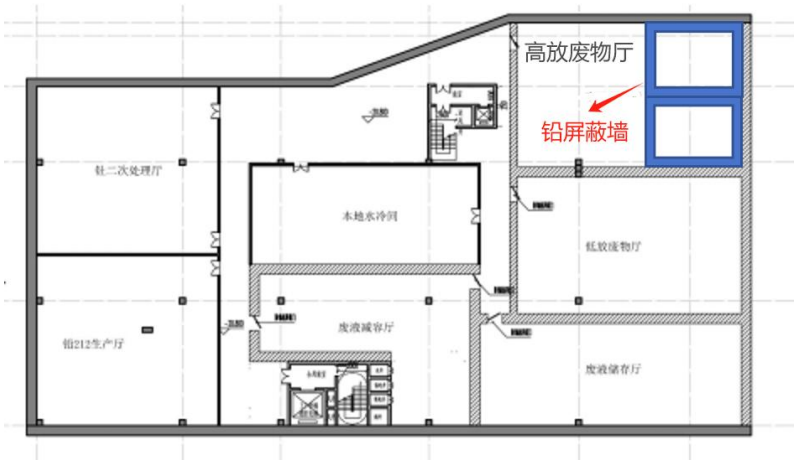


图 5.2-8 放废厅铅屏蔽墙示意图

5.2.1.1.2 低温气冷系统

购置的核级过滤设备过滤粒径0.2 μm的效率在99.9%以上，过滤气体流量5000 N•m³/h，气体压力为 12 bara。设备包括过滤器与吸附器，过滤器用于钢屏蔽体气冷系统中的放射性颗粒过滤和吸附，避免被高速氦气带入到下游管道中，造成整

个氦气管道的气路污染，保护同位素生产过程中人员和环境免受核辐射的危害。吸附器用于吸收钢屏蔽体在束流中产生的各种其他气体元素。

主要功能和技术指标：

拟采购核级过滤器，工作压力为 12 bara，能过滤直径 0.2 μm 及以上的颗粒，过滤率达 99.9%以上。

多级吸附器，能够有效吸收钢屏蔽体被辐照后产生的各种其他气体元素。

5.2.1.1.3 靶站水冷系统

靶站水冷却系统为靶站关键系统之一。质子打靶时，在靶站停束层和内屏蔽体及相关设备会造成大量热负载（接近 100 kW），采用独立靶站水冷却系统持续移除这些热负载以保证靶站运行极为重要。由于辐照分解作用，冷却水会持续分解为氢气、氧气，须持续移除这些爆炸性气体，保证靶站安全。由于质子辐照作用会产生大量短半衰期核素，系统剂量水平大幅提高，根据 CSNS 经验，冷却水的剂量水平可以达到 Sv/h 水平，对于设备抗辐照能力、人员及环境影响、事故工况的处理要求较高。冷却水系统须实现冷却、净化、消氢等功能，为靶站提供正常工作条件。

为实现以上任务，并保证靶站安全工作，按功用划分以下子系统：（1）主载热剂系统，实现循环载热剂及换热的任务；（2）水质净化系统，实现回路中载热剂的净化、添加化学物质控制水质、对水质监测及取样分析任务；（3）消氢系统，实现辐照分解气体浓度控制（H_2 浓度＜4%），系统压力控制等任务；（4）真空系统，实现系统维护时残余冷却剂干燥回收；（5）辅助系统。1）放射性废液排放系统。用于收集泄漏的冷却剂收集及处理；2）二次水系统，用于传递一回路热量，实现热平衡；3）通风系统，实现功能间负压、通风及放射性物质约束等任务；4）压缩空气系统，用于提供设备驱动以及检修吹扫净化；5）冷冻水系统，用于冷凝回收排氢过程中的水蒸气。

（1）载热剂系统

载热剂系统的功能是提供循环冷却水，利用温差将打靶沉积的热量传递给冷却水，利用换热器将这部分热量传递给二次水系统，提供一个完整的承压边界，以控制放射性物质向外扩散。系统由气水分离器、换热器、泵、延迟罐、贮存罐

以及相应的阀门、管道组成。泵将气水分离器的冷却水经过换热器一次侧输送至反射体靶体等，由于冷却水流经高剂量质子、中子辐照区域，使其发生散裂反应产生放射性核素，自冷却对象后先经过延迟罐延迟以降低放射性，自延迟罐以后至气水分离器分离辐照分解的氢气、氧气，最后回到水泵，形成循环。

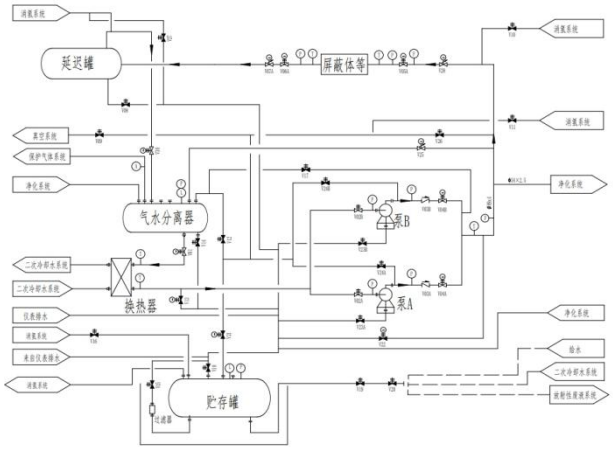


图 5.2-9 载热剂系统

主要设备介绍：

1）泵为系统的动力设备，方案为：I）结构型式选择密封效果好、使用寿命长的屏蔽泵。II）水泵工作点位于正常工作曲线平滑区稳定工作。III）密封及绝缘等非金属结构材料，选择核级材料，提高抗辐照能力。IV）泵是系统的核心设备，其服役情况直接影响靶站整体状况，设置在线温度及振动测量设备，提高泵故障的在线诊断能力。

2）换热器

采用逆流半焊接式板式换热器，即流通一回路板片采用激光法密封焊，流通二回路的板片采用垫片密封。板片应具备足够的厚度以承受装卸过程中的损伤和运行过程中的腐蚀。板片应能承受当一次侧压力为 1.33 Pa（绝对压力）时的二次冷却水侧给板片的最大压力。

3）延迟罐

延迟罐主要功能是通过滞留衰变，减少短寿命强放射性核素的辐射剂量。采用卧式不锈钢容器，包括筒体、封头、鞍式支座及接管等零部件，设备内部采用挡板结构。延迟时间为 90 s。

4）气水分离器

延迟罐主要功能是为系统提供初始压力、实现氮气氧气分离等功能，为卧式容器，包括筒体、封头、鞍式支座、人孔及接管等，内部结构采用筛式结构，提高流体紊动能量及气水分离效率。

5）贮存罐

贮存罐为卧式容器，由筒体、封头及接管等零部件组成，其主要功能是用来贮存冷却系统检修、故障时所排出的水，当系统运行时采用氮气压力将水压回循环回路。

（2）水质净化系统

在高辐照环境下，冷却水会发生电离分解为·OH、HO_2、O_2 和 H_2O_2 等活性粒子，与设备表面的金属材质发生氧化反应，加速设备的腐蚀，威胁设备的结构完整性与使用寿命。污染物会在传热表面不断附着、堆积，逐渐形成难以清除的污垢。这些污垢阻碍热量传递，大大降低了传热效率，让整个系统的运行能耗大幅增加。水质净化系统连续净化冷却回路的离子、颗粒物等杂质，维持适宜 pH 值，使其满足水质指标要求。从而降低结构材料的腐蚀速率和避免腐蚀损伤；减少水中杂质在结构材料上的沉积，保持良好的热传导。

净化系统依靠系统压差提供动力。从系统的水泵出口分流一部分经过机械过滤器，以除去不溶性杂质；再经过两台可并联或串联的离子交换器，除去离子态杂质和小部分固体微粒和胶体；再经过树脂捕集器截留水中夹带的碎树脂，最后返回到系统。当水质不符合要求时，基于检测情况，更换过滤器、离子交换器和捕集器等设备。

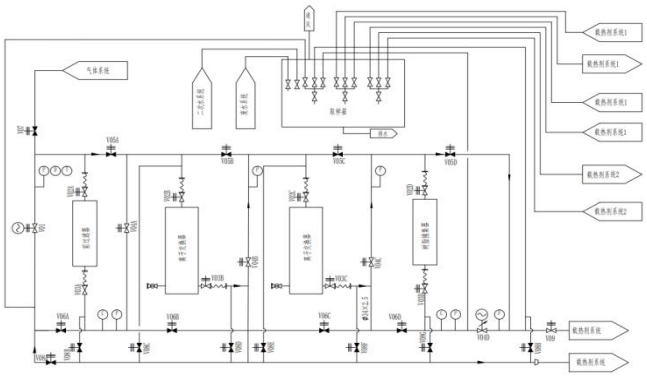


图 5.2-10 水质净化系统

主要设备介绍：

1）过滤器

过滤器装过滤精度为 10 μm 的不锈钢丝网滤芯，使冷却剂中不溶性固态悬浮物被阻留在前过滤器内。前过滤器结构设计为滤芯可更换。冷却剂内进外出通过滤芯，保证带有放射性的不溶性固体物均滞留在滤芯内。随着净化系统运行时间的加长，前过滤器放射性强度会逐渐增大；不溶性固体物积累使过滤效率降低，影响净化流量。一旦发现，可进行更换。

2）离子交换器

离子交换器共设两台，系统运行时两台交换器可串联或并联使用。用于去除冷却剂中离子状态腐蚀产物、有害杂质和活化产物，其本身也具有过滤固态悬浮物的能力。使用的离子交换树脂不考虑再生，树脂失效后进行更换。

3）树脂捕集器

树脂捕集器布置在两台离子交换器后，系统的出口。该设备作为系统的最后一道屏障，收集系统漏出的树脂，阻挡破碎树脂进入冷却剂中。

4）取样箱

系统在正常运行时需定期检测水质，取样在取样箱中操作。取样箱由支架和固定在其上的手套箱组成。手套箱顶部有照明装置和通风接管。每三根取样管为一组，一根来自净化系统入口可对冷却系统取样；一根来自净化系统出口可实现对净化系统取样；另外一根为回水管；取样箱内另外两根分别为：来自二次水的去离子水冲洗水管，由 1 个阀门控制。来自放射性废液系统取样管，由两道阀门控制。

（3）消氢系统

系统在运行时，冷却剂在活性区受到辐射会分解为氢气和氧气等爆炸性气体，累积到一定浓度会发生爆炸。消氢系统主要功能是移除冷却剂分解产生的气体，此外承担稳压作用，保证系统压力、实现系统平稳运行、收集回收蒸发冷却剂，减小对环境的影响。

正常运行时，氮气瓶中的氮气经过减压阀后，在加热器中适当加热，进入缓冲罐中稳压调节，在调节阀的控制下，按照合适的流量至气水分离器，为气水分

离器提供一定的压力。氮气从气水分离器中流出，带走其中的爆炸性气体和放射性气体，进入冷凝器，在冷凝器中将气体携带的蒸汽冷凝回收。被冷凝后的气体，经压缩机升压后排至衰变箱。气体在衰变箱中衰变后，经阀门排放到通风系统排放。冷凝器冷凝的水经排水管收集至贮存罐。

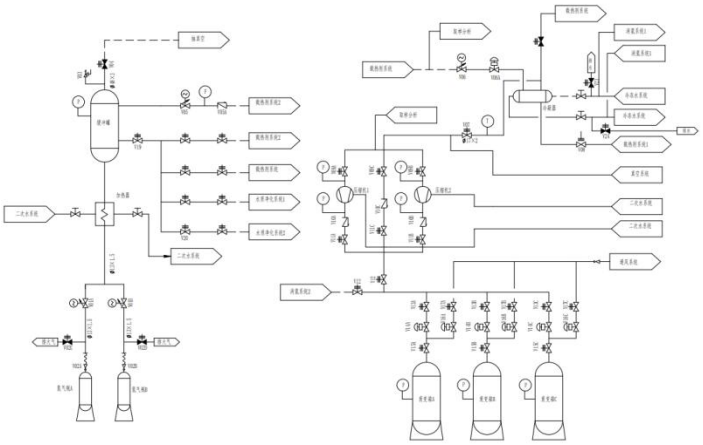


图 5.2-11 消氢系统

主要设备介绍：

1）加热器

加热器为管壳式换热器，其主要功能是利用二次水加热从氮气瓶中流出的氮气，以防止管道中的氮气过冷。氮气走管程，二次水走壳程。加热器管程最大工作压力 1 MPa，壳程最大工作压力 0.6 MPa，加热功率不小于 4.2 kJ/min。

2）缓冲罐

缓冲罐为立式容器，用于接收从氮气瓶中流出的氮气，使氮气在缓冲罐中稳压，以保证所供应气体的稳定流动。缓冲罐设有压力表和安全阀，以保证系统运行不超过设备的最大允许工作压力。缓冲罐容积 0.5 m^3，正常工作压力不大于 0.6 MPa。安全阀开启压力 1 MPa。

3）冷凝器

冷凝器为管壳式换热器，利用冷冻水冷凝氮气中携带的蒸汽。经过冷凝的水排至贮存罐，不凝气体经压缩机排往衰变箱，冷冻水走管程，氮气走壳程。冷凝器接有抽真空管路。冷凝器工作压力不大于 0.4 MPa，设计压力 1 MPa，凝冻效率不小于 85%。

4）压缩机

将被冷凝干燥后的氮气压缩到衰变箱中。根据系统氮气流量及需要在衰变箱中衰变的时间要求，选择压缩机出口压力为 0.6 MPa，极限出口压力不超过 0.85 MPa。在满足一定余量要求的情况下，压缩流量不小于 600 L/h。

5）衰变箱

衰变箱为立式储罐，放置在污水处理区，接收来自压缩机的气体。使气体在衰变箱中停留 160 min 以上，以保证放射性气体衰变的时间。衰变箱设计压力 1 MPa，工作压力 0.6 MPa，设有压力测量仪表。

（4）真空系统

冷却水系统在运行、检修及其他紧急情况需要维修时，都会遇到抽真空的问题，以保证避免放射性气体扩散到工作场所，防止工作人员受到内辐射和工作场所污染。1）在系统开始运行时，首先要对整个系统抽真空，用于系统的储水罐、管道、冷却设备流道的真空净化，然后再充入氮气和冷却剂。2）在特殊情况需要停止运行或者检修时，把管道系统抽为真空，将管道系统内的冷却剂抽回储水罐中，然后才能进行其他操作。3）设备安装前后，遇到检漏问题时，需要将系统抽真空。

设备包括真空泵组、露点仪、冷阱及液氮自动填充装置；真空泵组用于抽真空，露点仪用于检测管道水分程度，冷阱用于低温收集系统汽化后的残余水分。以保证真空泵的安全工作。液氮自动填充装置用于冷阱液氮自动加注，确保设备稳定正常工作。

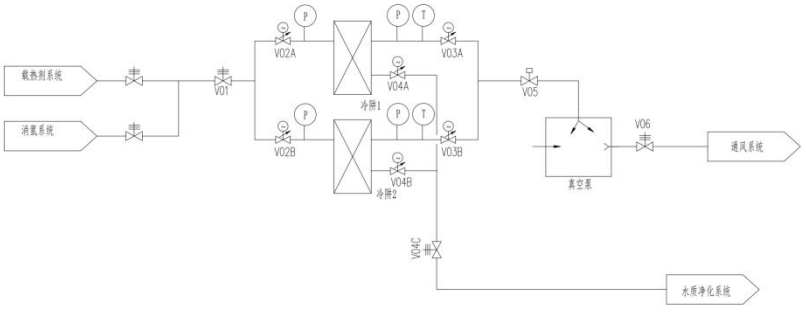


图 5.2-12 真空系统工艺图

主要设备介绍：

1）真空泵

采用无油真空泵，可以从大气压抽至 3 Pa 的压强。真空干燥是一种在减压条

件下进行的干燥方法，通过降低环境压力，使得水分或其他溶剂在较低的温度下就能转化为气体，从而实现物料的干燥。这种干燥方式可以避免高温对物料造成的损害，特别适用于热敏性物质的干燥。真空干燥过程中，物料中的水分或溶剂在真空环境下直接从固态升华为气态，或者在加热的作用下从液态转化为气态，然后通过真空泵排出。由于真空干燥在较低温度下进行，可以有效防止物料的氧化和污染，提高干燥效率。

2）冷阱

冷阱为立式圆柱形容器，由筒体、封头、换热管、加热器、保温层、支座、法兰、接管等零、部件组成。工作时，通过凝冻器侧面的漏斗向 U 形管中加入液氮（温度-195 ℃），通过液氮的汽化，降低 U 形管外壁的温度，达到冷凝气体介质的作用。凝冻器顶部设置了排气旋塞，用于密闭腔室和排放氮气，同时，湿气凝冻器设置了保温措施，使液氮不至于很快汽化掉，达到持续工作的目的。凝冻器壳侧工作压力-0.1 MPa。

靶站水冷却系统功能区域分为地上的延迟罐间和地下室设备间、污水罐间、取样间、维修间、电气间、贮存罐间、气体设备区等功能分区。水泵、换热器、气水分离器、贮存罐等主要设备布置在靶站地下室，系统工艺间（除取样间、维修间、电气间、气体设备区）设置不锈钢覆面，并设置地漏，用来收集泄漏的水，设置泄漏监测、报警信号。

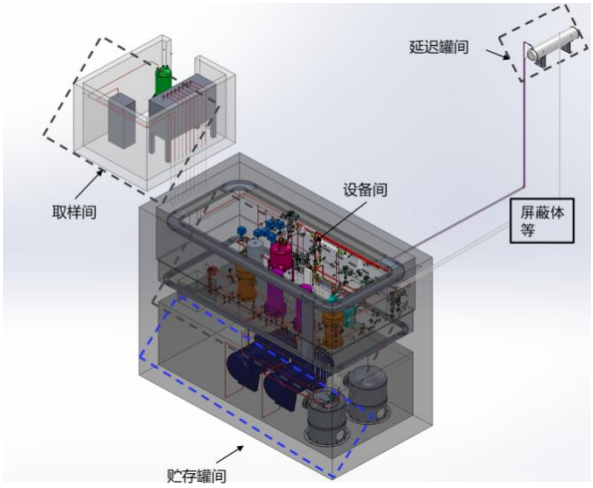


图 5.2-13 土建布局

5.2.1.1.4 靶站监控系统

高辐射剂量区视频监控系统：用于热室、靶站顶部维护间等有较强放射性的区域，实现对高辐射环境下的视频采集与实时监控要求，保障操作人员对关键区域的可视化管理。

采购必要性：高辐射剂量区视频监控系统用于热室、靶站顶部维护间等强放射性区域，其采购具有多方面必要性。从人员安全看，可实现非接触式远程监控，避免操作人员直接进入高辐射区受伤害，符合辐射防护原则。在设备运行维护方面，能实时采集画面，提前发现设备隐患，提高维护效率并减少辐射暴露。监管层面，可提供实时影像满足合规核查，历史视频回溯还能为事故调查提供证据。操作流程上，辅助操作人员远程精准判断，降低人为误差。设备性能上，抗辐照设备适应高辐射环境，保障系统可靠。因此，高辐射剂量区视频监控系统是靶站安全运行的重要保障，满足安全、监管、效率等多方面需求。

设备参数：摄像头分辨率达 720 HTV 线 PAL，有效像素 57 万，具备 60:1 光学变焦，防水耐压 50 米，铝合金外壳，自带两个大功率 LED 照明灯，水平旋转角度±173.5°、俯仰旋转角度 228°，耐辐射剂量率 120 Gy/h、累计剂量 1000 Gy，支持比较法测量长度和宽度；主机配 10.4 英寸、1024×768 分辨率全屏触摸显示器，含主控制器及存储系统，视频输出 HDMI 接口，60 Gb SSD 存储可存超 40 小时高清录像，软件支持图像翻转/旋转/动态注释等功能。

5.2.1.1.5 靶站准直测量系统

1）隐藏点多自由度测量系统：用于设备在实验室进行精密标定和预准直，在隧道现场进行精密安装准直和位置精度复测，特别应用于测量设备的隐藏点、内部不易测量点或不易测量工件无需转站。

采购必要性：粒子加速器设备的精密标定和准直精度一般都要求在 0.2 mm 以内，必须通过超高精度的坐标测量系统来实现；在设备的精密标定和预准直以及设备准直后的位置测量过程中，部分设备需要测量隐藏点或内部不易测量点，通过隐藏点测量系统来实现设备隐藏点的高效、精密测量。

设备参数：最大测量范围（直径）160 m，水平方向±360°无极限，垂直方向±145°；绝对测距仪分辨率 0.1 μm，动态锁定精度（ADM）10 μm，采用反射球测

量时，测量精度 1 5 μm+6 μm/m，内置电子水平仪精度 1″；坐标测量采样率 1000 Hz，能够满足设备位置调整时的位置动态实时显示；集成一体设计，内置电池，可为设备长时间供电；具备可以倾斜和倒置安装，方便复杂现场环境的测量使用；采用隐藏点功能的测量精度 0.035 mm，能够自动识别测量目标和测头，测头无需重新校验，离激光跟踪仪最远探测距离为 40 m。

2）激光雷达测量仪：用于高辐射剂量区域设备的远程非接触精密测量，以及用于大尺寸、薄壁、异形和细小丝线等设备的非接触式精密扫描测量精细边界、特征和表面等。

采购必要性：靶站区域的设备位置高精度准直测量一直是准直领域难题，因打靶后的靶站放射性剂量较高，人员和仪器无法近距离进行接触式测量。传统的解决方法之一采用长杆吸附激光跟踪仪反射镜投放至设备的准直靶标点上进行测量，但仍存在反射镜被辐射污染、反射镜易掉落而无法测量的风险；另外采用摄影测量远距离拍摄测量精度难以满足要求且需要布设多个测量靶标。现拟采用激光雷达测量系统进行远距离非接触式精密扫描测量，通过合理的站位布局以及测量方案设计，无需激光跟踪仪反射镜，人员和仪器处于辐射剂量安全区域进行测量，高效、智能且安全。

设备参数：测量范围：40 m（目标跟踪模式和直接扫描模式）；绝对测量精度 21 μm+8.5 μm/m，角度精度 15 μm + 6 μm/m，数据输出速率：2000 Hz；集成一体设计，电池可供电 6 h。

5.2.1.1.6 靶站防护系统

靶站防护系统为靶站安全稳定运行提供安全联锁系统、控制区门禁和监控设备。安全联锁用于束流联锁控制区，含 PLC 联锁系统（PLC，紧急停机、搜索清场、声光报警等），门禁联锁系统（双机热备服务器和接入控制器，出入读卡器，摄像机，NVR 等）和钥匙联锁系统（钥匙交换装置、联锁门综合控制柜）等。共需采购约 3 套。门禁和监控系统，满足各门点互锁要求，配置双机热备服务器和接入控制器，支持单门双向，具有出入读卡器，摄像机，NVR 等设备；工作温度 -40～85 ℃；相对湿度 5%～95%；工作额定电压 DC12 V，可稳定工作电压范围：DC10～16 V（带过流，过压，防雷，防反接，防短路保护），共需约 30 套。

5.2.1.2 同位素产生研究

5.2.1.2.1 核反应数据测量及实验条件

为开展目标放射性同位素产生实验研究，本项目将建设实验设备和实验条件，其中，为了得到质子与 Th-232 反应得到目标同位素的产额及中间过程等信息，需要开展高精度伽马射线测量、级联伽马符合测量、α/β等带电粒子探测、α/β与伽马射线符合测量等测量。

为了开展这些研究，计划使用 2 台高纯锗探测器、硅探测器、塑料闪烁体探测器、气体电离室探测器等探测器。这些探测器在项目中已经涵盖，本实验室需要为这些探测器提供工作条件，实验室内计划提供工作条件有屏蔽系统、真空靶室及响应真空机组及真空柜、前置放大器、低纹波高精度高压电源、直流稳压电源、干净地线、不间断电源、PXIe 机箱及控制器、实验数采工控机、干燥柜等设备。

这些实验设备的搭建为开展同位素产生实验研究提供实验操作台、样品储存干燥柜、真空、屏蔽、干净电、放大电路、干净电、高低压电源等必备的实验条件，可以尽可能的提高实验研究效率。

其中放射性核素衰变测量用真空腔体及匹配的机械泵、分子泵真空机组与真空规为放射性核素衰变测量中出射的带电粒子探测提供真空测量环境。真空系统采用国产定制化方案。放射性核素衰变测量用真空腔体为非标设计，需实现≤2×10^{-3} Pa 的真空度以保障α粒子无散射探测，同时预留多探测器信号输出接口以满足信号输入输出。匹配的真空机组与真空规选用分子泵+机械泵组合，极限真空≤5×10^{-4} Pa，真空规量程覆盖 10^{5} ~ 10^{-5} Pa。

前置放大器、低纹波高精度高压电源、低纹波高精度高压电源、直流稳压电源构成了信号探测与处理系统。电荷灵敏前置放大器：对于硅探测器而言，电荷灵敏度≥5 mV/keV、噪声≤1.5 keV，进口选型需要满足核级信号放大的低噪声要求。低纹波高精度高压电源是探测器使用中供电的关键设备，每台 4 通道，输出电压最大 6 kV，纹波小于 2-3 mV，为探测器的高性能探测提供保障。直流稳压电源满足 30 V/5 A 低纹波（≤1 mV）供电需求，为前置放大器等设备的工作提供电压在 30 V 以内的直流电源。

PXIe 机箱及控制器提供≥18 槽位和 1 GB/s 带宽，支持多 ADC 模块同步采集，实现多探测器符合测量（可实现<10 ns 时间窗）。实验数采工控机配置 i7-6700/32 GB/2TB SSD，保障>100 k 事件/秒处理能力。机柜及配件用于 PXIe 机箱等电子学放置。

探测器屏蔽体采用铅+铜+聚乙烯三层结构（铅厚 10 cm），将环境γ本底抑制至<1 cps@50-2000 keV。干净地线作为核心基础设施，需独立接地电阻<0.1 Ω以消除微伏级信号的工频干扰。不间断电源提供 6kW/30 min 在线双转换供电。样品储存干燥柜维持湿度<10% RH，用于样品储存放置。

另外采购实验内的防静电工作台及附属设备 15 套；另外布置探测器装配所需的洁净间一间，要求达到千级洁净度。

5.2.1.2.2 高纯核素分离研究

采用化学分离方法分离出纯度较高的 Ac 元素后，将 Ac 及基底放置在高温靶室中进行高温蒸发，蒸发后的 Ac 原子在传输管中被激光电离后引出，经过质量分离系统可以进一步去除长放射周期的 Ac-227 杂质。

高温靶室：最高温度可达 2000 ℃以上，真空漏率<1×10^{-9} Pa•m³/s，可维持的最优真空度<1×10^{-6} Pa；引出电极的高压范围 30–60 kV；真空附件包含真空计、插板阀、角阀，也包含加热电源。

Ac 原子被激光电离之后，使用电场将 Ac 离子引出靶室，因此，在高温靶室与引出电极之间施加 30–60 kV 的高电压；其中，高温靶室处于高电位，引出电极接地。因此，需要高压隔离平台将高温靶室与地做绝缘隔离，并通过高压电场将离子加速引出。

高压隔离平台：高压加速电源（直流高压 60 kV，5 kW）、高压隔离变压器、电容器、高压开关、绝缘端子、高压保护系统。

本项目采用的激光共振电离系统由高稳定性泵浦激光器和全固态可调谐纳秒激光器组成，可实现目标同位素原子的高效、高选择性两步（或多步）共振激发与电离。系统核心设备参数如下：

1） 泵浦激光器：

波长：532 nm

重复频率：10 kHz

平均功率：≥30 W

脉冲宽度：50-100 ns

光束质量：M^2 <10，确保稳定性泵浦能力

2） 全固态可调谐纳秒激光器（用于原子共振激发）

波长调谐范围：700–950 nm（通过二倍频可扩展至 350-475 nm）

重复频率：10 kHz（与泵浦激光同步）

脉冲宽度：50-100 ns（优化原子激发效率）

光谱线宽：3 GHz（确保同位素选择性）

二倍频输出：平均功率达瓦（W）量级，满足部分短波长跃迁需求

3） 激光同步与控制系统

时序控制精度：< 1 ns，确保两步激发－电离过程的精确匹配

波长自动扫描与锁定：基于高精度波长计（±0.001 nm）实现快速调谐与稳定输出

光束耦合与聚焦：采用高透过率光学元件，确保激光与原子束的高效相互作用

4） 光斑位置实时监测系统

监测方式：基于高分辨率 CCD/CMOS 传感器与快速图像处理算法

定位精度：< 50 μm（确保激光－原子束精准重叠）

反馈控制：实时调节反射镜伺服机构，补偿光束漂移

数据记录：连续记录光斑位置波动，用于实验后优化分析

该激光系统具备高功率、窄线宽、快速调谐等关键特性，可精准匹配目标同位素原子的电子跃迁能级，实现高效共振电离，为后续质量分离提供高纯度离子源。系统设计兼容多种同位素实验需求，支持快速切换不同激发－电离路径，满足医用α核素（如 Ac-225、Ra-223 等）的分离纯化研究。

5.2.1.2.3 紧凑型质子升能装置

1．磁铁系统

根据加速器物理设计方案，升能装置磁铁系统包括三部分：1）同位素束线引

出至升能装置的环形加速器的低能输运线磁铁；2）用于能量从 300 MeV 升至 600 MeV 的环形加速器磁铁，包括环形加速器的注入与引出所需的特种磁铁；3）从环形加速器引出后至较高能质子束的实验研究靶站的高能输运线磁铁。不同区段的磁铁依据不同的参数要求以及拟实现的功能，需要多种加速器常规磁铁，以及多种加速器特种磁铁，用于束流的注入与引出，包括 Septum 切割磁铁、冲击磁铁、Lambertson 切割磁铁。

本研发项目中，环形加速器注入之前的低能输运线，以及升能引出之后的高能输运线，所用的磁铁均为直流磁铁，包括二极磁铁、四极磁铁、八极磁铁与校正磁铁。二极磁铁用于束流的偏转，四极磁铁用于束线传输过程中的聚焦，八极磁铁用于打靶前的束流均匀化，校正磁铁用于束流的轨道校正与测量。这些磁铁属于常规磁铁，在 CSNS、CSNS-II 中有类似的同类设备，可在项目正式实施时按照时间计划要求完成研制。

环形加速器的磁铁研发，是本研发项目的关键技术之一。根据加速器物理的初步设计提出的技术要求，环形加速器分为 12 个周期，每个周期包括一组 2 台偏转磁铁，每台偏转磁铁需同时实现束流偏转与聚焦功能，且要求足够高的磁场精度以满足束流稳定性的要求，每组偏转磁铁的基本参数要求见下表 5.2-5 所列。

表 5.2-5 环形加速器磁铁基本参数要求

参数名称	数值	单位
峰值磁场（F 铁）	1.66	T
峰值磁场（D 铁）	0.67	T
磁场指数	5.449	-
螺旋角	43.563	°
束流半径	8.228-9.011	m
磁铁气隙	170-270	mm

磁铁的 2D 极面，采用组合磁场的设计，包括二极、四极、六极与八极磁场，极面曲线方程为：

$$B_0(y)+G_1(xy)+\frac{G_2(3x^2y-y^3)}{3}+\frac{G_3(x^3y-xy^3)}{4}=B_0\mathrm{h}_0$$

上式左边各项分别对应于各阶磁场，根据每一点 x 值，进行数值计算即可得到对应的 y 坐标值。以 F 磁铁为例，磁铁的 2D 模型与 3D 模型分别见下图 5.2-14

所示。

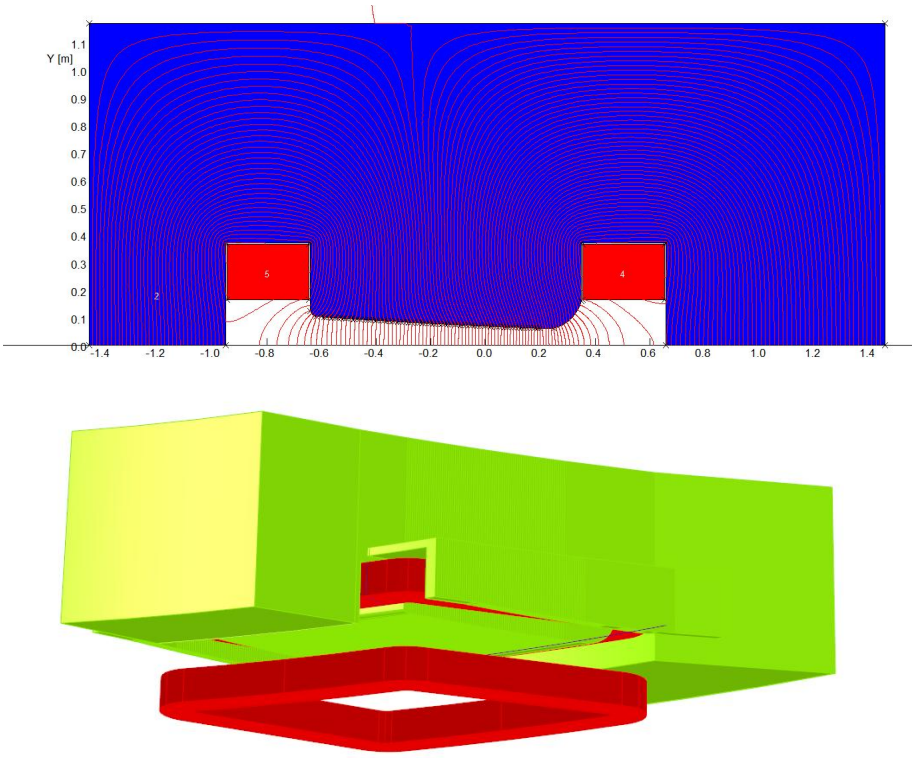


图 5.2-14 环形加速器偏转磁铁 2D 与 3D 模型

考虑到环形加速器磁铁的复杂性，将首先进行磁铁样机研制，样机研制阶段主要解决三个方面的关键问题：

1）完成磁铁的参数化建模与优化程序，实现基于复杂极面方程的 2D/3D 铁芯模型的生成，包括螺旋角的处理与调整；实现匹配不同铁芯形状的不规则形状的线圈建模与调整；实现端部削斜方式的参数化优化；

2）完成实际磁铁样机的研制，由于铁芯材料选择电工纯铁 DT4，需要解决大型工件复杂曲面的加工精度与成本控制问题，同时降低精加工对材料性能的影响；对于复杂的不规则形状的线圈，需要制作专门的模具以完成线圈的绕制以及对地绝缘环氧树脂浇注；

3）完成高精度磁场测量系统的建立与样机磁铁的磁场测量。在样机研制时，将采用活极头的方式，根据实际磁场测量与数据分析结果，对极头进行二次，或者多次加工，以提高积分磁场的均匀性和精度要求；磁极外缘的螺旋角对提高束流的稳定性具有十分重要的作用，需要根据实际磁测的结果进行修正；通过磁测确定边缘场的大小，然后在磁铁端部装配漏场屏蔽板，以降低边缘场效应。

2．电源系统

紧凑质子升能装置电源系统依据物理设计对磁铁电源的技术要求，以及磁铁设计确定的电参数，确定电源规格并合理选择技术路线，完成电源方案设计及技术参数计算，提出系统所需工艺需求；同时与电源控制系统配合，完成控制接口设计，从而完成电源的设计与研制。

电源设备按照运行方式划分为直流稳流磁铁电源和脉冲磁铁电源。

直流稳流磁铁电源均为电流源设计，其基本原则为：（1）满足加速器物理设计的需求，保证束流位置及工作点的稳定性；（2）与磁铁系统进行充分的沟通交流，选择最优的电参数；（3）以开关电源为主要的拓扑方式，体积小、效率高、易实现数字化控制；（4）采取模块化设计，实现大电流及高电压输出；（5）高可用性，高可靠性及电磁兼容考虑；（6）在电子学电路及工艺设计上考虑未来维护和更换的便捷性；（7）电源采用高精度、数字化的电流闭环控制。

脉冲电源设备依据物理需求及磁铁参数确定电源具体拓扑方案和技术要求。

注入脉冲电源包括1台垂直涂抹磁铁脉冲电源和2 台水平扫角磁铁脉冲电源。其技术指标见下表 5.2-6 所示。

表 5.2-6 注入脉冲电源技术指标

	BHPS	PSRBPS
电源数量（台）	1	2
脉冲重复频率（Hz）	25	25
脉冲上升时间（μs）	700	500
脉冲平顶时间（μs）	50	800
脉冲下降时间（μs）	50~700 （可编程）	150~700 （可编程）
脉冲峰值电流（A）	19824	1300
最大下降速率（A/μs）	< 248	<8
电感最大电压（V）	3500	350
稳定度（%）	<0.2	<0.2
跟踪误差（%）	<2	<2

根据物理需求，电源为可编程脉冲电源，要求实时在线改变运行电流波形。其中，BHPS 电源设计难度最大，要求在输出脉冲电流最大峰值 19824 A 时，以最大 248 A/μs 的速率下降，跟踪误差要求小于 2%。

根据注入脉冲电源的运行特点及设计指标，注入脉冲电源设计采用固态器件 IGBT 功率放大的方式产生脉冲电流，给定波形通过电源控制系统，使电源的输出电流波形跟随电源给定波形，电源工作原理如下图 5.2-15 所示。电源主要由主电路拓扑、滤波网络、给定波形发生器、电源控制器等组成，如图 5.2-16 所示。电源主电路设计采用 IGBT 逆变 H 桥电路串并联输出的多重化方案及逆变桥内二重化的控制，提高电源整机等效开关频率，从而提高输出脉冲电流的跟踪控制精度。

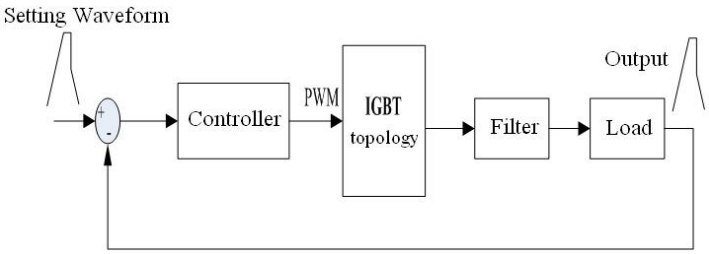


图 5.2-15 电源工作原理图

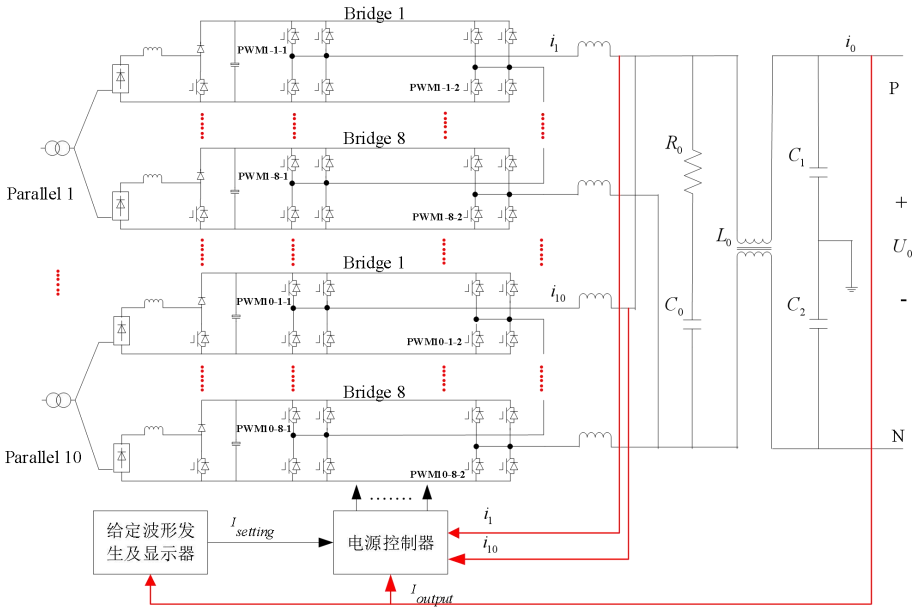


图 5.2-16 电源示意图

引出脉冲电源包括 4 台引出 Kicker 磁铁电源设备，向快脉冲冲击磁铁提供大功率励磁电流。根据物理需求，要求磁铁励磁电流脉冲上升时间控制在 260 ns 以内，并且要求脉冲顶宽大于 600 ns。出于脉冲电源绝缘可靠性的考虑，要求脉冲电

源的工作电压控制在 45 kV 左右。

3．高频系统

高频系统的主要功能是提供电场用于质子束加速。根据设计要求，系统需在 3.6 m 的空间内提供 300 kV 的加速电压，加速梯度需超过 83 kV/m。同时，系统需在 3.71 MHz~4.23 MHz 的宽频带范围内工作，以适应质子束回旋频率的变化。为实现高加速梯度和宽频带工作需求，系统采用磁合金加载腔，并结合高功率、高效率的功率源架构。高频系统主要参数如下表 5.2-7 所示。

表 5.2-7 高频系统主要参数

工作频率（MHz）	3.71~4.23
高频腔数量 （套）	2
高频腔长度（m）	< 1.8
高频腔加速间隙个数（个）	3
每间隙加速电压（kV）	50
总加速电压（kV）	300
间隙加速梯度（kV/m）	> 83
高频腔加载材料	磁合金
重复频率（Hz）	25

（1）高频腔

1）磁合金加载腔结构

为满足高加速梯度需求，磁合金加载腔采用推挽结构，由两只独立工作的功率源放大器驱动，包含 6 个谐振单元，构成 3 个加速间隙，如图 5.2-17 和图 5.2-18 所示。

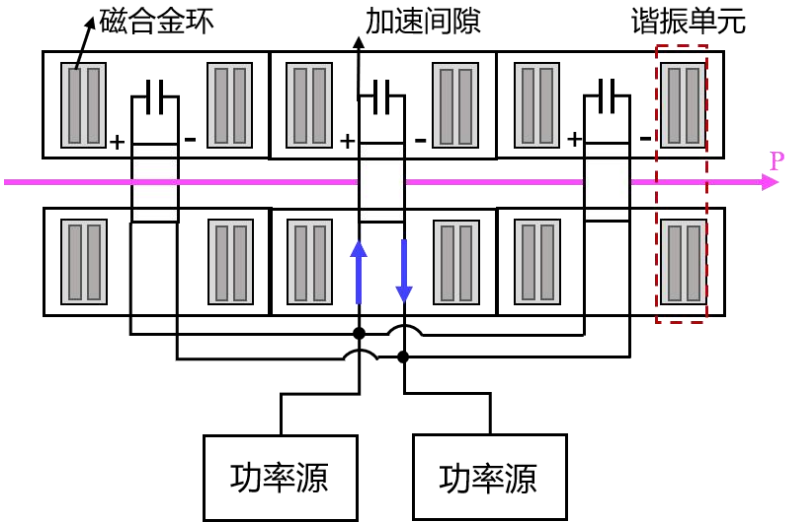


图 5.2-17 磁合金加载腔结构示意图

2）磁合金环设计

形状与尺寸：采用跑道型设计，外尺寸为 1700 (H) × 950 (V) mm，内尺寸为 940 (H) × 260 (V) mm，厚度为 25 mm。

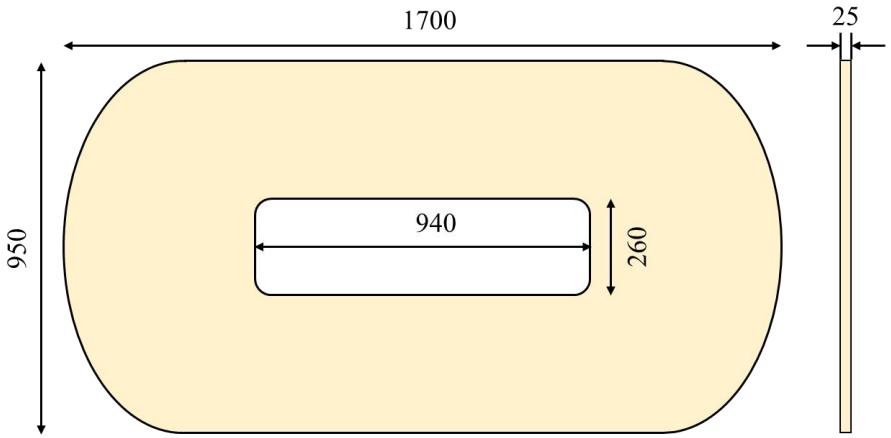


图 5.2-18 磁合金环结构尺寸图

关键技术路线：微米级高绝缘低应力无机涂层、大尺寸磁环卷绕与退火工艺、磁环低应力防水封装工艺、高冷却效率腔体结构设计。

功率密度控制：每个谐振单元安装 2 片磁合金环，在加速梯度为 83 kV/m、重复频率为 25 Hz 的条件下，每片磁合金环的功率密度为 0.33 W/cm³，满足功率密度不超过 0.5 W/cm³的设计要求。

（2）高频功率源设计

为满足高功率、高梯度需求，功率源系统采用两级放大架构：

1）末级放大器

采用高功率四极管，具有大输出功率、宽工作频段、高增益和高稳定性。设计指标如下：

阳极最高直流电压：40 kV。

阳极最大耗散功率：100 kW。

频率范围：3 MHz~10 MHz。

峰值功率：≥1.8 MW。

拟采用 4 CW100 KE 四极管以满足上述指标。

2）推动级放大器

采用固态功率源，具有高效率、宽频带等优点。设计指标如下：

频率范围：3 MHz~10 MHz。

峰值电压：≥1 kVpp。

输出功率：≥1.2 kW。

负载类型：容性负载。

3）电源控制系统

阳极直流高压电源：输出 40 kV，纹波<0.1%。

变压器容量：≥2.0 MW。

4．真空系统

紧凑质子升能装置真空系统是为束流的稳定运行提供真空环境，其动态真空压力要求≤1×10^{-5} Pa；同时要求真空设备或部件极限真空度：≤1×10^{-6} Pa；罩检总漏率：≤1×10^{-9} Pa·m³/s；热出气率：≤1×10^{-10} Pa·m³/s·cm³；残气分析：所有零部件焊接前进行真空清洗，残余气体分析无污染迹象；高温处理：对于高辐射部件，材料都要进行高温处理，及时发现缺陷。

另外作为应用型粒子加速器装置，其对真空系统的稳定性及可靠性要求较高，因此采用较成熟的真空系统方案。该真空系统主要由穿过磁铁的 12 个弧区真空盒和 12 个直线节真空盒组成，每个磁铁都是相同的尺寸，12 个弧区真空盒的尺寸和结构也完全一致，直线节真空盒则根据束流偏转、束流测量、束流加速等装置进行特殊设计。环形加速器真空系统大致是一个中心半径为 9 m 的环，其径向跨

度约为 850 mm，高度由内向外逐渐增大，内圈高度约为 160 mm，外圈高度约为 260 mm，真空盒壁厚约为 10 mm。真空盒的材料选用 316 L 不锈钢，以满足对真空盒机械强度和磁导率的要求。弧区真空盒的三维图如图 5.2-20 所示，为了配合突起的磁铁极面以及上下真空室壁的机械强度，上下真空室采用弧形的壁板。

紧凑质子升能装置真空系统的真空环境主要由离散分布于直线节的离子泵获得，真空度要求优于 1×10^{-5} Pa。图 5.2-20 所示为环形真空系统的布局与真空分布模拟结果。采用 12 个均匀分布的 400 L/s 离子泵（如图 5.2-20 黄色圆圈所示）作为主抽单元，可以在紧凑质子升能装置真空系统内部获得优于 8.9×10^{-6} Pa 的真空环境，满足紧凑质子升能装置正常运行对真空系统内部真空度的要求，同时每台离子泵电源均提供 RS485 接口和通讯协议，可采集离子泵电压、电流、真空度等实时数据，可监测离子泵工作状态，真空系统内真空度变化等。装置运行过程中真空系统内部的真空度将采用冷阴极规测量。同时为了检修方便，采用 2 台真空插板阀将整个装置分隔开。

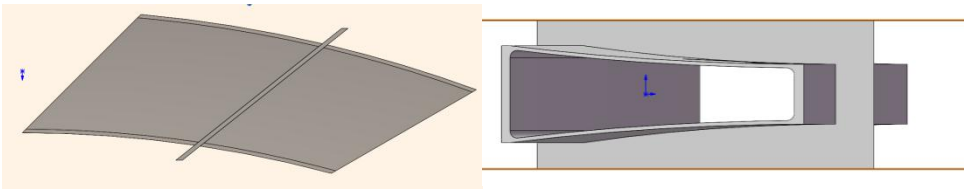


图 5.2-19 弧区真空盒的三维图

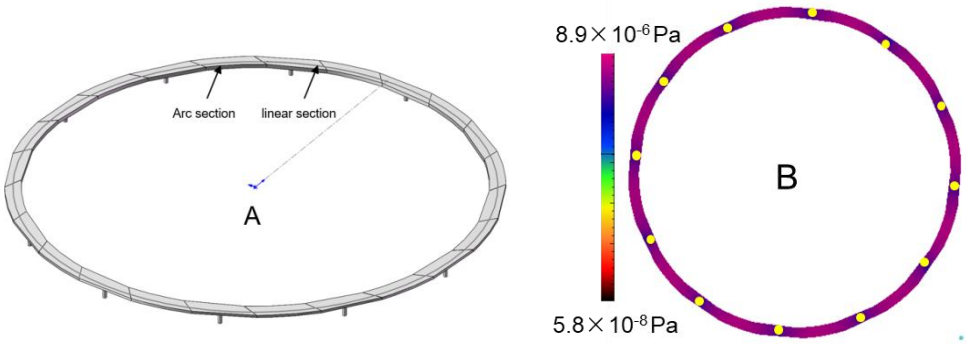


图 5.2-20 紧凑质子升能装置真空系统布局（A）与真空分布模拟图（B）

5．机械系统

（1）剥离膜

剥离膜包括主剥离膜和次剥离膜。主剥离膜采用 260 μg/cm^3 的类金刚石碳膜，

膜库采用回转钢带结构，如图 5.2-21 所示，膜片均布于回转钢带上，每个膜片单独安装，膜库容量 22 片，理论剥离效率 99.7%。经过主剥离膜剥离后的质子束流进入 RCS 进行加速。次剥离膜采用 450 μg/cm^2 的类金刚石碳膜，膜库容量 1 片，H^0粒子经过次剥离膜剥离一个电子后变为质子引入废束站。图 5.2-22 给出剥离膜效率与膜片厚度的关系。

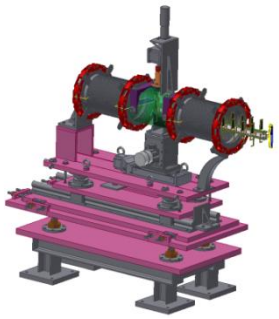


图 5.2-21 主剥离膜结构

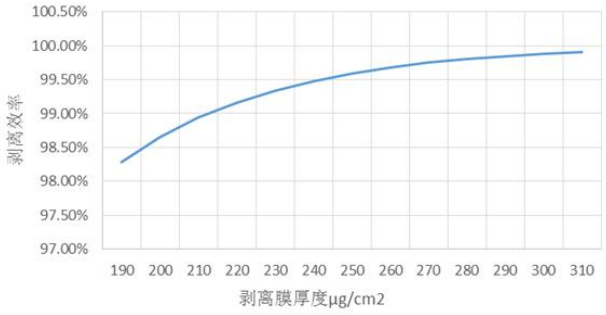


图 5.2-22 剥离膜效率与膜片厚度关系图

（2）准直器

束流准直器是为了减小其他区域的束流损失，降低束流损失。准直器共有 4 个准直挡块，其中两个挡块材料为石墨与铜的组合，另外两个挡块材料选用铝，挡块最大厚度达 1.2 m。准直器四个挡块上束流沉积的总功率约为 250 W，其中 B1、B2、B3 和 B4 功率分布分别为 150 W，20 W，20 W 和 60 W。根据束流分布情况，B1 和 B4 将采用水冷进行冷却。准直器为四轴平动结构，垂直方向和水平方向各两轴，通过电机驱动实现挡块的直线运动，其技术方案如下图 5.2-23 所示。

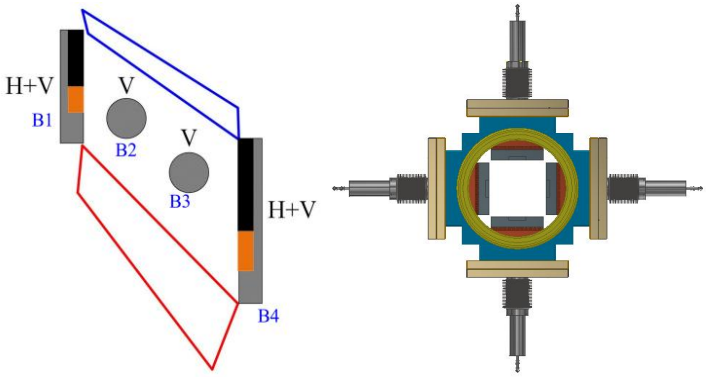


图 5.2-23 束流准直器技术方案

（3）废束站及废束窗

废束站及废束窗是束线末端承受废气束流、隔绝大气及屏蔽废束辐射的关键设备，主要由屏蔽体及束窗组件组成。束窗组件位于装置末端，属于真空设备，是大气和真空环境的交界面，既维持系统真空环境，同时允许绝大多数粒子穿过它进入屏蔽体。屏蔽体用于接收调束时产生的废弃束流，对废弃束流进行阻止和安全屏蔽，吸收粒子的能量转化为热能后快速平稳地向外层混凝土传递，以保证装置及环境安全，是项目的重要组成部分，废束站主要由混凝土和铁组成，结构如下图 5.2-24 所示。

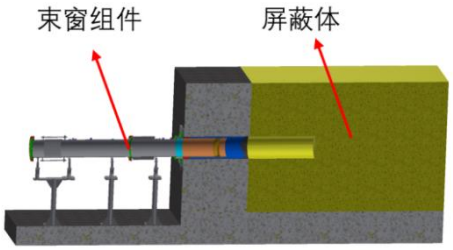


图 5.2-24 废束站及废束窗整体结构方案

废束窗将承受一定的热载荷和大气压力，结构稳定性和材料的稳定性至关重要，拟采用弥散铜作为主体材料。废束窗采用单层膜结构，薄膜厚度为 2 mm，圆弧结构形式，冷却方式采用自然冷却。为便于拆装，废束窗组件分为束窗段和过渡段，如下图 5.2-25 所示。

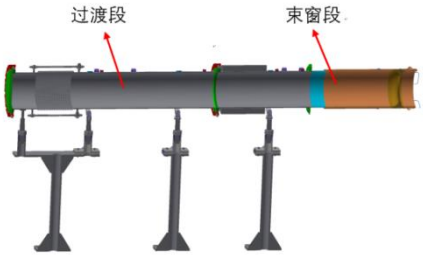


图 5.2-25 废束窗组件结构

（4）磁铁支架

装置磁铁重达 46 吨，磁铁支架的结构稳定性和可调节性是其关键指标。为了确保支架满足承重要求，支架本体采用箱式焊接结构，具有节省材料、减轻重量和提高支架刚性的优点，磁铁与重载磁铁支架装配结构示意图如图 5.2-26 所示。支架主要分为上下两层结构，上层结构实现水平方向的调节，下层结构主要实现垂直方向和三个转角的调节，重载磁铁支架如图 5.2-27 所示。由于磁铁重量大，人工手动调节较为困难，因此重载磁铁支架的垂直调节和水平调节均采用步进电机辅助完成。

要满足重型磁铁垂直方向的精度调节，各支架采用步进电机驱动的升降机垂直调整机构设计方案，升降机通过螺纹与球头连接，可以实现对支架的角度调节。水平调整机构主要用于实现磁铁在水平面 X、Z 两个方向上的位置调整。整个调整机构主要由垂动板与平动板组成，平动板与磁铁相连，垂动板与四个垂直方向的蜗轮蜗杆升降机相连。水平调节机构由两个横向调节机构和一个纵向调节机构组成，分别调整磁铁的 X、Z 方向平移和绕 Y 轴旋转，结构如图 5.2-26、图 5.2-27、图 5.2-28 所示。

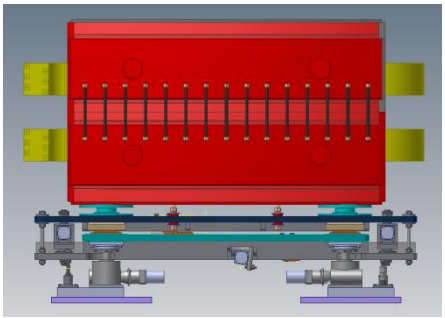


图 5.2-26 重型磁铁与支架总装配图

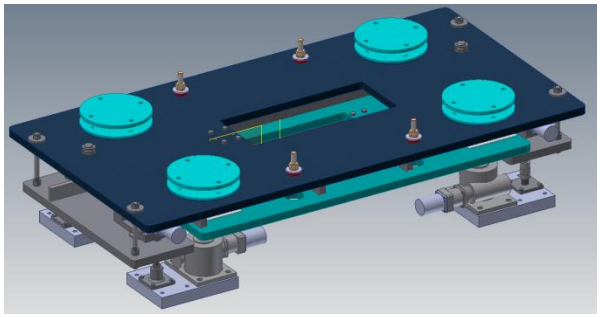


图 5.2-27 重载磁铁支架

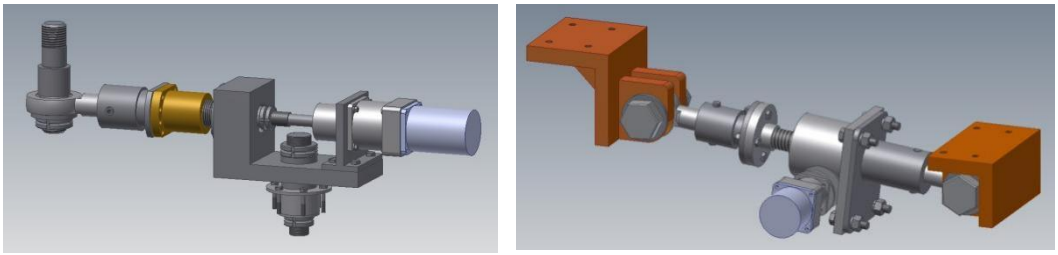


图 5.2-28 电机驱动的水平横向和纵向调整机构示意图

6．束流诊断系统

束流诊断系统是粒子加速器顺利调试、高质量运行和性能提升必不可少的子系统之一，其主要利用各种探测器提供束流参数实时监测和局部关键参数重点测量。作为加速器装置的“眼睛”，束流诊断系统负责提供束流相空间分布的全方位信息，例如束流位置、束流流强、不同自由度下的束流包络、束流传输矩阵关键参数和束流振荡特性等；此外，为保证粒子加速器安全高效运行，需要对束流参数和束流损失同时进行实时监测。为实现强流直线加速器装置的成功稳定运行，束流诊断系统需要具备以下基本功能：

（1）在束流调试阶段，通过对束流参数的测量，将束流和加速器状态反馈给机器调试和各系统人员，用于优化束流参数和硬件设备参数，保障加速器调试按计划进行并逐步优化束流损失；

（2）在装置验收阶段，对关键束流参数进行准确测量，提供装置验收所要求的加速器和束流参数；

（3）在装置投入正常运行后，对反映加速器状态的关键束流参数进行在线监测并实时发布给各系统，针对束流不稳定问题通过反馈系统微调硬件参数进行抑制。

（4）在出现偶然性束流不稳定或异常状态时，提供机器保护触发信号主动中断加速器运行，记录束流中断前实时监测的关键束流参数，为后续优化机器参数降低束流中断频率提供必要信息。

根据束流物理需求和设备总体布局，在强流直线加速器的前端、DTL 加速器段和束流传输线上布置了一系列束流诊断设备，将在加速器调试、束流功率提升和高质量运行过程中起到至关重要的探针作用。按照测量的束流参数主要分为：流强探测器、位置探测器、工作点测量系统、剖面探测器（注入区多丝靶）和束流损失探测器等。为满足强流状态下的束流参数测量需求，遵循保持设备的先进性、运行可靠性、造价合理性和预留未来升级空间的原则， 强流质子直线加速器束流诊断设备分布和数量如下表 5.2-8 所示。

表 5.2-8 束流诊断设备分布和数量

束流探测器名称	数量	单位
束流位置探测器	4	套
注入区流强探测器	2	套
工作点测量系统	2	套
束损探测器	10	套
注入区多丝靶	1	套

这几个流强探测器探测到的束流宏流强范围将从几μA 至几十 mA，动态范围较大。根据现有研制经验，通过选择具有不同磁滞回线的软磁合金材料、优化绕线圈数、增加平板型旁路电容等方式，配合电子学选用高增益低噪声或低增益宽带宽设计，可实现不同流强范围的准确测量。考虑到注入区设备种类和数量非常多，在 H0CT 探头外设计有内外两层磁屏蔽（可兼做 RF 屏蔽和镜像电流的通路），材料选择工业纯铁 DT4（相对磁导率$\mu_r \sim 6000$），根据 ANSYS 仿真计算和理论公式计算结果，DT4 层厚 2 mm，双层磁屏蔽间隔 1 mm 的情况下，可以保证流强探头在径向（即圆柱坐标系的 r 方向）上由屏蔽层外至内部探头处的磁场强度下降 3 个量级以上。由于 H0CT 负责次剥离膜后的质子束宏脉冲流强测量，考虑到注入磁铁电源的强脉冲干扰，在 H0CT 探头的陶瓷间隙处，加装平板电容，该平板电容由 2 片铜皮中间夹 0.1 mm 的聚酰亚胺薄膜构成。

方形的斜切 BPM 主要由金属电极板和保护环组成，金属电极板的间距需要根据位置测量线性度进行设计。与纽扣型或条带型 BPM 不同，斜切型 BPM 电极板输出的信号强度与束流到电极板的绝对距离非直接相关，而与电极板对束流的覆盖范围相关。为提高测量灵敏度、线性度和降低测量灵敏度与束团频率的相关性，shoe-box BPM 设计优化的重要参数是相邻电极间的电容耦合，该参数与电极板的形状和尺寸、相邻电极板间距和电极支撑材料等有关。电极板之间的保护环即是为了提高电极间绝缘度。质子束流在 RCS 加速过程中，束团长度从 700 ns 缩短至 120 ns，shoe-box BPM 的位置测量灵敏度将随之变化，这一特性与不同频率下电极板间的电容耦合变化密切相关。为满足以上要求，后期将利用有限元软件对电极板和保护环尺寸优化。

升能环形质子加速器在注入后高频频率不断升高，用于工作点测量的边带频率也随之变化。现有的工作点测量系统利用条带电极的 kicker 作为激励器，信号发生器产生白噪声或者正弦波，通过功率放大器放大加到激励器中，使经过的束团β振荡变大。BPM 作为探测器进行感应，信号通过频谱仪分析得出频谱，从而进行工作点计算。

为保证束流注入调试和运行的顺利进行，需要采用束流损失探头实时监测束流损失状况，采用同轴圆柱形电离室结构 BLM，工作气体为 Ar/N_2 (7/3）混合气体，灵敏区长度为 17.4 cm，工作气压为 1 atm，标准偏压为 2100 V。

注入区多丝剖面探测器设计参考现有多丝剖面探测器的方案，根据管道孔径及测量精度需求，优化探头布丝结构设计。此外，也可以采用陶瓷印制电路板的方案提高布丝密度，美国 Los Alamos 实验室采用基于陶瓷印制电路板的多丝剖面探头，已经对其可行性进行了实验验证。

7．控制系统

加速器控制系统属于大型分布式控制系统，控制系统负责加速器全局控制及部分设备的本地控制，并提供与靶站控制系统、通用设施控制系统和人身防护系统的软硬件接口，服务于加速器的运行和调试。对于一台高束流功率质子加速器，加速器控制系统需要具有极高的可靠性和可用性，以使装置达到高可用运行。

加速器控制系统的主要任务是对各种设备进行监测、控制及保护，并提供全

局控制和信息交互软硬件平台，使操作员、物理学家及系统专家及时掌握各种信息，并通过人机接口在控制室远程监测和操作设备。此外，加速器控制系统还需提供全局的机器模式、运行模式和束流操作管理功能。还需提供可靠的大容量数据采集、存储和查询分析工具，以便对总体和各设备的运行状态监测和查询、故障判断、运行统计分析、维护和改进。

根据功能不同，将控制系统分为以下子系统：1）定时系统、2）机器保护系统、3）人机界面、4）数据库和应用软件、5）服务器平台、6）设备控制，这些功能部分通过控制网络或专用硬线连接起来，从而实现整个控制系统的任务功能。下图 5.2-29 为控制系统各功能及连接示意图，下面对控制系统各功能部分进行简述。

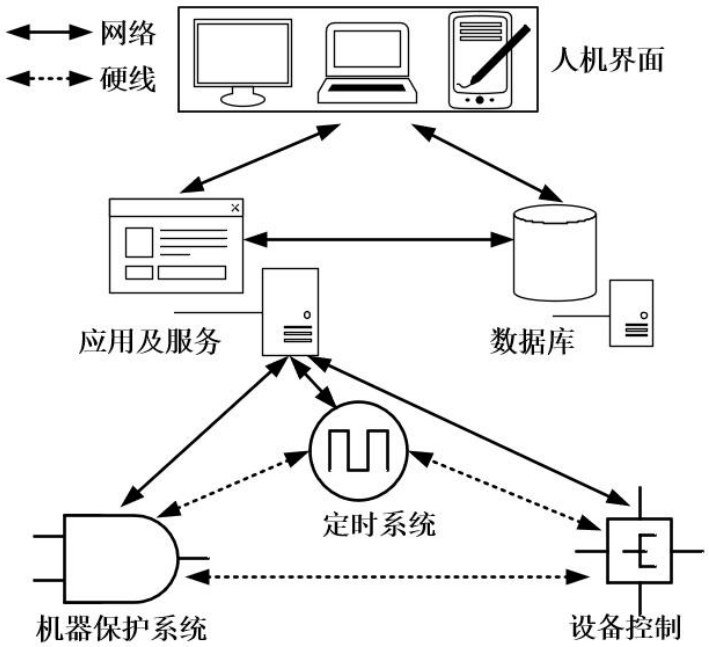


图 5.2-29 控制系统功能及连接示意图

（1）定时系统

定时系统是全域性同步触发系统，为加速器和靶站谱仪设备提供全局的触发信号、时钟信号和时间戳，保证整个装置按照精确的时间基准进行工作。

（2）机器保护系统

机器保护系统是加速器安全运行的重要保证，用于保证设备的安全。当机器保护系统收到故障信号或者过阈信号时，机器保护系统应立即启动停束流程进行

停束，以免设备受到束流持续轰击而损坏或者承受较大束流损失造成较大的感生

（3）人机界面

人机界面是控制系统的核心功能之一，人机界面旨在为操作人员提供功能丰富、界面友好、风格统一的操作界面，使操作员可以在控制室里监控设备、查询分析历史数据、处理报警信息和记录运行日志。

人机界面包含从传统的台式机应用（desktop applications）到 Web 应用及移动端应用（mobile apps）。除了满足功能的综合要求外，人机界面交互的友好性、易用性和美观性也是重要考虑的方面。

（4）数据库及应用软件

加速器机器参数和调试运行过程中产生的大量历史数据需存放在各种数据库中，供加速器物理学家和运行人员在线和离线分析使用。数据库访问需具有快速存取数据的能力，为用户提供方便的人机交互界面访问数据库中的信息。数据库将涵盖整个加速器以及部分靶站分总体和公用设施分总体的相关数据。

加速器在调试和运行过程中，需要多种应用软件处理各种业务逻辑和信息，包括：报警服务、日志记录、目录服务、授权与认证、配置信息、设备信息、电缆信息、lattice 等，这些服务软件又称为中间层服务，常采用面向服务的体系结构。

（5）控制网络及服务器集群

控制网络和服务器集群是控制系统的核心基础设施。控制网络是构建分布式控制系统的重要组成部分。分布在加速器各个位置的设备、服务和应用，通过控制网络进行互联互通，从而形成一个整体。

服务器集群为加速器物理模拟、调试软件、控制软件和服务软件提供高可用的运行环境、计算资源和存储资源。

（6）设备级控制

设备控制主要包括真空控制、磁铁电源控制、运动控制和水冷联锁控制。被控对象主要有真空阀门、真空计、分子泵、离子泵、电机、磁铁电源以及各类仪表等设备。控制系统对各类设备实施开/关机、调节参量变化的操作。测控的功能包括数字和图形显示，数据的采样处理，设备状态及参数的监测和报警。对设备的监控在本地和控制室实施。

5.2.2 分离纯化分总体

分离纯化分总体的设备建设方案主要包括同位素分离纯化系统设备购置、研发，GMP 分装及质控分析系统装置购置研发，废物处置系统设备研发，工艺研发测试及辐射防护设备。总体建设方案如下图所示。

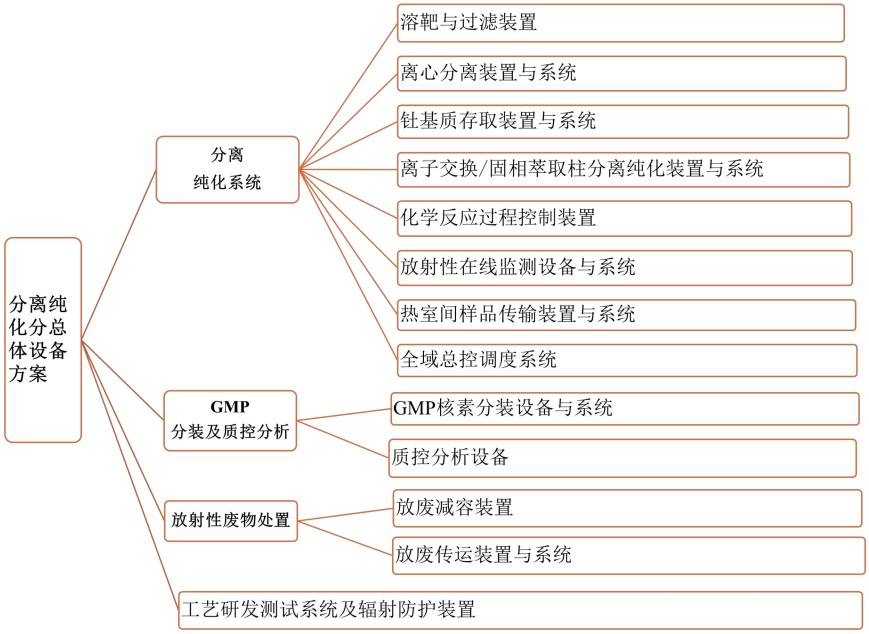


图 5.2-30 分离纯化分总体设备方案

5.2.2.2 分离纯化系统

分离纯化系统主要完成辐照后金属 Th 靶中诊疗用医用同位素的分离纯化，整个工艺过程包括靶的拆解、靶溶解、色谱纯化、酸碱调节及化学反应控制。最终建设目标是实现工艺流程的自动化，针对上述工艺环节的自动化设备需要研发及购置，同时实现自动化所需的总控调度及样品传输系统也是必须的，详细的设备方案如下所示。

5.2.2.2.1 解靶装置

加速器高功率（100 kW）辐照后的叠层靶放射性总活度高，靶件拆解难度较高。解靶工艺主要研发及购置解靶热室、自动化耐辐照解靶设备，如下表所示为解靶工艺的主要设备。

表 5.2-9 解靶工艺主要设备

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	数量	单位
解靶热室	高功率靶站辐照后的叠层靶能通过物料传输系统转移至解靶热室；解靶热室主要屏蔽辐照后靶件产生的极高辐射剂量；解靶热室配备机械臂。	1	台
自动化解靶装置	能够实现叠层靶的自动化拆解，自动化装置能在严苛的辐射环境下稳定运行。	1	台
在线监测	能够实时在线监测解靶热室内的辐射剂量	1	套

5.2.2.2.2 溶靶装置

拆解后的靶件经过物料传输装置转运至溶靶工艺段，完成靶件的溶解，辐照后的金属靶件是在强酸性溶液中加热溶解的，溶解工艺所需的主要设备如下表所示。

表 5.2-10 溶靶工艺主要设备

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	数量	单位
溶靶热室	接受解靶热室传递的辐照金属靶，屏蔽靶件的辐射剂量	1	台
自动化溶靶及过滤装置	自动化解靶装置配置加热、搅拌、放射性气体吸收及过滤功能，能够实现靶原料投入、溶解、转移的全流程自动化。	1	台

5.2.2.2.3 离子交换/固相萃取柱分离纯化装置

金属靶经过溶解后主要采用离子交换及固相萃取色谱技术实现镭$^{-223}$、锕$^{-225}$、铅$^{-212}$及其他医用同位素（如 Mo^{-99}）的分离纯化。每种医用α核素的分离纯化工艺并不相同且应该避免彼此之间的交叉污染。针对这些核素的分离纯化，本项目拟建设的离子交换及固相萃取色谱分离纯化装置如下表所示。

表 5.2-11 离子交换及固相萃取色谱分离纯化主要装置

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明。	数量	单位
$^{Mo-99}$分离纯化热室	接受解靶热室传递的辐照金属靶，屏蔽靶件的辐射剂量，分离纯化热室分别完成 Th 基质及裂变核素与 $^{Mo-99}$ 的初步分离及 $^{Mo-99}$ 的进一步纯化。	2	台
$^{Mo-99}$自动化色谱分离装置	$^{Mo-99}$ 自动化色谱分离装置能够完成 $^{Mo-99}$ 的分离及纯化	1	套
Ra^{-225}分离纯化热室	3 台 Ra 分离纯化热室分别完成 Ra 与 Th 基质的分离、Ra 的初级浓缩分离及 Ra 的进一步纯化（主要是 Ra-Ba 分离）	3	台
Ra^{-225}自动化色谱分离装置	自动化色谱分离装置能够完成 Ra 的浓缩及 Ra-Ba 的高效分离	2	套
Ac^{-225}（非 GMP 级）分离纯化热室	2 台热室分别用于 Ac^{-225} 与 Th 靶基质的分离及 Ac^{-225} 的纯化（Ac-Ln 分离）	2	台
Ac^{-225}（非 GMP 级）自动化色谱分离装置	自动化色谱分离装置能够完成 Ac 与 Th 基质的分离及 Ac-Ln 的分离	2	套
Ac^{-225}〔GMP 级）分离纯化热室	GMP 级 Ac^{-225} 主要经 Ra^{-225} 分离纯化获取，2 台 GMP 级 Ac^{-225} 分离纯化热室分别完成 Ra/Ac 的分离及 Ac^{-225} 的纯化	2	台
Ac^{-225}（GMP 级）自动化色谱分离纯化装置	自动化色谱分离纯化装置主要完成 Ra^{-225}/Ac^{-225} 的分离及 Ac^{-225} 的纯化（主要是 Ac^{-225}/La^{-140} 的分离）	2	套
Ra^{-223}分离纯化热室	2 台 Ra^{-223} 分离纯化热室主要完成 Ra 与 Th 基质的	2	台

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明。	数量	单位
	分离及 Ra 的纯化		
Ra^{-223} 自动化色谱分离纯化装置	实现 Ra^{-223} 的自动化浓缩及纯化	2	套
Ra^{-224} 分离纯化热室	3 台 Ra^{-224} 分离纯化热室主要完成 Ra 与 Th 基质的分离及 Ra 的纯化	3	台
Ra^{-224} 自动化色谱分离纯化装置	实现 Ra^{-224} 的自动化浓缩及纯化	3	套

5.2.2.2.4 化学反应过程控制及离心分离装置

同位素分离纯化工艺流程涉及精准的化学反应控制，锕$^{-225}$、镭$^{-223}$及铅$^{-212}$分离纯化过程中需要多次调用离心分离装置，因此分离纯化系统需要专门设计和设置化学反应过程控制及自动化离心分离装置，这些工艺设备如下表所示。

表 5.2-12 离心分离机化学反应控制主要装置

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	数量	单位
自动化离心分离设备	自动化离心设备主要完成工艺过程中的固液分离，需要具备自动样品定位、配平、离心、洗涤等功能。	9	套
自动化反应控制装置	自动化反应控制装置主要实现分离纯化工艺过程中化学反应物料加入、酸碱度调节、反应物定量转移等功能。	2	套

5.2.2.2.5 钍基质存取装置

金属钍靶经过分离纯化工艺提取锕$^{-225}$、镭$^{-223}$及铅$^{-212}$后需要暂存并用于后续核素的继续提取及分离，随着辐照靶批次的增加，需要设计钍基质存放屏蔽场所并为之研发设计一套调用提取装置用于后续稳定化生产。

表 5.2-13 钍基质存取主要装置设备

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	数量	单位
Th 基质暂存屏蔽库	用于存放不同批次辐照后的 Th 基质，并具备编码系统，屏蔽体能够屏蔽 Th 基质产生的高能γ射线辐照，存放容器与工艺过程的主要装置完全适配	1	套
自动化定位提取装置	能够在强辐射场环境下根据工艺要求精准定位提取不同批次钍靶基质并转移至指定位置	1	套
可移动屏蔽门	屏蔽 Th 基质产生的辐射，满足定位提取装置的维护及检修要求	2	台

5.2.2.2.6 分离纯化工艺在线监测、物料传输及全域总控调度设备

同位素分离纯化工艺过程中需要研发配置在线监测、物料自动化传输及全域总控调度设备，所需的设备如下表所示。

表 5.2-14 在线监测、物料传输及总控调度设备

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	数量	单位
分离纯化在线监测设备	根据工艺过程需要能够实现分离纯化过程中辐射剂量监测或者核素识别分析	6	套
自动化物料传输系统	实现分离纯化热室间、分离纯化热室与 GMP 分装热室、分离纯化热室与废物贮存设施之间的自动化物料运输	1	套
全域总控调度系统	能够实现分离纯化工艺设备及通用设施的监控和各个分离纯化热室间样品传输的整体调度	1	套

5.2.2.3 放射性废物处置系统

锕$^{-225}$、镭$^{-223}$、铅$^{-212}$及其他医用同位素分离纯化过程中会产生较多的工艺废液。本项目会研发放射性废物减容技术，提高放射性废物的处理能力，保障医用同位素量产工艺的稳定运行，为此需要研发布置如下表所示的主要废物处理装置。

表 5.2-15 放射性废物处置主要装置

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	数量	单位
放射性废液减容热室	减容热室是废物减容处理的主要操作场所，主要配备减容装置，物料传输装置并具备足够的屏蔽能力	2	台
自动化减容装置	自动化减容装置主要具备化学反应控制功能、离子色谱交换功能及加热功能，可以通过共沉淀、离子交换、加热蒸发等实现废液的减容。	2	套
废物暂存及转运系统	能够实现减容废液的收集、转运及暂存功能	2	套

项目是中高能质子打重靶（Th 靶），根据计算和前期监测结果，项目存在较多的“三废”，且三废中核素种类多、存在α/β衰变链，需要特别关注，防止三废可能造成的内照射问题，因此，拟采用如下措施对“三废”进行处理处置：（1）为减少放射性废水废液的处理处置困难，活化严重的靶体拟采用 He 气冷却而不采用水冷却，且 He 气采用循环密闭冷却方式，平时不排放，仅在 He 气气质中积累较多，必须进行更换时，如运行数周后，才对活化的 He 气排出，并储存到特设的储存罐进行衰减，为使 He 气中的活化核素（He 气本身活化很轻微，主要核素来源于 Th 靶析出的气载核素）对环境影响最小化，拟结合计算和监测结果，设置多个储存罐，确实没有多余储罐继续储存时，按最优化方式进行轮流排放；（2）对排放的放射性废气，将按法规要求设置过滤设备、采用高烟囱扩散排放，并在排放时通过项目自研的高分辨率活化空气监测系统，在线监测和评估排放造成的辐射影响，以确保满足环保要求；（3）在热室下方设有放射性废物储存间及存储罐，从热室拆卸的高放固废，经靶室机械手转移到下方储罐储存，储罐容量足够满足项目需求；（4）可能流经停束体或束窗的高放废水为一次活化水，平时循环利用不排放，检修时或水质变差时不得不更换下来的活化水，将用地下水冷设备间专用的储罐进行储存，储罐容量足够满足项目生命周期的需求，如不得不排放，将采用和散裂放射性废水一致的处置方式，先进行第三方检测，报经监管部门同意后，再进行排放。分离纯化分总体研发制定了放射性废物的减容处置方案。工艺热室内产

生的放射性废气首先经过研制的废气捕集装置捕收，排放出的其他废气经高效过滤装置处理后排放。放射性废液在废物减容间内经过沉淀及离子交换浓缩后与其他放射性固体废物一并转移至 B3 层放废厅暂存。项目是中高能质子打重靶（Th 靶），根据计算和前期监测结果，项目存在较多的“三废”，且三废中核素种类多、存在α/β衰变链，需要特别关注，防止三废可能造成的内照射问题，因此，拟采用如下措施对“三废”进行处理处置：（1）为减少放射性废水废液的处理处置困难，活化严重的靶体拟采用 He 气冷却而不采用水冷却，且 He 气采用循环密闭冷却方式，平时不排放，仅在 He 气气质中积累较多，必须进行更换时，如运行数周后，才对活化的 He 气排出，并储存到特设的储存罐进行衰减，为使 He 气中的活化核素（He 气本身活化很轻微，主要核素来源于 Th 靶析出的气载核素）对环境影响最小化，拟结合计算和监测结果，设置多个储存罐，确实没有多余储罐继续储存时，按最优化方式进行轮流排放；（2）对排放的放射性废气，将按法规要求设置过滤设备、采用高烟囱扩散排放，并在排放时通过项目自研的高分辨率活化空气监测系统，在线监测和评估排放造成的辐射影响，以确保满足环保要求；（3）在热室下方设有放射性废物储存间及存储罐，从热室拆卸的高放固废，经靶室机械手转移到下方储罐储存，储罐容量足够满足项目需求；（4）可能流经停束体或束窗的高放废水为一次活化水，平时循环利用不排放，检修时或水质变差时不得不更换下来的活化水，将用地下水冷设备间专用的储罐进行储存，储罐容量足够满足项目生命周期的需求，如不得不排放，将采用和散裂放射性废水一致的处置方式，先进行第三方检测，报经监管部门同意后，再进行排放。分离纯化分总体研发制定了放射性废物的减容处置方案。工艺热室内产生的放射性废气首先经过研制的废气捕集装置捕收，排放出的其他废气经高效过滤装置处理后排放。放射性废液在废物减容间内经过沉淀及离子交换浓缩后与其他放射性固体废物一并转移至 B3 层放废厅暂存。

5.2.2.4 医用同位素 GMP 分装及质控分析系统

5.2.2.4.1 同位素 GMP 分装

辐照金属 Th 靶经过分离纯化工艺制备获得的锕$^{-225}$、镭$^{-223}$、铅$^{-212}$及其他医用同位素还需按照国家 GMP 生产车间规定要求进行纯化分装，最终才能用于药物研发

及临床。本项目计划建设至少包括锕$^{-225}$、镭$^{-223}$、镭$^{-224}$及铅$^{-212}$在内的GMP分装线及发生器生产线，所需主要设备如下表所示。

表 5.2-16 GMP 分装主要装置

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	单位	数量
GMP 分离分装热室	放射性核素纯化、分装的主要场所，满足洁净度及辐射防护的要求	台	24
自动化分离纯化装置	锕$^{-225}$、镭$^{-223}$、镭$^{-224}$及铅$^{-212}$的进一步纯化	套	16
分装机、清洗机及灯检机	完成放射性核素的分装、西林瓶的清洗及分装后同位素制剂的检测	套	8
纯水系统	预处理、反渗透（RO） 、电去离子（EDI）处理能力、巴氏消毒、全自动控制，符合中国药典 2015 版、美国药典 USP39、欧洲药典 EP8.0	套	1

5.2.2.4.2 质控分析设备

质控分析设备主要包括放射性核素活度分析测量仪器（液体闪烁谱仪、γ谱仪、α谱仪、活度计等）、放射性核纯度分析测量仪器（γ谱仪、液体闪烁谱仪、α谱仪、ICP-MS、ICP-QQQ 等）、杂质元素分析测量设备（XRF、ICP-AES）等，具体如下表所示。

表 5.2-17 质控分析设备

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	单位	数量
HPGe 谱仪	数字化多道 DSPEC50 A；液氮回凝制冷器 MOBIUS DET；谱分析软件 A66-BW，铅室 Pb-100 mm	台	2
α谱仪	8 路 α 能谱系统，能量探测范围 0-10 MeV，腔室真空 10-20 mTorr，探测器偏压 0-100 V，数字化 MCA，能量分辨率（FWHM）≤20 KeV（探测器到源的距离等于探测器的直径），探测器效率≥25%（探测器到源的距离小	台	4

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	单位	数量
	于 10 mm），本底在 3 MeV 以上，每小时计数≤1。		
ICP-QQQ 质谱仪	灵敏度，在 CeO+/Ce+ ≤ 2 %条件下测定：低质量数：Li-7，280 Mcps/ppm；中质量数： In-115 ≥ 960 Mcps/ppm；高质量数： U-238 ≥ 640 Mcps/ppm；背景噪声 ≤ 0.2 cps（在 9 amu 和 238 amu，Be 及 U 处测定）；氧化物干扰产率：CeO+/Ce+: ≤ 2.0 %；短期稳定性（RSD）: ≤ 2 % (20 min）；长期稳定性（RSD） ≤ 2 % (2 hrs）。	台	2
ICP-MS 质谱仪	灵敏度：低质量数：Li-7 ≥150 M cps/ppm，中质量数：In-115 ≥350 M cps/ppm，高质量数：U-238 ≥550 M cps/ppm；低质量数：Be-9 ≤ 0.1 ppt，中质量数：In-115 ≤ 0.05 ppt，高质量数：Bi-209 ≤ 0.05 ppt。	台	2
液体闪烁谱仪	内置 3 个低本底光电倍增管探测器，3 个探测器在同一平面上，夹角 120 度，采用三双符合比（TDCR）技术，实现绝对活度测量。	台	3
便携式液闪谱仪	单光子计数光电倍增管 PMT，0.1s ~ 9，999 分钟计数时间，拥有 alpha-beta 甄别能力，具有液闪 LSC 分析功能，能量范围不小于 3 keV - 2 MeV，使用多通道分析仪（MCA）进行能谱分析。	台	2
ICP-AES 光谱仪	全谱直读，检出限（180.669 nm）< 5ug/L，重复性优于 1%，稳定性优于 1%（4 小时），波长范围 167-785 nm，光学分辨率≤0.0065 nm，等离子体输出功率 700-1700 W，等离子体冷却气 0-22.5 L/min 可调，RF 发生器频率 40.68 MHz	台	2
XRF 仪	元素分析范围 F-U，选配可拓展至 C-U，元素分析浓度	台	2

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	单位	数量
	范围：ppm-100%，Mn Ka 分辨率优于 140 eV		
便携式 XRF 仪	铑靶 X 光管， 2.5 W，最大电压 50 kV；SDD 检测系统-能量分辨率小于 150 电子伏特	台	2
活度计	测量范围：最大活度 300 GBq（8Ci），分辨率：0.001 MBq（0.01uCi），静电计精度：优于±2% ，系统精度：优于 FSD 的±0.1%，系统线性：±2%以内 ，重复性：±2%以内，响应时间：（高活度样品）2 秒以内，（非常低活度样品）4～16 秒以内	台	2

5.2.2.5 工艺研发及测试系统

分离纯化分总体需要对分离纯化工艺进行研发、测试、改进，同时开展相关的应用研究，为此需要完备的研发测试仪器与设备，具体设备如下表所示。

表 5.2-18 工艺研发及测试装置

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	单位	数量
工艺研发测试热室及屏蔽手套箱	工艺研发测试及自动化分离装置测试的主要场所	套	3
紫外可见光谱仪	提供可变光谱带宽的能力，从 0.5 nm 到 20 nm，兼容种类多样的附件，包括多联样品池转换器（水浴和半导体 Peltier 控温），固体样品透射和反射测试附件、远程测量的光纤探针、颜色和漫反射测试的积分球以及多种样品池支架	台	1
高效液相色谱 HPLC	宽度：435 mm，泵类型：等度二元泵四元泵，深度：468 mm，温度区域的最大数量：G7116A/B 提供双温区配备集成式柱温箱的样品瓶进样器提供单温区，溶剂最大数	台	1

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	单位	数量
	量：4，电源电压：100-240 VAC，系统压力操作范围：高达 600 bar，色谱柱量：4		
放射性薄层色谱扫描仪	灵敏度：（10 分钟分析）H-3，^{125}I 为 1，000 DPM C-14，P-32 和其他大部分的 100 DPM 同位素，解析度：对于 C-14 为 0.5—1mm³H1-2mm，P-32 和大部分γ发射体为 3 mm，线性校准到 1%（±2 毫米）以内，背景每 mm 小于 0.15 CPM，功率： 110 / 220 V，50 / 60 Hz，气体供应：P10 计数气体（90%氩气，10%甲烷）调节到 10 - 20 psi（0.7 -1.4 巴）	台	1
高分辨质谱仪	TOF 质量分辨率 (FWHM）：> 在 m/z 118 处为 35000，与采集速率无关> 在 m/z 2722 处为 60000，与采集速率无关，TOF 质量范围：m/z 20-10000，同位素保真度：<5 %，四极杆分离质量范围：m/z 20-4000，四极杆分辨率 (FWHM）：1.3 Da（自动调谐，极性切换占空比：1.0 s，温度质量稳定性：<1 ppm / 3 °C，离子源：Dual-AJSDual-ESIAPCI 谱图内动态范围：5 个数量级	台	1
活度计	测量范围：最大活度 300GBq（8Ci），分辨率：0.001MB（0.01uCi），静电计精度：优于±2% ，系统精度：优于 FSD 的±0.1%系统线性：±2%以内 ，重复性：±2%以内，响应时间：（高活度样品）2 秒以内，（非常低活度样品）4～16 秒以内	台	1
HPGe 谱仪	数字化多道 DSPEC50A；液氮回凝制冷器 MOBIUS DET；谱分析软件 A66-BW，铅室 Pb-100 mm	台	1
α谱仪	8 路 α 能谱系统，能量探测范围 0-10 MeV，腔室真空 10-20 mTorr，探测器偏压 0-100 V，数字化 MCA，能量分辨率（FWHM）≤20 KeV（探测器到源的距离等于探测器的径），探测器效率≥25%（探测器到源的距离小于	台	2

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	单位	数量
	10 mm），本底在 3MeV 以上，每小时计数≤1		
ICP-QQQ 质谱仪	灵敏度，在 CeO+/Ce+ ≤ 2 %条件下测定：低质量数：Li-7，280 Mcps/ppm；中质量数： In-115 ≥ 960 Mcps/ppm；高质量数： U-238 ≥ 640 Mcps/ppm；背景噪声 ≤ 0.2 cps（在 9 amu 和 238 amu，Be 及 U 处测定）；氧化物干扰产率：CeO+/Ce+: ≤ 2.0 %；短期稳定性（RSD）: ≤ 2 % (20 min）；长期稳定性（RSD） ≤ 2 % (2 hrs）。	台	1
ICP-MS 质谱仪	灵敏度：低质量数：Li-7 ≥150 M cps/ppm，中质量数：In-115 ≥350 M cps/ppm，高质量数：U-238 ≥550 M cps/ppm；低质量数：Be-9 ≤ 0.1ppt，中质量数：In-115 ≤ 0.05 ppt，高质量数：Bi-209 ≤ 0.05ppt。	台	1
液体闪烁谱仪	内置 3 个低本底光电倍增管探测器，3 个探测器在同一平面上，夹角 120 度，采用三双符合比（TDCR）技术，实现绝对活度测量。	台	1
便携式液闪谱仪	单光子计数光电倍增管 PMT，0.1s ~ 9，999 分钟计数时间，拥有 alpha-beta 区分的能力，具有液闪 LSC 分析功能，能量范围不小于 3 keV - 2MeV，使用多通道分析仪（MCA）进行能谱分析。	台	1
ICP-AES 光谱仪	全谱直读，检出限（180.669 nm）<5ug/L，重复性优于 1%，稳定性优于 1%（4 小时），波长范围 167-785 nm，光学分辨率≤0.0065 nm，等离子体输出功率 700-1700 W，等离子体冷却气 0-22.5 L/min 可调，RF 发生器频率 40.68 MHz。	台	1
XRF 仪	元素分析范围 F-U，选配可拓展至 C-U，元素分析浓度范围：ppm-100%，Mn Ka 分辨率优于 140 eV	台	1

5.2.2.6 辐射防护系统

医用同位素分离纯化及 GMP 制备设施必须做好辐射防护监测及防护，需要布置相应的辐射防护监测仪器及设备，具体如下表所示。

表 5.2-19 辐射防护装置及设备

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	单位	数量
低本底α、β计数器	每个计数抽屉有四个探测器，高效率的流气式正比计数器，探测器直径：5.7 cm，本底：总α、β：≤0.80 cpm，α：≤0.05 cpm，β：≤0.75 cpm， 效率：α（Po-210）≥40%，β（Sr-90/Y-90）≥45%， 串扰：α对β<1.0% (Po-210），α坪斜≤2.5%/100V；坪长≥800V，β坪斜≤2.5%/100V；坪长≥200V，样品计数率：500 000cpm，死时间丢失的计数<1.5%，计数时间预设：0.1—9999 m	台	1
液氮回凝制冷机	液氮罐容积：25L， 在探测器处于冷却状态后，液氮罐充满的状态下，可保证两年或更长的时间不需要充液氮。（运行过程中未出现断电情况）全球顶级斯特林压缩机制造商（sunpower 公司）平均无故障时间大于 20 万小时自带感应与控制元件，以文字或数字形式显示如下信息：是否在液氮循环状态；当前液氮水平配备安全泄压阀，保证设备不会因断电导致压力过高而导致危险匹配 UPS 电源等配件。 噪声：1 m 处小于 60 分贝 接近零维护	台	1
在线气氚监测系统	直接探测下限不低于 40 Bq/L	套	1
在线式气溶胶监测系统	测量对象：α、β；测量范围：α 10^{-2}~3.7*10^{6}/Bq/m^{3}；β 1.0~3.7*10^{6}/Bq/m^{3}；	套	1
空气放射性监测系统	此设备适配便携式高纯锗伽马谱仪定制，包含 NaI 探头和配套的光电倍增管、多道、定制化气体测 量腔室、可拆卸低本底铅屏蔽结构、空气泵等机械管路及配件、定制化系统控制软件、定制化移动小车等。采	套	1

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	单位	数量
	用实验室用的低本底铅，活度要求小于 200 Bq/kg，屏蔽结构安装到测量腔室，和高纯锗探头组成测量系统后，要求本底小于 20 cps。		
屏蔽门	屏蔽门主体材料和尺寸待定；基础材料要求如下：混凝土密度不小于 2.35 g/cm³，钢板采用 Q235 B，密度不小于 7.85 g/cm³。板材尽量采用一块成型，若尺寸过大，可根据自身工艺采用板材拼焊的制造方式加工成型，但要求整体无直缝。屏蔽门除门体外还应包含门机、门框、电磁门锁及行程开关。其中门机需配备门机控制装置及安全防夹装置。技术指标：1、尺寸偏差：±5 mm ²、门一墙间隙不大于 5 mm³、配置电磁离合装置，紧急情况可自由推拉。	套	11
场所剂量监测系统	监测辐射剂量。按照各实验区的要求，实现报警、联锁功能。实现数据存储、事件记录和数据发布功能。	套	9
表面污染监测系统	探测限：α≤0.037 Bq/c ㎡，β≤0.37 Bq/c ㎡。	套	1
极早期火灾报警系统	具有高灵敏，0.001%～20%obs/m，采样管敷设长度：200 m，保护面积：2000 ㎡，上位机配套可编程软件 VSC/VSM4，报警阈值总数：4 个，继电器输出：5 个，采样孔最大数量：36 个。	套	24
安全联锁	用于束流联锁控制区，含 PLC 联锁系统（PLC，紧急停机、搜索清场、声光报警等）；门禁联锁系统（双机热备服务器和接入控制器，出入读卡器，摄像机，NVR 等）；钥匙联锁系统（钥匙交换装置、联锁门综合控制柜）等。	套	6

设备名称	规格型号或主要技术/性能指标说明	单位	数量
控制区门禁与视频监控	门禁监控系统，满足各门点互锁要求，配置双机热备服务器和接入控制器，支持单门双向，具有出入读卡器，摄像机，NVR 等设备；工作温度-40～85 度；相对湿度 5%～95%；工作额定电压 DC12 V，可稳定工作电压范围：DC10～16 V（带过流，过压，防雷，防反接，防短路保护）。	套	70

5.3 工程方案

5.3.1 执行原则

本项目按照“安全、适用、经济、绿色、美观”原则执行。

5.3.2 土建设计方案

5.3.2.1 编制依据

（1）标准规范

1．《工业企业总平面设计规范》（GB 50187-2012）；

2．《建筑设计防火规范》（GBJ 50016-2014）（2018 年版）；

3．《公共建筑节能设计标准》（GB 50189--2015）；

4．《科研建筑设计标准》（JGJ 91-2019）；

5．《建筑防火通用规范》（GB 55037 - 2022）；

6．《科学实验建筑设计规范》（JGJ 91-93）；

7．《建筑结构荷载规范》（GB 50009-2012）；

8．《建筑抗震设计标准》（GB/T 50011-2010）（2024 年版）；

9．《混凝土结构设计标准》（GB/T 50010-2010）（2024 年版）；

10．《钢结构设计标准》（GB 50017-2017）；

11．《构筑物抗震设计规范》（GB 50191-2012）；

12．《建筑工程抗震设防分类标准》（GB 50223-2008）；

13．《建筑地基基础设计规范》（GB 50007-2011）；

14. 《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79-2012）；
15. 《建筑桩基技术规范》（JGJ 94-2008）；
16. 《土方与爆破工程施工及验收规范》（GB 50201-2012）；
17. 《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330-2013）；
18. 《建筑给水排水设计标准》（GB 50015-2019）；
19. 《建筑灭火器配置设计规范》（GB 50140-2005）；
20. 《火力发电厂与变电所设计防火标准》（GB 50229-2019）；
21. 《自动喷水灭火系统设计规范》（GB 50084-2017）；
22. 《室外给水设计标准》（GB 50013-2018）；
23. 《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）；
24. 《工业企业设计卫生标准》（GBZ 1-2010）；
25. 《工业循环冷却水处理设计规范》（GB/T 50050-2017）；
26. 《工业循环水冷却设计规范》（GB/T 50102-2014）；
27. 《工业金属管道设计规范》（GB 50316-2000）（2008 年版）；
28. 《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）；
29. 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB 50019-2015）；
30. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；
31. 《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）；
32. 《压缩空气站设计规范》（GB 50029-2014）；
33. 《民用建筑电气设计标准》（GB 51348-2019）；
34. 《供配电系统设计规范》（GB 50052-2009）；
35. 《低压配电设计规范》（GB 50054-2011）；
36. 《电力工程电缆设计标准》（GB50217-2018）；
37. 《建筑照明设计标准》（GB/T50034-2024）；
38. 《建筑物防雷设计规范》（GB 50057-2010）；
39. 《20kV 及以下变电所设计规范》（GB 50053-2013）；
40. 《火灾自动报警系统设计规范》（GB 50116-2013）；
41. 《安全防范工程技术标准》（GB 50348-2018）；

42．《有线电视网络工程设计标准》（GB 50200-2018）；

43．《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB 50343-2012）；

44．《综合布线系统工程设计规范》（GB 50311-2016）；

45．《防洪标准》（GB 50201-2014）；

46．《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001）（2009 年版）；

47．《防辐射混凝土》（GB/T 34008-2017）；

48．《大体积混凝土施工标准》（GB 50496-2018）；

49．《工程结构通用规范》（GB 55001-2021）；

50．《钢结构通用规范》（GB 55006-2021）；

51．《建筑与市政地基基础通用规范》（GB 55003-2021）；

52．《混凝土结构通用规范》（GB 55008-2021）；

53．《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB 55002-2021）；

54．《砌体结构通用规范》（GB 55007-2021）；

55．《建筑与市政工程防水通用规范》（GB 55030-2022）；

56．其他相关的国家、地方、行业规范、规程。

（2）基础资料

1．中国散裂中子源一期相关图纸及岩土工程勘察报告；

2．中国散裂中子源二期工程地形图。

5.3.2.2 总体规划方案

5.3.2.2.1 总平面布置

质子应用产业化平台规划以 CSNS 装置布局为基础，根据平台的功能需求和工艺设备布局进行规划布置，其中拟新建的核心建筑单体—质子应用产业化平台大楼位于 LRBT 设备楼以东、直线设备楼（二期）以西（CSNS-II 在建）、放射性固体废物暂存厅（CSNS-II 在建）以东区域。

表 5.3-1 用地平衡表

序号	名称	单位	面积	备注
1	建筑基底面积	㎡	4517	
2	道路广场面积	㎡	1233	

3	绿地面积	㎡	1740	
4	合计	㎡	7490	小红线范围面积

工程项目现状及总平面布置如下列图表所示。

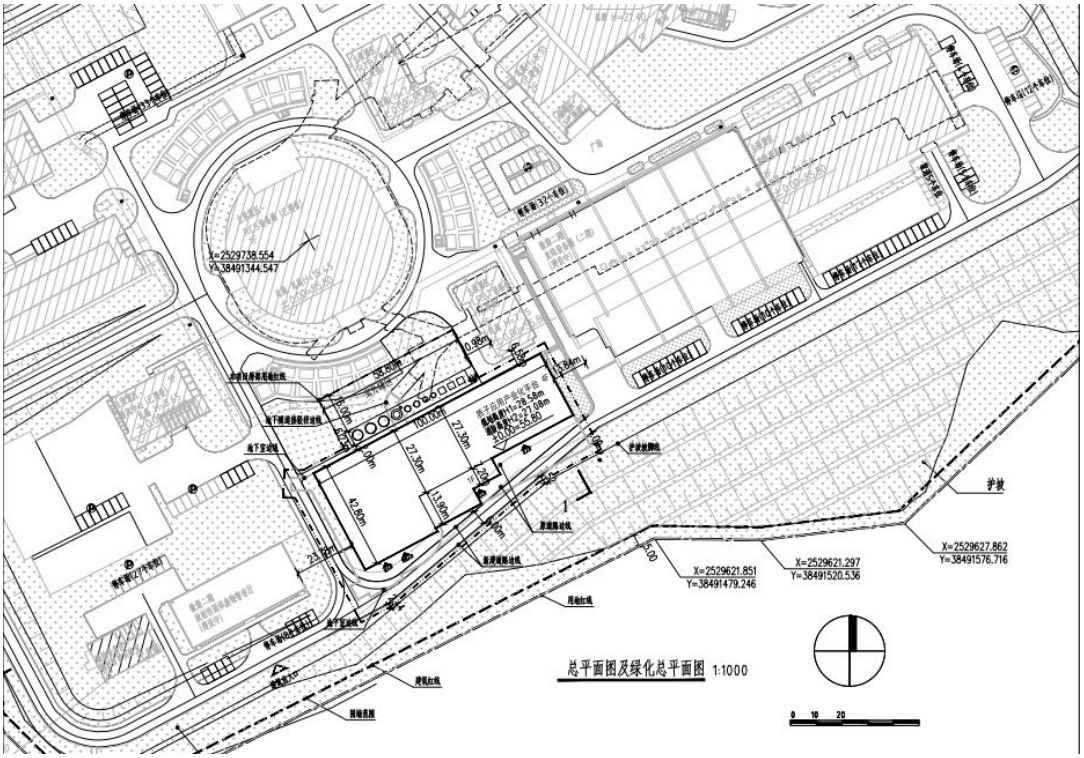


图 5.3-2 质子应用产业化平台总平面图

5.3.2.2.2 道路及交通组织

质子应用产业化平台工程主要利用园区已建成的路网，基本无新增园区道路，仅新建单体南侧需对新建建筑周边局部路网进行调整，即可满足需求；新建单体北侧设置相应道路接驳原路网，满足设备吊装转运及日常通行要求。目前园区主干道宽度为 6 m，需保证整体园区一二期的设备运输满足需求，现针对项目周边已有相应的道路改造方案。建筑周围布置有环形通道，满足消防规范的相关要求。

5.3.2.2.3 竖向标高设计

质子应用产业化平台的竖向设计充分考虑园区已有的建筑、道路的标高情况，并以此为基础设计规划新建单体建筑的标高。建筑单体±0.0 暂定为 55.80 m（国家 85 高程），其中负二层为隧道的延伸，地下部分的局部标高同一期隧道标高。参照《中国散裂中子源二期工程地质勘察报告》地块±0 以下 1.5 m 厚为土方（约 8001 立方米），5.5 m-7.7 m 为强风化岩（约 29337 m³），7 m 以下中风化岩（约 60316m³）。

负一～负二层基坑内面积约 5334 m^2，基坑开挖深度约 13.8 m（从 54.9 m 至 41.1 m）。填土平均厚约 1.5 m，体积=1.5x5334=8001 m^3；强风化岩层厚约 5.5 m，体积=5334x5.5=29337 m^3；

负三层基坑内面积约 3435 m^2，基坑开挖深度约 7 m（从 41.1 m 至 34.1 m），中风化岩体积=5334x（13.8-1.5-5.5）+3435x7=60316.2 m^3。

受场地限制，中风化岩石采用静力爆破石方。

需考虑借土回填约 6341 m^3。

另外，项目现场现有土方需外运处理，初步估算，约有 1056 m^3。

项目单体建筑与周边园区的道路之间的高差主要通过接驳道路坡度和绿化草坡相互连接。

5.3.2.2.4 绿化景观设计

本工程的绿化景观设计延续原有园区的风格，注重生态环境和环境保护，突出以人为本的思想，树立良好的社会形象。

东莞市地方对绿化工程的要求见《东莞城市规划管理技术规定（2020 年文件汇编）》条文说明中规划篇的 1.1.3 条绿地率指标在控规图则中不作控制，但应符合国家、省相关规定。《广东省城市绿化条例 2014 年》中第八条规定：工业企业、交通运输站场和仓库，不得低于 20%。现绿化率指标满足相关规定。

建筑单体的周边延续对应区域原有的绿化景观风格，以简洁朴实、自然节约为原则，用地内以草坪和房前屋后点缀式绿化为主，搭配一定数量的花木，石板小路穿行其中，形成四季常青、三季有花的和谐环境。

此外，由于工程施工作业或室外管线增改等原因对原有道路和园林绿化景观造成破坏的修复，需按照原风貌修复，并纳入本项目绿化景观设计的范围。

5.3.2.2.5 总体造型与色彩

本工程的建筑外观造型和建筑色彩，一方面考虑和周边建筑尽量统一协调，体现国家大科学工程的高端前沿和照顾周边环境顺应自然的和谐整体效果；另一方面也契合工程自身的功能要求、造价要求和自身特点。建筑均以浅灰色及白色外墙、蓝灰色玻璃为主，色彩上比较统一，体量上则通过屋面廊架、凸凹、开洞等手法从视线上协调建筑形体。工程整体鸟瞰效果如下图所示。

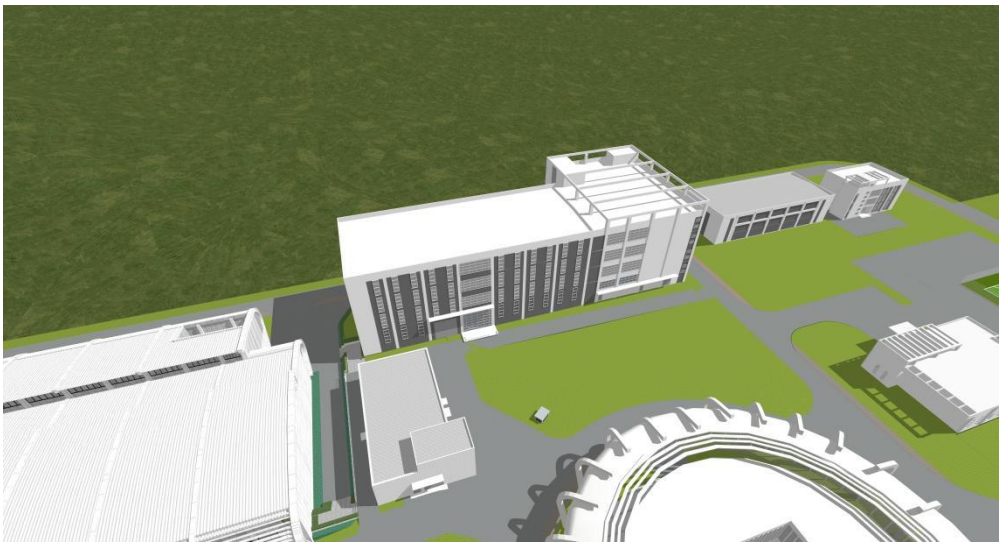


图 5.3-3 总体鸟瞰图

5.3.2.3 建筑方案

本项目新建一栋单体，详细参数具体如下：

指标	质子应用产业化平台
建筑面积（㎡）	23917
层数	地上 4 层，地下 3 层
消防高度（m）	27.08
耐火等级	二级
设计耐久年限	50 年
抗震设防烈度	6 度
火灾危险性	丙类厂房

5.3.2.3.1 建筑物概况

质子应用产业化平台大楼北侧为 LRBT 设备楼，间距约 6 m。东侧为园区直线设备楼二期，间距约 14 m。西侧为园区放射性固体废物暂存厅，间距约 24 m。该建筑包含靶前隧道、靶厅、热室操作间、分装室、实验室及相关设备间等部分组成。该建筑为地上四层，地下三层的高层丙类厂房建筑，钢筋混凝土框架结构；地上建筑外轮廓长约 100 m，宽约 41.2 m。总建筑面积为 23917 ㎡，地上建筑消防高度 27.08 m；规划高度 28.58 m。

5.3.2.3.2 平面布置

质子应用产业化平台地下部分分为地下设备间、地下热室与分装室、靶厅相关部分。其中地下三层为相关工艺及公辅设备间，层高 6.5 m。地下二层及一层西侧为靶厅相关部分，包含靶前隧道、靶站、靶厅及一期隧道延长隧道，剪力墙结构，建筑外轮廓长约 61.5 m，宽约 42.8 m，其中部分一期隧道延长隧道净高 5 m，层高 7m。靶厅部分净高 8 m，层高 9 m。地下二层及地下一层东侧为热室操作间、分装室，层高分别为 7.3 m 和 7 m。地下设置 3 部楼梯、2 部货梯和 1 部客梯。

地上建筑设置四层，首层南侧设置主入口门厅，北侧设置设备入口，靠近门厅设置人行楼梯及电梯。地上共设置 3 部楼梯、2 部货梯和 1 部客梯。1-4 层内廊两侧功能用房主要设置实验室及相关设备用房。门窗按照普通厂房设计，立面部分采用灰色和白色面砖与周边建筑相协调，各层面积约 3250 ㎡。

建筑设置吊车 7 台，分别为 30 吨 3 台、10 吨 3 台、5 吨 1 台。该单体建设时需对原地下隧道连接处墙体、防水材料等进行拆除。各层平面布置如下图所示。

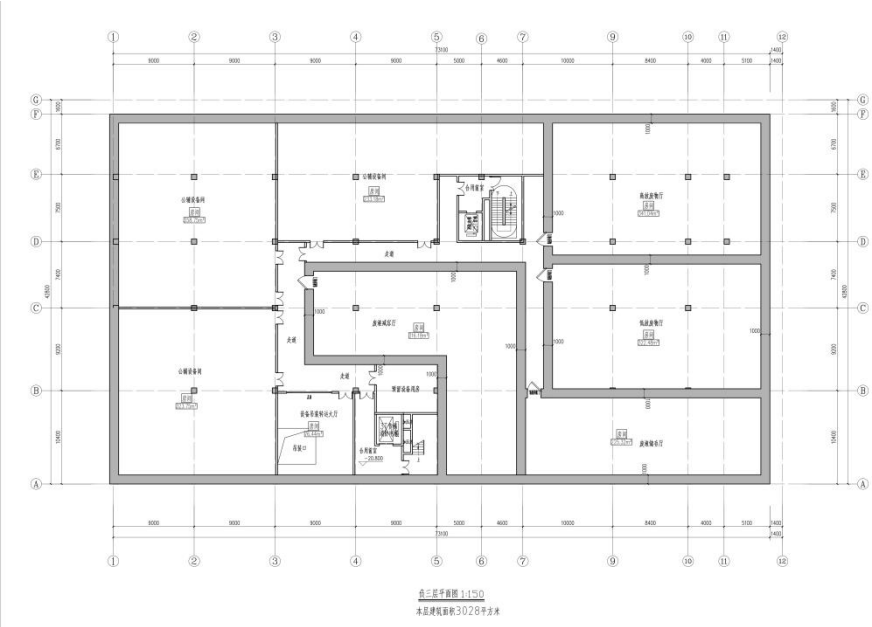


图 5.3-4 负三层平面图

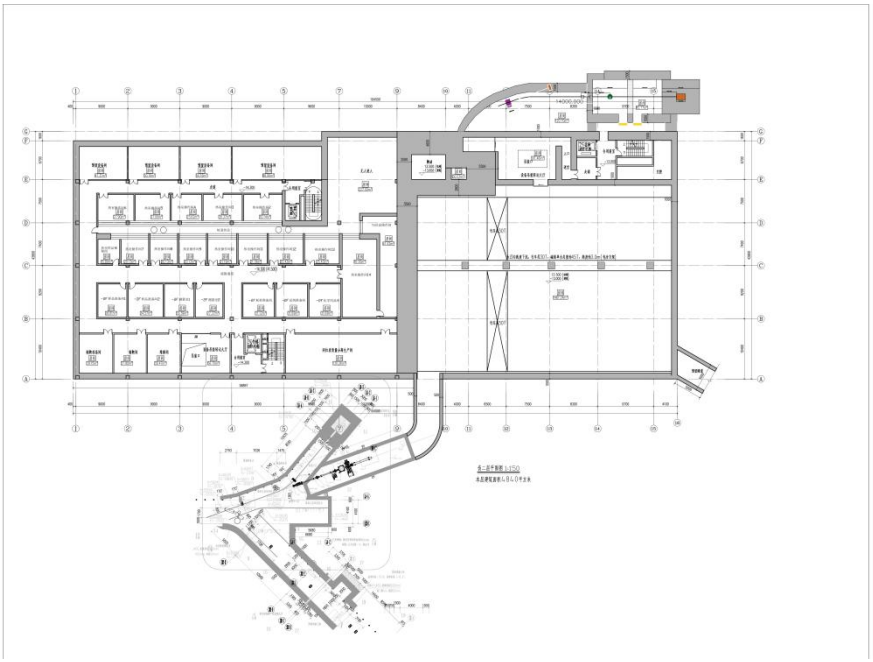


图 5.3-5 负二层平面图

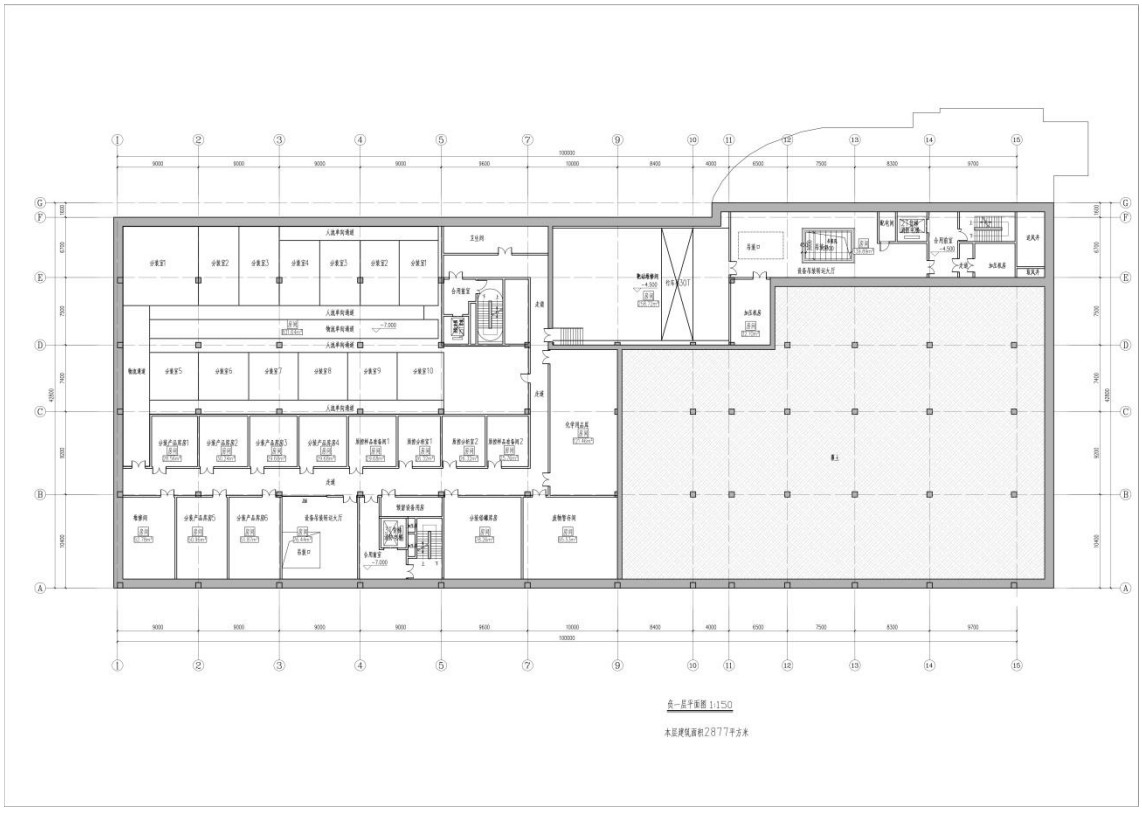


图 5.3-6 负一层平面图

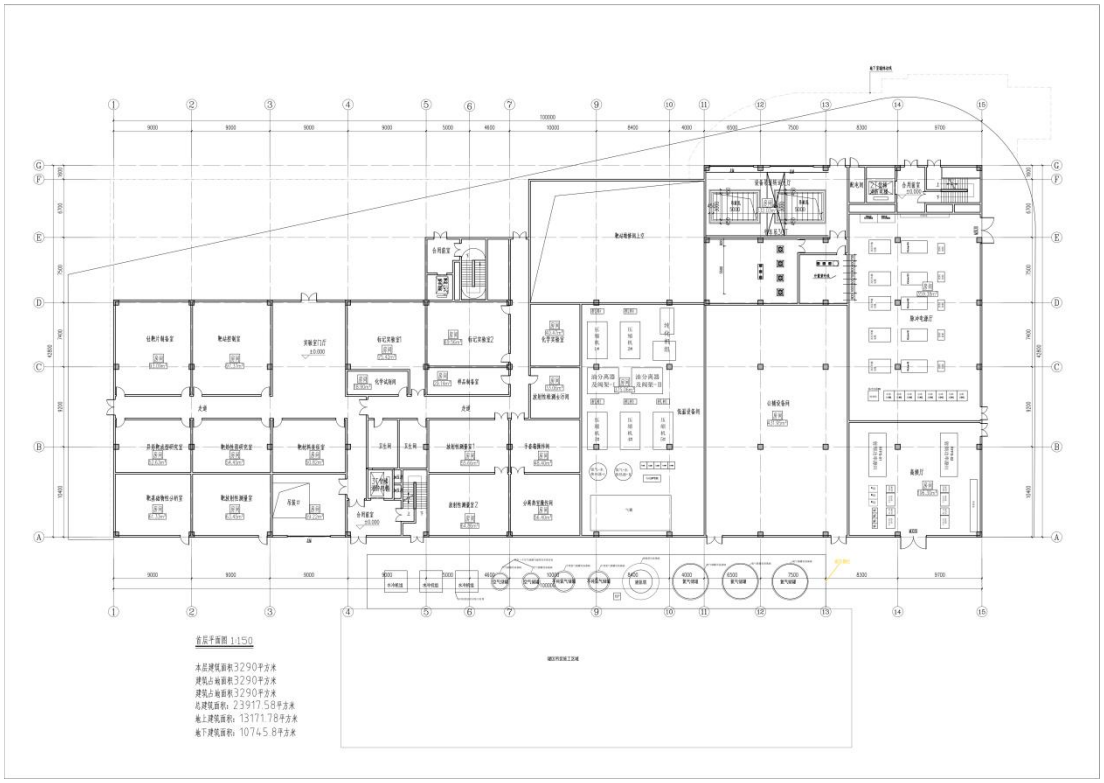


图 5.3-7 首层平面图

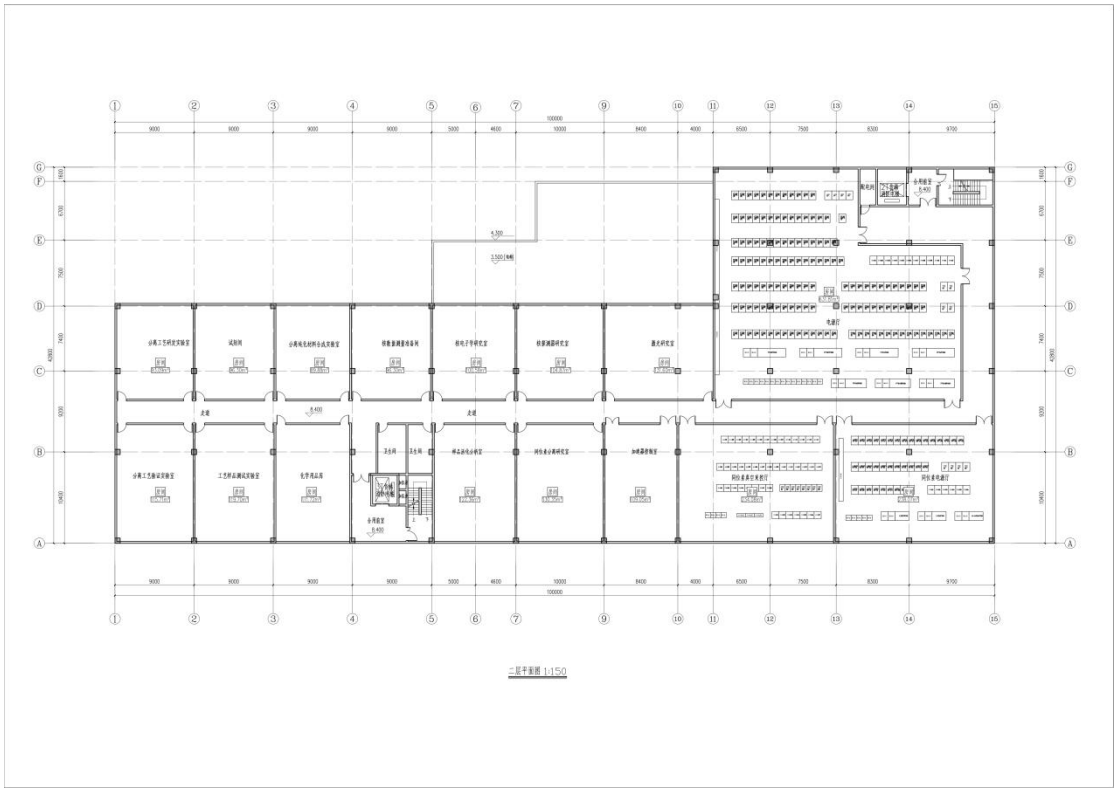


图 5.3-8 二层平面图

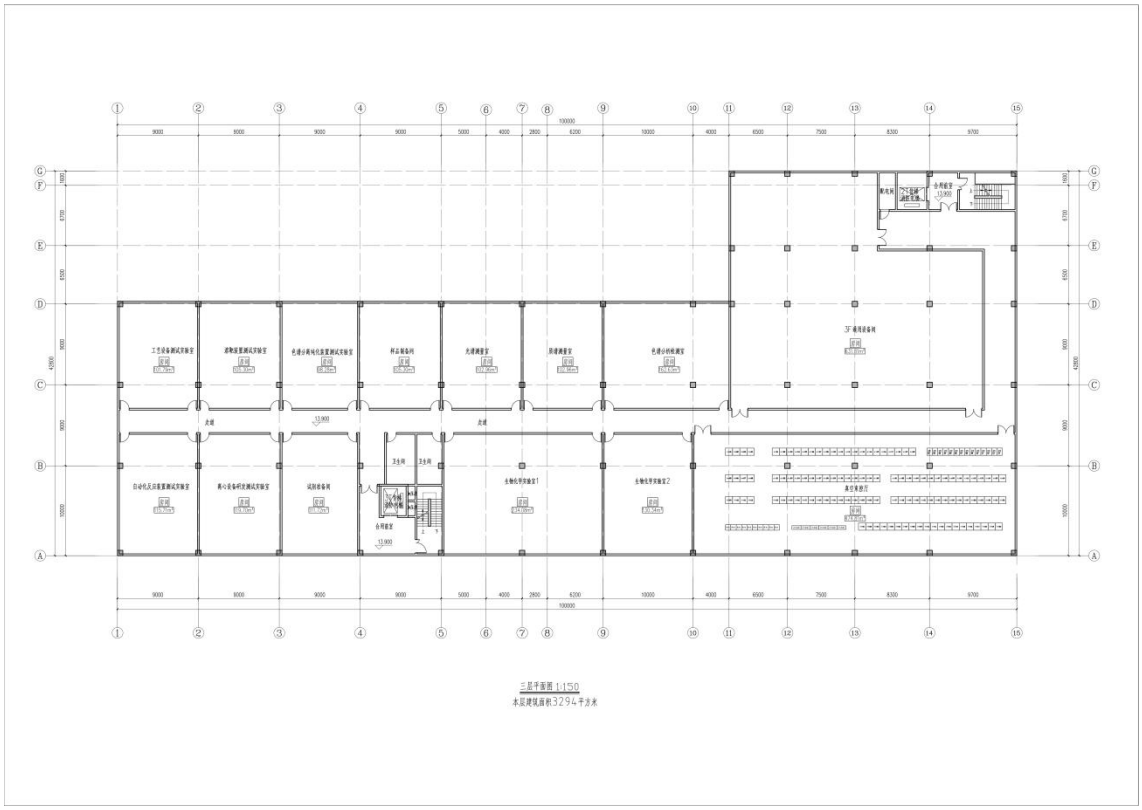


图 5.3-9 三层平面图

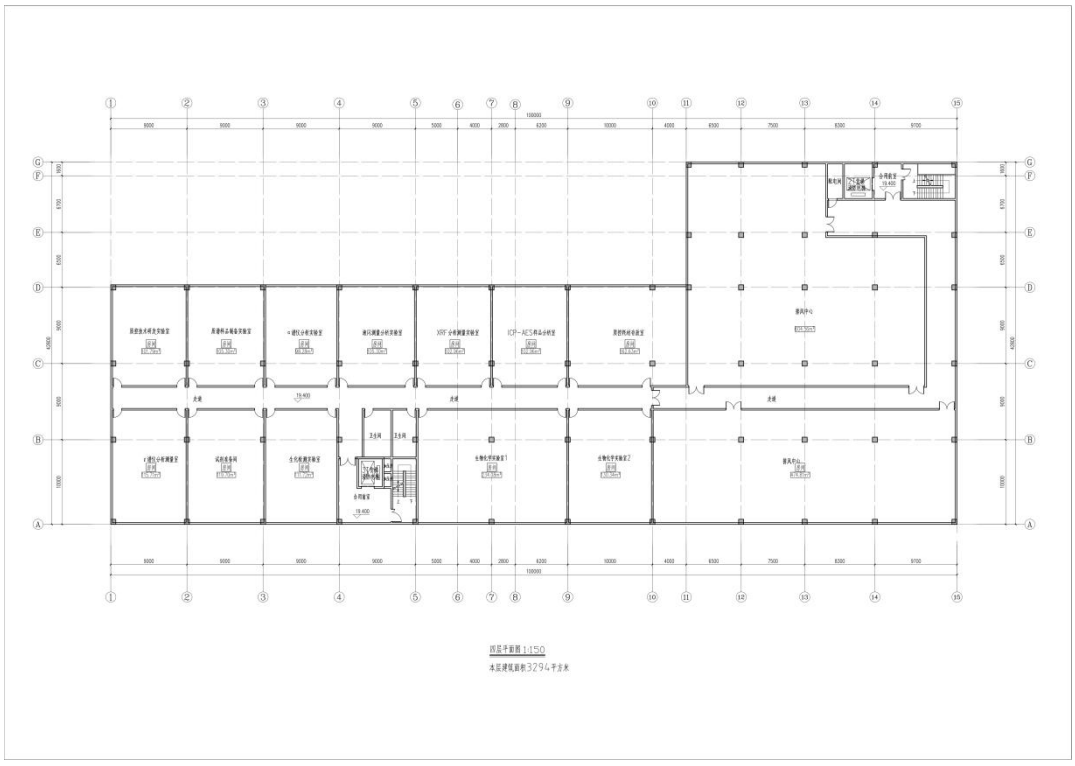


图 5.3-10 四层平面图

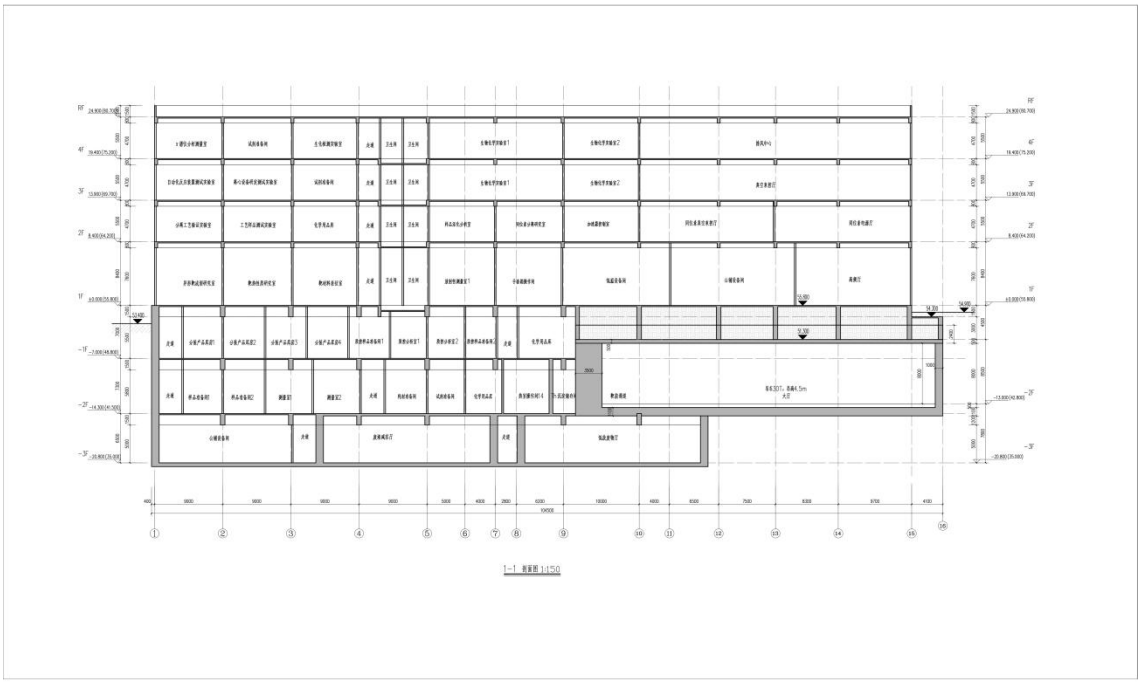


图 5.3-11 剖面图 1

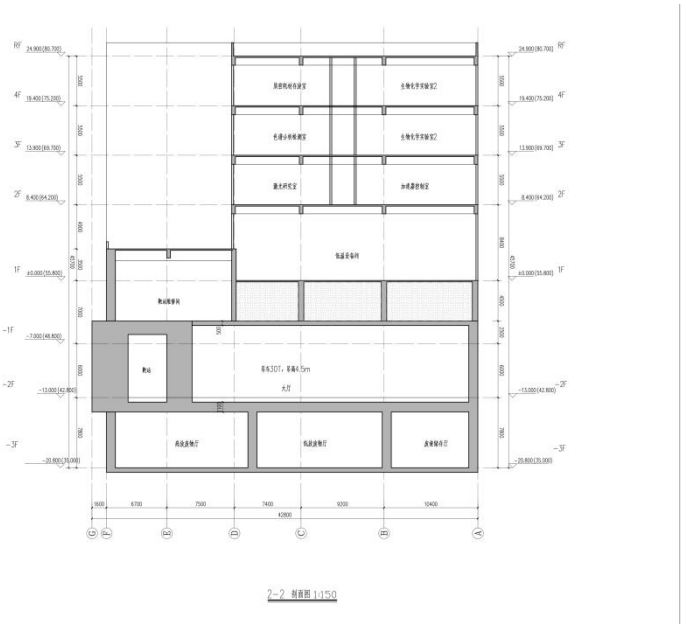


图 5.3-12

图 5.3-13 剖面图 2

5.3.2.3.3 建筑造型

质子应用产业化平台的造型处理以安全、适用、经济、绿色、美观为原则，

正立面采用与相邻的辐射防护实验室、LRBT 相呼应的竖线条形窗，在色彩和细部处理上尽量与园区其他建筑协调一致，采用虚实对比来体现工业建筑的特点，详见效果图。



图 5.3-14 建筑效果图

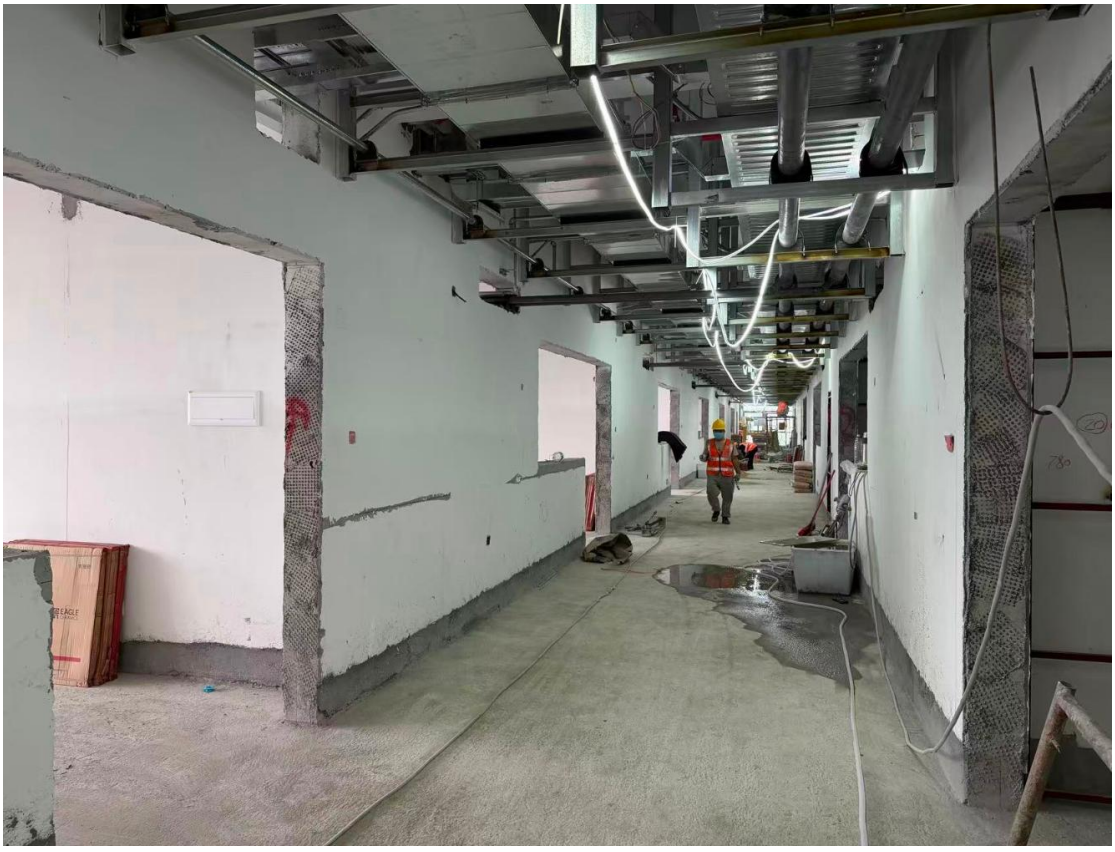
5.3.2.3.4 装修工程

质子应用产业化平台为钢筋混凝土框架结构，外墙采用蒸压加气混凝砌块外墙，外墙采用灰色瓷砖、白色瓷砖等做法，倒置式保温防水屋面。室内装修主要以满足工艺要求和防火要求为原则，做自流平整体地面，内墙涂料。

质子应用产业化平台包括医用同位素分离纯化工艺产线、医用同位素 GMP 分装场所、质控分析实验室及生物化学实验室。其中同位素分离纯化工艺场所位于-2 层，主要承担放射性核素的化学处理与分离操作，合理控制洁净度水平有利于降低交叉污染和放射性沉积风险，是保障辐射安全和工艺稳定运行的必要条件。因此，-2 层分离纯化工艺间洁净度要求在 10 万级以上。医用同位素 GMP 分装场所直接涉及放射性同位素的质量并最终关系到用药安全，必须通过高等级洁净环境及规范化装修措施，确保无菌保证和产品质量的可控性。GMP 分装场所需要同时兼顾辐射安全和无菌环境，-1 层 GMP 分装场所要保持 C 级洁净度，局部要达到 A 级。其他质控分析实验室及生物化学实验室，为确保精密质控分析设备运行及避免交叉污染，按其功能属性实施差异化洁净度装修，至少达到 10 万级的洁净度要求，局部万级。

5.3.2.3.5 工艺桥架

每层建筑走廊布置 3~4 层桥架，每个房间四周布置 2 层桥架。工艺桥架类似情况见下图：



5.3.2.3.6 抗震支架

为防止地震时给排水及消防管道系统失效及跌落造成人员伤亡及财产损失，根据《建筑与市政工程抗震通用规范》及《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）（2016 年版）、《建筑机电工程抗震设计规范》（GB50981－2014）相关规定，应对机电设备及管线系统进行抗震加固。

本工程 DN65 及以上管径的给排水、消防、喷淋等管道系统须采用机电管线抗震支撑系统。此项目抗震支吊架产品需通过 FM 认证，与混凝土、钢结构、木结构等须采取可靠的锚固型式。

抗震支吊架的设置原则为:刚性管道侧向抗震支撑最大设计间距不得超过 12m;柔性管道侧向抗震支撑最大设计间距不得超过 6m。刚性管道纵向抗震支撑最大设

计间距不得超过 24m；柔性管道纵向抗震支撑最大设计间距不得超过 12m。（为保证抗震系统的整体安全性，对长度低于 300mm 的吊杆，进行适当的补强）。

具体深化设计由专业公司完成，最终间距根据现场实际情况在深化设计阶段确定。

5.3.2.4 结构方案

（1）结构参数

表 5.3-2 结构主要参数表

序号	项目	参数取值
1	结构设计基准期	50 年
2	结构设计工作年限	50 年
3	安全等级	一级
4	建筑抗震设防分类	重点设防类
5	结构抗震设防烈度	6 度（抗震措施按 7 度）
6	基本地震加速度	0.05 g
7	最大地震作用影响系数	0.067
8	设计地震分组	第一组
9	基本风压	0.60 kN/㎡
10	地面粗糙度类别	B
11	建筑体型系数	1.3
12	地下防水等级	一级
13	地基基础设计等级	甲级
14	抗震等级	框架结构：二级

（2）结构主要材料及自重

1．混凝土：地下室结构采用 C35 混凝土，地下迎水部分采用抗渗等级 P10 防水混凝土。上部结构梁、板采用 C30；剪力墙、柱混凝土构件轴压比控制采用 C35~C30，尽量减少材料用量。

2．钢筋：采用高强钢筋，以节省用钢量，主要采用 HRB400。

3．钢材：Q235B（预埋件等特殊要求部位）、Q355B（主体结构构件）。

主要材料自重如下表：

表 5.3-3 结构主要材料自重表

序号	材料	重度（kN/m³）
1	钢筋混凝土	26（考虑抹灰重量）
2	钢材	78
3	加气混凝土砌块	8.25（考虑吸湿）

（3）荷载取值

表 5.3-4 荷载取值表

序号	功能	活载标准值（kN/㎡）
1	实验室	5.0
2	办公室	2.5
3	设备间、通风机房	8.0
4	卫生间	2.5
5	电源间、配电室	15.0
6	走廊、门厅	3.0
7	楼梯	3.5
8	上人屋面	2.0
9	首层室内施工堆载	7.5
10	首层室外	5.0
11	储藏室、库房	10.0
12	低温厅	10.0
13	工艺装置区	30~50（考虑转运路线及设备堆载）

注：未注明荷载见《工程结构通用规范》（GB 55001-2021）及《建筑结构荷载规范》（GB 50009-2012），大型设备重量按设备铭牌，表中活载不含大型屏蔽

体重量。

（4）结构体系

本项目建筑物功能特点是地下工艺区有辐射防护要求，装置区需采用混凝土厚板厚墙进行围蔽。

根据建筑功能特点采用地上结构采用钢筋混凝土框架结构体系，地下采用钢筋混凝土框架－剪力墙结构体系。

（5）地基基础选型、抗浮措施及沉降控制措施

根据周边建筑地质资料，强风化层底绝对标高约 45～48 m，其下为中风化岩。建筑地下室西侧为地下两层，东侧为地下三层。

根据建筑物特点及设计要求，本项目有工艺区屏蔽构件自重相差较大，工艺区基础有不均匀沉降的要求高。

根据周边地块工程地质资料，强风化层底绝对标高约 45～48 m，其下为中风化岩。建筑地下室西侧为地下两层，东侧为地下三层，基底标高基本达到中风化基岩，暂定用筏板基础，基底持力层为中风化花岗岩或微风化花岗岩。局部未达到设计持力层时采用 C20 素混凝土回填找平，或采用柱下独基（墙下条基）。以中风化花岗岩为持力层可以满足建筑不均匀沉降要求。

地下室平均抗浮水位标高取 54.65 m（绝对标高），抗浮措施采用岩石抗拔锚杆。抗拔锚杆采用压力型预应力抗浮锚杆，直径 220 mm，抗拔承载力特征值取 300 kN，平均有效长度约 6 m。西侧为两层地下室抗拔锚杆间距 2.5 m，东侧三层地下室抗拔锚杆间距 1.5 m，布置在板跨中处。

（6）结构设计经济性控制

在保证安全合理的前提下，尽量提高结构建造的经济性，在结构经济性控制上主要采取以下措施：

在方案设计中，要在平面布置、立面造型、柱网尺寸等方面提出结构设计的优化建议和要求，以期在后期施工图设计中控制各单体用钢量。

采用合理的结构体系，使内力传递途径合理高效，减少无用结构构件，提高各结构构件的受力效率。

梁板柱钢筋都采用高强钢筋，合理选取混凝土强度，并且避免超配钢筋现象

发生。

精细化合理布置荷载，避免荷载放大，从而可以减少桩数及构件钢筋用量。

（7）超长结构及大体积混凝土抗裂设计措施

本工程地下室尺寸长约 104.5 m，最宽处宽约 41.2 m，为超长结构，并且装置区有较厚的大体积混凝土辐射屏蔽墙。针对超长结构及大体积混凝土，本工程采用以下抗裂措施：

1．超长结构板均采用双层双向通长抗裂钢筋，兼做受力筋，受力不足处另加筋；

2．考虑到砼的收缩变形对砼结构的开裂的不利影响，地下室底板（含承台），外墙和顶板采用补偿收缩混凝土无缝设计，膨胀外加剂品种和掺量应经试验确定。

3．要求现场严控施工质量，严格按照相关施工标准进行施工，通过施工措施减少混凝土体积收缩及水化热影响，以降低混凝土贯通裂缝开展的可能性。

（8）地下室防水设计

本项目地下室防水要求高，结构防水及减少裂缝带来了极大挑战。结构防水设计，主要从以下方面进行结构防渗抗裂控制：

1．通过严格的施工措施提高混凝土施工质量，提高主体结构材料自防水能力。

2．治疗终端形状不规则，在局部形状变化处易产生应力集中，在主要的应力集中部位设置钢筋加强，施工过程中采取跳仓法、后浇带等措施减少收缩应力，消除应力集中，减少混凝土构件迎水面的贯通裂缝。

3．按防水等级为一级做好结构外防水。

（9）高精度预埋板

工艺设备安装精度要求较高，为防止底部混凝土浇筑和振捣影响预埋钢板的平面度，采用双重控制安装工艺。先将锚筋安装在定位角钢上，做成整体，定位完成后与底部混凝土一起浇筑，在混凝土凝固前对锚筋调平，并预留底板面层厚度锚筋出底板结构面。后续浇筑底板面层时，再通过调平螺母和预埋钢板的调平，完成设备基础预埋钢板的安装，从而保证安装精度。

5.3.2.5 给排水系统方案

5.3.2.5.1 设计依据

1. 《城市给水工程项目规范》（GB 55026-2022）；
2. 《室外给水设计标准》（GB 50013-2018）；
3. 《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）；
4. 《建筑给水排水与节水通用规范》（GB 55020-2021）；
5. 《建筑给水排水设计标准》（GB 50015-2019）；
6. 《公共建筑节能设计标准》（GB 50189-2015）；
7. 《民用建筑节水设计标准》（GB 50555-2010）；
8. 《建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范》（GB 50400-2016）；
9. 《建筑屋面雨水排水技术规程》（CJJ1 42-2014）；
10. 《建筑同层排水系统技术规程》（CECS 247:2008）；
11. 《二次供水工程技术规程》（CJJ 140-2010）；
12. 《建筑机电工程抗震设计规范》（GB 50981-2014）；
13. 《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2016）；
14. 《建筑设计防火规范》（GB 50016-2014）（2018 年版）；
15. 《消防给水及消火栓系统技术规范》（GB 50974-2014）；
16. 《建筑灭火器配置设计规范》（GB 50140-2005）；
17. 《自动喷水灭火系统设计规范》（GB 50084-2017）；
18. 《气体灭火系统设计规范》（GB 50370-2005）；
19. 《建筑机电工程抗震设计规范》（GB 50981-2014）；
20. 《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010（2016 年版）；
21. 《气体灭火系统施工及验收规范》（GB 50263-2007）；
22. 《自动喷水灭火系统施工及验收规范》GB 50261-2017；
23. 《自动喷水灭火系统施工及验收规范》（GB 50261-2017）；
24. 《自动跟踪定位射流灭火系统技术标准》（GB 51427-2021）；
25. 国家及省市其他相关的规范、规定。

5.3.2.5.2 设计范围

本工程二期红线范围内的室内外生活给水系统、雨水排水系统、污废水排水系统、抗震支吊架设计、绿色建筑设计及消防灭火系统设计。

5.3.2.5.3 生活给水系统

1）给水水源及水表设置

本项目整个园区水源由市政供水管网供给，从市政道路给水管网上接入两根管径 DN300 引入管，在室外绿化带分别设置生活用水总水表及绿化用水总水表。本项目给水水源接自园区现状环网，引入 DN100 管供单体内设置生活用水总表。

2）计量

在与市政给水接口处设置对自来水公司结算的总水表（一级水表），建筑内按生活水箱、消防水箱、冷却塔补水水池、单体生活用水分表计量（二级水表），在需分区管理的不同用途用水点处设置分表计量（三级水表）。

3）用水量

本项目最高日用水量约 1490.46 m^3/d，最大时用水量约 7.61 m^3/h。各单体用水量统计如下表所示。

表 5.3-5 用水量估算表

单体名称	用水单位数	最高日用水定额	最高日用水量 (m^3/d)	每天用水时间（h）	时变化系数 K_h	最大时用水量 (m^3/h)
质子应用产业化平台	310 人	50 L/人·d	15.5	10	1.2	1.86
屋面绿化	3242.8 ㎡	3 L/㎡·d	9.73	10	1.2	1.95
冷却塔补水	30 m^3/h	/	720	24	1	30.00
不可预见水量（10%）	/	/	745.23	/	/	33.81
合计			1490.46	/	/	67.61

注：室外绿化给水前期已有考虑，本项目不再考虑。工艺及冷却塔补水水量按 1500 m^3/h 冷却水循环水量的 1%～2%取值。

本工程空调冷却水补水量大，故地下室专设补水泵房于加压供冷却塔补水。

供水设备由补水水池、变频控制柜和水泵机组组成。补水水池有效容积不小于 144 m^3。

本建筑所在地面绝对标高 55.80 m，现有园区市政给水管引入口所在地面绝对标高 35.90 m，地面高程相差 19.90 m。市政水压高峰期供水压力不够 0.1 MPa，园区市政接口距本项目约 400 m 远，故本建筑无法直接利用市政压力直供。

园区现有环状生活给水管网及生活给水变频加压泵组（两主一副），主泵参数为 Q=33 m^3/h，H=60 m，N=11 kW；副泵参数为 Q=4 m^3/h，H=60 m，N=3 kW。本工程生活用水由现有院区加压给水管提供一路接口。

生活泵房所在建筑（综合实验楼）地面绝对标高 36.90 m，两者地面高程相差 18.90 m，供至本项目的管线长约 600 m，故到达本项目首层地面时加压管压力仅剩 60-18.9-8（水损）=33.1 m 水柱=0.331 MPa。本建筑三层相对标高 13.9 m，生活用水所需压力预估为 13.9+15+10=38 m 水柱=0.38 MPa，则三层用水压力需求大于现有供应。为不影响用户使用，本项目地下室另设生活给水泵房和变频泵组，不锈钢生活水箱贮存量不小于本项目加压楼层最高日生活用水量的 20%。

供水设备选型如下：

1.地下一层生活水泵房供水设备选型：

3~4 层加压区选用数字集成全变频供水设备一套：Q=20 m^3/h，H=55 m，N=4.4 kW

选用主泵三台（两用一备）：每台 Q=10 m^3/h，H=55 m，N=2.2 kW。

配用气压罐：V=0.6 m^3，φ800*2000

2.地下一层冷却水补水泵供水设备选型：

选用变频供水设备一套：Q=30 m^3/h，H=58 m，N=8 kW

选用主泵三台（二用一备）：每台 Q=15 m^3/h，H=58 m，N=4 kW。

配用副泵一台：Q=5 m^3/h，H=52 m，N=1.5 kW。

配用气压罐：V=0.6 m^3，φ800*2000

各分区供水压力最大不超过 0.45 MPa。各给水支管超压处设支管减压阀，阀后压力控制在 0.20 MPa 以内。

5.3.2.5.4 排水系统

本项目室外实行雨、污分流，室内实行雨水、生活污水、普通工艺废水分流

并分别设置相应的立管。生活污水需经过化粪池处理后与废水合并排入园区废水管网，最终排入市政污水管网。

1）污水系统

本工程采用雨水与污水分流制排水系统；本工程的排水对象主要为各卫生间、普通工艺废水以及自然衰减以后符合排放标准的带放废水。本项目的排水量按用水量的100%计算，污水量约为15.5 m³/d（绿化排水未计入）。

①生活污水、废水均采用污、废分流方式。生活污水经化粪池预处理后，与生活废水一起排入园区废水管网。最终排入市政污水管网。地上部分排水采用重力流排水，地下室卫生间排水至一体化污水提升装置抽排至室外污水检查井，一体化污水提升装置设通气管。

②排水系统设置完善的通气管系统，保证排水通畅，防止臭气外溢。

③除必须设置地漏的场所外，对不宜有水流动的地方不设地漏。所设地漏保证有良好的水封（水封高度不小于50 mm）；不经常排水的空调机房等采用快开式密闭地漏，其余场所采用直通式地漏下设存水弯；水管井等有事故排水的场所采用无水封地漏，间接排水。

④本项目工艺废水中包括普通废水和低放废水（带有低放射性的废水），其中：普通工艺废水视水质情况直接排放或经处理后排放；低放废水需集中收集储存进行自然衰减，经检测后按国家相关标准和规范要求排放。

低放废水的收集主要通过两种方式：重力流，通过地漏和排水管道排至废水储存间水封井；各区域按用水设备设置相应数量的集水井，收集区域内低放废水，并加压传输至废水储存间水封井；然后通过加压排至废水储罐内。各集水井按照功能不同，分为普通集水井和水封井。

2）雨水系统

本项目屋面设置独立的重力流雨水排水系统，由屋面雨水斗接屋面雨水，经汇集后排入室外雨水管网。

暴雨强度计算按东莞市暴雨强度公式

重现期5年时：$q=\frac{6401.110}{(t+16.727)^{0.780}}(L/S\cdot hm^2)$

重现期 10 年时：$q=\frac{5642.262}{(t+14.685)^{0.731}}(L/S\cdot hm^2)$

重现期 50 年时：$q=\frac{4728.772}{(t+10.811)^{0.652}}(L/S\cdot hm^2)$

屋面雨水设计重现期为 10 年，折算暴雨强度为 q=618.53 L/s·h ㎡。按 50 年设计重现期复核溢流，折算暴雨强度为 q=781.68 L/s·h ㎡。

室外地面雨水由雨水口收集排入雨水检查井，室外雨水汇集后接入市政雨水管网。室外雨水管网设计重现期为 10 年，折算暴雨强度为 q=541.48 L/s·h ㎡。

5.3.2.5.5 消防灭火系统设计

1）消防水源

本项目整个园区水源由市政供水管网供给，从市政道路给水管网上接入两根 DN300 引入管，在室外成环管；园区综合实验楼（已建设）设有消防水池（消防储水有效容积 800 m³）及消防水泵房，内设消火栓合用泵组（两用一备），参数为 Q=60 L/s，H=70 m，N=30*2 kW；自动喷淋泵组（一用一备），参数为 Q=30 L/s，H=70 m，N=45 kW。室外消火栓系统可经现有消火栓水泵组加压后供水；本建筑屋面新建高位消防水箱和室内消防水池、室内消防泵组供室内消防用水。

2）系统设置

①设置室内外消火栓系统，室内外消火栓系统不合用。

②下列部位设置气体灭火系统：电源厅、变配电房、计算机房及各类强、弱电机房等。

③所有场所按照规范配置相应类型的灭火器。

④下列部位设置湿式自动喷水灭火系统：除不宜用水灭火房间、贵重设备机房及净高大于 18 m 的区域以外，均设置自动喷水灭火系统（净空大于 800 mm 天花内也须设置）。

⑤净高大于 18 m 的区域（如吊装口）设置自动喷水灭火系统。

另外，B2 层隧道、热室、自动化等区域因射线装置，需考虑特殊消防设计，具体特殊消防设计方案下一阶段细化。

3）消防贮水量

系统	计算用水量	火灾延续时间	火灾时用水量	备注
室外消火栓	20 L/s	2 h	144 m³	丙类厂房、体积大于 50000 m³
室内消火栓	40 L/s	2 h	288 m³	地下建筑、体积大于 25000 m³
自动喷淋灭火系统	35 L/s	1 h	126 m³	中危I级
自动跟踪定位射流灭火系统	20 L/s	1 h	72 m³	中危I级
合计			558 m³	

综合实验楼（已建设）设有消防水池（消防储水有效容积 800 m³）及消防水泵房，内设消火栓合用泵组（两用一备），参数为 Q=60 L/s，H=70 m，N=30*2 kW；自动喷淋泵组（一用一备），参数为 Q=30 L/s，H=70 m，N=45 kW。

因现有 RCS 楼屋面高位消防水箱底绝对标高为 64.8 m，本建筑屋面层绝对标高 80.7 m，低于本项目最高水灭火设施，不满足本项目消防用水需要。故本项目屋面上另设高位消防水箱，有效容积不小于 18 m³。

本建筑最不利消火栓及自动喷淋喷头供水压力估算如下：

a. 室内消火栓栓口处所需水压：35 m；

b. 最不利层水流指示器后配水管网入口水压：30 m。

c. 现有消防水池最低有效水位绝对标高 37.15 m。

d. 最不利处消火栓绝对标高 80.7+1.1=81.80 m。

e. 最不利处喷头绝对标高 80.7-0.2=80.5 m。

f. 管网水头损失：综合实验楼距本项目约 600 m 远，现状园区消火栓环网主管管径为 DN150 mm，水损估算取 25 m；现状园区自动喷淋环网主管管径为 DN150 mm，水损估算取 15 m；水力报警阀、水流指示器水头损失共 6 m。

若从现有消防泵房供至本建筑最不利消火栓，则需水压：

35+81.8+25-37.15=104.65 m>70 m.

若从现有消防泵房供至本建筑最不利自动喷淋喷头，则需水压：

30+80.5+15+6-37.15=94.35 m>70 m。

现状园区消防水泵均不满足本建筑最不利消火栓及自动喷淋使用要求。

故本建筑在地下一层设置消防水池，储存室内消防灭火系统用水，总有效容积不小于 558 m³（含 144 m³空调补水系统水量，采取确保消防用水量不作他用的技术措施）。消防水池分为两格，以备水池定期清洗而不会完全没有储备用水。并在消防泵内设置供本建筑室内消防使用的室内消火栓泵组和自动喷淋消防泵组。

4）室外消火栓给水系统

①系统选型及分区

本项目消防给水水源由综合实验楼（已建设）消防泵房供给，在室外成环管，管网上设置室外消火栓。环状管网最不利点处平时运行工作压力 0.15 MPa，火灾时水力最不利室外消火栓的出流量不小于 15 L/S，且供水压力从地面算起不小于 0.1 MPa。

②室外消火栓布置

室外消火栓距消防车道边不大于2.0 m，距建筑物外墙不小于5.0 m不大于40m。两室外消火栓沿道路间距不大于 120 m，保护半径不大于 150 m。距各系统之消防水泵接合器不大于 40 m。

5）室内消火栓给水系统

①系统选型及分区

设临时高压消防给水系统。

室内消火栓系统布置成竖向环状管网；管网由 1#科研办公楼（已建设）消防水泵房以双管向环状管网供水，消火栓出口处静水压不大于 1.00 MPa。消火栓出口压力大于 0.5 MPa 时采用减压稳压消火栓。消火栓水泵接合器距室外消火栓距离15～40m。室外设消防水泵接合器，与室内消火栓管网连通，供消防车向室内消火栓系统供水。

室内消火栓系统布置成竖向环状管网；管网由本项目地下室消防水泵房以双管向环状管网供水，消火栓出口处静水压不大于 1.00 MPa。消火栓出口压力大于

0.5 MPa 时采用减压稳压消火栓。消火栓水泵接合器距室外消火栓距离 15～40 m。室外设消防水泵接合器，与室内消火栓管网连通，供消防车向室内消火栓系统供水。

②消火栓泵及其控制

火警发生时，由消防水泵出水管上设置的压力开关信号和屋顶高位消防水箱出水管上的流量开关信号直接启动消防水泵。消防水泵设置手动启停和自动启动。各台水泵的启停及故障状况，均有信号在消防控制中心显示。

③消火栓泵及其控制

依托 1#科研办公楼（已建设）地下室消防水泵房内设的两台室内消火栓泵，一用一备。本单体屋顶设稳压装置。

火警发生时，由消防水泵出水管上设置的压力开关信号和屋顶高位消防水箱出水管上的流量开关信号直接启动消防水泵。消防水泵设置手动启停和自动启动。各台水泵的启停及故障状况，均有信号在消防控制中心显示。

④消火栓布置

各股水柱流量不小于 5 L/s，充实水柱不应小于 13 m（栓口动压不小于 0.35 MPa），消火栓箱间距不大于 30 m，并保证同一平面两股、同时到达任何部位。最不利点屋面设置有压力显示装置的试验消火栓。

6）气体灭火系统

采用管网式 IG100 气体灭火系统，采用组合分配、全淹没设计的灭火方式。

设置位置：电源厅、真空束控厅、变配电房、弱电机房、数据机房等应设气体灭火系统的场所等。

①参数选用

IG100 气体灭火系统设计按照广东省地方标准《氮气灭火系统设计、施工及验收规范》DBJ15-47-2022 和《气体灭火系统设计规范》GB 50370-2005 进行，在每个防护区设置泄压口。

地上区域三层 真空束控厅、二层电源厅、二层同位素真空束控厅、二层同位素电源厅、二层加速器控制室、首层 脉冲电源厅、首层高频厅均需设置气体灭火（IG541）面积，气体灭火建筑面积约 2248.82 平方米；地下区域气体灭火建筑面

积约 1319.69 平方米。

②系统控制

气体灭火系统设置自动控制、手动控制并设置自动与手动转换装置。

自动控制：每个防护区设置双回路探测器，当其中一个回路报警时，系统进入报警状态；当两个回路都报警时，进入延时 30 s（可调）状态，通知区内人员疏散，关闭门窗和通风系统，如在延时阶段发现是系统误动作，工作人员可按下设在防护区域门外的紧急止喷按钮暂时停止释放药剂。30 s 延时结束时，控制盘输出有源信号至容器阀上的电磁阀以释放灭火剂。

手动控制：控制盘处在手动工作模式下，在接到手拉启动器的指令后，控制盘不经延时实时联动控制，释放灭火剂。

7）建筑灭火器配置

（1）火灾危险等级：各类场所按规范要求划分危险等级。

（2）火灾类别：电气（各强弱电房、电房等）按 E 类，其余按 A 类。

（3）灭火器配置基准及最大保护距离（均配置 5 kg 磷酸干粉 ABC 手提式灭火器，设于消防箱内，数量不够的单独设置）。

8）自动喷水灭火系统

①自动喷淋系统选型及分区

喷淋系统采用临时高压消防给水系统由管网由本项目地下室消防水泵房内喷淋泵供水。

喷淋在室外喷淋水泵接合器，与报警阀前管网连通，供消防车向系统供水，并且与室外消火栓距离 15～40 m。

②报警阀、水流指示器、喷头

湿式报警阀与管网间供水干管上设置由控制阀、检测供水压力、流量用的仪表及排水管组成的系统流量压力检测装置（过水能力与系统过水能力一致），每个湿式报警阀控制的喷头数不多于 800 个，最高最低喷头高差不大于 50 m。在压力超过 40 m 处水流指示器与信号阀间设减压孔板。

每个防火分区每层均设有水流指示器及带开关显示的阀门（开关信号反馈至消防中心），并在管网末端设置一条排水及试验用的排水管及控制阀门与压力表

（采用一体化自动末端洒水装置）。

所有喷头均采用快速响应喷头，不同区域采用不同的喷头：a.不设吊顶部位采用 DN15 直立型喷头（K=80）。b.设置吊顶部位采用 DN15 吊顶型喷头（K=80）。吊顶内净空大于 800 mm 时，吊顶内应设置 DN15 直立型喷头（K=80）。

③喷淋水泵控制

喷淋系统供水设备设置于综合实验楼（一期已建设）地下一层消防水泵房内，设有立式多级消防喷淋泵两台，一用一备，单台设备参数：Q=30 L/s，H=70 m，N=45 kW。综合实验楼（一期已建设）屋顶设稳压装置。

室内喷淋泵由湿式报警阀上压力开关和屋顶高位消防水箱出水管上的流量开关信号直接启动消喷泵，稳压泵由气压罐上压力开关自动启停，同时在泵房可以就地启停，消防中心远程控制启停。消喷泵及消喷系统稳压泵的启停及故障状态均在消防控制中心有显示。

9）自动跟踪定位射流灭火系统

本栋建筑的吊装口位置采用喷射型自动射流灭火系统，设计持续喷水时间应不小于 1 h。与自动喷水灭火系统共用消防水泵，在湿式报警阀前分开设置管网。灭火装置之前的供水管路成环状管网布置。单台灭火装置的流量不小于 10 L/s，灭火装置的设计同时开启数量按 2 台确定。定位时间≤30 s，最小安装高度为 8 m，管网最不利点处应设模拟末端洒水装置。

5.3.2.5.6 抗震支吊架的设置

根据《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010（2016 年版）及《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981-2014 要求，生活给排水系统管道需设置抗震支吊架，设备需有限制移位措施。

5.3.2.5.7 消防排水

①本项目二期下列建筑物和场所应采取消防排水措施：

（1）水泵房；（2）设有消防给水系统的地下室；（3）消防电梯的井底。

②室内消防排水应符合下列规定：

a.室内消防排水宜排入室外雨水管道；

b.当存有少量可燃液体时，排水管道应设置水封，并宜间接排入室外污水管道；

c.地下室的消防排水设施宜与地下室其他地面废水排水设施共用。

③室内消防排水设施应采用防止倒灌的技术措施。

④消防电梯的井底排水设施应符合下列规定：

a.排水泵集水井的有效容量不应小于 2.0 m^3；

b.排水泵的排水量不应小于 10 L/s。

⑤消防给水系统试验装置处应设置专用排水设施，排水管径应符合下列规定：

a.自动喷水灭火系统等自动水灭火系统末端试水装置处的排水立管管径，应根据末端洒水装置的泄流量确定，并不宜小于 DN75；

b.报警阀处的排水立管宜为 DN100；

c.减压阀处的压力试验排水管道直径应根据减压阀流量确定，但不应小于 DN100。

5.3.2.6 电气系统方案

5.3.2.6.1 设计主要依据

1．《建筑设计防火规范》（GB 50016-2014）（2018 年版）；

2．《火灾自动报警系统设计规范》（GB 50116-2013）；

3．《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》（GB 51309-2018）；

4．《供配电系统设计规范》（GB 50052-2009）；

5．《20kV 及以下变电所设计规范》（GB 50053-2013）；

6．《通用用电设备配电设计规范》（GB 50055-2011）；

7．《电力工程电缆设计标准》（GB 50217-2018）；

8．《低压配电设计规范》（GB 50054-2011）；

9．《建筑照明设计标准》（GB/T 50034-2013）；

10．《建筑物防雷设计规范》（GB 50057-2010）；

11．《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB 50343-2012）；

12．《建筑节能与可再生能源利用通用规范》（GB 55015-2021）；

13．《建筑环境通用规范》（GB 55016-2021）；

14．《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB 55002-2021）；

15．《建筑电气与智能化通用规范》（GB 55024-2022）；

16．《消防设施通用规范》（GB 55036-2022）；

17．《建筑防火通用规范》（GB 55037-2022）。

5.3.2.6.2 设计范围

质子应用平台建筑电气设计范围包括：除 10/0.4 kV 变配电系统、工艺及相关设备低压配电系统、电力监控系统以及工艺电缆敷设之外，新建建筑室内土建配套设备的低压配电、照明、防雷接地、电气消防、电气节能等常规建筑电气设计以及室外电力线路迁改等内容。

本节内容仅包含建筑电气设计范围内相关说明，工艺相关说明详见“5.3.2.1 供配电系统设计”。

5.3.2.6.3 低压配电系统

1）用电负荷等级

本项目建筑电气用电负荷等级划分如下：计算机网络系统、安防系统用电为一级负荷；消防用电（含火灾报警系统、防烟和排烟设备、消防电梯、消防排污泵以及发生火灾时仍需正常工作的消防设备房的备用照明、消防应急照明和疏散指示系统等）为二级负荷；其余为三级负荷。

2）用电负荷估算

本项目建筑电气用电负荷采用单位面积指标法，按 70W/㎡估算，总用电负荷约为 1640kW。

3）供电电源

具体方案说明详见 5.3.2.12.3 供配电系统设计。建筑电气用电负荷低压电源引自本建筑内新建的变配电所。

4）配电方式及线缆选型

建筑电气配电系统采用放射式与树干式相结合的方式，对于单台容量较大的负荷或重要负荷采用放射式供电，其他如照明等为树干式。消防水泵、消防电梯、消防风机等消防负荷，均由两台变压器低压侧不同母线段的两个低压回路在最末一级配电箱自动切换供电。为确保供电质量，馈电线路压降不大于 5%。管线一般采取暗敷或桥架敷设方式。

选用电线的阻燃特性应不低于：C 类，电缆的阻燃特性应不低于：B 类。消防

负荷主干线、分支干线选用矿物绝缘类不燃性电缆，支线选用交联聚乙烯绝缘、聚烯烃护套无卤低烟阻燃B类耐火电缆;耐火电缆应具有不低于B1级的燃烧性能。非消防负荷线路均应选用低烟、无卤、阻燃型线缆。

5.3.2.6.4 照明

室内照明系统分为一般照明、消防应急照明两部分：

一般照明——照明照度值及功率密度限值符合《建筑照明设计标准》GB/T50034-2013 的目标值、《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB55015-2021 的规定。照明灯具、光源、电器附件等照明产品应通过国家强制性产品认证，其能效水平应高于国家照明产品能效标准的能效限定值或能效等级二级及以上的要求。

消防应急照明——采用集中电源集中控制型消防应急照明和疏散指示系统。灯具的供电与电源转换满足：灯具的主电源和蓄电池电源由集中电源提供，灯具主电源和蓄电池电源在集中电源内部实现输出转换后由同一配电回路为灯具供电。

地下三层均为无人值守房间，所有房间均需要无死角监控，照明条件要求高，下一阶段深化照明方案。

5.3.2.6.5 防雷与接地

依据国家规范划分建筑物的防雷类别，按照规范要求设置防直击雷、防侧击雷和防雷击电磁脉冲等措施。低压配电系统采用 TN-S 保护方式，并采用普通电子设备接地、防雷接地、保护接地三者联合接地的方式，利用建筑物桩基主钢筋接地体，使接地电阻小于 1 欧姆。同时，为了满足某些工艺设备的特殊要求，需在室外设置 1 个专用接地体，接地电阻要求暂按 1 欧姆。

5.3.2.6.6 电气消防

本项目电气消防系统独立于院区原有的消防系统，在本建筑内设置一处（分）消防控制室，并预留与院方现状（主）消防控制室之间的通讯接口，主消防控制室应能显示分消防控制室的所有火灾报警信号和联动控制状态信号。本项目设置一套火灾自动报警及联动控制系统，采用集中报警系统，按总线制树形结构设计。系统主要由以下内容组成：火灾探测报警系统（含火灾报警控制器、火灾探测器、手动火灾报警按钮、火灾声光警报器等）；消防联动控制系统（含消防联动控制

器、消防控制室图形显示装置、消防应急广播、消防专用电话、消防应急照明控制器、防火门监控器、防火卷帘控制器、气体灭火控制器、消火栓按钮、大空间智能灭火控制器等）；火灾预警系统（含电气火灾监控系统等）；消防设备电源监控系统。

本项目在首层设置消防控制室 1 处，消防控制室设置直通室外的安全出口，其入口处设置明显的标志灯（带灯光的装置）。消防控制室的消防设备由火灾报警控制器、消防联动控制器、消防控制室图形显示装置、消防专用电话总机、119 专线报警电话、消防应急广播控制装置、消防设备电源监控器、电气火灾监控器、电源设备、防火门监控器、消防应急照明和疏散指示系统控制装置等组成。

消防控制室可接收感烟、感温、火焰等火灾报警信号及水流指示器、信号阀、压力开关、流量开关、手动报警按钮、消火栓按钮、排烟防火阀等动作信号；可联动控制所有与消防有关的设备，并接收其反馈信号；具备显示消防水池水位的装置。

本工程采用集中电源集中控制型消防应急照明和疏散指示系统，由火灾报警控制器或消防联动控制器启动应急照明控制器实现。当确认火灾后，由发生火灾的报警区域开始，顺序启动全楼疏散通道的消防应急照明和疏散指示系统，系统全部投入应急状态的启动时间不大于 5S。拟增设 1 台消防应急照明控制器，设置于园区现状消防控制室内。

5.3.2.6.7 电气节能

1）电气节能措施

①电力变压器、电动机、交流接触器和照明产品的能效水平应高于能效限定值或能效等级二级及以上的要求。

②根据负荷特点合理计算用电负荷，变压器低压侧设置集中功率因数补偿装置，补偿后功率因数大于等于 0.92，以减少无功电流损耗。

③配变电所靠近负荷中心，合理选择配电线路路径和电线电缆截面，减少线路长度和线路压降，降低线路损耗，达到节能的目的。

④水泵、风机以及电热设备应采取节能自动控制措施。

⑤选用结线组别 D，yn11 的配电变压器，功率因数补偿电容器组配消谐电抗

器，电抗器电抗值为电容器容抗值的 12.5%～14%。当难以预测谐波含量和谐波次数时，预留谐波抑制装置的安装条件，待工程竣工运行后根据具体情况有针对性地进行谐波治理，改善电源质量，减少谐波电流损耗。

⑥采用高效节能的灯具，灯具效率符合《建筑照明设计标准》GB50034-2013 第 3.3.2 条的规定。采用 LED 灯、三基色 T5 或 T8 荧光灯、紧凑型荧光灯、金属卤化物灯等高效节能光源。荧光灯和气体放电灯配电子镇流器或带电容补偿的节能型电感镇流器，产品能效值符合国家相关产品能效标准的要求，并采用能效等级高的产品，功率因数不低于 0.9。

⑦照明照度值及功率密度限值符合《建筑照明设计标准》GB50034-2013 的目标值、《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB55015-2021 的规定。

⑧照明控制应结合建筑使用情况及天然采光状况，进行分区、分组控制；走廊、楼梯间、门厅、电梯厅、卫生间等公共场所的照明，采用集中开关控制或就地感应控制；大空间、多功能、多场景场所的照明，采用智能照明控制系统。

⑨利用建筑设备监控系统对建筑内所属设备的运行、安全状况、能源使用状况及节能等实行综合自动监测、控制与管理，以达到安全、节能、舒适和优化管理的目的，满足日常管理的要求。

2）电气环保措施

①弱电机房采用 UPS，应急照明电源采用 EPS 装置或灯具自带蓄电池电源供电，UPS、EPS 选用免维护蓄电池，蓄电池选用环保型电池，对环境不造成污染。

②普通配电线路采用低烟无卤阻燃型电缆电线，即使在火灾情况下，减少有毒气体的产生，有利于人员的疏散。消防设备配电线路采用矿物绝缘类不燃性电缆。

3）太阳能光伏发电系统

①在屋顶安装一套太阳能光伏发电系统，占地面积约 30 ㎡。共安装光伏组件 6 块，每块组件功率为 500 W，装机容量约为 3 kWp。

②太阳能光伏发电系统其构件及其安装应满足结构、电气及防火安全的要求；应设置安装和运行维护的安全防护措施，以及防止光伏电池板损坏后部件坠落伤人的安全防护措施。

③太阳能光伏发电系统应能对发电量、光伏组件背板表面温度、室外温度、太阳总辐照量等参数进行监测和计量。

④太阳能光伏发电系统中的光伏组件设计使用寿命应高于 25 年，系统中多晶硅、单晶硅、薄膜电池组件自系统运行之日起，一年内的衰减率应分别低于 2.5%、3%、5%，之后每年衰减应低于 0.7%。

⑤太阳能光伏发电系统设计时，应根据光伏组件在设计安装条件下光伏电池最高工作温度设计其安装方式，保证系统安全稳定运行。

5.3.2.7 空调及通风系统方案

5.3.2.7.1 设计依据

1. 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB 50019-2015）；
2. 《机械工业厂房建筑设计规范》（GB 50681-2011）；
3. 《建筑设计防火规范》（GB 50016-2014）（2018 版）；
4. 《建筑防排烟系统技术标准》（GB 51251-2017）；
5. 《建筑防火通用规范》（GB 55037-2022）；
6. 《消防设施通用规范》（GB 55036-2022）；
7. 《建筑节能与可再生能源利用通用规范》（GB 55015-2021）；
8. 《建筑环境通用规范》（GB 55016-2021）；
9. 《科研建筑设计标准》（JGJ 91-2019）；
10. 《公共建筑节能设计标准》（GB 50189-2015）；
11. 《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）；
12. 《空调通风系统运行管理规范》（GB 50365-2019）；
13. 《建筑机电工程抗震设计规范》（GB 50981-2014）；
14. 《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB 55002-2021）；
15. 《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）（2016 版）；
16. 《声环境质量标准》（GB 3096-2008）；
17. 《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2022）；
18. 《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）；

19．《民用建筑工程室内环境污染控制规范》（GB 50325-2010（2013 年版））；

20．《民用建筑绿色设计规范》（JGJ/T 229-2010）；

21．《绿色建筑评价标准》（GB/T 50378-2019）；

22．《广东省公共建筑节能设计标准》（DBJ 15-51-2020）；

23．《建筑工程设计文件编制深度规定》（2016 版）；

24．《工程建设标准强制性条文》 （房屋建筑部分）（2013 年版）；

25．《全国民用建筑工程设计技术措施-暖通空调.动力》2009；

26．《全国民用建筑工程设计技术措施节能专篇-暖通空调.动力》2007；

27．国家和地区有关的设计规范、标准和规定；

28．其他专业提供的本工程设计资料。

5.3.2.7.2 设计内容

1．舒适性空调系统设计，夏季供冷、冬季不供暖；

2．平时通风系统设计；

3．消防防排烟系统设计。

5.3.2.7.3 设计参数

室外设计参数、舒适性空调室内设计参数详见下表。

表 5.3-6 室外设计参数表

	干球温度（℃）		湿球温度（℃ ）	相对湿度（％ ）	室外风速 (m/s)	大气压 (hpa)
	空调	通风				
夏季	33.7	31.2	27.5	——	2.2	1002.4
冬季	6.0	14.9	——	72	2.8	1016.6

表 5.3-7 舒适性空调系统室内设计参数表

房间名称	室内温度(℃)		相对湿度（%）		噪声值* dB(A)	新风量 (m^3/h.p)	备注
	夏季	冬季	夏季	冬季			
办公室	26	-	60	-	≤45	30	

维修间	26	-	60	-	≤45	30	
门厅、走廊	26	-	60	-	≤45	10	

5.3.2.7.4 空调冷负荷

本单体办公室和维修间的冷指标按照 180W/㎡，门厅及走廊的 150W/㎡，预估总冷负荷约为 450kW。

5.3.2.7.5 空调冷源

本单体舒适性空调和工艺空调共用冷源，且空调冷源与工艺冷却水系统冷源共用。

5.3.2.7.6 空调风系统

办公室、维修间、门厅等后勤房间采用风机盘管+新风系统，新风由新风机组过滤、降温除湿处理后送至各层空调房间内。

电梯机房、弱电机房、弱电间等采用分体空调或 VRV 空调系统。

5.3.2.7.7 通风系统

1）通风系统和通风换气指标。具体参数如下表所示。

表 5.3-8 通风系统参数表

房间名称	排风形式	排风次数	送风形式	送风次数
变压器室	机械排风	按发热量计算	机械补风	排风量的 80%
高低压配电房	机械排风	10	机械补风	排风量的 80%
水泵房	机械排风	6	机械补风	5
公共卫生间	机械排风	15	自然补风	——
电梯机房	机械排风或空调	按发热量	自然补风	——
污水处理间	机械排风	20	自然补风	——
垃圾房	机械排风	20	自然补风	——

2）电房、弱电机房等设气体灭火装置的房间设置事故后排风系统，排风量≥ 6 次/h，设于此房间内的所有风口在气体灭火装置工作期间自动关闭，灭火工作完成后，电动排风口应开启排风。

5.3.2.7.8 节能设计

1）室内设计参数均满足《公共建筑节能设计标准》（GB50189-2015）和《建

筑节能与可再生能源利用通用规范》（GB55015-2021）要求。

2）其余空调产品均采用符合国家现行标准规定的节能型产品。

3）设置完善的空调监控与节能控制系统。

5.3.2.7.9 消声及减震设计

1）大型空调风柜、风机等均选用高效率、低噪音和低振动的设备。

2）空调和通风设备均需采用消声、隔声、减振、隔振的措施。

3）落地空调风柜、落地风机均设弹簧减振垫（支架）或横直纹橡胶减振垫。所有水泵均设置混凝土隔振台座。

4）吊装空调风柜、吊装风机采用弹簧减振吊架隔振。

5）空气处理机、风机进出口设置不燃材料制作的软接头。

6）在空调送回风管及通风风管上配备消声器，以满足环保部门和设计规范有关噪声控制的要求。

7）空调末端设备机房、风机房等设备房均采取必要的消声、隔声、减振、隔振的措施。

8）空调设备房采用防火隔声门（需有消防认证），防止机房噪声传出。

5.3.2.7.10 风管、水管材料选择

1）舒适性空调、通风及防排烟风管均采用镀锌钢板。

2）水管管径＜DN50 的冷冻水管采用镀锌钢管；DN50≤水管管径＜DN400 的冷冻水管采用无缝钢管；水管管径＞DN400 的冷冻水管采用螺旋电焊管；冷凝水管、补给水管、排污水管采用镀锌钢管。

5.3.2.7.11 保温及防腐

1）保温

①空调风管采用难燃 B1 级闭孔发泡橡塑。

②空调冷冻、冷凝水管采用难燃 B 级且烟密度≤50 的发泡橡塑保温管套保温。

2）防腐

①采用非防腐材料制作的冷冻水管、热水管、冷却水管、冷凝水管等，在表面除锈后刷防锈底漆两遍。

②采用非防腐材料制作的水管、风管金属支吊架等，在表面除锈后刷防锈底

漆、色漆各两遍。

5.3.2.7.12 消防防排烟系统

1）主要设计依据：

①《建筑设计防火规范》（GB 50016-2014）（2018 版）；

②《建筑防排烟系统技术标准》（GB 51251-2017）；

③《建筑防火通用规范》（GB 55037-2022）；

④《消防设施通用规范》（GB 55036-2022）；

⑤《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB 50019-2015）；

⑥《工程建设标准强制性条文》 （房屋建筑部分）（2013 年版）。

2）设计范围

本项目的所有消防防烟、排烟系统设计，包括自然通风设施、机械加压送风系统、自然排烟设施、机械排烟系统等。

3）防烟系统设计

①本项目的下列场所或部位设置防烟设施：

a.防烟楼梯间、封闭楼梯间。

b.前室（包括独立前室、共用前室、合用前室、消防电梯前室）。

②自然通风设施（由建筑专业实施）

a.采用自然通风方式的封闭楼梯间、防烟楼梯间；其自然通风设施满足《防排烟标准》第 3.1.6 条、第 3.2.1 条要求。

b.采用自然通风方式的前室采用自然通风方式；其自然通风设施满足《防排烟标准》第 3.2.2 条要求。

c.所有可开启外窗方便直接开启，设置在高处不方便直接开启的可开启外窗，在距地面高度 1.3～1.5 米的位置设置手动开启装置。

③机械加压送风设施

a.防烟楼梯间、前室（包括独立前室、共用前室、合用前室、消防电梯前室），当无自然通风条件或自然通风条件不符合《防排烟标准》要求时，采用机械加压送风系统。

b.防烟楼梯间、前室（包括独立前室、共用前室、合用前室、消防电梯前室）

的机械加压送风的计算风量满足《防排烟标准》第 3.4.5 条～第 3.4.8 条的规定；当系统负担建筑高度大于 24 米时，按计算风量与《防排烟标准》表 3.4.2-1～表 3.4.2-4 的值中的较大值确定。

c.设置机械加压送风系统并靠外墙或可直通屋面的封闭楼梯间、防烟楼梯间，在楼梯间的顶部或最上一层外墙上应设置常闭式应急排烟窗，且该应急排烟窗应具有手动和联动开启功能。（由建筑专业实施）

d.楼梯间采用直灌式加压送风系统的，其设置符合《防排烟标准》第 3.3.3 条的规定。

e.楼梯间的地上部分与地下部分应分别独立设置机械加压送风系统；当合用时，其设置符合《防排烟标准》第 3.3.4 条的规定。

f.机械加压送风系统设有测压装置及风压调节措施。

g. 加压送风机的公称风量，在计算风压条件下不应小于计算所需风量的 1.2 倍。

h.机械加压送风系统的送风量应满足不同部位的余压值要求。不同部位的余压值应符合下列规定：1）前室、合用前室、封闭楼梯间与疏散走道之间的压差应为 25Pa～30Pa；2）防烟楼梯间与疏散走道之间的压差应为 40Pa～50Pa。

4）排烟系统设计

①本项目的下列场所或部位设置排烟设施：

a.设备吊装大厅。

b.公共建筑面积＞100 ㎡且经常有人停留的地上房间、＞300 ㎡且可燃物较多的地上房间。

c.长度＞20m 的疏散走道。

d.建筑中下列经常有人停留或可燃物较多且无可开启外窗的房间或区域应设置排烟设施：1）建筑面积大于 50 ㎡的房间；2）房间的建筑面积不大于 50 ㎡，总建筑面积大于 200 ㎡的区域。

②自然排烟设施

a.满足自然排烟条件的场所采用自然排烟系统，自然排烟窗（口）的面积、数量、位置、结构型式均按《防排烟标准》要求设置。

③机械排烟设施

不满足自然排烟条件的场所采用机械排烟系统，机械排烟风机、排烟管道、排烟阀门、排烟口（面积、数量、位置）均按《防排烟标准》要求设置。

④防烟分区的设置

防烟分区采用挡烟垂壁、结构梁及隔墙来划分；防烟分区不跨越防火分区。

⑤补风系统的设置

a.除地上建筑的走道或建筑面积小于 500 ㎡的房间外，设置排烟系统的场所应设置补风系统。

b.补风系统应直接从室外引入空气，且补风量不应小于排烟量的 50%。

5）防排烟系统机房、设备、管道技术要求

①排烟风机、加压风机、补风机的设置。

a.设置在专用机房内，（排烟风机房与加压风机及消防补风机不共用机房）；风机房应采用耐火极限≥2.0 h 的隔墙和 1.5 h 的楼板及甲级防火门与其他部位隔开。

b.排烟风机房内不得设置加压送风及消防补风的风机与管道；加压送风及消防补风机房内不得设置排烟风机与管道。

c.风机两侧留有≥600 mm 的检修空间。

d.排烟系统与通风空调系统合用机房时，尚应符合下列规定：1）机房内应设置自动喷淋系统（提资给排水专业实施）；2）机房内不得设置用于机械加压送风的风机及管道；3）排烟风机与排烟管道的连接部件应能在 280℃时连续 30 min 保证其结构完整性。

②排烟风管、消防加压风管及消防补风管的耐火极限要求：

竖向设置的排烟管道应设置在独立的管道井内，排烟管道的耐火极限≥0.5 h；

水平设置的排烟管道应设置在吊顶内，其耐火极限≥0.5 h；当确有困难时，可直接设置在室内，但管道的耐火极限≥1.0 h；

设置在走道部位吊顶内的排烟管道，以及穿越防火分区的排烟管道，其管道的耐火极限≥1.0h。

③机械加压送风管道的设置和耐火极限符合下列要求：

a.竖向设置的送风管道应独立设置在管道井内，当确有困难时，未设置在管道

井内或与其他管道合用管道井的送风管道，其耐火极限≥1.0 h；

b.水平设置的送风管道，当设置在吊顶内时，其耐火极限≥0.5 h；当未设置在吊顶内时，其耐火极限≥1.0 h。

④补风管道耐火极限≥0.5 h，当补风管道跨越防火分区时，管道的耐火极限≥1.5h。

6）消防防火措施

①下列情况之一的通风、空调系统的风管在下列部位应设防火阀：

a.穿越防火分区处。

b.穿越通风、空调机房、重要的或火灾危险性较大的房间的隔墙或楼板处。

c.竖向风管与每层水平风管交接处的水平管段上。

d.穿越防火分隔处的变形缝两侧。

e.穿越其他防火墙、防火隔墙。

f.穿越防火分隔楼板处。

②通风、空调系统的送、回风总管、加压风管均按《建规》要求设置防火阀，动作温度为 70℃（与排烟系统共用的，其动作温度为 280℃）。

③排烟系统的入口总管、排烟管道等均按《建规》要求设置排烟防火阀，动作温度为 280℃。

④排烟系统的末端（烟气吸入口）处均按《建规》要求设置常闭型排烟阀、排烟口（带装饰面板），动作温度为 280℃。

⑤通风、空调系统的风管、水管及其配件材料均采用非燃材料；风管的保温材料均采用非燃材料，水管的保温材料均采用难燃 B1 级材料。

⑥通风、空调设备与风管连接处、风管穿越变形缝的软接头均采用防火材料。

5.3.2.8 智能化方案

5.3.2.8.1 项目现状

CSNS 一期和二期已建设室外通信管道，已与市政通信对接。园区主干管道为 2x4、2x6、2x8、3x8 110PVC，进入建筑管道的规格为 3x4 110PVC，本期拟新建建筑的附近有主干管道及人孔井。

消防安防监控中心（已建设）、电话机房（已建设）、计算机中心机房（已

建设）位于综合实验楼。一期室外主干光缆汇聚到计算机中心，该机房已预留二期光缆及设备安装空间。电话主机容量 1000 门，一期使用 480 门，二期使用 113 门。本期网络主干接入到综合实验楼计算机中心，语音主干接入电话机房，物业网主干接入到南方光源研究测试平台网络机房（已建设）。

CSNS 已建设的智能化系统有：综合布线系统、计算机网络系统、电话系统、周界防范系统、视频安防监视系统、出入口控制系统（门禁系统）、公共广播系统。周界防范系统主要设备采用三光束红外对射探测器，综合布线系统数据主干采用单模光缆、语音主干采用三类大对数电缆，视频安防监视系统采用数字监控系统，IP 传输，出入口控制系统采用 IP 架构。

5.3.2.8.2 设计依据

（1）标准规范

1. 《建筑电气与智能化通用规范》（GB 55024-2022）；
2. 《智能建筑设计标准》（GB 50314-2015）；
3. 《综合布线系统工程设计规范》（GB 50311-2016）；
4. 《综合布线系统工程验收规范》（GB 50312-2016）；
5. 《安全防范工程技术规范》（GB 50348-2018）；
6. 《安全防范工程通用规范》（GB 55029-2022）；
7. 《视频安防监控系统工程设计规范》（GB 50395-2007）；
8. 《入侵报警系统工程设计规范》（GB 50394-2007）；
9. 《出入口控制系统工程设计规范》（GB 50396-2007）；
10. 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB 50343-2012）；
11. 《智能建筑工程验收规范》（GB 50339-2013）；
12. 《建筑电气工程施工质量验收规范》（GB 50303-2015）；
13. 《民用建筑电气设计标准》（GB 51348-2019）；
14. 《通信管道与通道工程设计规范》（GB 50373-2019）；
15. 《通信管道工程施工及验收规范》（GB 50374-2018）；
16. 《电气工程施工质量验收规范试验方法》（GB 50303-2015）；

17．《火灾自动报警系统设计规范》（GB 50116-2013）；

18．《建筑设计防火规范》（GB 50016-2014）（2018 年版）；

19．《建筑物防雷设计规范》（GB 50057-2010）；

20．《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》（GB 50169-2016）；

21．《视频显示系统工程技术规范》（GB 50464-2008）；

22．《建筑抗震设计规范（2016 年版）》（GB 50011-2010）；

23．《通信线路工程设计规范》（GB 51158-2015）；

24．《建筑机电工程抗震设计规范》（GB 50981-2014）；

25．《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB 55002-2021）。

（2）其他设计依据

1．CSNS-I、CSNS-II 已有的智能化设计图纸和技术资料；

2．本期质子应用产业化平台相关专业提供的图纸和技术资料；

3．各系统对建筑智能化系统提出的需求。

5.3.2.8.3 设计内容

综合布线系统、信息网络系统、通信网络系统、入侵报警系统、视频监控系统、出入口控制系统、公共广播系统、建筑设备监控系统、电梯监控及多方通话、智能化系统集成。

电力监控系统、智能照明系统见电气部分。

地下三层为无人值守房间，所有房间需要无死角监控，地上建筑各实验室和公用设施机房，也需要有无死角监控，确保使用和运行的设备安全可靠运行。

5.3.2.8.4 智能化机房及弱电间规划

本工程共用一期的综合实验楼首层的消防安防监控中心、电话机房、综合实验楼计算机中心网络机房。监控中心及机房内安装本次新增设备，面积不足的消防安防监控中心、电话机房需适当扩大。

本栋建筑的首层设置一个汇聚弱电间及 UPS 间，主要考虑的是排风中心的 UPS，风机负荷约 150 kW，UPS 选型按 300 kVA，3 h 选型

弱电间内配置一个 42U 机柜，每个机柜配置一个至少 8 口 PDU 插座，机柜里

面有光纤配线架（适配 LC、SC）和网络配线架。

汇聚弱电间到CSNS一期综合楼计算机网络机房分别由不少于24 芯的单模光缆连接，两端都熔接在机柜的光纤配线架上。

本栋楼的每层，需要根据弱电相关规范设立楼层弱电间（如楼层层数、面积较大，与汇总弱电间的距离超过 100 m 等条件），楼层弱电间内机柜、配线架、PDU 与汇聚弱电间一致，楼层弱电间承担该层所有需要的有线、无线网络、视频监控、门禁、设备监控等的配线汇总功能。

5.3.2.8.5 综合布线系统

在办公区域对电话和计算机网络系统采用综合布线系统设计。语音主干线采用大对数电缆，数据主干线采用光纤，水平配线采用六类及超六类 8 芯线。

系统采用光缆与六类双绞线混合方式及星型架构来实现。系统由工作区、配线子系统、干线子系统、建筑群子系统、设备间、进线间、管理间七部分组成。

1）工作区

本期建筑数据信息点和语音信息点均采用六类及超六类信息插座模块，具有通用性和互换性；每个信息点均可用于电话或数据、图像终端及智能化终端。满足高速数据信号的传输要求。

信息点设置原则：所有人员办公、需要联网的设备、实验区域均需提供有线接入点位。房间内（每十平方米）有线网络面板不少于两个，如有电话面板需要与网络面板分开。有线网口面板距离地面 300 mm。部署相应的网络线缆连接到该层子弱电间配线架。强辐射区域设置光纤信息点及六类屏蔽 STP 信息点，放装型无线 AP 设置超六类屏蔽 STP 信息点。每个房间设置一个数据传输信息点，部署光纤链路。

2）配线子系统

采用铜芯非屏蔽/屏蔽 4 对对绞线（UTP/STP）按六类及超六类的标准布线到楼内每个工作区。对特定场所和有特殊要求的用户也可使用光缆（4 芯光缆）。所有水平缆线的长度均不能超过 90 m。

3）干线子系统

汇聚机房至各楼层弱电间的网络通信主干，包括数据应用的光缆、语音应用

的大对数铜缆。语音主干采用 3 类大对数电缆，数据主干采用万兆单模或多模光缆，数据主干支持 1 G、10 G 的数据传输。数据应用光缆和数据传输光缆单独部署，数据传输光缆接入速率不低于 10Gbps，上行速率不低于 2×25Gbps。

4）建筑群子系统

网络机房至各汇聚机房的网络通信主干。数据主干均采用带铠装室外万兆单模光缆，支持 10G、40G、100G 的传输，由一期综合楼计算机网络机房向本栋建筑汇聚弱电间敷设。

5）设备间

建筑物设备间即综合实验楼计算机网络机房和电话机房。设备间内的数据、语音设备主要包括：核心交换机、各类服务器、供电电源、UPS 电源及电池、光纤配线设备、总配线架、操作维护终端等。

6）进线间

规划室外主干路由，提供园区内各建筑的数据及语音主干连接。

7）管理间

对设备间、弱电管理间、进线间和工作区的配线设备、线缆、信息点进行清晰、完整地标识和记录。

8）线缆标签标识：线缆编号唯一且各段两端点标识保持一致，标签标识样式参考现有网络标识样式。

5.3.2.8.6 通信网络系统

一期设置的程控交换机电话主机容量 1000 门，一期使用约 480 门，二期使用约 113 门，外线由市政电信网引入。初步估算剩余容量可满足本期电话接入，电话主机不需要扩容，在本期新建建筑内按需要设置电话分机，室内电话线纳入综合布线系统，新建建筑内汇聚弱电间设电话接入点，接入点至一期电话机房采用三类室外大对数电缆。

5.3.2.8.7 公共广播系统

本项目利用消防广播实现公共广播功能。系统用于装置的快捷管理；紧急及重要事件的收集、整理、决策及传递。在主控室内设置广播主设备，在本期建筑内均设置广播扬声器。当发生火灾时，相关区域的扬声器将被强切至紧急广播状

态。

5.3.2.8.8 入侵报警系统

系统由前端设备（双鉴探测器、紧急报警按钮）、传输、处理/控制/管理设备和显示/记录设备组成。报警主机与楼层防区扩展模块之间采用总线连接，报警主机通过与电脑连接，采用报警管理软件对所有探测器进行统一管理。各报警信号以电子地图的形式在监控中心直观显示，并能与视频监控子系统联动。监控中心共用一期的消防保安监控中心。末端设置原则：

1）本期建筑的出入口、实验室、其他重点区域等设置双鉴等探测器。

2）在值班室等区域设置手动报警按钮。

3）残疾人卫生间设置紧急求助按钮。

5.3.2.8.9 视频安防监控系统

本工程共用一期的消防保安监控中心。

在本期建筑的主要进出口、公共通道及其他重要场所设置视频监控摄像机，将图像传送至园区保安监控中心。中心对整个园区进行实时监控和记录，使监控中心管理人员充分了解园区动态。本项目视频安防监控系统设计采用全 IP（网络）的数字视频模式，系统需考虑一期的兼容性。

安防监控中心设置在一期综合楼首层，与一期共用。监控中心负责对系统进行集中化的管理和控制。系统包括存储设备、视频管理服务器、视频综合管理平台、网络交换机、视频解码器、屏幕墙、PC 视频监控台等。

监控中心设置多屏 LCD 屏幕墙，通过视频综合管控平台实现视频图像的显示和切换，同时配合电子地图，直观而简易操作摄像机和各种警报信息等。

前端采用高清网络摄像机。根据视频信号的多少配置视频存储录像设备， 进行数字视频接入和管理。前端摄像机由本楼栋内的 UPS 供电。

视频监控系统采用集中式存储设计，即在安防监控中心配置 IP SAN 设备，视频监控图像全部实时存储到监控中心 IP SAN 设备中。录像质量按照高清画质，录像保存时间不少于 30 天，重点部位 90 天。为保证存储图像的安全性，IP SAN 全部要求配置为热插拔硬盘、并进行 RAID5 保护，确保单块硬盘出现故障时，图像数据仍然能恢复。

操作员通过操作智能键盘，依据登录的用户名和操作的设备属性，由监控 管理平台分配相应权限，由各级完成图像切换，摄像头 PTZ 控制，编解码器连接建立等操作。

末端设置原则：

1）出入口采用宽动态彩色高清网络摄像机；

2）走廊、通道等设置彩色固定高清网络摄像机或半球；

3）电梯轿厢内设置电梯专用彩色半球摄像机。

5.3.2.8.10 出入口控制系统

本栋建筑的出入口、实验室、重要场所设置门禁，要求只有获得某一区域授权才能进出。该系统预留与人身安全联锁系统的接口。出入口控制系统是采用非接触式 IC 卡系统，实现人员出入权限控制及出入信息记录，门禁读卡器安装在所需控制人员进出的区域。

系统功能：

1）与一期门禁一卡通行。

2）对所有卡实行分级管理，根据其身份确定通行权限。

3）可设置多个时间段，控制门锁启闭，每个时间段起始值任意定义。

4）非法读卡，强行开门，超时未关门等自动报警，合法卡在授权时间段以外试 图开门时，视同非法卡处理。

5）多种信息记录：每次开门时间，开门卡编号，非法卡编号，报警原因、位置。

6）系统必须满足紧急逃生时人员疏散的相关要求。出入口控制装置应与火灾自 动报警系统联动，在紧急情况下应自动释放出入口控制系统，与消防联动信号的接入点位置为弱电间各门禁控制器。

5.3.2.8.11 建筑设备监控系统

为保证 CSNS 工程园区有良好环境，节省建筑物能耗和提高工作人员效率，减少运行人员及费用，实现科学化和自动化管理，对本建筑设置建筑设备监控系统。

建筑设备监控系统采用集中管理、分散控制的方式，由三层网络构成，支持多种通信接口和协议，并具有接口开放和开发功能。系统选择遵循：可靠性、先

进性、开放性、可集成性的原则。

第一层为管理网络层，由服务器、工作站、打印机、控制台等组成，完成系统集中监控和各种系统的集成。服务器与工作站之间以以太网及 TCP/IP 为基本通讯协议；第二层为控制网络层，由通讯总线和控制器等组成。控制网络层宜采用以 TCP/IP 为基本的通信协议进行通讯，以满足大数据流量高速传送的需求；第三层为现场网络层，由通信总线连接微控制器、分布式智能输入输出模块和传感器、执行器、阀门、变频器等智能现场仪表组成。

系统监控范围：

1）暖通空调监控

在保证提供舒适环境的基础上尽可能降低运行能耗，由空调监控子系统的管理计算机通过监控和分析建筑物使用要求与使用状况信息实现。控制末端包括：新风机、空气处理机、风机盘管、送风机、排风机等设备。

2）给排水监控

对各给水泵、排水泵、污水泵及饮用水泵的运行状态进行监测，对各种水箱及污水池的水位，给水系统压力进行监测，并根据这些监控信息，控制相应的水泵启、停或按某种节能方式运行。

3）智能照明控制

通过接口网关实现系统接入，对公共区照明的定时控制，对照明回路分组控制，以及对一些重要场所实现智能化控制来实现。

4）供配电设备监控

通过接口网关实现系统接入，对各级开关设备的状态、主要回路的电流、电压及变压器的温度进行监测。

5）电梯监控

通过接口网关实现系统接入，对电梯的运行状态、楼层数、故障状态等进行监测。

5.3.2.8.12 电梯监控及多方通话

通过电梯对讲装置，实现轿厢内、轿厢顶、电梯底坑、电梯机房的人员与管理用房的值班人员进行通话。在紧急情况下，轿厢内人员可通过轿厢对讲装置与

控制室的值班人员保持语音联系。

本设计主要负责电梯监控及多方通话的管线设计，设备及系统功能实现由电梯专业负责。

5.3.2.8.13 智能化系统集成

系统集成是通过结构化的布线系统及计算机网络技术，把构成智能建筑的各个子系统，从各个分离的设备、功能和信息等集成在一个相互关联的、统一的和协调的系统之中，使资源达到充分共享，管理实现集中、高效、便利，并实现应急指挥功能，本工程智能化系统集成接入到园区已建设的智能化系统集成平台，由原平台进行统一管理。

系统集成范围主要包含：入侵报警系统、视频监控系统、出入口控制系统、火灾自动报警系统、建筑设备监控系统。鉴于火灾自动报警系统的特点，为实现对消防系统的集成（不包括控制），系统集成平台须具备与火灾自动报警系统联网及数据接收能力。

系统集成功能：

1）采用统一可视化图形界面；

2）对子系统信息集成与综合管理；

3）对子系统集中监视与控制

4）对建筑物内全局事件的管理；

5）实现安全防范的集成管理，实现视频安防与火灾报警、入侵报警、出入口报警的联动控制；

6）实现跨子系统联动；

7）应急指挥。

5.3.2.9 海绵城市

5.3.2.9.1 总体设计原则

1.项目概况

项目区位条件：项目选址位于广东省东莞市松山湖中子源路散裂中子源科学中心园区内，项目用地性质为科研用地，已完成土地权属、规划用途等预审，符合国土空间规划要求。本项目拟新建的核心建筑单体—质子应用产业化平台大楼

位于LRBT设备楼以东、直线设备楼（二期）以西（CSNS-II在建）、放射性固体废物暂存厅（CSNS-II在建）以东区域。

5.3.2.9.2 编制依据

1. 《防洪标准》（GB 50201-2014）；
2. 《城市防洪工程设计规范》（GB/T 50805-2012）；
3. 《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）；
4. 《城市排水工程规划规范》（GB 50318-2017）；
5. 《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）；
6. 《城市工程管线综合规划规范》（GB 50289-2016）；
7. 《建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范》（GB 50400-2016）；
8. 《城市水系规划导则》（SL 431-2008）；
9. 《城市水系规划规范》（GB 50513-2009）（2016 年版）；
10. 《水污染物排放限值》（DB 44/26-2001）；
11. 《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建》；
12. 《低影响开发雨水综合利用技术规范》（SZDB/Z 145-2015）；
13. 《雨水利用工程技术规范》（SZDB/Z 49-2011）；
14. 《城市道路工程设计规范》（CJJ 37-2012）2016 年版；
15. 《城市道路路基设计规范》（CJJ 194-2013）；
16. 《城市绿地设计规范》（GB 50420-2007）2016 年版；
17. 《城市园林绿化评价标准》（GB/T 50563-2010）；
18. 《公园设计规范》（GB 51192-2016）；
19. 《城市园林绿化评价标准》（GB/T 50563-2010）；
20. 《园林绿化工程施工及验收规范》（CJJ 82-2012）；
21. 《绿色建筑评价标准》（GB/T 50378-2019）；
22. 《东莞市海绵城市规划建设管理暂行办法》东府办〔2020〕35 号；
23. 《东莞市建设项目海绵城市设计专篇文件编制及审查要点》；
24. 《东莞市海绵城市建设技术导则（试行）》；
25. 《市政工程防水通用规范》（GB 55030-2022）；

26. 《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB 55002-2021）；

27. 《海绵城市建设评价标准》（GBT 51345-2018）；

28. 《松山湖（生态园）海绵城市专项规划》。

5.3.2.9.3 海绵城市的建设目标

据《东莞市海绵城市规划建设管理暂行办法》，通过海绵城市建设，综合采取“渗、滞、蓄、净、用、排”等措施，构建低影响开发雨水系统，有效控制雨水径流。

根据住建部《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建》，对于不同的控制率，通常转化为当地对应的降雨量进行控制。具体计算过程：选取至少 30 年（反映长期的降雨规律和近年气候的变化）日降雨（不包括降雪）资料，扣除小于等于 2 毫米的降雨事件的降雨量（一般不产生径流），将日降雨量由小到大进行排序，统计小于某一降雨量的降雨总量在总降雨量（小于该降雨量的按实际雨量计算出降雨总量，大于该降雨量的按该降雨量计算出降雨总量，两者累计总和）中的比率，此比率即为对应设计降雨量的年径流总量控制率。计算原理如下图所示。

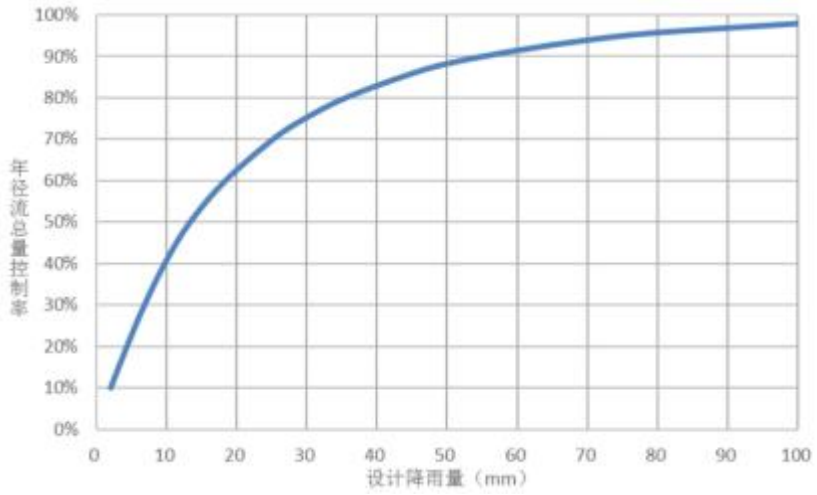


图 5.3-15 年径流总量控制率计算原理图

根据《东莞市海绵城市建设技术导则》和《东莞市海绵城市专项规划》的要求，本项目位于年径流总量控制率大于等于 65%，面源污染削减率≥40%。建设目标如下表：

表 5.3-9 本项目海绵城市建设目标

指标类型	序号	指标名称	目标值
控制目标	1	年径流总量控制率（%）	65%
	2	雨水管网设计暴雨重现（年）	10 年
	3	面源污染削减率（%）	40%
引导性	4	透水铺装率（%）	35%
	5	绿色屋顶率（%）	30%
	6	下沉式绿地比例（%）	30%
	7	不透水下垫面径流控制比例（%）	45%

5.3.2.9.4 海绵城市的设计

（1）布置思路

根据项目用地性质、用地规模、项目定位及规划要求等实际情况合理布置海绵城市设施，对排水系统、绿地系统、道路系统等区域的雨水进行有效吸纳、蓄渗和缓释，有效控制雨水径流，实现海绵建设总体控制目标。技术线路图如下：

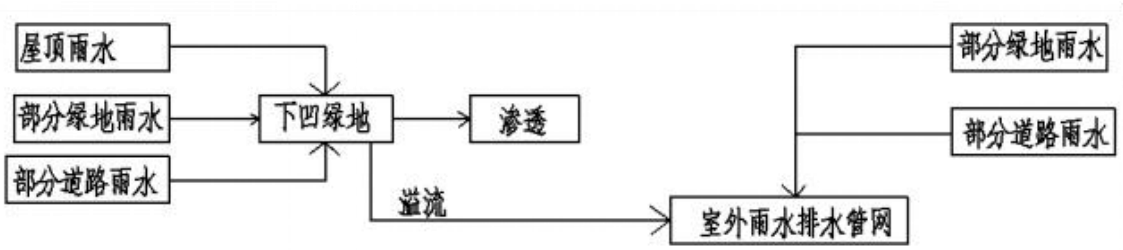


图 5.3-16 技术线路图

具体规划方案如下：

1）项目区域中的道路结合景观设计，在绿地中布置下沉式绿地；

2）公共空间和集中绿地内设置下沉式绿地，区块内的雨水先流入海绵城市设施，净化后流入市政管网；

3）项目地垫大部分铺设为透水铺装；

4）遵循暴雨处理为主、景观设计为辅的方针。

（2）海绵设施

1）下沉式绿地

下沉式绿地指具有一定的调蓄容积，且可用于调蓄和净化径流雨水的绿地。

- 下沉式绿地的下沉深度应根据植物耐淹性能和土壤渗透能力确定，本项目下凹深度为 200mm。
- 下沉式绿地内一般应设置溢流口（如雨水口），保证暴雨时径流的溢流排放、溢流口顶部标高一般应高于绿地 50mm。
- 下沉式绿地区域选用根系发达、茎叶繁茂、净化能力强、耐淹耐旱的植物。

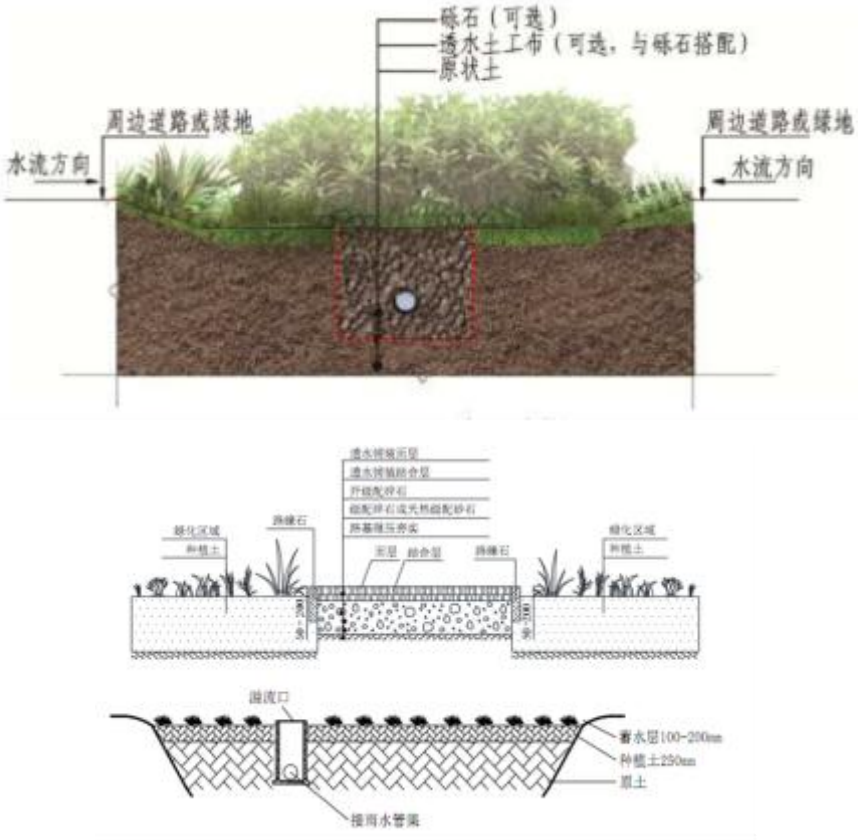


图 5.3-17 下沉式绿地构造图

海绵设施内植物应根据设施水分条件、径流雨水水质进行选择，宜选用耐涝、耐旱、耐污染能力强的乡土植物。见《东莞市公园绿地海绵城市建设指引》第 3.3 节中植物选择内容。植物的配选可参照下表。

表 5.3-10 低影响开发设施植物配选建议（灌木类）

树种	名称	使用位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
灌木	小叶蚊母	下沉绿地、雨水花园		花期										
	云南黄馨	下沉绿地									花期			
	海滨木槿	下沉绿地、雨水花园							花期					
	红叶石楠	下沉绿地、雨水花园				花期								
	金森女贞	下沉绿地、雨水花园			花期									
	玉簪	下沉绿地、雨水花园							花期					

表 5.3-11 设施植物配选建议（地被类）

树种	名称	使用位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
地被	水杨梅	雨水花园（浅）				花期								
	千屈菜	雨水花园（浅）							花期					
	泽泻	雨水花园（深）					花期							
	再力花	雨水花园（深）				花期								
	花叶美人	雨水花园							花期					

树种	名称	使用位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	蕉	（浅）							花期					
	菖蒲	雨水花园（深）						花期						
	红花酢浆草	下凹式绿地	花期											
	鸢尾	下凹式绿地			花期									
	萱草	下凹式绿地				花期								
	麦冬	下凹式绿地								花期				

2）硬化地面雨水收集措施

根据地形竖向标高布置及绿地分布情况，将硬化地面雨水就近排入下沉式地面。



图 5.3-18　硬化地面雨水收集措施示意图

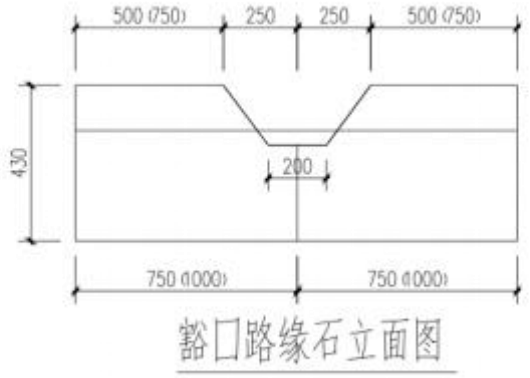


图 5.3-19　硬化地面雨水收集措施大样图

（3）屋面雨水与雨水基础设施的衔接设置

靠近建筑物的下凹式绿地或生物滞留设施，可将该建筑的屋面雨水引入复杂型生物滞留措施进行调蓄。合理衔接和引导屋面雨水进入普通复杂型生物滞留措施和复杂型生物滞留设施，雨水断接消能采取碎石池或砾石层等措施。雨水断接模式为：雨水收集→雨水断接→消能设施→植被区。

屋面雨水经过雨水立管的收集，雨水通过雨水立管排入室外消能设施，再进入复杂型生物滞留措施等雨水基础设施，使得雨水进入雨水基础设施进行下渗净化。

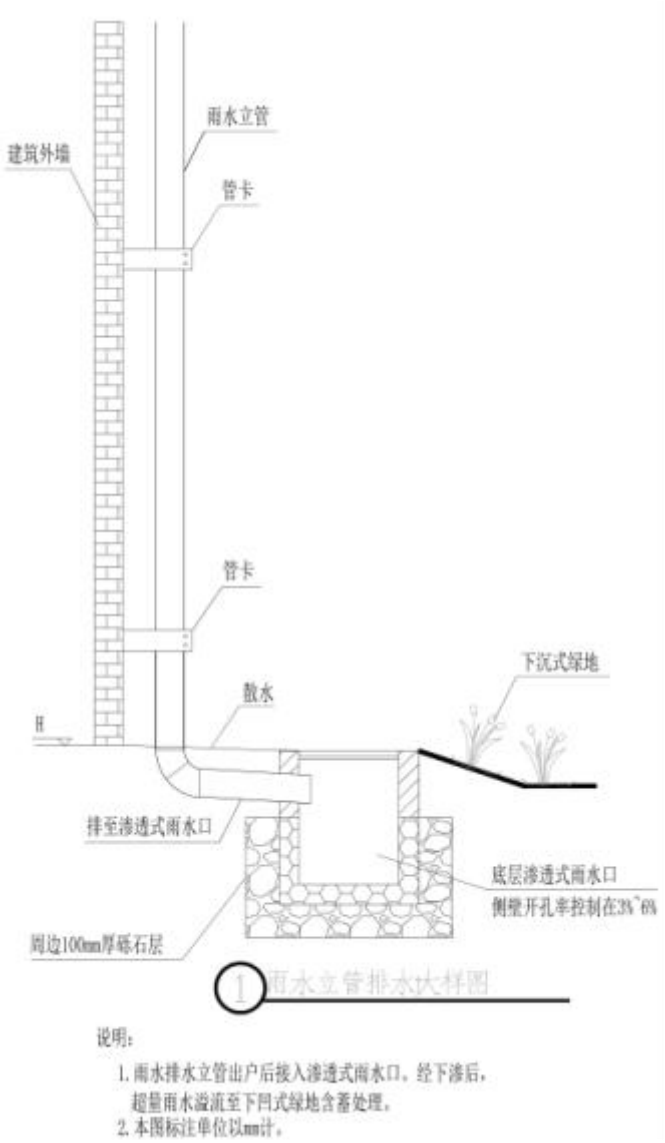


图 5.3-20　雨水进入雨水基础设施剖面图

5.3.2.9.5 海绵城市设施的计算及模型

本项目采用容积法进行海绵城市设施的设计，即以径流总量控制为目标，控制地块内各低影响开发设施的设计调蓄容积之和，即总调蓄容积，一般不低于该地块“单位面积控制容积”的控制要求。

项目排水方向整体是建筑及道路雨水排向绿地，整个场地按照地面坡向为 1 个汇水分区。

表 5.3-12　不同下垫面综合雨量径流系数

汇水面种类	雨量径流系数 φ	流量径流系数 ψ
绿化屋面 （绿色屋顶，基质层厚度≥300 mm）	0.30-0.40	0.40
硬屋面、未铺石子的平屋面、沥青屋面	0.80-0.90	0.85-0.95
铺石子的平屋面	0.60-0.70	0.80
混凝土或沥青路面及广场	0.80-0.90	0.85-0.95
大块石等铺砌路面及广场	0.50-0.60	0.55-0.65
沥青表面处理的碎石路面及广场	0.45-0.55	0.55-0.65
级配碎石路面及广场	0.40	0.40-0.50
干砌砖石或碎石路面及广场	0.40	0.35-0.40
非铺砌的土路面	0.30	0.25-0.35
绿地	0.15	0.10-0.20
水面	1.00	1.00
地下建筑覆土绿地 （覆土厚度≥500 mm）	0.15	0.25
地下建筑覆土绿地 （覆土厚度<500 mm）	0.30-0.40	0.40
透水铺装地面	0.08-0.45	0.08-0.45
下沉广场（50 年及以上一遇）	—	0.85-1.00

注：数据来自《海绵城市建设技术指南》。

根据《海绵城市建设技术指南》，各类海绵设施对于径流污染物的控制率应以实测数据为准，缺乏资料时，可按下表取值：

表 5.3-13　各类海绵设施对应的径流污染控制率

单项设施	径流污染控制率（以ss计）	单项设施	径流污染控制率（以ss 计）
透水砖铺装	80%—90%	蓄水池	80%—90%
透水水泥混凝土	80%—90%	雨水罐	80%—90%
透水沥青混凝土	80%—90%	转输型植草沟	35%—90%
绿色屋顶	70%—90%	干式植草沟	35%—90%
下沉式绿地	——	湿式植草沟	——
简易型生物滞留设施	——	渗管 / 渠	35%—70%
复杂型生物滞留	70%—95%	植被缓冲带	50%—75%

单项设施	径流污染控制率（以ss计）	单项设施	径流污染控制率（以ss 计）
设施			
湿塘	50%—80%	初期雨水弃流设施	40% —60%
人工土壤渗透	75%—95%		

5.3.2.9.6 汇水分区

由综合技术经济指标，汇水分区用地面积 13712.09 ㎡，屋面面积约为 3744 ㎡。同时景观专业根据景观要求已设置生态停车场、透水铺装、透水沥青等。

表 5.3-14 汇水分区综合雨量径流系数

序号	汇水面积种类		雨量径流系数φ	面积（㎡）	面积占比
1	硬质屋顶		0.85	2198	29.35%
2	绿化屋面		0.35	1395	18.62%
3	各种地面、停车场、路面及广场、人行道	透水铺装	0.35	924	12.34%
		硬质铺装	0.85	1233	16.46%
4	绿地		0.15	360	23.23%
5	水面		1	1740	0.00%
6	合计		0.50	7490	100.00%

（1）设计调蓄容积

本项目采用容积法设计，即以径流总量控制为目标，控制地块内各低影响开发设施的所需调蓄容积之和，即总调蓄容积，一般不低于该地块“单位面积控制容积”的控制要求。

表 5.3-15　东莞市年径流总量控制率对应的设计控制雨量

年径流总量控制率	60%	**65%**	70%	75%	80%	85%
设计降雨量（mm）	21.0	**24.5**	28.7	34.1	40.9	49.0

本项目设计取值：年均雨水径流控制率不低于65%，对应的设计降雨量24.5 mm。

根据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建（试行）》，设计调蓄容积如下公式进行计算：

$$V=10H\varphi F$$

式中：V——设计调蓄容积，m^3；H—设计降雨量，mm；

φ—综合雨量径流系数；F—汇水面积，hm^2。

表 5.3-16　设计调蓄容积计算

汇水分区	总面积（㎡）	径流系数	年径流总控制率（%）	设计降雨量（mm）	设计调蓄容量(m^3)
公式	a	c	d	e	=10*a*c*e/10000
	7490	0.50	65%	24.5	92.66

（2）调蓄容积计算

根据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建（试行）》，本分区 LID 设施调蓄体积为下凹式绿地和雨水花园的调蓄容积，本分区下凹式绿地规模为 1380 ㎡，蓄水层深度 150 mm，则调蓄容积为：1380*0.15=207.00 m^3

表 5.3-17　汇水区调蓄容积

	汇水面积(㎡)	设计调蓄容积(m^3)	实际调蓄容积（m^3）
汇水分区	7490	92.66	207.00

（3）年径流总量控制率

根据公式：V=10 hφF

式中：V—设计调蓄容积，m^3；

h—设计降雨量，mm；

φ—综合雨量径流系数；

F—汇水面积，hm^2。

则 h=V/10φF={207.00÷（10×0.50×7490）}×10000=55.27 mm

即项目可实现控制雨量 h=55.27 mm，对应的年径流总量控制率大于 65%的要求，达到年径流总量控制率 85%以上。

表 5.3-18　年径流污染削减率

类别	汇水分区二	污染物去除率（以SS计）	备注
绿化屋面（m^2）	1395	80%	
透水铺装（m^2）	924	90%	
加权平均		84.0%	

根据计算，本次设计后汇水分区一的年径流污染去除率为 84.0%*85%=71.4%，满足《东莞市建设项目海绵城市设计专篇文件编制及审查要点》的要求。

（4）开发前后径流峰值（改建项目需要满足峰值流量调蓄目标）

本项目地面现状为绿地。项目建设前为未开发空地。用地面积 7490 ㎡。雨水管渠设计重现期参照 10 年设计，对应的设计暴雨量为 194.934 mm，设计暴雨强度为 541.483 L/（s·hα）。本次在整平空地上新建建筑，建造前场地整平空地，综合雨量径流系数 0.30。

开发前场地雨水径流总量=0.30x194.934x7490/1000=438.02 m^3；

开发后场地综合雨量径流系数 0.50。

开发后场地雨水径流总量=0.50x177.64x7490/1000=665.26 m^3；

开发前后场地雨水径流总量相差 227.245 m^3。本项目海绵设施可调蓄容量为 207.00 m^3，园区内另设 100 m^3蓄水池，则可满足建设后雨水径流量不超过建设前。

（5）海绵设施排空时间计算

下沉式绿地、蓄渗洼地、渗透塘、渗井、生物滞留设施等调蓄设施所储存雨水的主要消纳途径是下渗，其有效调蓄容积的渗透排空时间应按下式计算：

$$t_s = \frac{V_{sj}}{3600*\alpha*K*J*A_s}$$ 式中：

t_s——渗透排空时间，h，一般不大于 24 h；

V_{sj}——设施的设计有效调蓄容积，m^3；

α——综合安全系数，一般取 0.5~0.8；

K——土壤渗透系数，m/s

J——水力坡降，一般可取 J=1；

A_s——有效渗透面积，㎡。

本项目下凹绿地调蓄容积为 293.27 m^3，土壤渗透系数取值 $5.9*10^{-6}$ m/s。有效渗透面积 1250 ㎡。代入计算渗透排空时间

$t_s=207/(3600*0.8*5.9*10^{-6}*1*1250)=9.75h$。

根据以上设计内容，本项目下凹绿地的放空时间不大于 24 h，满足要求。

（6）其他引导性指标计算

透水铺装率=透水铺装面积/全部铺装面积=924/2157=42.84%

绿色屋顶率=屋顶绿化具有雨水滞行功能的屋顶面积/全部屋顶面积=1395/3593=38.83%

下沉式绿地率=下沉式绿地面积/绿地面积=1380/1740=79.31%

不透水下垫面径流控制比例（%）=受控制的硬化下垫面（产生的径流雨水流入生物滞留设施等海绵设施的）面积占硬化下垫面总面积的比例=（2198+560.7）/（2198+1233）=80.41%

低影响开发设施比选一览表

单项设施	功能					控制目标			处置方式		经济性		污染物去除率（以SS计，%）	景观效果
	集蓄利用雨水	补充地下水	削减峰值流量	净化雨水	转输	径流总量	径流峰值	径流污染	分散	相对集中	建造费用	维护费用		
透水砖铺装	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	低	低	80-90	—
透水水泥混凝土	○	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	√	—	高	中	80-90	—
透水沥青混凝土	○	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	√	—	高	中	80-90	—
绿色屋顶	○	○	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	高	中	70-80	好
下沉式绿地	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	低	低	—	一般
简易型生物滞留设施	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	低	低	—	好
复杂型生物滞留设施	○	●	◎	●	○	●	◎	●	√	—	中	低	70-95	好
渗透塘	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	—	√	中	中	70-80	一般
渗井	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	√	√	低	低	—	—
湿塘	●	○	●	◎	○	●	●	◎	—	√	高	中	50-80	好
雨水湿地	●	○	●	●	○	●	●	●	√	√	高	中	50-80	好
蓄水池	●	○	◎	◎	○	●	◎	◎	—	√	高	中	80-90	—
雨水罐	●	○	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	低	低	80-90	—
调节塘	○	○	●	◎	○	○	●	◎	—	√	高	中	—	一般
调节池	○	○	●	○	○	○	●	○	—	√	高	中	—	—
转输型植草沟	◎	○	○	◎	●	◎	○	◎	√	—	低	低	35-90	一般
干式植草沟	○	●	○	◎	●	●	○	◎	√	—	低	低	35-90	好
湿式植草沟	○	○	○	●	●	○	○	●	√	—	中	低	—	好
渗管/渠	○	◎	○	○	●	◎	○	◎	√	—	中	中	35-70	—
植被缓冲带	○	○	○	●	—	○	○	●	√	—	低	低	50-75	一般
初期雨水弃流设施	◎	○	○	●	—	○	○	●	√	—	低	中	40-60	—
人工土壤渗滤	●	○	○	●	—	○	○	◎	—	√	高	中	75-95	好

注：1 ●——强 ◎——较强 ○——弱或很小；

2 SS 去除率数据来自美国流域保护中心（Center For Watershed Protection，CWP）的研究数据。

5.3.2.9.7 综合效益分析

近年来城市内涝问题频发，现有的雨水基础设施已无法完全满足城市内涝排水要求，建设新型海绵城市，选用低影响开发（LID）措施，作为海绵城市建设项目之一，本项目设计透水铺装 924 平方米，下凹绿地 1380 平方米，可缓解城区雨水洪涝，地下水位下降的问题，控制雨水径流污染，改善小区生态环境等。透水铺装的推广能有效缓解城市硬底化骤增而导致的城市内涝现象，其小而多的空隙特点，使具有削减降雨峰值、防止路面积水、补充地下水及降低城市路面噪声

污染等优点。综合设计有效达到污染物去除率的目的。带来综合生态环境效益，还拉动了地方财政和社会投资，提升和完善了基础设施建设水平，并为城市增加了美景，改善了人居环境。

5.3.2.9.8 结论

通过以上计算和分析，本项目设计透水铺装 924 平方米，下凹绿地 1395 平方米，整个地块综合雨水径流系数为 0.50，项目海绵设施调蓄容积 207.00 立方米，本项目年径流总量控制率为 85%以上，达到年径流总量控制率 65%的要求，本项目面污染源面源污染控制率 71.4%，达到 40%的要求。本项目满足雨水年径流总量控制率不低于 65%的要求，年污染源面源污染控制达到 40%的要求，各项指标达到了海绵控制性目标。本项目有效控制雨水径流，实现海绵建设总体控制目标并确保径流控制率对应降雨产生径流不出地块，地块开发后相同设计重现期的雨水径流峰值不高于开发前的。

表 5.3-19 海绵城市建设目标表

指标类型	序号	指标名称	目标值	本次设计取值
控制目标	1	年径流总量控制率（%）	65%	65%
	2	雨水管网设计暴雨重现（年）	10 年	10 年
	3	面源污染削减率（%）	40%	40%
引导性	4	透水铺装率（%）	35%	42.84%
	5	绿色屋顶率（%）	30%	38.83%
	6	下沉式绿地比例（%）	30%	79.31%
	7	不透水下垫面径流控制比例（%）	45%	80.41%

注：**透水铺装率：**指具有渗透功能铺装面积占全部铺装面积的比例。

绿色屋顶率：指进行屋顶绿化具有雨水滞行功能的屋顶面积占全部屋顶面积的比例。

下沉式绿地比例：此处下沉式绿地泛指具有一定的调蓄容积（以径流总量控制为目标进行目标分解或设计计算时，不包括调节容积），且可用于调蓄和净化径流雨水的绿地，包括生物滞

留设施、渗透塘、湿塘、雨水湿地、调节塘等。

不透水下垫面径流控制比例：指受控制的硬化下垫面（产生的径流雨水流入生物滞留设施等海绵城市设施的）面积占硬化下垫面总面积的比例。

表 5.3-20 海绵城市设计方案自评表（承诺表）

<table>
<tr><td colspan="6">年径流总量控制率（%）</td><td>75%</td></tr>
<tr><td colspan="6">年径流总量控制率目标对应设计降雨量（mm）</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">指标</td><td>备注</td></tr>
<tr><td rowspan="2">排水分区划分</td><td>排水分区个数</td><td colspan="3">1</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>排水口个数</td><td colspan="3">1</td><td>雨水收集区</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="7">第一汇水分区</td></tr>
<tr><td rowspan="20">下垫面解析</td><td>汇水区</td><td colspan="3">汇水区名称</td><td>第一汇水分区</td><td>备注</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">汇水区面积（m²）</td><td>7490</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">汇水区项目用地面积（m²）</td><td>7490</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="15">铺装面积
绿化</td><td colspan="2">总面积（m²）</td><td>3593</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">屋顶绿化面积（m²）</td><td>1395</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">其他软化屋顶面积（m²）</td><td>0</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">总面积（m²）</td><td>2157</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">可渗透铺装</td><td>透水砖面积（m²）</td><td>924</td><td></td></tr>
<tr><td>透水混凝土面积(m²)</td><td>0</td><td></td></tr>
<tr><td>植草砖面积（m²）</td><td>0</td><td></td></tr>
<tr><td>其他渗透铺装面积（m²）</td><td>0</td><td></td></tr>
<tr><td>小计</td><td>924</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">总面积（m²）</td><td>1740</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">下沉绿化</td><td>生物滞留设施面积（m²）</td><td>0</td><td></td></tr>
<tr><td>雨水花园面积（m²）</td><td>0</td><td></td></tr>
<tr><td>其他下沉式绿地面积（m²）</td><td>1380</td><td></td></tr>
<tr><td>小计</td><td>1380</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">水体面积（m²）</td><td>0</td><td></td></tr>
<tr><td>综合雨量径流系数</td><td colspan="2"></td><td>0.50</td><td></td></tr>
<tr><td>需要控制容积（m³）</td><td colspan="2"></td><td>92.66</td><td></td></tr>
</table>

专门设施核算	具有控制容积的设施	总容积（m^3）	207	
		地表水体（景）调蓄容积(m^3)	0	
		生物滞留设施蓄水容积（m^3）	207	
		雨水桶蓄水容积（m^3）	0	
	排水设施	污水管网收集率（%）	100%	
竖向用地控制	地下建筑	户外出入口挡水设施高度（m）	0.3	
	内部场平	高出相邻城市道路高度（m）	0.5	
	地面建筑	室内外正负零高差（m）	0.15	
……				
综合自评		**控制目标评价**	**目标值**	**完成值**
		年径流总量控制率（%）	65%	85%
		污染物削减率（以 SS 计）	40%	71.4%
		雨水管网设计重现期（年）	10	10
		引导性指标	**要求值**	**完成值**
		透水铺装率（%）	35%	42.84%
		绿色屋顶率（%）	30%	38.83%
		下沉式绿地比例（%）	30%	79.31%
		不透水下垫面径流控制比例	45%	80.41%
		结论		**满足要求**

5.3.2.10 人防工程

异地建设。

根据《东莞市新建民用建筑修建防空地下室审批实施细则》（东自然资〔2024〕59），本项目暂按工业项目的非生产性用房，基础埋深大于等于 3 米建设防空地下室，按照相应的地面首层建筑面积计算人防面积。最终以实际设计为准。

5.3.2.11 基坑支护

5.3.2.11.1 工程概况

本工程为质子应用产业化平台项目基坑工程，本项目±0.000 为 1985 国家高程 55.800 m，负一层板面相对标高为-7.00 m，负二层板面相对标高为-14.30 m，负三层底板面相对标高为-20.80 m。

基坑开挖面积约 4845 ㎡，周长约 330 m，开挖深度约 15.00～20.40 m，最终开挖深度以最终底板、承台及垫层施工需要确定。

场地现状地形较平坦，大部分区域地面标高约 54.50～56.00 m。场地周边有道路与外界相通，交通条件较好。项目北侧为 LRBT 设备楼（距离本项目地下室边线最近处仅 6.57 m）、RCS 设备楼及室外电抗器，项目东侧为直线设备楼二期（距离本项目地下室边线最近处约 8.00 m），项目南侧为园区道路及山体边坡支护坡脚（距离本项目地下室边线最近处仅 4.00 m），项目西侧为（距离本项目地下室边线最近处仅 6.69 m）。除此之外，场地内可能存在地下管线及构筑物等。总体而言，本项目周边环境较为复杂。

5.3.2.11.2 工程地质概况

根据场地周边地层勘察资料，场区岩土层自上而下可分为：素填土、全风化混合片麻岩、强风化混合片麻岩、中风化混合花岗岩、微风化混合片麻岩。

其中，中风化岩面标高介于 46～49 m，局部岩面起伏较大。

5.3.2.11.3 基坑支护方案

结合场地地层情况、周边环境、开挖深度，本项目基坑支护安全等级为一级；

本项目基坑开挖深度大，西侧两层地下室开挖深度约 13.8 m，东侧三层地下室开挖深度约 20.2 m。

北侧、东侧、西侧距离既有建筑物地下室基础较近，需控制支护结构的位移及其产生的影响；南侧距离现状永久边坡坡脚很近，需确保边坡安全。

根据上述情况基坑支护计划采用灌注桩排桩支护+内支撑和钢格构柱方案，支护桩采用 1.0 m 直径灌注桩，间距 1.2 m，桩底深入中风化岩内约 4 m，水平支撑采用三道 1 mx1 m 的砼支撑，最下面的一道支撑设置在中风化岩面。

对南侧永久边坡支护桩另加三道锚索锚入中风化岩内，作为永久边坡坡脚锚

固措施。

在坑深 2 倍范围内涉及的构筑物、边坡等设置变形和沉降观测点。并将基坑与边坡支护作为一个整体进行考虑。

5.3.3 辐射防护设计方案

5.3.3.1 系统概述

本项目涉及甲级非密封放射性工作场所及 I 类射线装置。

甲级非密封放射性工作场所因涉及放射性物质的操作、分装、贮存等环节，存在放射性物质泄漏、沾染等风险；I 类射线装置在调试和运行过程中会产生瞬发辐射和感生放射性。因此，需要对这些场所产生的辐射进行合理的屏蔽和控制，对工作场所及环境辐射水平进行有效的监测，确保工作人员和公众的辐射安全。

辐射防护系统包括辐射屏蔽设计、人身安全联锁系统、剂量监测系统、个人剂量监测系统、环境监测系统等。辐射屏蔽设计的重点是对装置运行产生的辐射进行合理、有效的屏蔽，确保屏蔽体外的瞬发辐射剂量、天空反散射剂量、人员维修剂量等合理可行尽量低。人身安全联锁系统用于保障相关人员出入辐射工作场所控制区时的人身安全，避免出现辐照事故。剂量监测系统对工作场所和周边环境的辐射剂量进行实时监测，对监测数据、设备信息等实现统一科学管理。个人剂量监测系统对工作人员、外来实验人员等的个人累积剂量进行测量，对人员的辐射安全进行评估，包括中子剂量监测和伽马剂量监测。环境监测系统主要评估装置运行对工作场所和周边环境产生的影响，包括表面污染监测、流出物监测、环境介质取样、伽马谱仪测量等。

同时，需要制定合理的辐射安全管理条例，对工作人员的手工维护时间、月累积剂量、作业方案，对放射性废物的处理处置等进行科学合理的设计与规范，确保工作人员和公众的辐射安全。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“辐射工作场所分区”规定，将辐射工作场所分为控制区和监督区。

控制区是需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射范围的区域。甲级非密封放射性工作场所控制区将根据《开放型放射性物质实验室辐射防

护设计规范》（EJ380-1989）进一步细化控制区。

监督区是通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

5.3.3.2 辐射屏蔽设计

本项目I类射线装置部分涉及一台束流能量为300 MeV，打靶功率为200 kW的质子加速器和靶站。加速器束流与加速器部件、靶站、屏蔽体等发生核反应产生大量次级粒子，产生瞬发辐射与感生放射性，可能使人员和周围环境受到照射。与此同时，甲级非密封放射性工作场所涉及放射性物料贮存、分装等区域，存在放射性物质泄漏扩散风险。因此，需要通过设计合理的屏蔽结构、制定作业方案等，保证加速器、靶站以及甲级非密封放射性工作场所控制区外的辐射水平满足要求，在合理可行且尽可能低的原则下减少装置对人员和环境的辐射影响，确保辐射安全。

辐射屏蔽设计主要使用蒙特卡罗程序FLUKA和经验公式对瞬发辐射场和感生辐射场进行模拟计算。

（1）设计原则

本项目设计遵循辐射防护原则，即实践的正当性、辐射防护的最优化、个人剂量的限制。对工作人员和周围居民的照射低于国家规定的剂量限值并保持在可合理达到的尽可能低的水平。

本项目屏蔽设计需满足以下剂量管理限值：

1）辐射分区按散裂中子源的划分原则，分为控制区和监督区两部分，控制区包括：靶前隧道、辐照间、靶热室、各放化热室等，剂量率大于等于2.5 uSv/h；监督区包括：屏蔽体外工作场所，剂量率限值为2.5 uSv/h；

2）人员对部件进行手工维护时，距离部件表面30 cm处剂量率小于1 mSv/h；

本项目对于各类人员的剂量约束值如下：

1）工作人员年剂量小于10 mSv；

2）对于短期外来实验人员，项目装置运行造成的年剂量小于0.5 mSv；

3）项目装置运行对周围公众或参观者造成的年剂量小于0.1 mSv。

（2）辐射区域：

辐射区域为图纸上辐射屏蔽墙区域，其中负三层 1470 平方米，负二层 3327 平方米，负一层 670 平方米。

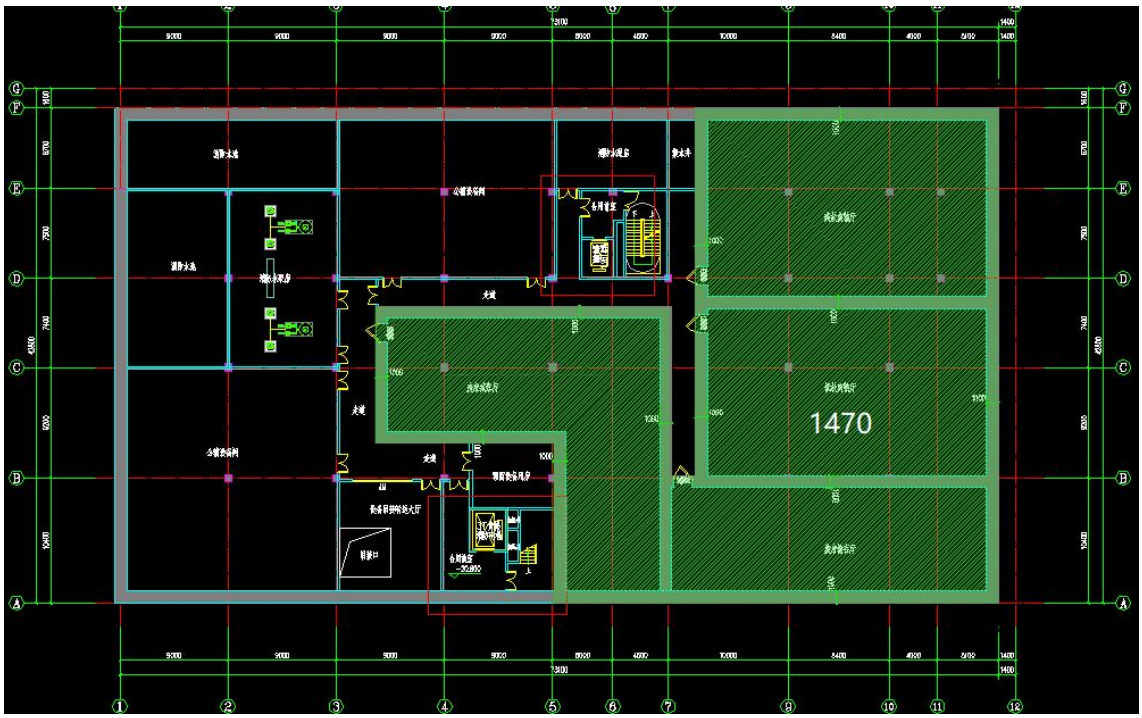


图 5.3-21 负三层辐射区域范围图

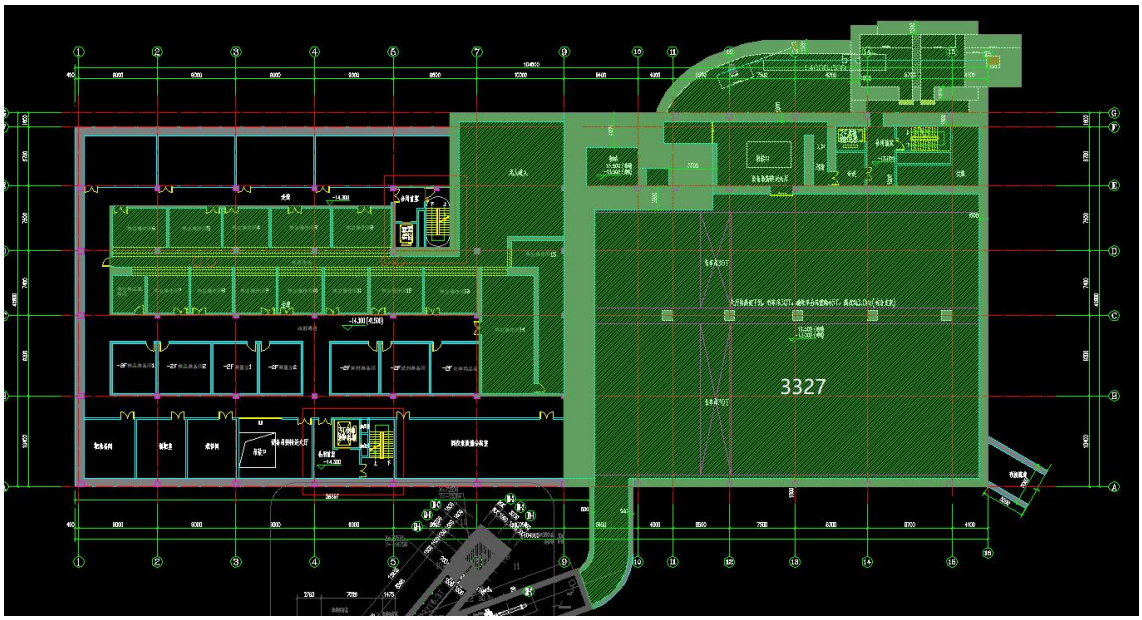


图 5.3-22 负二层辐射区域范围图

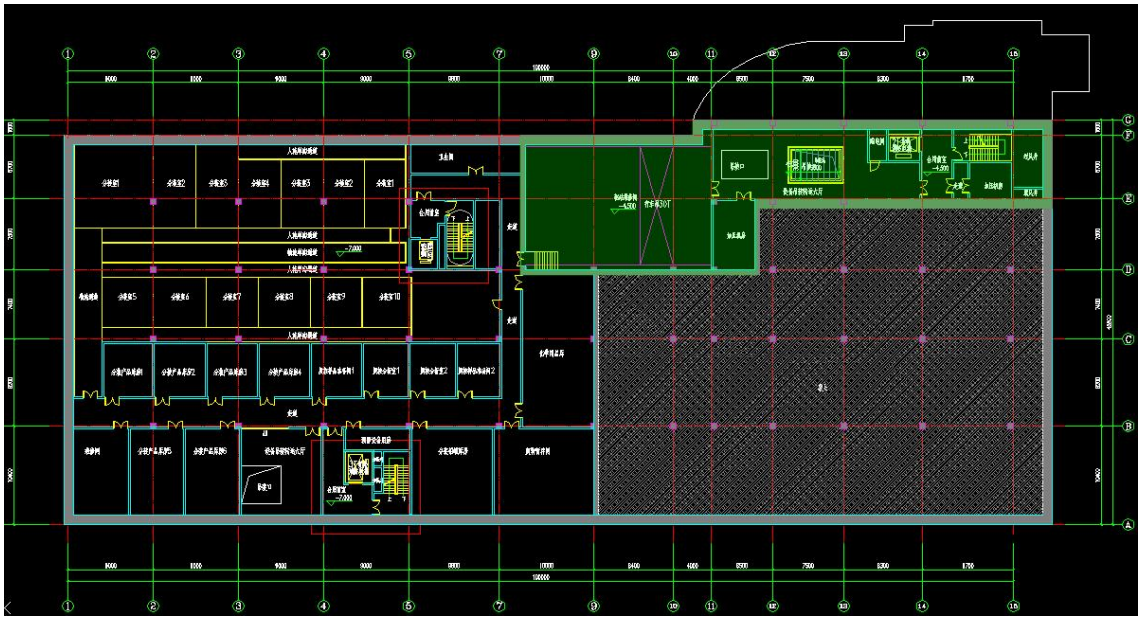


图 5.3-23　负一层辐射区域范围图

目前防护设计主体屏蔽厚度按上述辐射分区要求，已通过防护计算基本确定，缩减空间不大，但受其他设计影响，仍处于设计优化阶段，待各区域防护相关设计固定时，可同步固定辐射区域及屏蔽厚度。

（3）设计方案

1）加速器

同位素加速器隧道位于地下，以充分利用土壤层的屏蔽作用降低辐射影响。加速器由 RFQ、DTL 等构成，出口粒子能量 300 MeV。加速器隧道从现状伴生质子束末端到同位素大厅的隧道四周均为 90cm 厚的混凝土屏蔽，混凝土屏蔽外为 470cm 厚的土壤，在加速器运行时能够将隧道迷宫口、隧道上方地面瞬发剂量率控制在 2.5 μSv/h 以下。在 300 MeV、1 W/m 的质子束流损失条件下，隧道内感生放射性满足手工维护要求。

同位素加速器靶前隧道位于同位素大楼内，两侧为监督区，剂量率限值控制在 2.5 μSv/h 以下。隧道两侧的屏蔽体采用 50 cm 铁和 200 cm 的混凝土。靶前隧道末端顶部放置电子设备，要求剂量率小于 100 μSv/h，屏蔽体采用 220 cm 普通混凝土，靶前隧道底部土壤与混凝土交接面剂量限值为 5.5 mSv/h，屏蔽体采用 90 cm 厚的混凝土屏蔽。

2）同位素生产靶站

同位素靶站的瞬发辐射的防护主要考虑中子和伽马射线的屏蔽。靶站核心区是辐射剂量最高的区域，也是辐射防护屏蔽设计的重点区域之一。屏蔽材料选择对高能中子、伽马射线具有较强阻挡本领的普通碳钢、混凝土等。按照质子能量300 MeV，打靶功率 200 kW 对靶站进行屏蔽设计。其屏蔽结构为：①靶站左侧（靶热室侧）设置为控制区 I，瞬发剂量率小于 25 μSv/h。屏蔽体采用 300 cm 的铁和 140 cm 的铁矿石混凝土（密度为 3.5 g/cm³）。②靶站右侧为监督区，屏蔽体采用 300 cm 的铁和 210 cm 的普通混凝土（密度为 2.35 g/cm³）。③靶站上方为控制区，瞬发剂量率小于 100 μSv/h，靶体顶部的屏蔽体 240 cm 铁和 180 cm 的铁矿石混凝土。④靶站底部是土壤，为防止土壤活化，剂量率小于 5.5 mSv/h，屏蔽体 240 cm 铁和 200cm 普通混凝土。⑤靶站束流下游设置钍靶冷却孔用于冷却活化后钍靶。束流下游采用 200 cm 铁和 550 cm 混凝土。⑥靶站束流上游采用 200 cm 铁和 220 cm 铁矿石混凝土屏蔽。

计算结果如下图所示，在加速器 200 kW 打靶运行时，靶站左右两侧的剂量率在 2.5 μSv/h 以下，满足辐射剂量率限值要求。

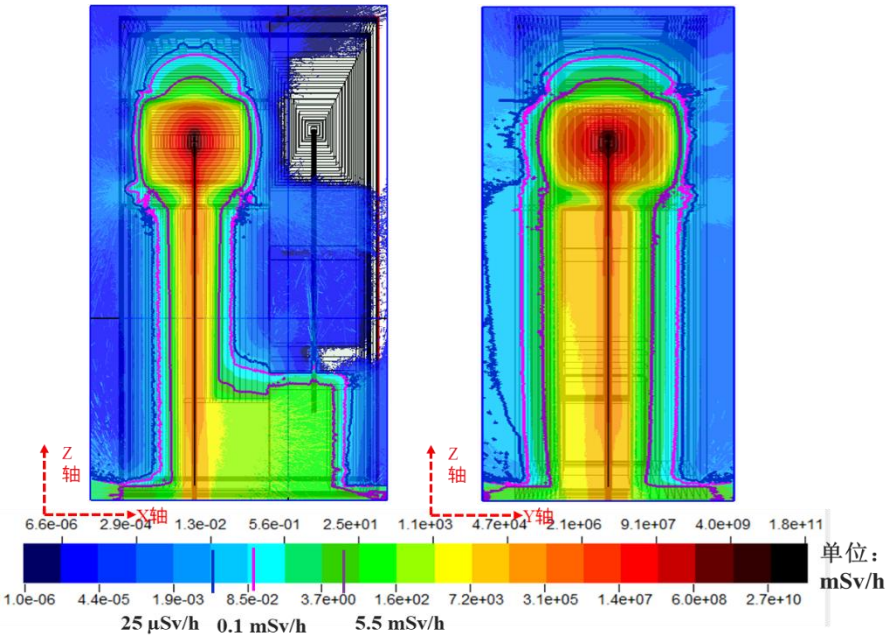


图 5.3-24 靶站瞬发剂量率水平方向（左图），竖直方向（右图）

3）辐照实验终端

辐照实验终端是开展中能质子轰击钍靶的基础反应过程和机制实验研究的设

施，同时也是辐照获取小剂量目标同位素的设施，为解靶、分离和纯化工艺研究提供辐照条件。辐照终端包括废束站、传输线、实验终端及束流条件和测量等部分。

考虑到建设成本及目标同位素单次产额需求，辐照实验终端设计承受的束流功率上限为 1 kW，最高能质子能量 300 MeV，能量可以在 100-300 MeV 之间调节。辐照实验终端的布局如下图所示，分为两个实验厅，前面一个实验厅 1 为低本底实验厅，用于核反应过程的实验研究，控制从废束站反冲回来的中子和伽马本底，下游实验厅 2 为高剂量辐照厅，用于辐照样品产生目标同位素，可以为开展离线伽马测量、分离和纯化的实验研究提供辐照条件。在低本底实验厅上游束线上布置降能器，实现束流能量在 100-300 MeV 之间调节。在高本底实验厅的末端放置废束站，用于吸收剩余废束。

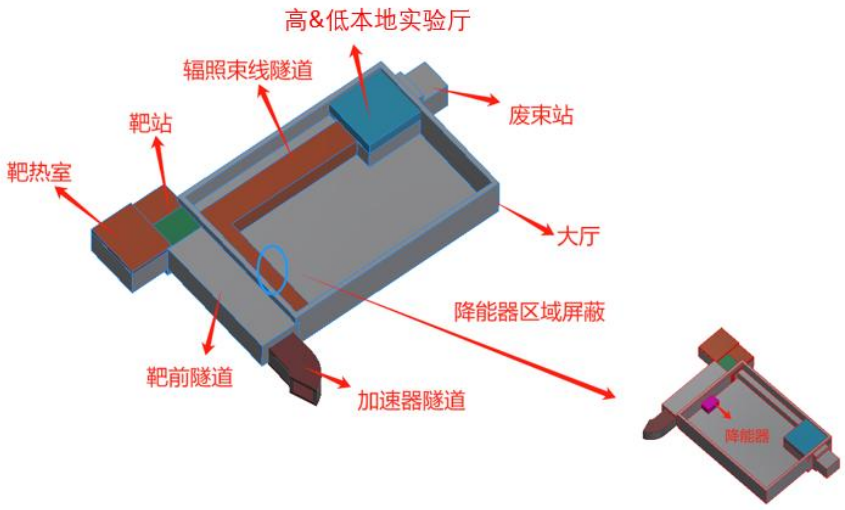


图 5.3-25 靶站和辐照实验终端布局

低本底实验厅和高本底屏蔽结构为：①实验厅左侧设置为监督区，瞬发剂量率小于 2.5 μSv/h。屏蔽体采用 30 cm 的铁和 400 cm 普通混凝土。②实验厅右侧屏蔽体采用 30 cm 的铁和 300 cm 的普通混凝土。③实验厅上方为土壤，瞬发剂量率小于 5.5 mSv/h，靶体顶部的屏蔽体 30 cm 铁和 300 cm 的普通混凝土。④实验厅底部是土壤，剂量限值 5.5 mSv/h，屏蔽体 30 cm 铁和 300 cm 的普通混凝土。⑤高本底实验厅束流下游设置废束站。废束站四周均采用 60 cm 铁和 300 cm 混凝土屏蔽。⑥高本底和低本底实验厅通过 200 cm 普通混凝土屏蔽。⑦低本底实验厅束流上游

采用 200 cm 混凝土屏蔽。

4）辐照束线隧道

辐照束线隧道与同位素靶前隧道接壤处，辐照束线隧道左侧与高功率靶站共用屏蔽体。辐照束线隧道右侧、顶部和底部均为控制区，剂量限值控制在 5.5 mSv/h 以下。辐照束线隧道右侧的屏蔽体采用 90 cm 的普通混凝土。辐照束线隧道靠近楼梯间一侧为监督区，瞬发剂量限值为 2.5 μSv/h，该处的屏蔽体加厚处理。屏蔽体采用 350 cm 普通混凝土。

辐照束线隧道处有降能器，质子束流损失约 500 w，降能器外部要求剂量限值小于 5.5 mSv/h，降能器顶部、底部、左侧和右侧的屏蔽体均采用 100cm 铁和 110cm 普通混凝土。

5）靶热室

靶热室主要用于辐照后钍靶的解靶操作，其辐射防护设计需重点考虑钍靶中感生放射性核素所发射的γ射线。钍靶经高能质子照射后将产生多种放射性核素，具有较高的总放射性活度。根据模拟计算结果，钍靶在冷却 6 天后总放射性活度约为 3500 Ci。表 5.3.3-1 中列出了主要放射性核素及其相应活度数据，并结合各核素的γ射线剂量率常数，通过下列公式计算了对周围辐射环境的贡献。

$$I(x)=\sum_{i} A_i \cdot \delta_i \cdot e^{-\mu x}$$

公式中，I(x）为距离源项 处的γ剂量率（单位：μSv/h 或 Gy/h），A_i为第 种放射性核素的活度，δ_i为第 种放射性核素的γ剂量率常数，μ 为屏蔽材料对应γ射线的线性衰减系数，x 核素到目标点的距离，e-μx 表示γ射线在穿透距离 的屏蔽材料后强度的衰减，$\sum_i$表示对所有重要放射性核素的累加贡献。

靶热室外部划为监督区，为满足其辐射屏蔽要求，屏蔽结构设计如下：侧壁采用厚度为 100 cm 的铁矿石混凝土，以增强对高能γ射线的屏蔽效果；顶部则采用 150 cm 厚的普通混凝土，以兼顾结构强度和辐射防护性能。上述屏蔽配置旨在有效控制监督区的γ剂量率，确保其满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的相关限值要求。

表 5.3-21 钍靶活化核素

核素质量数 A	核素质子数 Z	核素名称	核素半衰期（s）	200kW，核素的活度（MBq）	γ剂量率常数((mSv/h)/MBq)
72	30	Zn	1.67E+05	1.40E+05	1.86E-05
72	31	Ga	5.08E+04	2.01E+05	3.90E-04
77	33	As	1.40E+05	4.32E+05	1.69E-06
82	35	Br	1.27E+05	1.00E+05	4.36E-04
86	37	Rb	1.61E+06	3.48E+05	1.46E-05
89	38	Sr	4.37E+06	1.86E+06	2.21E-08
90	39	Y	2.31E+05	3.55E+05	0.00E+00
91	39	Y	5.06E+06	1.74E+06	5.40E-07
95	40	Zr	5.53E+06	1.63E+06	1.25E-04
97	40	Zr	6.08E+04	5.56E+04	2.91E-05
95	41	Nb	3.02E+06	5.92E+05	1.30E-04
96	41	Nb	8.41E+04	7.72E+04	4.11E-04
99	42	Mo	2.37E+05	5.47E+06	3.05E-05
103	44	Ru	3.39E+06	3.92E+06	8.96E-05
106	44	Ru	3.23E+07	4.75E+05	3.70E-05
105	45	Rh	1.27E+05	3.09E+06	1.59E-05
106	45	Rh	2.98E+01	4.75E+05	3.70E-05
112	46	Pd	7.57E+04	3.55E+05	3.02E-04
111	47	Ag	6.44E+05	1.26E+07	5.33E-06
112	47	Ag	1.13E+04	4.17E+05	7.37E-05
115	48	Cd	1.93E+05	4.97E+06	4.03E-05
121	50	Sn	9.74E+04	5.54E+05	0.00E+00
125	50	Sn	8.33E+05	9.08E+05	4.66E-05
119	51	Sb	1.38E+05	1.02E+05	4.03E-05
122	51	Sb	2.33E+05	8.40E+05	8.14E-05
124	51	Sb	5.20E+06	3.74E+05	2.86E-04
126	51	Sb	1.08E+06	5.79E+05	4.84E-04
127	51	Sb	3.33E+05	2.39E+06	1.20E-04
127	52	Te	3.37E+04	2.65E+06	9.43E-07
129	52	Te	4.18E+03	2.14E+05	1.83E-05
129m	52	Te	2.90E+06	2.13E+05	1.99E-05
132	52	Te	2.77E+05	1.28E+06	7.55E-05
126	53	I	1.13E+06	3.78E+05	1.05E-04
131	53	I	6.95E+05	3.39E+06	7.64E-05
132	53	I	8.26E+03	1.31E+06	3.84E-04
133	53	I	7.49E+04	9.40E+04	1.09E-04
133	54	Xe	4.53E+05	4.65E+06	2.78E-05
131	55	Cs	8.37E+05	3.12E+05	3.36E-05

核素质量数 A	核素质子数 Z	核素名称	核素半衰期（s）	200kW，核素的活度（MBq）	γ剂量率常数((mSv/h)/MBq)
132	55	Cs	5.60E+05	3.85E+05	1.55E-04
136	55	Cs	1.14E+06	8.21E+05	3.63E-04
140	56	Ba	1.10E+06	2.71E+06	4.41E-05
140	57	La	1.45E+05	3.16E+06	3.42E-04
141	58	Ce	2.81E+06	1.64E+06	1.98E-05
143	58	Ce	1.19E+05	5.82E+05	6.89E-05
144	58	Ce	2.46E+07	1.64E+05	6.30E-06
143	59	Pr	1.17E+06	2.67E+06	1.52E-06
144	59	Pr	1.04E+03	1.64E+05	4.55E-06
147	60	Nd	9.49E+05	1.50E+06	3.75E-05
149	61	Pm	1.91E+05	5.70E+05	2.31E-06
151	61	Pm	1.02E+05	7.38E+04	7.08E-05
153	62	Sm	1.67E+05	1.40E+05	2.44E-05
207	81	Tl	2.86E+02	1.52E+06	3.52E-07
208	81	Tl	1.83E+02	1.08E+06	4.50E-04
203	s	Pb	1.87E+05	1.77E+05	4.07E-05
209	82	Pb	1.17E+04	2.85E+06	0.00E+00
211	82	Pb	2.17E+03	1.52E+06	9.82E-06
212	82	Pb	3.83E+04	2.83E+06	7.39E-05
205	83	Bi	1.32E+06	4.56E+05	2.35E-05
206	83	Bi	5.39E+05	1.43E+06	6.80E-04
210	83	Bi	4.33E+05	2.30E+06	0.00E+00
211	83	Bi	1.28E+02	1.52E+06	1.27E-05
212	83	Bi	3.63E+03	2.64E+06	5.25E-05
213	83	Bi	2.74E+03	2.98E+06	3.14E-05
217	85	At	3.23E-02	2.85E+06	4.29E-08
218	86	Rn	3.50E-02	2.74E+05	4.29E-08
219	86	Rn	3.96E+00	1.52E+06	1.42E-05
220	86	Rn	5.56E+01	2.64E+06	9.61E-08
221	87	Fr	2.94E+02	2.85E+06	1.19E-05
222	88	Ra	3.80E+01	2.74E+05	2.12E-06
223	88	Ra	9.88E+05	1.52E+06	8.79E-05
224	88	Ra	3.16E+05	2.64E+06	2.97E-06
225	88	Ra	1.29E+06	2.98E+06	4.16E-05
225	89	Ac	8.64E+05	2.85E+06	5.17E-05
226	89	Ac	1.06E+05	3.13E+05	2.97E-06
226	90	Th	1.84E+03	2.74E+05	1.82E-05
227	90	Th	1.62E+06	2.33E+06	1.15E-04
228	90	Th	6.03E+07	2.89E+05	2.14E-05

核素质量数 A	核素质子数 Z	核素名称	核素半衰期（s）	200kW，核素的活度（MBq）	γ剂量率常数((mSv/h)/MBq)
231	90	Th	9.19E+04	2.35E+06	1.47E-04
230	91	Pa	1.50E+06	1.93E+05	2.39E-04
233	91	Pa	2.33E+06	5.32E+06	1.34E-04

6）甲级放射化学实验室

甲级放射化学实验室主要用于钍靶中目标放射性核素的分离与纯化。每次操作所处理的钍靶质量不超过 50 g，总放射性活度小于 600 Ci。依据主要放射性核素的γ剂量率常数，对其可能产生的γ辐射剂量进行评估，并据此进行屏蔽设计，以确保操作区域和周边环境的辐射水平满足相关防护标准。

在实验操作过程中，γ射线为主要的外照射来源。为有效控制热室外的γ剂量率在 2.5 μSv/h 以下，并兼顾操作的可视化需求，热室前部设置厚度为 20 cm 的铅玻璃屏蔽结构。钍靶在实验室内部的输运过程采用 20 cm 厚的铅罐进行屏蔽，确保操作人员在转运和装卸过程中的辐射暴露处于可接受范围。

此外，为满足监督区的剂量限值要求，甲级放射化学实验室后室墙体采用 40 cm 厚的普通混凝土进行屏蔽，即可有效削减高能γ射线的穿透，保障周边区域的辐射安全。

（4）可行性分析

本项目屏蔽设计采用经验公式计算与蒙特卡罗模拟的方法，蒙特卡罗模拟程序包括 FLUKA、MCNPX 等。天空散射采用 SKYSHINE 软件包计算。设计方法先进可靠，据此设计的屏蔽墙厚度满足安全要求。

5.3.3.3 人身安全联锁系统设计

本项目建造人身安全联锁系统（PPS），用于控制、监视人员出入辐射工作场所，避免出现辐照事故和污染物扩散事件，保障人员和放射性物质安全。

（1）设计依据

人身安全联锁系统的建造必须符合粒子加速器和开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范等相关规定，主要包括：

1）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 709 号，2019 年 3 月 22 日修正版）；

2）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 7 号，

2019 年 8 月 22 日第三次修正版，2021 年 1 月经生态环境部令第 20 号修改）；

3）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行）；

4）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；

5）《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989，1989 年 10 月 1 日起实施）；

6）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；

（2）设计方案

本项目涉及 I 类射线装置和甲级非密封放射性物质工作场所，鉴于两者风险特性存在显著差异，人身安全联锁系统需针对其各自特点进行差异化设计。

射线装置部分涉及加速器隧道、热室、靶心等区域，需要设置安全联锁，保障相关人员出入联锁控制区时的人身安全，避免出现辐照事故。安全联锁系统由联锁 PLC 系统、联锁门禁系统、联锁钥匙系统和计算机监控平台四部分组成，其中，联锁 PLC 系统在同位素大楼设置 1 个本地站，并与现有的 CSNS 中央控制站连通，同位素本地站独立监控下属的联锁门、联锁钥匙、紧急停机装置、搜索清场装置、声光警示装置等联锁设备；联锁门禁系统利用与联锁 PLC 系统的信号交互实现区域管制功能，主要设备包括接入门禁控制器、现场门禁控制器、电磁门锁、门磁开关、I/O 信号交换装置等门禁控制设备，还包括摄像机、硬盘录像机、语音喇叭、LED/LCD 显示屏等监控和状态发布设备；联锁钥匙系统采用了一种机械式钥匙交换系统，其核心设备是若干组有置换、互锁关系的安全钥匙，危险源安全钥匙与联锁门的主钥匙为同一把钥匙，人员进入控制区时，联锁门主钥匙会被带走用以置换人员进入需要携带的次级安全钥匙，人员不归还次级安全钥匙，危险源安全钥匙就无法置换，从而保证了在控制区内有人时危险源无法开机；计算机监控平台设置在中央控制室，用于对运行中各类事件信息（状态变化、故障、报警、通讯异常等）进行显示、存储；对各联锁设备的运行状态进行实时监控显示，涉及的设备包括服务器机柜、刀片服务器、计算机、交换机、显示屏，以及各类专业软件等。

甲级非密封放射性物质工作场所主要是同位素生产线、外包发货间、放射性

污物暂存间及放射性物料库房等区域。为限制无关人员进入非密封放射性物质工作场所，在人流出入门设置安全门禁系统，防止非授权人员进入，并对进入辐射工作场所的授权人员进行统计和管理。因存在放射性物质扩散、吸入或体表污染等风险，需将通风系统与出入口门禁联锁，确保通风系统正常运行且维持负压状态时，人员方可进入。具体门禁设置要求如下：①辐射工作场所的人流、物流出入口设置门禁；②在不同危险程度的区域交界处设置，如控制区与监督区、监督区与普通区设置隔离门禁；③在各操作间设置门禁；④在放射性物质存放间设置门禁系统和机械门锁。

为满足安全生产需要，本项目在各个放射性物质工作场所（含I类射线装置和甲级非密封放射性物质工作场所）出入口设置视频监控系统，可为工作人员及操作人员提供必要、直观的图像信息；视频监控系统可对进出口、厂界、重要区域进行监控，防止非法人员进入，保障生产人员、放射性物质的安全。放射性物质工作场所视频监控系统主机放置在控制室，摄像机设置在门厅、生产线、操作间、外包发货间、走廊、放射性污物暂存间及放射性物料库房等。

（3）设备配置

人身安全联锁系统设备可大致分为安全联锁控制系统、门禁系统、视频监控系统三个部分。

安全联锁控制系统主要用于I类射线装置束流联锁控制区，同时兼顾甲级非密封放射性物质工作场所区域的通风联锁与分级管控需求。该系统可进一步细分为PLC联锁系统（含PLC，紧急停机、搜索清场、声光报警等）；联锁门禁系统（含双机热备服务器和接入控制器，出入读卡器，摄像机，NVR等）；联锁钥匙系统（含钥匙交换装置、联锁门综合控制柜）等。

视频监控系统与门禁系统联动，主要配置在甲级非密封放射性物质工作场所区域，并与I类射线装置区域的联锁门禁系统集成管理。该系统要满足安全功能和高可靠性要求，主要包含：①支持门点互锁功能；②配置双机热备服务器和接入控制器；③支持单门双向，具有出入读卡器；④配置摄像机，NVR等设备；⑤关键管控设备带过流，过压，防雷，防反接，防短路保护。

综合射线装置区域和甲级非密封放射性物质工作场所区域的需求，人身安全

联锁系统配置安全联锁装置 9 套；配置控制区门禁与视频监控装置 100 套。

（4）技术要求

人身安全联锁系统核心要求是保障人员出入工作场所时的辐射安全，同时，必须保证系统自身的高稳定性和高可靠性，基本要求包括：

1）安全设施完备：具备相关规定中要求的开机联锁钥匙、门禁控制器、门位置检测开关、紧急开门按钮、语音声光提示、信息显示、紧急停机装置、搜索清场装置、视频监控设备等多重安全设施，并且在“最优切断”“失效安全”“硬件最可靠”的设计原则下对关键安全设备和信号进行冗余设置。

2）控制逻辑完善：辐射工作场所包含若干个相对独立又相互关联的控制区，除了需要根据危险源不同设置好 PPS 内部的控制逻辑外，还要同时设置好与加速器、靶体、通风等设备的控制逻辑。

3）标识标牌清楚：相关安全设备均张贴使用说明标识标牌，标识标牌要醒目，内容简单明了，容易理解和操作。

4）易于扩展：系统需要根据未来进一步发展的需求预留一定的扩展接口。

5）管理制度完善：对运行和检修维护人员定期进行培训及考核，制定系列操作规程并要求严格遵守。

（5）可行性分析：同位素装置人身安全联锁系统以可编程逻辑控制器（PLC）技术、门禁控制技术、钥匙联锁技术、视频监控技术为基础；以束流和放射性物质限制体系为核心，以多媒体技术（广播对讲、语音声光提示、信息显示等）为载体，利用计算机监控平台对系统信息进行集中管理，实现了系统的分布式自动控制。这些技术在各领域已得到了广泛的应用和发展。系统的方案设计参照了同类装置的设计和运行经验，所使用的核心技术已经过验证。因此，本系统的设计方案完整，技术路线可行。

5.3.3.4 辐射剂量监测系统设计

为了对本项目工作场所和周边环境的辐射水平进行持续监测，需要设计建造实时辐射剂量监测系统。系统集成了辐射剂量探测、数据采集、存储以及监控界面。当屏蔽体结构缺陷、束流损失异常、放射性物质遗撒等因素造成局部辐射剂量超标时发出告警，便于工作人员及时撤离，保障人身安全。同时，系统的测量

数据还是评估工作人员受照射水平、验证屏蔽效果，监测装置运行状态的重要依据。

（1）辐射场特点与监测点设置原则

本项目的质子能量为300MeV，质子在加速、输运、能量选择和束流截面调节过程中不可避免地要发生束流损失，损失的质子与周围物质发生相互作用，在强子级联过程中，产生蒸发中子及级联中子，并且使原子核激发，产生瞬发γ射线，同时产生感生放射性。甲级非密封放射性工作场所的放射性物质同样需要实时监测，以保证其安全。本装置辐射场特点和探测器要求如下：

1）中子、γ混合辐射场

本装置屏蔽内外的辐射场均为中子、γ混合场，主要是中子，其次是γ。因此要求中子、γ监测器具有很强的中子、γ分辨能力。即中子监测器对γ不灵敏，γ监测器对中子不灵敏。

2）高能中子

质子与厚靶相互作用，发生强子级联，最终形成的中子能谱，由以下三部分组成：级联中子，蒸发中子和热中子。对于屏蔽内外的剂量贡献主要是中子，而高能中子（特别是能量大于20 MeV的中子）贡献占50%以上。因此，要求中子剂量监测器的能量响应在20 MeV左右最灵敏。当前通用的中子雷姆计数器，中子能量在15~20 MeV时，灵敏度最高，所以选择该类型的中子剂量监测器。

3）γ光子

可测能量范围从50 keV的X射线到3 MeV的γ射线；量程范围覆盖从环境本底值到50 mSv/h的6 个量级。

4）剂量水平变化范围大

本项目探测器既要应用于I类射线装置，也要应用于甲级放化实验室区域，同时，屏蔽内外中子 、γ剂量水平变化范围较大，因此要求探测器有较宽的测量范围，即能测量出天然中子 、γ本底水平（天然中子本底水平约为3 nSv/h，天然γ本底水平约为100 nSv/h），又能在较强的辐射场中有正确响应。一般用一种类型探测器很难达到要求，需采用两种不同灵敏度的探测器。

5）抗电磁干扰

本项目在运行时，部分区域的周围环境存在电磁干扰，因此要求监测器具有抗电磁干扰能力。

6）远距离传输

对本项目来说，监测点距数据采集系统距离较远，因此要求监测器本身具有远距离传输信号的能力。

工作场所辐射剂量监测系统关注的是工作人员的受照射情况，需要根据工作人员的活动特点和辐射场情况决定监测点的分布。其中几类位置是重点监测对象：一类是高辐射水平场所的出入口，这类位置的监测点可以让工作人员在进入高辐射水平场所之前先认识场所内的辐射场强度，避免误入造成的过量照射；一类是临近高辐射水平场所人员活动密集的位置，有工作人员长时间在这些位置附近工作，需要实时监测辐射剂量率，确保工作环境安全。

（2）设计方案

场所剂量监测系统主要由场所/环境剂量监测器、数据传输系统及数据采集与控制系统组成，如下图。监测点的监测器对场所/环境的剂量率进行实时监测，剂量监测数据经过数据传输系统，传送至系统的采集和控制中心，最终实现阈值报警、信息存储/发布及相关控制功能。具体功能包括：1） 监测主装置区域内及周围环境的辐射剂量。2） 按照各实验区的要求，实现报警、联锁功能。3） 实现数据存储、事件记录和数据发布功能。

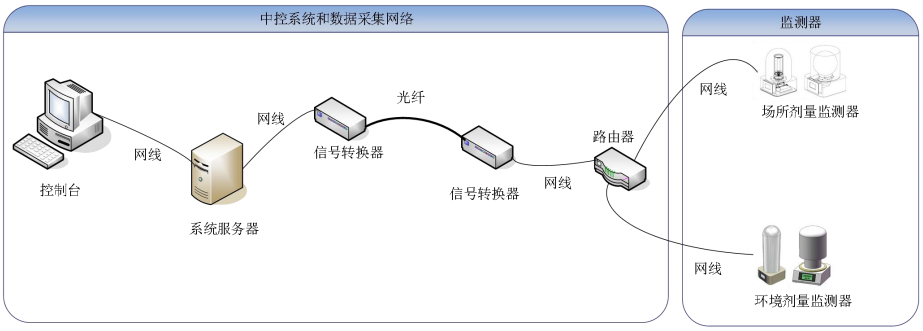


图 5.3-26 剂量监测系统

监测点处的剂量监测器的实时剂量监测数据，需要经过数据传输系统传输至中央控制室数据库。系统服务器与工作场所辐射剂量监测器采用以太网连接及光纤传输的方式，形成数据传输网络，实现数据传输和远程控制。

数据采集与控制系统的设计如下图，采用分布式结构，由采集站、数据库、

计算站和客户端四个功能模块构成。各模块相互独立，可以在同一台主机上运行，也可以分别在不同的主机上运行，提高了软件的数据安全性和可扩展性，使软件的维护和使用更加便捷。

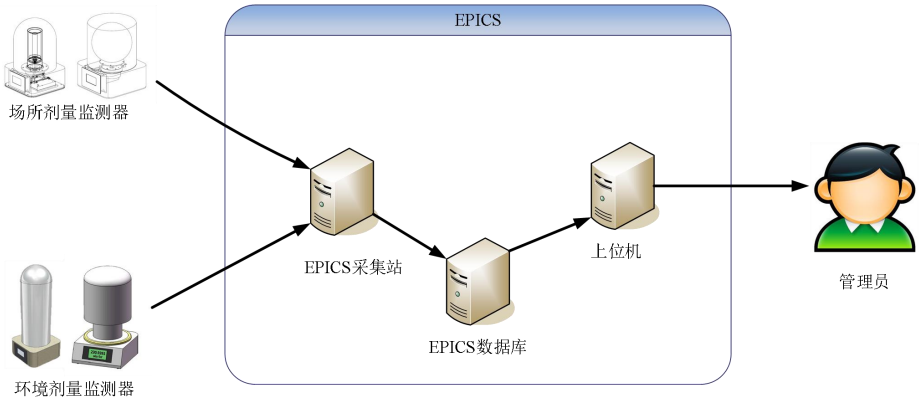


图 5.3-27 数据采集与控制系统设计框图

数据采集管理软件各模块功能如下：

1）采集站实现数据采集和上传的功能，在系统运行时通过数据采集网络逐个访问监测器，采集监测器的测量值，并将数据传送到数据库储存。此外采集站还可以查看监测器参数，并上传至客户端，使管理员可以实现对监测器的远程管理。

2）数据库实现数据的存储和调用功能。

3）计算站实现数据分析功能，管理员通过客户端向计算站下达分析指令，计算站根据指令调用数据库的数据进行分析，并将分析结果反馈给客户端。

4）客户端提供数据采集管理系统的人机交互界面，担负系统管理的功能。客户端可以安装在任意计算机上，通过网络与系统中控机连接，通过访问计算站、采集站等其他功能模块实现管理功能。

5）系统管理软件功能包括剂量总览、区域剂量显示、监测点/监测区域管理、用户管理、报警管理、数据分析和监测器 IP 地址及参数设置等。

6）剂量总览功能以列表形式显示系统全部区域各监测点当前剂量率测量值。

7）区域剂量显示功能采用分区域的方式显示监测点所在位置和当前剂量值。

8）监测点/监测区域管理界面用于对监测点/监测区域进行增、删、修改操作，使系统在监测点/监测区域发生变动时可以进行相应的调整。

9）管理功能包括用户权限查询、密码修改、增加/删除用户等，使用权限分为

管理员和值班员 2 级。

10）数据分析功能包括任意数量的监测点在任意时间段内的测量数据导出功能、极值和均值计算、生成对比图等功能。

本地数据采集控制中心将与 EPICS 控制系统实现串行或并行，监测数据可间接或直接传送至控制网，实现剂量联锁与运行控制的相关功能。

（3）设备参数

1）场所中子剂量监测器

灵敏度：0.5～0.7 nSv/pulse；

测量范围：0.01 μSv/h～100 mSv/h；

能量响应：0.025 eV～17 MeV；

温度漂移：（-50 C～400 C）小于 5%；

总不确定度：小于 15%。

2）场所γ剂量监测器

灵敏度：0.2～0.5 nSv/pulse；

测量范围：0.09 μSv/h～50 mSv/h；

能量响应：50 KeV～3 MeV；

温度漂移：（-50 C～400 C）小于 5%；

总不确定度：小于 10%。

3）环境中子探测器

测量范围：1.5 nSv/h～100 μSv/h；

能量响应：0.025 eV～5 MeV；

灵敏度：0.015 nSv/Pulse。

4）环境γ探测器

测量范围：0.1 μSv/h～500 μSv/h；

能量响应：50 KeV～3 MeV；

灵敏度：0.15 nSv/Pulse。

（4）设备采购

本项目场所剂量监测系统拟在同位素大楼设置 1 个本地站，并与现有的剂量

监测系统连通，同位素本地站独立监控下属的各剂量监测设备。拟采购 9 套中子/伽马场所剂量监测器及附属配件（场所剂量监测系统）。因项目处于 CSNS 园区，采用 CSNS 现有的环境剂量监测器进行环境辐射监测，无需采购环境剂量监测器。

（5）可行性分析

剂量监测系统的设计方案在 CSNS、HEPS 等装置采用，经过长期运行证明此方案是安全可靠的。设计方案完善，技术路线可行。

5.3.3.5 个人剂量监测系统设计

个人剂量监测系统通过对相关工作人员进入控制区受到的外照射个人剂量进行监测，对收集的数据进行评价，保障工作人员的辐射安全。

（1）系统构成

个人剂量监测采用个人剂量计和个人剂量报警仪两种仪器。

个人剂量计发放给放射性工作人员佩戴，可同时测量光子和中子个人剂量，定期（每季度）监测放射性工作人员受到的光子和中子外照射剂量，及时发现异常的监测结果，以保证放射性工作人员的年剂量满足管理目标值。个人剂量计拟采用光致发光测量系统（Optically Stimulated Luminescence，OSL）监测光子外照射剂量，拟采用 CR-39 固体径迹探测系统监测中子外照射剂量。

个人剂量报警仪是配发给在剂量率较大处工作的放射性工作人员（如辐射热点区域）和没有个人剂量计的外来参观人员。佩戴具有实时剂量率和累积剂量显示和报警功能的个人剂量报警仪，可以实时监测和评估人员的单次和短期受照剂量，防止短时剂量超过管理限值。

（2）技术参数

1）OSL 伽马剂量片

对 X、γ探测能量范围为 5 keV~20 MeV；对β射线探测能量范围为 150 keV~10 MeV；剂量探测范围为 0.01 mSv~10 Sv。

2）CR-39 中子剂量片

热中子，<0.5 eV；探测下限：0.10 mSv；

快中子，40 keV~35 MeV，探测下限：0.20 mSv。

3）Polimaster PM1603 个人剂量报警仪

剂量率探测范围为 0.01 μSv/h ~6.5 Sv/h；

剂量探测范围为 0.01 μSv ~9.99 Sv；

对γ探测能量范围为 0.48 MeV~3 MeV。

（3）可行性分析

本项目的个人剂量监测系统设计方案参考国内外同类装置进行设计。本项目的辐射场明确，监测手段有效。因此，可以采用该系统方案进行监测是可行的。

5.3.3.6 环境监测系统设计

项目调试和运行中产生的初始和次级粒子可能使部件、管道等设备，冷却水、空气，以及隧道周围的土壤和地下水发生活化，产生放射性核素。非密封放射性物质操作可能导致放射性核素不可控而对工作人员造成伤害；放射性核素的流出可能对工作周围环境产生辐射影响。环境监测系统通过对项目装置或周边环境的表面、土壤、地下水、空气等进行监测，确保项目产生的放射性废物对周边环境的影响在国家标准允许的安全可控范围内，减少项目对工作人员和周边环境的辐射影响。

（1）系统构成

环境监测系统由表面污染监测系统、流出物监测系统、场所空气监测系统及便携式辐射监测仪器等构成。

1）表面污染监测用于检测人员沾污情况，避免表面污染物扩散和转移。系统由门式表面污染监测仪、手脚沾污仪、网络及中控主机构成，能够提供相关区域人员表面污染监测功能。门式表面污染监测仪能够快速、准确地给出工作人员表面α、β和γ的活度水平。建立应急消洗间，用于污染人员应急消洗，人员污染，经应急消洗后再次检测合格才能出控制区。

2）在运行时，通过烟囱排出气载的放射性污染物，或通过管道、水渠排入污水接纳体的液态放射性污染物称为放射性流出物。为了控制和评价装置放射性流出物对周围环境的辐射影响，需要对流出物进行采样、分析或测量。水、气流出物放射性监测由地下水取样水井、土壤取样点和空气活化监测系统构成。

3）除上述固定区域的辐射监测仪器外，还需要对可能出现辐射的区域进行巡测，要求配置必要的便携或移动式辐射监测仪器，这些仪器包括环境级γ剂量率仪、

便携式表面污染监测仪、便携式气氚检测仪、便携式中子剂量率仪等。

（2）设计原则

在项目设计阶段，采用蒙特卡罗程序（FLUKA）对感生放射性进行详细计算分析，结合国际上通用的经验公式，可以初步确定加速器隧道里的磁铁、靶等设备、冷却水、空气、隧道周围土壤和地下水所发生的活化情况（包括确定核素种类、产额、活度浓度、年排放量等）；通过靶中核素模拟情况及处理靶生产放射性核素各工艺流程核算出各区域处理非密封放射源情况，并根据设计要求优化屏蔽设计和通风系统参数。项目环评阶段，将对项目所在场所的环境本底进行放射性监测，测量其总α、β、γ的活度，以及主要放射性核素的种类及浓度。项目建设和运行阶段，在项目周边建立地下水、土壤等取样点，按相关法规和标准要求对环境影响进行监测；同时，对项目运行和退役所产生的各种活化废物的外照射剂量率进行测量，对废物的总活度、核素种类及其比活度，进行取样测量和分析，根据测量结果进行分类处理，确保项目运行对周边环境的辐射影响安全、可控。

基于以上项目设计、建造、运行及退役的自然过程，考虑实际建造、运行过程中监测需求，设计原则如下：

1）源项匹配：所用的监测设备和监测手段应能与所检测的源项的类型、量程、测量实效相匹配。

2）失效告警：系统关键设备出现故障或失效时能避免出现失控性后果，应有明显的报警状态，提示值班人员。

3）抗干扰性强：高温、尘土等环境恶劣的情况下应选择合适的仪器，保障系统运行的稳定性。

4）数据保证：在线式仪器仪表应尽可能传输到中央控制室等核心控制区域统一管理，并对数据进行可靠的存储。

5）简单可靠：面向其他工作人员的仪器仪表应操作简单，并有相应的提示语音及文字。

（3）设计方案

参考同类装置的设计和运行经验，项目主要设计建造方案如下：

1）表面污染监测：表面污染监测方案采用门式污染监测仪、手脚沾污仪监测

和重点区域取样检测相结合的方式。人员活动的密集区的控制区的出入口，为保护工作人员的安全，同时提高测量效率，在出入口设置手门式污染监测仪，在人员活动较为密集的控制区出入口设置手脚沾污仪，人员活动相对较少的区域设置便携式表面污染监测仪，同时设置应急消洗间，清洗废水排入专门的收集罐，经第三方检测合格后排放。

2）水、气流出物放射性监测：流出物监测的目标探测下限往往比较低。所以在选择测量方式方法时应首先考虑探测下限的需求。

隧道及靶站等控制区内的空气和磁铁冷却系统的水中的伽马核素的活度浓度测量采用γ能谱法。隧道内空气中气体放射性浓度监测采用同加速器运行同步的在线连续测量。磁铁冷却系统水的活化浓度采用离线采样测量，伽马谱仪需配备专门的液氮回凝制冷装置，处理数据用专用多道分析器和 PC 机实现。空气中气溶胶α、β活度浓度检测需要使用低本底α、β计数器。空气中的氚采用在线式气氚检测仪直接测量，对于时效性较低的气氚浓度测量可以采用气氚采样仪收集后使用液体闪烁体谱仪进行测量。

上述仪器需建立相应的测量实验室及制样室或监控室。

3）便携式辐射监测仪器：除上述固定区域的辐射监测仪器外，还需要对可能存在辐射影响的区域进行巡测，因此需要配置便携或移动式辐射监测仪器仪表。对于γ剂量测量，范围涵盖 nSv 到 mSv 量级，需要采用包含环境级探头的γ剂量探测器；同时还需要对表面活度、中子剂量进行测量，需要使用的仪器包括环境级伽马剂量率仪、便携式表面污染监测仪、便携式气氚测量仪。

4）环境介质中放射性活度监测：根据国家有关规定，本项目在运行前应进行环境本底调查，目的在于评价项目对环境的影响，确定环境中辐射和放射性本底水平及变化规律。

（A）监测对象和取样点的布置：对该装置周围的土壤、水和植物的放射性水平进行监测；对装置周边主要农作物进行监测。监测对象和取样点的布置：

（a）在本装置围墙外主导风向的下风向最近的标志性植物样品和土壤样。

（b）在离装置最近的水库中取水样。

（c）在装置的环境监测站内（或附近）水井中取地下水水样。

（B）监测方法：

（a） 测量环境介质样品中的总β（或去钾）。

（b）用高纯锗探测器配上低本底铅室，对环境介质样品进行γ谱分析。

（c）运行前的本底调查。

项目环境影响报告书中应给出的辐射环境调查结果，即厂址未进行任何开挖情况下的测量结果，将来工程施工开挖后其结果可能会有变化。本装置建设完成后，在运行前将会再次进行辐射环境质量的调查，以作为环境本底的基础数据。调查将请有资质的单位进行，调查的内容为γ剂量率和土壤中放射性比活度。

（4）设备参数

1）空气活化监测系统

空气活化监测系统自主研发，主要测量对象为空气中的γ放射性核素。

对于 Co-60 标准点源的 1331 keV 特征峰，探测系统分辨率<8%。置信水平为95%时，探测系统对 511 keV 和 1293.6keV 的最低探测下限（MDC）分别为 144.52 Bq/m^3和 152.29 Bq/m^3。

2）表面污染检测仪 CoMo170（德国 SEA）

探测器：带有 ZnS 层的塑料闪烁体，探头面积 170 cm^2；

阈值：α、β的阈值可以选用 c/s、Bq 或 Bq/cm^2单位进行编程设置；

效率（2π）： Cs^{-137}，35%；Am^{-241}，22%；U^{-238}，26%。

3）手脚沾污仪 HFM100

探测器：带有 ZnS 层的塑料闪烁体，铝膜；

探测射线：α/β；

效率： ^{239}Pu 手部≥30% ，脚部≥30% ，^{90}Sr-^{90}Y，手部≥30% 脚部≥30%。

4）便携式气氚测量仪 Tyne7043

直接探测下限不低于 400Bq/L

5）γ剂量率仪 6150AD5H+AD-b

量程：0 μSv/h-1Sv/h，

能量范围：45 keV~3 MeV，

在环境级范围内有较好的稳定性。

6）门式污染监测仪

探测限：α≤0.037Bq/c ㎡，β≤0.37Bq/c ㎡，γ(60Co) ：≤ 800 Bq

7）低本底αβ计数器

每个计数抽屉有四个探测器，高效率的流气式正比计数器，探测器直径：5.7cm，本底：总α、β：≤0.80 cpm，α：≤0.05 cpm，β：≤0.75 cpm， 效率：α（210 Po）≥40%，β（90Sr/90Y）≥45%， 串扰：α对β<1.0% (210Po），α坪斜≤2.5%/100 V；坪长≥800 V，β坪斜≤2.5%/100 V；坪长≥200 V，样品计数率：500 000 cpm，死时间丢失的计数<1.5%，计数时间预设：0.1—9999 m

8）液氮回凝制冷机

液氮罐容积：25L，在探测器处于冷却状态后，液氮罐充满的状态下，可保证两年或更长的时间不需要充液氮。（运行过程中未出现断电情况）全球顶级斯特林压缩机制造商（sunpower 公司）平均无故障时间大于 20 万小时自带感应与控制元件，以文字或数字形式显示如下信息：是否在液氮循环状态；当前液氮水平配备安全泄压阀，保证设备不会因断电导致压力过高而导致危险匹配 UPS 电源等配件。 噪声：1m 处小于 60 分贝 接近零维护

9）在线气氚监测系统

直接探测下限不低于 40 Bq/L

10）在线式气溶胶监测系统

测量对象：α、β；测量范围：α10^{-2}~3.7*10^{6}/Bq/m^{3}；β1.0~3.7*10^{6}/Bq/m^{3}；

（5）可行性分析

环境监测系统设计方案所采用的方案和主要仪器设备都已成熟，调研显示目前该方案涉及的主要设备都处于稳定可靠运行状态，证明方案切实可行。

5.3.3.7 极早期火灾报警系统设计

极早期火灾报警系统通过分布在探测区域采样管网上的采样孔，将空气样品抽吸到探测报警器内进行分析，在火灾发生的初期发现火情，防止和减少火灾危害，保护人身和财产安全。

（1）设计原则

极早期火灾报警系统设计时，需参考《吸气式感烟火灾探测报警系统设计、

施工及验收规范》《火灾自动报警系统设计规范》和《火灾自动报警系统施工及验收规范》等国家法律法规，以满足系统性能要求。具体设计原则如下：

1）系统设备应采用经国家消防产品质量监督检验机构检验合格的产品。

2）报警器具有复位、消音、自检等功能，可以独立使用，可对报警信号进行本地或远程输出。

3）在进行系统设计时，应根据被保护区域的大小、环境状况、被保护对象的位置及防护等级，选择适合的探测器。当一台探测器保护多个探测区域时，同一探测器所保护的不同探测区域的环境条件应一致。

4）应选用具有多级烟雾报警输出并具有气流故障报警功能的探测器。

5）吸气式烟雾探测器的工作状态应在消防控制室或值班室中集中显示。

（2）系统构成

项目极早期火灾报警系统包括 24 台极早期火灾报警设备、24 套采样管网、一台控制主机（搭载配套软件），系统架构如下图所示。系统通过分布在探测区域的采样管网上的采样孔，将空气样品抽吸到探测报警器内进行分析，并显示出所保护区域的烟雾浓度、报警、故障等状态。

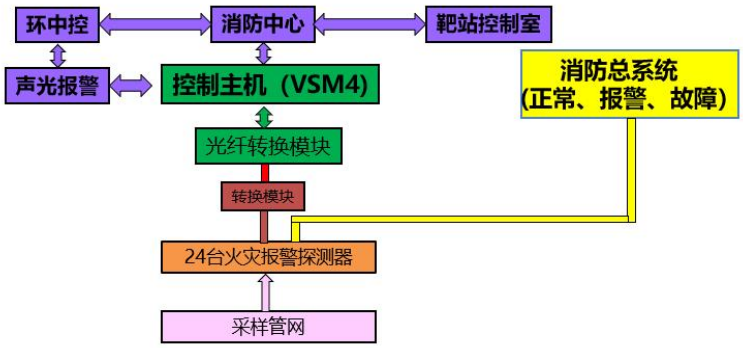


图 5.3-28 极早期火灾报警系统架构图

（3）技术参数

极早期火灾报警系统关键参数如下：

1）灵敏范围：0.001%～20%obs/m

2）单根采样管敷设长度：100 m

3）上位机配套可编程软件：VSC/VSM44

5）采样管尺寸：外径 25 mm，内径 21 mm

6）采样孔数量：单管 36 个

7）采样孔径：非末端采样孔直径 2.0 mm，末端采样孔直径 4.0 mm

8）报警阈值总数：4 个

（4）可行性分析

极早期火灾报警系统设计方案已广泛应用于国内外各类放射性工作场所，经过长时间运行，证明方案成熟可靠。设计方案完善，技术路线可行。

5.3.4 管线迁改方案

参照中国散裂中子源二期工程项目管线成果图，主要管线迁改如下：

序号	管线	单位	工程量
1	DN100 球墨铸铁管给水管	m	150
2	DN300 球墨铸铁管给水管	m	300
3	DN150 球墨铸铁管给水管	m	600
4	DN250 球墨铸铁管污水管	m	60
5	2800*2300 钢筋混凝土雨水管	m	120
6	铜 DN100 1/1 1 0.38KV 电力管	m	120
7	铜 900*300 12/8 8 10KV 电力管	m	60
8	铜 DN50 通讯管	m	100
9	光纤 400*200 8/4 通讯管	m	60
10	DX32 通讯管	m	700

5.4 征地拆迁方案

本项目无需征地拆迁。

5.5 数字化方案

5.5.1 BIM 技术的应用

2021 年 12 月 12 日国务院印发的《数字经济“十四五”发展规划》中明确指出大力推进产业数字化转型和加快推动数字产业化。以建筑产业现代化方式建造的工程项目和建筑产品，内在要求须实施全过程的信息化、数字化、智能化管理，也是提高项目精准建造水平、提高建筑产品性价比、实现建筑产品全寿命期信息化、智能化运行维护管理的必然趋势。新一代信息技术，如云计算、大数据、物联网、移动互联、智慧城市、区块链、互联网+等为开展工业化和信息化融合和智慧城市建设提供技术支撑，用信息技术系统对工程项目全生命周期进行管控是必然的趋势。

BIM 技术作为一项应用于项目全生命周期的信息技术，创建和收集建设工程项目全生命周期的数据和相关信息，通过 BIM 技术构建的三维信息化模型，为建设工程项目的管理者提供项目决策的基础和实现项目信息资源共享。同时，BIM 模型的可视化操作、优化分析、模拟仿真等功能为建设工程项目中的碰撞检测、虚拟施工、紧急疏散模拟，以及工程项目的设计管理、安全管理、质量管理、进度管理、绿色施工管理等提供了可行性。



图 5.5-1　建筑工程信息化向数字化转型

BIM 技术具有可视化、协调性、模拟性、优化性和可出图性五大特点，可以完成以下工作：

（1）建筑模型

（2）场地模型

（3）管线专业的设备、管道、管件、阀门、仪表模型

（4）绿色专业模型：需要在基础模型上深化的 BIM 模型。

（5）管线综合分析：为避免现场施工时出现问题，同时合理安排各专业工种的安装工序，避免管线的碰撞打架现象、减少返工和浪费、提高施工质量，在现场施工实施之前，利用 BIM 技术进行设备三维管线综合，具有非常重要的作用。

（6）绿色健康分析：利用 BIM 技术对住宅及人才公寓的户型进行的日照、风环境、热工、噪声、视线、碳排放等进行深入分析，为业主提供绿色健康效果图、动画、报告，并为绿色营销提供专业数据基础。

（7）空气龄分析：大量研究表明，通风房间的空气品质取决于两方面：通风系统性能和室内污染物特性。为了定量评价室内气流组织的优劣，各国学者提出多种指标，如宏观空气交换率、换气效率、通风效率、净空气流量等，这些指标中的多数均与空气龄有关，空气龄已成为继温度、湿度之后评价室内空气的又一重要参数。BIM 空气龄分析的解决方法：空气龄模拟是通过计算机将自然条件下送风结合人工送风环境作为外部环境条件，建筑物 BIM 模型作为空间模型，通过 CFD 计算模拟后，得出建筑物内部各个空间空气龄的分布。

（8）人员疏散分析：发生重大突发性事故（如火灾、爆炸等）时，如何在最短时间、最短路线组织所有人员安全疏散是非常关键的问题。

（9）复杂火灾条件下烟气排放模拟：具有地上地下的综合体具有面积规模大、人员密集、建筑功能复杂等特点，发生火灾后容易导致蔓延迅速、人员疏散量大、扑救难度及财产损失大等后果，一旦发生火灾，易造成群死群伤恶性事故。其在防火分区、安全疏散、现代消防设施等方面也都具有独特性。

（10）设备应急维护系统：对于大型建筑，设备管线系统相对比较复杂，一旦发生某个设备故障，快速进行故障点的上游控制设备确定，然后在尽量小影响面的前提下，关闭上游控制设备，快速修复故障设备，尽快恢复系统正常，是物业应急管理中重要的一环。

（11）通过应用 BIM 技术，可在以下方面进一步提升设计质量：

1）数据唯一、信息关联；

2）一处变更、处处自动修改；

3）参数化控制；

4）各专业三维模型合并；

5）自动碰撞检查；

6）三维视图红线标注。

5.5.2 本项目 BIM 技术的应用

为保障建设工程项目的技术可靠性和经济合理性，督促设计进度和保证设计文件深度。本项目拟推进建筑信息模型（BIM）技术在工程建设项目设计、施工和运维阶段的应用。

5.5.2.1 设计阶段

1.BIM 正向设计：设计核心的相关工作在 BIM 的工作框架下完成，以 BIM 的思维和工作方式进行设计工作，尤其是专业内协同和专业间协同，设计相关信息通过 BIM 模型承载，通过该模型，应用 BIM 技术应用可分层次、分阶段、分专业，完成设计阶段的逐项应用。即 BIM 技术用到建筑设计各专业中做 BIM 正向设计，BIM 正向设计主要指直接采用三维协同设计，通过模型直接得到所需的图纸、报表、视图、数据等。

2.空间与管线设计：利用三维 BIM 技术，可以得到真实的三维空间与各种管道间的空间关系。

3.管线碰撞检测：三维设计结构可以进行自动碰撞检测，包括管线与建筑、管线与结构，管线之间的碰撞问题，都可以通过电脑进行检测，从而大大地提高检测效率和检测的准确性。

4.可视化、参数化建模：三维设计可以让所有的项目参与人员都能够直观地看到设计的过程和成果，三维模型需包含几何及非几何信息，如材料信息、尺寸、设备参数等（禁止涉及供应厂家信息），让以往复杂难懂的 CAD 平面设计变成简单易懂的三维可视化设计，让繁杂的线条变成真实的建筑构件和设备管线，让大量的平面图纸变成全专业的三维模型，从而让专业人员与非专业人员能够进行无障碍的交流和沟通。三维可视化的沟通方式大大减少了因交流不畅而导致的误解，三维模型后期亦可满足施工阶段及运维要求。

5.分析及计算：基于 BIM 技术进行设计分析及计算，如基地现况建模分析、建筑性能分析、绿色健康分析（光、热、音、能耗等）、CFD 计算、突发性事件

疏散模拟、交通及人流分析等。

6.工程量统计及投资分析。

5.5.2.2 施工阶段

沿用设计阶段 BIM 模型成果，在施工阶段进行施工指导、现场管理等应用。开发完成 BIM 信息化管理系统（与临时设施搭建同步完成），纳入智慧工地功能，对施工实施阶段进行全过程信息化管理。包含但不限于以下要求：

1.工程分析与仿真：运用 BIM 模型进行模拟施工动画制作并指导施工。根据施工阶段需求，在过程中进行结构分析、机械分析、负载力分析、应力分析、几何分析、活荷载分析、结构系统和参数分析、活载和静载结构分析等应用。

2.场地布置：现场利用规划进行工地空间使用规划、工作区安全规划、施工安全分析、塔吊及人货梯定位分析等。

3.进度管控：结合 BIM 信息模型，进行施工进度管控及分析、进度可视化应用（现场无人机、现场监控、计划模型等）。

4.设备与材料管理：运用 BIM 信息化管理系统，对特种设备、重大型施工机械、材料进场验收、材料堆放进行管理应用。

5.智慧工地：结合 BIM 信息模型，对施工现场进行人员管理（GIS 定位安全帽）、能耗监控、场地区域监控、塔吊管理、人货梯管理等智慧工地应用。

6.安全及质量管控：结合 BIM 信息模型，运用 BIM 信息化管理系统（含 PC 及移动端），对施工现场的安全及质量问题进行管理，明确责任整改单位，对问题的整改全过程进行跟踪及监督。

5.5.2.3 运维阶段

针对本项目特点，在确认 BIM 应用于实务的可行性后，营运维护阶段初步应用包含但不限于以下运用：

1.建立 BIM 营运系统（BIM 三维楼控管理系统），纳入安全及突发事件追踪，灾害应变规划、能源监控等应用。

2.资产管理（设施资产管理、GIS 资产追踪、收费和设施管理）。

3.空间管理（使用空间管理、设施空间使用管理、空间管理及追踪）。

5.6 建设管理方案

5.6.1 建设管理模式

东莞市科技局是项目主管单位，散裂中子源科学中心是项目单位，东莞市城建工程管理局是项目集中建设管理单位。

5.6.2 建设组织模式和机构设置

5.6.2.1 建设组织模式

项目采用经理部统筹决策、分总体实施、办公室协调的架构，确保工程按要求完成：

1．经理部（顶层决策）：统筹项目全周期资源配置、重大技术决策及跨领域协同，对建设目标（进度、质量、安全）负总责。

2．四大分总体（纵向实施）：按专业领域（加速器、靶站、分离纯化、公用设施）划分，各自承担领域内“系统设计－设备采购－安装调试”全流程任务，通过“分总体主任负责制”落实建设责任，同时接受双办公室的横向管控，形成 “纵向专业深耕+横向协同补位”的矩阵运行机制。

3．办公室（横向协同）：

(1) 工程办公室：聚焦工程进度、施工协调、资源调度，保障各分总体建设任务按节点推进；

(2) 技术安全办公室：在工程经理部的领导下，负责工程相关的安全、环境等管控。

5.6.2.2 机构设置与职责分工

1．经理部：统筹项目全周期资源配置、重大技术决策及跨领域协同，对建设目标（进度、质量、安全）承担总责。

2．工程办公室：跟踪各分总体建设进度，协调施工资源（人力、设备）及分总体间界面衔接，统筹管理，保障里程碑节点落地。

3．技术安全办公室：主导技术方案评审（如加速器束流参数、靶站辐射防护标准），制定核安全、施工安全规范，开展过程技术监督与质量验收，确保建设符合科研及核工业标准。

4．加速器分总体：负责伴生质子束站扩建相关工程，涵盖束流物理、直线常温腔、前端、真空等子系统的设计、建设与调试。

5．靶站分总体：负责高功率靶站及叠层靶研制相关工程，涵盖机械、低温、辐照终端、质量分离等子系统的技术实施与系统集成。

6．分离纯化分总体：负责诊疗核素的分离与纯化工艺系统建设，涵盖分离纯化、试剂制备、GMP 分装、放废处理等子系统的工艺开发与产线搭建。

7．公用设施分总体（含土建）：负责项目配套公用工程及土建施工，涵盖建筑电气、结构、供配电、工艺水冷、通风空调等子系统的设计与建设。

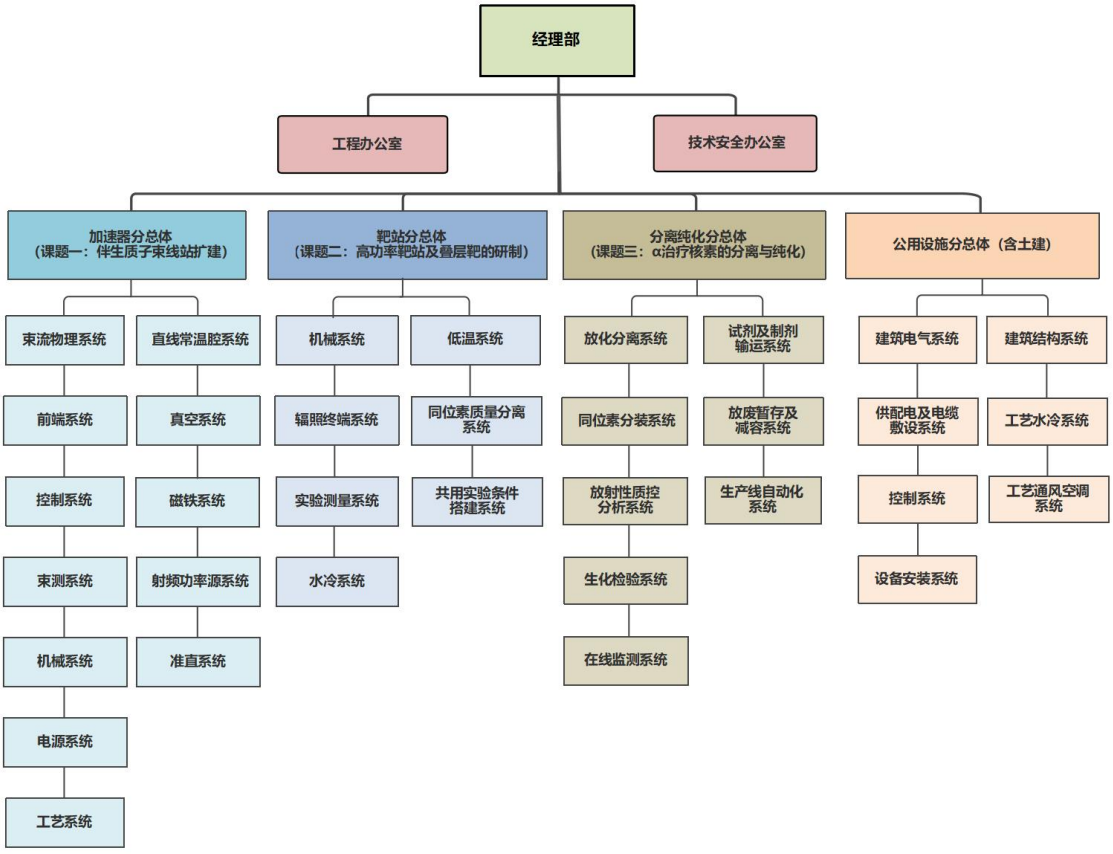


图 5.6-1 机构设置与职责分工

5.6.3 质量、安全管理方案和验收标准

5.6.3.1 质量安全管理

采用矩阵式管理架构，设立经理部统筹决策，工程办与技术安全办协同管控，四大分总体（加速器、靶站、分离纯化、公用设施）纵向实施，落实“分总体主

任负责制”。

根据工程需要，逐步建立质量管理、财务管理、档案管理等相关制度。

5.6.3.2 技术安全管控

技术安全办公室负责主导技术方案评审、安全规范制定及过程监督，确保建设符合核安全、工艺标准要求。

5.6.3.3 验收标准

参照大科学工程验收要求，遵守散裂中子源科学中心设备、建筑、材料、服务等验收规定，开展验收工作。

5.6.4 高质量建设的技术措施

5.6.4.1 关键技术攻关

聚焦高能质子束线稳定性、靶站热平衡设计、多维色谱分离等核心技术，联合中科院高能所、核工业企业开展产学研协同攻关。

5.6.4.2 设备国产化

优先采购国产高功率速调管、耐辐照探测器等关键设备，降低对进口依赖，如采用国产激光共振电离系统实现高纯核素分离。

5.6.4.3 施工过程控制

质子应用产业化平台建设施工过程控制需以“精密化、专业化、安全化”为核心，通过全流程的技术交底、工序管控与专项检测，确保建筑实体与相关设备的高度适配，最终满足医疗功能与辐射安全要求。建议项目团队引入具备相关特殊工程经验的监理单位，强化对关键节点的把控。

5.6.5 时间节点安排

项目建设期约 3 年 6 月，计划从 2026 年 1 月至 2029 年 6 月。

前期工作及设计阶段为 2026 年 1 月至 10 月，土建及装修工期为 2026 年 10 月至 2029 年 6 月。

项目工艺技术工期约 6 年，计划从 2025 年 12 月至 2031 年 12 月。

具体如下：

2025 年 12 月至 2026 年 12 月：初步掌握镭-223、锕-225 等医用同位素的批量化生产，实现镭-223、锕-225 百毫居里年产能。

2026 年 12 月至 2027 年 12 月：完成镭-223、锕-225 的分离中试、铅-212 小试验证，建立相应质量控制体系；

2027 年 12 月至 2028 年 12 月：完成镭-223、锕-225 等医用同位素分离纯化的中试验证及自动化分离工艺设计；

2028 年 12 月至 2031 年 12 月：实现百居里镭-223、锕-225 和铅-212/铋-212 的年产能技术验证并实现批量供应。

5.6.6 招标方案

5.6.6.1 招标范围

本项目招标范围包括勘察设计、监理、建筑安装工程施工、设备材料及其他服务采购等。

5.6.6.2 招标组织形式

按照《中华人民共和国招标投标法》《必须招标的工程项目规定》等法律法规和相关部门规章，组织实施招标，规范招标投标行为。

5.6.6.3 招标方式

依照《中华人民共和国招标投标法实施条例》的规定，必须进行招标的项目中，国有资金占控股或者主导地位的依法必须进行招标的项目，应当公开招标，应当公开招标；采用公开招标方式的费用占项目合同金额的比例过大的情况下，可以邀请招标。因此，本项目拟采用公开招标的招标方式。

表 5.6-1 质子应用产业化平台招标基本情况

招标内容	招标范围		招标组织形式		招标方式		不采用招标方式	合同估算额（万元）	备注
	全部招标	部分招标	委托招标	自行招标	公开招标	邀请招标			
工程设计	√		√		√			详见投资估算表	
工程勘察	√		√		√				
工程监理	√		√		√				
建安工程	√		√		√				
设备及安装		√	√		√				
重要材料		√	√		√				
其他									
情况说明：根据《中华人民共和国招标投标法》、国家发改委 16 号令、《广东省实施<中华人民共和国招标投标法>办法》相关规定：施工单项合同估算价在 400 万元人民币以上的；重要设备、材料等货物的采购，单项合同估算价在 200 万元人民币以上的；勘察、设计、监理等服务的采购，单项合同估算价在 100 万元人民币以上的，应按规定进行招标。 建设单位盖章： 年　　月　　日									

5.6.7 建设管理模式

建设管理模式需以专项“目标清、可考核、用得上、有影响”的总体要求为指引，结合本项目（α同位素量产）作为专项组成部分的定位，构建适配性管理体系。

资金管理制度遵循专项“集中财力、分类配置，放管结合、优化管理”原则，监控资金流向，确保专款用于靶站设备采购、分离纯化产线建设等核心任务，并开展年度经费绩效评估。

所有参与人员需遵守国家及中科院相关规章制度，保障项目任务顺利实施。

第六章 项目运营方案

6.1 运营模式选择

本项目建成后按照中国科学院规章制度执行。

6.2 运营组织方案

6.2.1 组织机构设置方案

公司运营后，将根据相关要求设置运营部门，保证项目高效、稳定运行，以实际运营方案为准。

6.2.2 人力资源配置方案

公司运营后，将根据需求引入管理、技术、支撑等人员。

6.2.3 员工培训需求及计划

通过系统、全面的培训，提升员工的专业知识和技能水平，增强安全意识和应急处理能力，提高团队协作效率，促进员工个人发展与组织战略目标的统一，确保平台安全、高效、稳定运营，提升核心竞争力。

1．生产操作岗位培训

设备操作与维护：新型生产设备的结构原理、操作规程、日常维护保养方法、常见故障诊断与排除技巧。

生产工艺与技术：同位素分离、合成、纯化工艺，生产过程中的质量控制要点，节能降耗技术应用。

辐射防护与安全：放射性物质的特性与危害，辐射防护原理与方法，个人防护用品的正确使用，辐射监测仪器的操作与数据解读，放射性废物处理规范。

2．质量检测岗位培训

检测仪器操作：质谱仪、色谱仪等新型检测仪器的操作流程、参数设置、校准方法、维护保养要点。

检测标准与方法：国内外最新同位素产品质量检测标准，新的检测技术和方

法，检测数据的采集、记录与处理规范。

数据分析与报告：统计学方法在质量检测数据分析中的应用，质量检测报告的撰写规范与要求，如何通过数据分析发现产品质量问题并提出改进建议。

3．安全管理岗位培训

安全法规与标准：国家和行业关于同位素生产的最新安全法规、标准和规范解读，平台内部安全管理制度修订与完善。

风险评估与隐患排查：风险评估方法与流程，安全隐患排查技巧与要点，如何制定有效的风险防控措施和隐患整改方案。

应急管理与救援：应急预案的制定与修订，应急演练的组织与实施，突发安全事故的应急响应流程，应急救援技能培训（如心肺复苏、火灾扑救等）。

4．技术研发岗位培训

前沿技术与动态：国内外同位素领域的前沿技术、研究热点和发展趋势分析，跨学科知识（如物理学、化学、生物学等）在同位素研发中的应用。

科研方法与创新：科研项目管理流程，科研论文撰写与发表技巧，创新思维培养与技术创新方法（如头脑风暴法、TRIZ 理论等）。

团队协作与交流：团队协作模式与沟通技巧，如何与外部科研机构、高校开展合作研究，学术交流活动组织与参与。

5．新入职员工培训

平台概况与文化：发展历程、组织架构、主营业务、文化理念、规章制度。

生产流程与安全：同位素厂的生产工艺流程，安全基础知识，辐射防护入门知识，安全事故案例分析。

职业素养与技能：职业素养培养（如职业道德、职业规划等），软件操作技能，基本沟通与协作能力培训。

6.2.4 项目管理措施

1．生产运营管理

（1）优化生产流程

制定标准化作业流程，明确各工序操作规范与质量要求，减少人为失误导致

的生产异常。

建立基于市场需求预测的生产计划系统，结合同位素半衰期特性，合理安排生产批次与产量。同时，实时监控生产进度，根据设备状态、原料供应等情况灵活调整计划，避免产能浪费或供应短缺。

（2）设备与技术管理

设备全生命周期管理，对加速器、反应堆、分离设备等关键生产设备建立档案，记录设备采购、安装、维护、维修等信息。定期进行预防性维护保养。

设立技术研发部门，与科研机构、高校合作开展新型同位素生产技术、高效分离纯化技术研究。

2．安全与合规管理

（1）辐射安全管控

确保生产车间、储存仓库等区域配备完善的辐射防护设施，如铅屏蔽墙、通风橱、手套箱等，并定期检测防护效果。为工作人员配备个人剂量监测仪，实时监控辐射暴露情况，确保个人剂量不超过规定限值。

制定详细的辐射事故应急预案，明确事故发生时的应急响应流程、人员职责与处置措施。定期组织应急演练，每年至少开展 2 次全流程模拟演练，提高员工应对突发辐射事故的能力，确保在事故发生时能够迅速控制局面，减少危害。

（2）合规运营管理

安排专人负责跟踪国际原子能机构（IAEA）、国家核安全局等机构发布的法规政策动态，及时将新要求传达至各部门，并组织学习培训，确保全体员工了解法规变化。

建立内部合规审查小组，定期对生产、存储、运输等环节进行合规性检查，重点核查核材料管控、放射性废物处理、许可证资质等方面是否符合法规标准。对发现的问题及时整改，避免因违规行为导致处罚或停产。

3．质量管理

（1）全流程质量控制

对采购的放射性靶材、化学试剂等原料进行严格检验，确保其纯度、放射性活度等指标符合生产要求。建立供应商评估体系，定期对供应商进行质量审核，

淘汰不合格供应商。

在生产过程中设置多个质量控制点，采用在线检测设备实时监测同位素丰度、放射性纯度、化学纯度等关键质量参数。一旦发现质量异常，立即暂停生产，分析原因并采取纠正措施。

建立专业的质量检测实验室，配备先进的检测仪器，对成品进行全面检测。做好质量追溯记录，确保产品质量可追溯。

（2）质量改进机制

定期对质量检测数据进行统计分析，运用统计学方法识别质量波动趋势与潜在问题。将分析结果反馈至生产部门，推动工艺优化与操作改进。

开展质量培训与教育活动，增强员工质量意识，鼓励员工提出质量改进建议。设立质量奖励基金，对在质量改进工作中表现突出的个人或团队给予奖励。

4．成本与供应链管理

（1）成本控制

建立全面的成本核算体系，将成本分解至生产、采购、设备维护、人力等各个环节，准确掌握成本构成。定期进行成本分析，找出成本高的环节，制定针对性的降本措施。

推广节能技术与设备应用，加强水资源循环利用，对放射性废液处理后的达标水进行回收，用于非生产性用水（如绿化灌溉），减少水资源浪费。

（2）供应链管理

拓展供应商渠道，与多个供应商建立长期合作关系，确保放射性靶材、设备零部件等关键物资的稳定供应。定期对供应商进行绩效评估，从质量、交货期、价格等方面进行综合打分，优先选择优质供应商。

建立科学的库存管理模型，根据生产计划、市场需求预测、供应商交货周期等因素，合理确定放射性靶材、成品同位素的库存水平。采用先进的库存管理系统，实现库存物资的实时监控与动态调整，避免库存积压或短缺。

5．人员与团队管理

（1）人才培养与发展

制定系统的培训计划，针对不同岗位开展专业技能培训。培训内容包括理论

知识、实际操作、安全规范等，并定期进行考核，确保员工具备岗位所需的技能。

为员工提供清晰的职业发展路径，设立技术与管理双通道晋升体系。鼓励员工通过学习与实践提升能力，对表现优秀的员工给予晋升机会或岗位调整，激发员工工作积极性与创造力。

（2）团队协作与激励

建立跨部门沟通协调会议制度，定期组织生产、质量、安全、采购等部门召开会议，解决协作过程中出现的问题，提高工作效率。推行项目制管理模式，针对重点项目组建跨部门团队，明确各成员职责，加强团队协作。

制定合理的绩效考核与奖励制度，将员工绩效与薪酬、奖金、荣誉挂钩。除物质奖励外，还可通过授予荣誉称号、提供培训深造机会等方式激励员工，营造积极向上的工作氛围。

6.3 安全保障方案

6.3.1 危害因素及危害程度分析

运营期危害因素和安全隐患分析如下表：

表 6.3-1　　运营期危害因素和程度分析表

序号	危害因素	危害现象	危害程度
1	场址内道路、走廊	道路、走廊防滑效果不好	引起人员跌倒，造成人员伤害
2	消防、电气设施	消防设施故障	引起火灾隐患，影响人身安全
		电气设备过载	引起火灾、爆炸、造成人员伤害
		供电设备故障	引起火灾、爆炸、造成人员伤害
		照明亮度不够或照明质量差	造成人员跌倒、坠落，引起伤害
3	污水处理与排水设施	排水管沉淀物发酵产生有害气体	造成养护人员伤害
		污水处理设施不达标	造成环境污染，影响人员健康
		排水系统设施不完善	影响周边环境卫生
4	放射性物质	放射性物质泄漏	对工作人员和周围环境造成辐射危害

6.3.2 安全措施

6.3.2.1 运营期安全措施

1．建筑设计指标执行相关规范及标准，主要通道地面建议采用防滑类地砖；部分窗口加装不锈钢安全栏杆。建筑设计采用大面积的窗户实现良好的采光通风，保持室内空气流通，减少循环污染概率。

2．加强内部安全保卫工作，健全责任制和各项安全管理制度。

3．认真排查各类安全事故隐患。特别是对人员集中场所的火灾隐患进行检查；注意落实周边环境整治、交通管理；注意安全责任制、规章制度的建立健全和执行情况。

4．在加速器装配大厅、三废管理中心、分离热室、GMP 厂房、靶站，实验室，热室，加速器隧道，设备大厅等危险区设置永久性“严禁烟火”标志。在危险部位设置警示牌，提醒操作人员注意；在阀门布置较集中且易误操作的地方，在阀门附近标明输送介质名称或设置明显标志。

5．为确保人身安全，对所有配电设备、用电设备和金属外壳及管线支架等金属件采用接零保护，并设置必要的工作接地系统。

6．在线同位素仪表的日常维护及放射源的安全使用，加强放射源现场使用的安全管理，防止放射源泄漏，搞好安全监护工作，发现问题及时与装备能源部联系妥善解决。

6.3.2.2 消防安全措施

1．消防应贯彻预防为主，防消结合的原则，尽量从源头上消灭火灾，将火灾危害控制在最小范围内；

2．建筑物之间的防火间距应严格按《建筑设计防火规范》的规定设计；建筑物与建筑物之间以道路、平坦空地及绿地相隔，一旦发生火灾有利于对火灾扑灭和控制；

3．项目内各类功能用房均应按《建筑灭火器配置设计规范》配备各种消防器材；

4．各用房进行内部装修时，选用的装修材料应符合《建筑内部装修设计防火规范》的规定；

严格按照《建筑设计防火规范》有关规定，对建筑物设置防火分区及安全疏散设施。项目各建筑物内设置警卫照明及疏散指示照明，建筑物内的安全通道、疏散走道、楼梯间和通行门等疏散设施都设置安全疏散标志牌和标识照明，便于寻找疏散路线，离开火灾现场，同时应注意保持安全通道的畅顺。

6.3.2.3 卫生设施与措施

1．制定环境卫生管理办法，加强建筑环境卫生管理，创造整洁的环境。

2．设备用房、卫生间等建议设置机械通风设施，换气次数按规范要求设置。

3．办公区二次供水水质应符合《生活饮用水卫生标准》（GB5740-2006）的要求，生活饮用水水箱的材质和涂料应无毒无害。二次生活给水加压泵和吸水管上建议装设紫外线消毒器，对二次供水进行消毒，防止水池（箱）二次污染，保证生活饮用水水质。

4．定期清理垃圾桶，并将垃圾交由环卫部门进行处理。

5．定期对相关设备、用品进行清洗、清洁。

6．污水、废气经处理达标后方可排放，严禁污水、废气乱排。医用同位素分离过程产生的放射性废液处理拟通过提前预留废液存储空间暂时储存再处理。

6.3.2.4 放射性物质泄漏防治措施

1．源头防控：通过多重实体屏障设计、本质安全工艺及自动防泄漏技术，确保放射源全密封管控。

2．监测预警：构建覆盖全区域的智能监测网络，实现泄漏风险分级实时报警与数据溯源。

3．运行管理：实行放射源闭环监管、高风险操作双人监护及定期安全审计制度。

4．应急响应：制定分级应急预案，常备应急物资并建立多部门联动处置机制。

5．环境责任：执行周边环境放射性核素定期监测，依法公开数据并强化公众沟通。

6．持续改进：建立事件经验反馈系统，推动 AI 预测、机器人巡检等新技术应用。

7．责任监督：明确运营单位主体责任、监管部门执法职责及第三方独立评估机制。

6.4 绩效管理方案

6.4.1 总体绩效指标

1.技术突破目标突破

开发高辐照环境下高功率靶站自动化远控技术，完成靶体更换、辐照、转运全流程自动化，在理论和实验基础上，研制针对锕$^{-225}$、镭$^{-223}$ 和铅$^{-212}$ 等同位素生产的叠层靶技术方案，掌握厚靶的冷却、装卸等同位素生产的关键技术。

研发快速、高效、稳定的辐照钍靶中多种医用核素的联合分离纯化技术，准确的质控分析技术及经济可行的放射性废液减容技术，建立镭$^{-223}$、锕$^{-225}$与铅$^{-212}$/铋$^{-212}$的批量化、自动化分离纯化工艺流程及标准化分装工艺流程，建设甲级放化生产设施，实现百居里级高纯医用α核素的年产能。

2.产能保障目标

2031 年底前建成百居里级α同位素量产基地，实现百居里镭$^{-223}$、锕$^{-225}$等核心核素自主供应。

6.4.2 绩效管理机制

1．事前绩效评估

2．结合项目审批等相关工作，对项目开展事前绩效评估，重点评估立项必要性、投入经济性、绩效目标合理性、实施方案可行性、筹资合规性等，将评估结果作为资金安排的重要参考依据。

3．绩效目标管理

4．结合相关领域和本单位实际情况，自主设置项目绩效目标。绩效目标不仅包括产出、成本，还要包括经济效益、社会效益、生态效益、可持续影响和服务对象满意度等绩效指标。

5．绩效运行监控

6．对绩效目标实现程度和预算执行进度实行“双监控”，发现问题及时纠正，

确保绩效目标如期保质实现。建立项目绩效跟踪机制，督促及时整改落实。

7．绩效评价及结果应用

8．通过自评和外部评价相结合的方式，对项目实施效果开展绩效自评，必要时可以引入第三方机构参与绩效评价。健全绩效评价结果反馈制度和绩效问题整改责任制，加强绩效评价结果应用。

6.4.3 项目直接效果

数量指标：项目拟建总建筑面积 23917 ㎡。

质量指标：项目竣工验收合格率（100%）；安全生产事故发生次数（0 次）。

时效指标：2029 年 6 月土建竣工，2031 年实现百毫居里级镭$^{-223}$、锕$^{-225}$、铅$^{-212}$医用α核素的年产能力。

成本指标：项目投资估算（125007.25 万元）。

社会效益：项目施工期间及运营期间，将为社会创造一定数量的就业岗位，解决一部分就业问题。有助于促进医用同位素发展的关键技术取得突破，加强同位素技术在医学领域得到应用，提升中国医用同位素相关产业能力水准，推动医药行业发展，保障人民的生活质量和健康水平，项目建设将带来较好的社会效益。

经济效益：项目建成后，正常使用年将产生一定的经济收入。

生态效益：符合环评要求。

可持续发展：设计使用年限（不少于 50 年）。

满意度：使社会公众、投资方及工作人员达到较满意水平。

表 6.4-1 项目绩效目标表

目标类型	目标内容
绩效总目标	1.技术突破目标突破 开发高辐照环境下高功率靶站自动化远控技术，完成靶体更换、辐照、转运全流程自动化，在理论和实验基础上，研制针对锕$^{-225}$、镭$^{-223}$ 和铅$^{-212}$ 等同位素生产的叠层靶技术方案，掌握厚靶的冷却、装卸等同位素生产的关键技术。

目标类型		目标内容
		研发快速、高效、稳定的辐照钍靶中多种医用核素的联合分离纯化技术，准确的质控分析技术及经济可行的放射性废液减容技术，建立镭$^{-223}$、锕$^{-225}$与铅$^{-212}$/铋$^{-212}$的批量化、自动化分离纯化工艺流程及标准化分装工艺流程，建设甲级放化生产设施，实现百居里级高纯医用α核素的年产能。 2.产能保障目标 2029 年 6 月前建成百居里级α同位素量产基地，实现百居里镭$^{-223}$、锕$^{-225}$等核心核素自主供应。
一级指标	二级指标	指标值
产出指标	数量指标	项目拟建总建筑面积 23917 ㎡。
	质量指标	1.项目配备高素质的科研人才，提高运营及技术水平，发挥产品社会发展效益。 2.参照大科学工程验收要求，遵守散裂中子源科学中心设备、建筑、材料、服务等验收规定，开展验收工作。 3.运维养护需满足现行国家、广东省、东莞市、有关运营维护的法律法规、规范及标准的要求。 4.项目达产后，预计核素纯度≥99.9%，放射性活度误差≤±5%，符合 GMP 全流程管理要求，按照医药工业 GMP 场所建设管理规定（C 级洁净区）执行。
	时效指标	2029 年 6 月土建竣工，2031 年实现百毫居里级镭$^{-223}$、锕$^{-225}$、铅$^{-212}$医用α核素的年产能力。
	成本指标	总投资 125007.25 万元。

目标类型		目标内容
效益指标	社会效益指标	项目施工期间及运营期间，将为社会创造一定数量的就业岗位，解决一部分就业问题。有助于促进医用同位素发展的关键技术取得突破，加强同位素技术在医学领域得到应用，提升中国医用同位素相关产业能力水准，推动医药行业发展，保障人民的生活质量和健康水平，项目建设将带来较好的社会效益。
	经济效益	项目建成后，正常使用年将产生一定的经济收入。
	可持续性	设计使用年限（不少于 50 年）
满意度指标	使用者满意度指标	与有资质的单位联合，推动下游核药的研发与临床应用，应用效果达到满意水平。

6.4.4 外部影响和可持续性管理方案

6.4.4.1 外部影响分析

1．环境影响

放射性污染风险：同位素生产过程中产生的放射性废气、废液和固体废弃物，若处理不当，会对土壤、水体和空气造成污染。

能源消耗与碳排放：同位素生产属于高能耗过程。大量电力消耗不仅带来经济成本，也产生较高的碳排放，对全球气候产生影响。

2．社会影响

公众健康与安全担忧：由于放射性物质的特殊性，同位素生产设施周边居民常对辐射风险存在担忧，易引发“邻避效应”。

医疗与科研贡献：同位素在医学诊断与治疗、工业检测、农业及科研等领域发挥关键作用。若同位素供应不足，将直接影响医疗服务质量和科研项目推进。

3．经济影响

市场波动与供应链风险：全球同位素市场高度集中，少数企业控制关键同位素的生产。一旦出现地缘政治冲突、自然灾害或企业生产事故，易引发供应短缺和价格剧烈波动，影响下游医疗、工业等行业的运营成本和发展。

产业带动效应：同位素生产产业链涵盖靶材制造、设备研发、物流运输、废物处理等环节，能够带动相关产业发展，创造就业机会，促进区域经济增长。

4．政策与法规影响

监管要求趋严：国际原子能机构（IAEA）、各国核安全局对同位素生产的安全、环保、核材料管控等方面制定严格法规。政策的频繁更新和收紧，如放射性废物排放标准的提高、核材料进出口限制的加强，会增加企业合规成本和运营难度。

政策扶持机遇：许多国家为推动医疗同位素国产化、提升核技术应用水平，出台税收优惠、研发补贴等政策，为同位素生产企业带来发展机遇。

6.4.4.2 可持续性管理方案

1．环境可持续性管理

（1）放射性废物减量化与安全处置

研发新型生产工艺，减少放射性废物产生量。建立严格的放射性废物分类体系，根据放射性强度和半衰期，将废物分为低、中、高放射性废物。低放射性废液通过衰变池贮存衰变后，经检测达标再排放；中高放射性废物固化处理后，送往国家指定的地质处置库进行安全处置。

投入研发先进的放射性废物处理技术，提高废物处理效率和安全性。

（2）节能减排与绿色生产

采用高效节能设备，引入智能能源管理系统，实时监测和优化生产过程中的电力消耗。

在条件允许的地区，为同位素生产设施配备太阳能、风能等可再生能源发电装置，降低对传统化石能源的依赖，减少碳排放。

2．社会可持续性管理

定期向公众发布同位素生产设施的辐射监测数据、安全运行情况及环境影响报告，增强公众信任。通过官方网站、社交媒体、社区公告等渠道，及时回应公

众关切。组织专家进社区、学校进行科普讲座，普及核技术应用知识和辐射安全常识，消除公众对放射性的误解和恐惧。

强化医疗与科研合作，与医疗机构、科研院所建立长期合作关系，签订稳定的同位素供应协议，确保医疗诊断和科研项目的同位素需求。建立应急储备机制，在供应短缺时优先保障关键医疗和科研用途。联合开展同位素应用研究，开发新型放射性药物、诊断试剂和检测技术，提升同位素在医疗和科研领域的应用价值，促进产业技术升级。

3．经济可持续性管理

拓展放射性靶材、设备等关键物资的供应商渠道，与多个国家和地区的企业建立合作关系，降低对单一供应商的依赖。根据市场需求和供应风险评估，建立适量的放射性靶材、成品同位素战略储备，应对突发供应中断情况。同时，与行业内其他企业建立应急互助机制，共享资源和信息。

加大对新型同位素生产技术、分离纯化技术和设备的研发投入，提高生产效率，降低生产成本。优化生产流程，加强成本核算和预算管理，严格控制原材料采购、设备维护、人员薪酬等各项成本支出。通过精益生产管理，消除生产过程中的浪费，提高资源利用效率。

4．政策与法规适应性管理

设立专门的政策研究团队，实时关注国际和国内同位素生产相关政策法规的更新，及时解读政策变化对企业的影响。 将最新政策要求融入企业的质量管理、安全管理和环境管理体系中，确保生产运营全过程符合法规标准。定期开展内部合规审计，及时发现和整改不合规问题。

积极申请政府的税收优惠、研发补贴、产业扶持资金等政策支持，降低企业运营成本，增强竞争力。根据政策导向调整企业发展战略，布局符合政策鼓励方向的业务领域。

6.4.5 影响项目绩效目标实现的关键因素

安全与合规、技术可行性、资源匹配度在本项目中往往具有“一票否决”作用，需优先纳入绩效管控核心维度。

1．安全与合规因素

（1）法规与监管合规性

（2）辐射安全与防护体系

（3）核材料管控与安保

2．技术可行性因素

（1）同位素生产工艺成熟度

（2）分离纯化技术瓶颈

（3）技术迭代与创新压力

3．资源匹配度因素

（1）人力资源专业性壁垒

（2）设备与物料供应链脆弱性

（3）资金与场地资源限制

第七章 项目投融资与财务方案

7.1 投资估算

7.1.1 投资估算范围

本项目为质子应用产业化平台，项目总投资包括工程费用、工程建设其他费用、预备费。

1．工程费用包括主体建筑工程、工艺专项工程、其他工程及室外工程。其中：主体建筑工程主要包括土建工程、电气工程、给排水工程、消防工程、通风空调工程、智能化工程及抗震支架费用等；设备及工器具购置费包括靶站分总体、分离纯化分总体、公用设施分总体及安装调试费。

2．工程建设其他费用包括建设单位管理费、工程监理费、可行性研究报告编制费、环境影响评价费、水土保持方案编制费、工程勘察费、工程设计费、工程保险费、人防异地建设费、白蚁防治费、造价咨询费及城市基础配套设施费等。

3．预备费用主要指基本预备费。

4．本项目不包括开办费、办公用品及家具等费用。

5．按照评审意见，暂不考虑建设期利息及流动资金。

7.1.2 编制依据

1．《建设项目经济评价方法与参数》（第三版）；

2．《广东省建筑与装饰工程综合定额（2018）》；

3．《广东省通用安装工程综合定额（2018）》；

4．《广东省市政工程综合定额（2018）》；

5．《广东省园林绿化工程综合定额（2018 年）》；

6．《建设工程工程量清单计价规范》（GB50500-2013）；

7．《投资项目经济咨询评估指南》（中国经济出版社出版）；

8．《市政工程投资估算编制办法》（建标〔2007〕164 号）；

9．《关于印发＜东莞市政府投资项目估算造价指标＞ 的通知》（东财〔2024〕95 号）；

10．《关于印发东莞市2026年预算编制工作方案的通知（东财〔2025〕98号）》；

11．东莞市有关近期工程造价信息；

12．主要材料设备价格参照市造价部门发布的近期材料指导价；

13．工程建设其他费用根据国家、省市有关费率指标选取。

7.1.3 编制说明

1．工程费估算方法

（1）建筑工程费分别采用定额法，投资估算指标法、实物工程量法，以及类似工程技术经济指标法相结合的方法编制；

（2）设备购置费（含工器具购置费）包括设备原价和运杂费，设备原价采用设备出厂价（市场询价），运杂费、工器具费、安装调试费按设备原价的一定百分比计算（以业主提供为主）。

2．工程建设其他费用的计取方法

（1）建设用地费：本项目不考虑建设用地费；

（2）项目建设管理费：按财政部关于印发《基本建设项目建设成本管理规定》的通知（财建〔2016〕504号）的规定计算；

（3）工程建设监理费：参考国家发展改革委、建设部关于印发《建设工程监理与相关服务收费管理规定》的通知（发改价格〔2007〕670号文）计算；

（4）项目可行性研究报告编制费：参考国家发展改革委《关于进一步放开建设项目专业服务价格的通知》（发改价格〔2015〕299 号）执行，参考国家计委《关于印发建设项目前期工作咨询收费暂行规定的通知》计价格〔1999〕1283号文计算；

（5）环境影响评价费：按国家发展改革委《关于进一步放开建设项目专业服务价格的通知》（发改价格〔2015〕299号）执行，参考国家发展改革委《关于降低部分建设项目收费标准规范收费行为等有关问题的通知》（发改价格〔2011〕534号）、国家计委及国家环保总局《关于规范环境影响咨询收费有关问题的通知》计价格〔2002〕125号文计算；

（6）社会稳定风险分析报告编制费：实行市场调节价，暂估；

（7）节能报告编制费：按《东莞市财政投资项目节能评估文件编制费用标

准》（东发改〔2014〕427 号）计算；

（8）水土保持方案编制及检测费：按《关于开发建设项目水土保持咨询服务费用计列的指导意见（试行）》（东水务函〔2012〕77 号）及《关于对东莞市开发建设项目水土保持咨询服务费用的补充意见》（东水务函〔2014〕909 号）计取；

（9）场地准备及临时设施费：根据《广东省建设工程概算编制办法》（2014），按工程费用的 0.5%暂估；

（10）工程勘察费：按国家发展改革委《关于进一步放开建设项目专业服务价格的通知》（发改价格〔2015〕299 号）及参考国家计委及建设部关于发布《工程勘察设计收费管理规定》（计价格〔2002〕10 号文）计算；

（11）工程设计费：按国家发展改革委《关于进一步放开建设项目专业服务价格的通知》（发改价格〔2015〕299 号）及参考国家计委及建设部关于发布《工程勘察设计收费管理规定》（计价格〔2002〕10 号文）计算；竣工图编制费按基本设计费 8%计取；

（12）BIM 技术服务费：《广东省建筑信息模型（BIM）技术应用费用计价参考依据（2019 年修正版）》（粤建科〔2019〕12 号）；

（13）施工图技术审查费：参照国家发展改革委《国家发展改革委关于降低部分建设项目收费标准规范收费行为等有关问题的通知》（发改价格〔2011〕534 号），施工图技术审查费按照工程勘察设计收费标准的 6.5%计取；

（14）全过程造价咨询费：按《关于调整我省建设工程造价咨询服务收费的复函》（粤价函〔2011〕742 号）计取；

（15）招标代理费：按国家发展改革委《关于进一步放开建设项目专业服务价格的通知》（发改价格〔2015〕299 号）执行，参考国家发展改革委《关于降低部分建设项目收费标准规范收费行为等有关问题的通知》（发改价格〔2011〕534 号）、国家计委《招标代理服务收费管理暂行办法》计价格〔2002〕1980 号文计算；

（16）检验监测费：根据《广东省建设工程概算编制办法》（2014），按工程费用的 1%计算；

（17）工程保险费：根据《广东省建设工程概算编制办法》（2014），按工

程费用的 1%计，按照工程费用 0.3%计取；

（18）城市基础设施建设费：按东莞市自然资源局 东莞市财政局、东莞市住房和城乡建设局关于印发《东莞市城市基础设施配套费征收管理规定（试行）》的通知》（东自然资规〔2025〕2 号；

（19）高可靠性供电费：按参考《关于降低我省高可靠性供电费用及临时接电费用征收标准的通知》（粤发改价格函〔2017〕5068 号）计取；

（20）白蚁防治费：按广东省物价局、广东省建设厅《关于白蚁防治收费管理有关问题的通知》（粤价〔2002〕370 号）计取；

（21）人防易地建设费：按《关于规范城市新建民用建筑修建防空地下室的意见》（粤府办〔2020〕27 号）、《广东省发展改革委 广东省财政厅关于调整防空地下室易地建设费收费标准的通知》（粤发改价格〔2020〕435 号）、《转发广东省发展改革委广东省财政厅 关于调整防空地下室易地建设费收费标准的通知》（东发改〔2021〕30 号）计取。

3．工程预备费的计取方法

（1）基本预备费：暂按 3%计算，基本预备费计费基数为工程费用以及不计建设用地费的工程建设其他费用之和；

（2）涨价预备费：根据《国家计委关于加强对基本建设大中型项目概算中“价差预备费”管理有关问题的通知》（计投资〔1999〕1340 号）中的规定执行，投资价格指数为零，取费为零。

7.1.4 投资估算结果

项目总投资 125007.25 万元，其中，工程费用 115907.09 万元，工程建设其他费用 5459.17 万元，预备费 3640.99 万元，项目建设管理费 0.00 万元。

表 7.1-1 项目总投资汇总表

序号	项目名称	数量	单位
一	工程费用	115907.09	万元
1	建筑工程费	26772.08	万元
2	工艺专项工程	88135.01	万元
2.1	靶站分总体	19481.17	万元
2.2	分离纯化分总体	47890.00	万元
2.3	公用设施分总体	14998.00	万元
2.4	安装调试	5765.84	万元
3	实验设施工程	1000.00	万元
二	工程建设其他费	5459.17	万元
三	预备费	3640.99	万元
四	项目建设管理费	0.00	万元
	项目总投资	**125007.25**	**万元**

表 7.1-2 项目总投资估算明细表

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
第一部分	**工程费用**					**115907.09**	**㎡**	**23917**	**48462**	**92.7%**	
一	**建筑工程费**					**26772.08**	**㎡**	**23917**	**11194**	**21.4%**	
（一）	**主体建筑工程**					**25873.01**	**㎡**	**23917**	**10818**	**20.7%**	
1	**地下室**					**18038.20**	**㎡**	**10745**	**16788**	**14.4%**	**三层整体地下室**
1.1	土石方工程					4119.05	m³	97654	422	3.3%	
1.1.1	土方工程					280.95	m³	37338	75	0.2%	
1.1.1.1	挖土方	44.81				44.81	m³	37338	12	0.0%	
1.1.1.2	利用土方填方	25.36				25.36	m³	6341	40	0.0%	
1.1.1.3	余土弃运	210.78				210.78	m³	30997	68	0.2%	外运暂按 15 公里考虑，消纳费按 9.33 元/立方米考虑。
1.1.2	石方工程					3838.10	m³	60316		3.1%	
1.1.2.1	静力爆破石方	2714.23				2714.23	m³	60316	450	2.2%	中风化岩石

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
1.1.2.2	石方弃运	1123.87				1123.87	m³	60316	186.33	0.9%	运距约 15km，含消纳费 9.33 元/立方米。
1.2	基坑支护工程	2345.35				2345.35	㎡	6701	3500	1.9%	灌注桩排桩支护+止水桩+内支撑和钢格构柱+锚索
1.3	土建工程					8885.88	㎡	10745	8270	7.1%	包括基础工程费用。
1.3.1	基础工程	623.21				623.21	㎡	10745	580	0.5%	筏板基础
1.3.2	筏板抗浮锚杆	234.75				234.75	m	7825	300	0.2%	总长度 7825 米
1.3.3	工艺厚板厚墙区域					5969.50	㎡	5467	10919.15	4.8%	地下工艺区有辐射防护要求
1.3.3.1	钢筋砼结构	5253.04				5253.04	m³	21539.98	2438.74	4.2%	地下 C35 防水混凝土，钢筋含量按 180KG/立方米综合考虑。
1.3.3.2	转换梁 H 型钢骨	163.40				163.40	t	163.40	10000	0.1%	型钢

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
											H1800x400x40x40，工程量 206.5m。
1.3.3.3	柱、墙 H 型钢骨	60.85				60.85	t	60.85	10000	0.0%	中间 5 根柱子和墙内加型钢，H800×400×40×40，工程量 127.5m。
1.3.3.4	顶板防水工程	13.09				13.09	㎡	374.00	350	0.0%	
1.3.3.5	侧墙防水工程	123.75				123.75	㎡	4950.00	250	0.1%	
1.3.3.6	底板防水工程	32.34				32.34	㎡	1617.00	200	0.0%	
1.3.3.7	防辐射屏蔽门	129.83				129.83	㎡	86.55	15000	0.1%	
1.3.3.8	铁混	192.00				192.00	m³	96.00	20000	0.2%	
1.3.3.9	铁屏蔽	1.20				1.20	t	1.00	12000	0.0%	
1.3.4	其他区域	2058.42				2058.42	㎡	5278	3900	1.6%	地下一层至三层层高分别为 7m、7.3m 及

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
											6.5m
1.4	装修工程					1048.54	㎡	10745	959.80	0.8%	洁净面积约 830 平方米。除了负三层有部分公用设施用房（975 平方米），其他均为工艺用房。
1.4.1	洁净区域	240.70				240.70	㎡	830	2900	0.2%	
1.4.2	公用设施用房	39.00				39.00	㎡	975	400	0.0%	
1.4.3	其他工艺用房	768.84				768.84	㎡	8940	860	0.6%	
1.5	安装工程					1639.38	㎡	10745	1526	1.3%	
1.5.1	给排水工程			64.47		64.47	㎡	10745	60.00	0.1%	
1.5.2	消防工程			290.12		290.12	㎡	10745	270	0.2%	包括消防栓+喷淋系统、火灾自动报警系统及气体灭火系统。B2

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
											层隧道、热室、自动化等区域因射线装置，需考虑特殊消防设计，
1.5.3	空调通风工程			193.41		193.41	㎡	10745	180	0.2%	舒适性空调（不含冷源）、通风及防排烟
1.5.4	电气工程					779.77	㎡	10745	725.70	0.6%	
1.5.4.1	工艺桥架			489.65		489.65	㎡	10745	455.70	0.4%	
1.5.4.2	照明及防雷工程			290.12		290.12	㎡	10745	270	0.2%	
1.5.5	智能化工程			236.39		236.39	㎡	10745	220	0.2%	
1.5.6	标识标志工程			21.49		21.49	㎡	10745	20	0.0%	
1.5.7	抗震支架工程			53.73		53.73	㎡	10745	50	0.0%	
2	**地上部分**					**7834.81**	**㎡**	**13172**	**5948**	**6.3%**	
2.1	土建工程	3293.00				3293.00	㎡	13172	2500	2.6%	地上建筑首层层高 8.1 米，其他三层 5.5 米。

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
	外立面工程	0.00				0.00	㎡	13172	0.00	0.0%	
2.2	装饰工程					1988.98	㎡	13172	1510	1.6%	
2.3.1	洁净区域	280.14				280.14	㎡	966	2900	0.2%	
2.3.2	其他工艺区域	1708.84				1708.84	㎡	12206	1400	1.4%	
2.3	吊车梁	80.63				80.63	吨	80	10078.83	0.1%	
2.4	安装工程					2472.20	㎡	13172	1877	2.0%	
2.4.1	给排水工程			158.06		158.06	㎡	13172	120	0.1%	
2.4.2	消防工程			372.13		372.13	㎡	13172	282.52	0.3%	消防工程主要包括消防栓+喷淋系统、火灾自动报警系统及气体灭火系统。
2.4.3	通风空调工程			237.10		237.10	㎡	13172	180	0.2%	舒适性空调（不含冷源）、通风及防排烟
2.4.4	电气工程					1061.27	㎡	13172		0.8%	

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
2.4.4.1	工艺桥架			600.25		600.25	㎡	13172	455.70	0.5%	
2.4.4.2	照明及防雷工程			461.02		461.02	㎡	13172	350	0.4%	
2.4.5	智能化工程			421.50		421.50	㎡	13172	320	0.3%	
2.4.6	电梯工程					105.00	㎡	13172		0.1%	
2.4.6.1	2 吨消防货梯		35.00			35.00	部	1	350000	0.0%	
2.4.6.2	3 吨消防货梯		43.00			43.00	部	1	430000	0.0%	
2.4.6.3	1.25 吨客梯消防梯		27.00			27.00	部	1	270000	0.0%	
2.4.7	标识标志工程			26.34		26.34	㎡	13172	20	0.0%	
2.4.8	抗震支架工程			65.86		65.86	㎡	13172	50	0.1%	
2.4.9	纯水工程			24.94		24.94	㎡	5543	45.00	0.0%	
（二）	**其他工程**					**682.86**	**㎡**	**12971.20**		**0.5%**	
1	室外管网迁移					500.36	项	1.00	5003600	0.4%	
1.1	DN100 球墨铸	19.56				19.56	m	150	1304	0.0%	

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
	铁管给水管										
1.2	DN300 球墨铸铁管给水管	52.23				52.23	m	300	1741	0.0%	
1.3	DN150 球墨铸铁管给水管	84.00				84.00	m	600	1400	0.1%	
1.4	DN250 球墨铸铁管污水管	17.15				17.15	m	60	2859	0.0%	
1.5	2800*2300 钢筋混凝土雨水管	185.47				185.47	m	120	15456	0.1%	
1.6	铜 DN100 1/1 1 0.38KV 电力管	1.80				1.80	m	120	150	0.0%	
1.7	铜 900*300 12/8 8 10KV 电力管	10.73				10.73	m	60	1788	0.0%	
1.8	铜 DN50 通讯管	1.20				1.20	m	100	120	0.0%	

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
1.9	光纤 400*200 8/4 通讯管	2.78				2.78	m	60	464	0.0%	
1.10	DX32 通讯管	125.44				125.44	m	700	1792	0.1%	
2	罐区构筑物	82.25				82.25	㎡	329	2500	0.1%	含基础、栏杆、构筑物
3	拆除钢筋混凝土墙	0.25				0.25	㎡	25	100	0.0%	与现状建筑物的连接
4	工艺防雷	100.00				100.00	项	1	1000000	0.1%	工艺要求
（三）	**室外工程**					**216.21**	**㎡**	**2973**		**0.2%**	
1	室外管网			52.03		52.03	㎡	2973	175	0.0%	
2	室外绿化工程	34.80				34.80	㎡	1740	200	0.0%	
3	室外道路广场	49.32				49.32	㎡	1233	400	0.0%	
4	外水接入费			16.80		16.80	m	150	1120	0.0%	水消防、自动喷淋和水炮水源（6 根 DN200-内外热镀锌钢管）

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
5	光伏太阳能			1.08		1.08	WP	3000	3.60	0.0%	
6	场地现有土方处理	8.45				8.45	m^3	1056	80	0.0%	运距约 15km，含消纳费
7	室外照明工程			29.73		29.73	m^2	2973	100	0.0%	
8	污水处理系统			24.00		24.00	m^3	60	4000	0.0%	工艺设备污水处理系统
二	**工艺专项工程**					**88135.01**	**㎡**	**23917**	**36850**	**70.5%**	
1	靶站分总体					19481.17	1	项	194811650.00	15.6%	详见附表
1.1	磁铁系统		1900.00			1900.00	1	项	19000000.00	1.5%	
1.2	电源系统		1901.45			1901.45	1	项	19014500.00	1.5%	
1.3	物理系统		300.00			300.00	1	项	3000000.00	0.2%	
1.4	高频系统		1480.00			1480.00	1	项	14800000.00	1.2%	
1.5	真空系统		792.00			792.00	1	项	7920000.00	0.6%	
1.6	机械系统		798.00			798.00	1	项	7980000.00	0.6%	

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
1.7	控制系统		294.62			294.62	1	项	2946150.00	0.2%	
1.8	束测系统		815.00			815.00	1	项	8150000.00	0.7%	
1.9	靶站屏蔽系统		6136.20			6136.20	1	项	61362000.00	4.9%	
1.10	防护系统		210.00			210.00	1	项	2100000.00	0.2%	
1.11	低温气冷系统		2000.00			2000.00	1	项	20000000.00	1.6%	
1.12	水冷系统		1365.00			1365.00	1	项	13650000.00	1.1%	
1.13	靶站监测系统		172.00			172.00	1	项	1720000.00	0.1%	
1.14	实验测量系统		114.90			114.90	1	项	1149000.00	0.1%	
1.15	实验室条件		54.00			54.00	1	项	540000.00	0.0%	
1.16	高纯核素分离系统		548.00			548.00	1	项	5480000.00	0.4%	
1.17	准直系统		600.00			600.00	1	项	6000000.00	0.5%	
2	分离纯化分总体					47890.00	1	项	478900000.00	38.3%	详见附表
2.1	分离纯化系统		32109.00			32109.00	1	项	321090000.00	25.7%	

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
2.2	GMP 分装系统		10139.00			10139.00	1	项	101390000.00	8.1%	
2.3	工艺研发测试系统		2657.00			2657.00	1	项	26570000.00	2.1%	
2.4	废物处置系统		1600.00			1600.00	1	项	16000000.00	1.3%	
2.5	防护系统		1385.00			1385.00	1	项	13850000.00	1.1%	
3	公用设施分总体					14998.00	1	项	149980000.00	12.0%	详见附表
3.1	供配电系统		5284.00			5284.00	1	项	52840000.00	4.2%	
3.2	工艺水冷系统		3503.00			3503.00	1	项	35030000.00	2.8%	
3.3	工艺通风空调系统		5654.00			5654.00	1	项	56540000.00	4.5%	
3.4	设备安装系统		268.00			268.00	1	项	2680000.00	0.2%	
3.5	计算机网络系统		289.00			289.00	1	项	2890000.00	0.2%	
4	安装调试			5765.84		5765.84	1	项	57658415.50	4.6%	按照设备购置费的 7% 计取

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
三	实验设施工程			1000.00		1000.00	1	项	10000000	0.8%	详见附表
第二部分	工程建设其他费用					5459.17	㎡	23917	2282.55	4.4%	
1	工程监理费				571.22	571.22				0.5%	发改价格〔2007〕670文，1.（以建筑工程+公用设施分总体）*1+（工艺专项工程-公用设施分总体）*40%+实验家具工程费用*40%为计算基数）； 2.下浮 50%。
2	前期费用					258.65				0.2%	
2.1	可行性研究报告编制				64.75	64.75				0.1%	计价格〔1999〕1283 号，下浮 30%

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
2.2	环境影响咨询服务费				150.00	150.00				0.1%	包括环境影响评价报告书编写费用约 50 万元，辐射监测费用约 20 万元，辐射安全许可证申请过程的辐射安全分析报告编写费用约 50 万元，竣工环保验收监测费用约 30 万元。
2.3	节能报告编制费				8.66	8.66				0.0%	1.按东发改〔2014〕427 号； 2.下浮 30%。
2.4	气候可行性论证费				15.16	15.16				0.0%	按东气函〔2020〕25 号计费，下浮 50%
2.5	雷电风险评估费				20.08	20.08				0.0%	粤价函〔2004〕409 号

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
											文、（粤气〔2003〕88号文），下浮50%
3	水土保持方案编制及检测费					43.03				0.0%	东发改〔2014〕427 号、东水务函〔2014〕909号）
3.1	水土保持方案编制费				13.21	13.21				0.0%	参考东水务函〔2014〕909 号文，以土建费用为计算基数，下浮30%
3.2	水土保持监测费				19.82	19.82				0.0%	按水保监〔2005〕22 号文，以土建费用为计算基数，下浮30%
3.3	水土保持设施竣工验收技术评估报告编制费				10.00	10.00				0.0%	按水保监〔2005〕22 号文

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
4	场地准备及临时设施费				133.86	133.86				0.1%	暂按 0.5%计算
5	工程勘察设计费					1794.23				1.4%	
5.1	设计费				1618.80	1618.80				1.3%	计价格〔2002〕10 号，以工程费用为设计费计算基数，下浮 30%
5.2	勘察费				175.43	175.43				0.1%	以建筑工程和公共设施费之和为计算基数，暂按 0.6%计算。
6	BIM 技术服务费				37.36	37.36				0.0%	粤建科〔2019〕12 号，下浮 50%
7	施工图技术审查费				116.62	116.62				0.1%	工程勘察费+工程设计费 6.5%计

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
8	工程造价咨询费				57.36	57.36				0.0%	按粤价〔2011〕742 号（以建筑工程和公共设施费之和为计算基数），计取工程量清单及预算编制费；下浮 50%
9	招标代理服务费					81.15				0.1%	计价格〔2002〕1980 号
9.1	工程招标代理费				69.32	69.32				0.1%	
9.2	工程勘察招标代理费				2.10	2.10				0.0%	
9.3	工程设计招标代理费				9.73	9.73				0.0%	
10	检验监测费				267.72	267.72				0.2%	按建安费 1%计算（以建筑工程费为计算基

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
											数）
11	工程保险费				125.31	125.31				0.1%	按建安费 0.3%计算以建筑工程和公共设施费之和为计算基数）
12	城市基础设施建设费				76.53	76.53				0.1%	《东莞市自然资源局 东莞市财政局 东莞市住房和城乡建设局关于重新印发东莞市城市基础设施配套费征收管理规定（试行）的通知》（东自然资规〔2025〕3 号），工业类别
13	高可靠性供电费				638.40	638.40				0.5%	粤发改价格函〔2017〕

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
											5068 号
14	白蚁防治费				7.18	7.18				0.0%	粤价〔2002〕370 号
15	人防易地建设费				583.70	583.70				0.5%	东发改〔2021〕30 号
16	特殊消防论证费				80.00	80.00				0.1%	暂估
17	职业病危害评估				100.00	100.00				0.1%	本项目属于核能中的核技术利用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发等，另外，生产过程中也存在噪声的影响。根据项目实际需求，计取职业病危害评估。

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
18	联合试运转				466.85	466.85				0.4%	设计单位在建筑、结构、各类机电等专业均需要与工艺设计深入协作，设计内容和工艺布局高度耦合，与常规设计相比工作量和难度显著提高，还需要多次长时间现场联合设计，因此按设备及安装费的 0.5%计取。
19	地震安全性评价费				20.00	20.00				0.0%	
第三部分	**预备费**					**3640.99**	**㎡**	**23917**	**1522**	**2.9%**	
1	基本预备费				3640.99	3640.99				2.9%	费率暂按 3%

序号	工程和费用名称	估算价值（万元）					技术经济指标			占总投资（%）	备注
		建筑工程费	设备购置费	安装调试费	其他费用	合计	单位	数量	单价（元）		
第四部分	**项目建设管理费**									**0.0%**	
1	建设单位管理费				0.00					0.0%	如果由法人单位建设，则增加项目建设管理费
	建设投资					**125007.25**				**100.0%**	
第五部分	**建设期利息**				**0.00**	**0.00**				**0.0%**	**按评审意见，暂不考虑**
第六部分	**流动资金**				**0.00**	**0.00**				**0.0%**	**按评审意见，暂不考虑**
第七部分	**总投资**	**22536.86**	**82474.17**	**10896.06**		**125007.25**	**㎡**	**23917**	**52267**	**100.0%**	

表 7.1-3 实验设施工程明细表

序号	名称	特征	规格	单位	数量	单价（元/个或组、台、把、套、匹）	合计（万元）
1	光学平台	阻尼隔振	2400mm×1500mm×800mm	个	10	45000	45.00
2	小光学平台	阻尼隔振	1200mm×600mm×800mm	个	10	18000	18.00
3	主控操作终端	标准台面	台面 M6 螺孔	个	30	12000	36.00
4	静电防护作业站	全钢结构，理化桌面	900mm(w)x850mm(H)	米	500	1500	75.00
5	化学通风处理单元	全钢结构，钢化玻璃可视窗，理化桌面	1mm 冷轧板，台面供电，自带高效过滤和活性炭过滤	个	12	6000	7.20
6	气瓶防爆存储单元	1.0mm 冷轧钢板，双层结构，配泄漏报警装置	1900mm（高）×1200mm（宽）×450mm	个	6	4000	2.40
7	危化品安全储存单元	耐腐蚀防爆柜 GA 机械双人双锁	22 加仑	个	12	2000	2.40
8	集中控制终端	12 位控制台	非标定制，照彰	套	1	250000	25.00
9	630B 标准实验作业基座	1.630B 结构(1.mm 冷轧钢板)2.20mm 陶瓷板台面	1800*750*850	台	8	5000	4.00
10	6306 标准实验作业基座	1.630B 结构(1.mm 冷轧钢板)2.20mm 陶瓷板台面	1000*1000*850	台	2	4000	0.80
11	630B 标准实验作业基座	1.630B 结构(1.mm 冷轧钢板)2.20mm 陶瓷板台面	1600*750*850	台	2	5000	1.00

序号	名称	特征	规格	单位	数量	单价（元/个或组、台、把、套、匹）	合计（万元）
12	630B 仪器安置基座	1.630B 结构(1.mm 冷轧钢板)2.20mm 陶瓷板台面	3000*900*850	台	2	10000	2.00
13	墙边实验作业基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉沫,台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚,110 度缓冲合页三节静音导轨	4500*750*850	台	65	13500	87.75
14	墙边实验作业基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉沫,台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚,110 度缓冲合页三节静音导轨	1800*750*850	台	75	5400	40.50
15	墙边实验作业基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉沫,台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚,110 度缓冲合页三节静音导轨	1600*750*850	台	70	4800	33.60
16	墙边实验作业基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉沫,台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚,110 度缓冲合页三节静音导轨	3000*750*850	台	30	9000	27.00

序号	名称	特征	规格	单位	数量	单价（元/个或组、台、把、套、匹）	合计（万元）
17	中央实验操作岛	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉沫,台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚,110 度缓冲合页三节静音导轨	3000*1500*850	台	75	18000	135.00
18	中央实验操作岛	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉沫,台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚,110 度缓冲合页三节静音导轨	4500*1500*850	台	70	26360	184.52
19	局部排风处理单元	全钢结构，箱体采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉沫,内衬 5MM 抗贝特板台面为 12.7MM 实芯理化板台面.带光源插座液晶控制面板等.	1500*850*2350	台	75	8850	66.38
20	仪器固定安置基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉沫,台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚,110 度缓冲合页三节静音导轨	2700*900*850	台	65	8400	54.60

序号	名称	特征	规格	单位	数量	单价（元/个或组、台、把、套、匹）	合计（万元）
21	仪器固定安置基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用1.0厚钢板成型喷涂环氧树脂粉沫,台面为12.7MM实芯理化板台面边缘加厚,110度缓冲合页三节静音导轨	1500*900*850	台	35	4565	15.98
22	仪器固定安置基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用1.0厚钢板成型喷涂环氧树脂粉沫,台面为12.7MM实芯理化板台面边缘加厚,110度缓冲合页三节静音导轨	5200*900*850	台	10	15600	15.60
23	转角连接作业基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用1.0厚钢板成型喷涂环氧树脂粉沫,台面为12.7MM实芯理化板台面边缘加厚,110度缓冲合页三节静音导轨	1000*1000*850	台	75	3825	28.69
24	化学试剂储存单元	PP材质，四门，上下视窗	900*450*1800	台	192	1500	28.80
25	实验器皿收纳单元	PP材质，四门，上视窗、下百叶	900*450*1800	台	128	1450	18.56
26	万向排气罩	铝合金材质，三节式	Φ100	套	108	3200	34.56
27	原子吸收罩	201材质	罩口：300*300 mm，管径：110 mm， 总高度：850 mm	套	15	260	0.39

序号	名称	特征	规格	单位	数量	单价（元/个或组、台、把、套、匹）	合计（万元）
28	PP 滴水架	PP 材质，带背板，61 根 PP 棒	457*76*917	套	67	580	3.89
29	PP 中号水槽+三联水龙头+紧急洗眼器	水槽为 PP 材质,洗眼器为手持双口	550*450*310	套	83	648	5.38
	合计						**1000.00**

表 7.1-4 靶站分总体工艺专项明细表（1）

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
一	**紧凑型质子升能装置**						**8281**
1	**磁铁系统**						**1900**
1.1	注入系统磁铁						
1.1.1	水平扫描磁铁 PRSB1	扫描角度 25 mrad，积分磁场 0.0674 T*m，垂直间隙 100 mm，水平好场区 110 mm，峰值电流 1350 A，磁铁总重 320 kg	非标	台	1	24	24
1.1.2	水平扫描磁铁 PRSB2	扫描角度 35 mrad，积分磁场 0.0943 T*m，垂直间隙 100 mm，水平好场区 190 mm，峰值电流 1850 A，磁铁总重 430 kg	非标	台	1	30	30
1.1.3	垂直涂抹磁铁 BV	积分磁场 0.0404 T*m，水平间隙 823 mm，磁场强度 0.054 T，峰值电流 9000 A，磁铁总重 1600 kg	非标	台	4	45	180
1.1.4	脉冲切割磁铁 ACSEP	积分磁场 0.0135 T*m，有效长度 200 mm，磁场强度 0.0674 T，垂直间隙 70 mm，好场区范围 86 mm，峰值电流 5000 A，磁铁总重 90 kg	非标	台	1	6	6
1.2	引出系统磁铁						
1.2.1	引出冲击磁铁 kicker	积分磁场 0.02 T*m，有效长度 250 mm，水平间隙 820 mm，峰值电流 10000 A，磁铁总重 400 kg	非标	台	4	35	140

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
1.2.2	引出 Lambertson 磁铁	积分磁场 1.0 T*m，有效长度 1400 mm，垂直间隙 200 mm，水平好场区范围 160 mm，励磁电流 800 A，磁铁总重 15 ton	非标	台	1	80	80
1.3	环（FD）磁铁						
1.3.1	F 磁铁	F 铁角宽度 9.314°，峰值磁场 1.66 T，螺旋角 43.563°，磁场指数 5.449，最小气隙 150 mm，励磁电流 850 A，磁铁总重 35 ton	非标	台	12	80	960
1.3.2	D 磁铁	D 铁角宽度 2.627°，峰值磁场 0.66 T，螺旋角 43.563°，磁场指数 5.449，最小气隙 150 mm，励磁电流 600 A，磁铁总重 10 ton	非标	台	12	40	480
2	**电源系统**						**1901**
2.1	注入电源						
2.1.1	垂直涂抹磁铁脉冲电源 BVPS	20000 A/3500 V，286 A/us，脉冲电源	20000 A/3500 V	台	1	520	520
2.1.2	水平扫角磁铁脉冲电源 PRSBPS	1300 A/400 V，9 A/us，脉冲电源	1300 A/450 V	台	2	40	80
22	引出电源						
2.2.1	引出脉冲电源 Kicker01~04	6600 A/45 kV，上升沿＜260 ns，脉冲电源	6600 A/45 kV	台	4	215	860
1.2.2	引出直流电源 ESEPS	750 A/80 V，60 kW，100 ppm	750 A/80 kV	台	1	38	38

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
2.3	环电源						
2.3.1	二极磁铁电源	560 A/120 V，67 kW，100 ppm	560 A/120 V	台	6	38	228
2.3.2	校正磁铁电源	±12 A/±10 V，120 W，1000 ppm	±12 A/±10 V	台	6	1.5	9
2.4	电源控制系统						
2.4.1	电源数字控制器	Cyclone10 GX FPGA，AD7634	非标	套	13	2	26
2.4.2	波形发生器	DPSCM-ZYNQ，UDP/IP 协议	非标	套	2	2	4
2.4.3	高精度电流传感器	1000 A/10 V	非标	台	1	1	1
2.4.4	高精度电流传感器	600 A/300 A/20 A	非标	台	13	0.5	6.5
2.4.5	磁铁电源铁温保护机柜	磁铁温度开关、流量开关整合保护	非标	台	1	6	6
2.5	电源配件						
2.5.1	磁铁电源电缆	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套阻燃电力电缆，耐压 1kV	ZA-YJV-0.6/1KV-1*185	米	3000	0.0155	46.5
2.5.2	磁铁电源电缆	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套阻燃电力电缆，耐压 1kV	ZA-YJV-0.6/1KV-1*240	米	600	0.022	13.2
2.5.3	高压电缆及配件	8 kV，低电感/两根串联并行，抗辐射		米	2400	0.025	60
2.5.4	冷却水管及辅件	DN20 水管、接头等配件		套	13	0.25	3.25
3	**物理系统**						**300**
3.1	高性能服务器	1024 核	标准	台	1	280	280

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
3,2	Matlab 软件	基础包加符号运算包	标准	套	2	10	20
4	**高频系统**						**1480**
4.1	磁合金加载腔						
4.1.1	腔体结构（包含束流管道）	频率范围：3.371MHz-4.23MHz；谐波数=1；腔长<1.8 m；加速间隙数：3；加速梯度>83 kV/m		台	2	50	100
4.1.2	大尺寸高性能磁合金环	uQf:9.2GHz@3MHz；跑道型磁环外尺寸：1700 (H) × 950 (V) mm；内尺寸：940 (H) × 260 (V) mm ，厚度 25 mm		片	24	15	360
4.2	高频功率源						
4.2.1	四极管	阳极最大耗散功率 100 kW；阳极最高直流高压 40 kV	4 CW100KE	只	4	80	320
4.2.2	末级功率放大器	扫频工作模式；频率范围：3 MHz~10 MHz；峰值功率≥1.8 MW	1.8 MW	台	2	150	300
4.2.3	推动及固态功率源	扫描工作模式；频率范围 3 MHz~10 MHz；峰值电压≥1 kVpp；输出功率源≥1.2 kW；容性负载	定制	台	4	50	200
4.2.4	电源控制综合机柜	阳极直流高压电源输出≥40 kV、纹波＜0.1%；变压器容量≥2.0 MW	定制	台	2	100	200
5	**真空系统**						**792**
5.1	真空盒	漏率<1e-10mbar.L/s	非标	套	24	23.5	564
5.2	离子泵	抽速>400 L/s,DN200	400 L/s	台	12	5	60
5.3	真空计	测量下限优于 1e-7Pa	冷规	套	12	2	24
5.4	分子泵组	极限真空<1 e-5 Pa	KYKY	套	2	10	20

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
5.5	插板阀	漏率<1e-10mbar.L/s	非标	套	4	10	40
5.6	梯形波纹管	漏率<1e-10mbar.L/s	非标	套	12	5	60
5.7	支架	稳定可靠，三维可调	非标	套	48	0.5	24
6	**机械系统**						**798**
6.1	主剥离膜	膜厚 260 μg/c ㎡，剥离效率 99.7%；膜片材质 HBC/石墨烯，双层结构；不锈钢带传输，膜库容量 22 片	定制	套	1	137	137
6.2	次剥离膜	膜厚 450 μg/c ㎡，剥离效率 100%；膜片材质 HBC/石墨烯，双层结构；膜库容量 1 片	定制	套	1	60	60
6.3	准直器	挡块数量 4 个，其中两个挡块材料为石墨与铜的组合，另外两个挡块材料选用铝，挡块厚度各异，最大厚度达 1.2 m	定制	套	1	98	98
6.4	废束站						
6.4.1	废束窗系统	含废束窗、真空盒、波纹管及支架，废束窗采用弥散铜。	定制	套	1	52	52
6.4.2	废束站	混凝土、铁材料组成。	定制	套	1	145	145
6.5	磁铁支架	支架承重 50 T，电动调节，六轴可动，调节精度优于±0.05 mm。	定制	套	12	25.5	306

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
7	**控制系统**						**295**
7.1	定时系统						
7.1.1	事件定时插件	MTCA 总线	EVR	块	4	2.5	10
7.1.2	机箱及控制器	MTCA 总线、双 MCH、双电源、一个 CPU 卡	6U	台	4	6	24
7.1.3	光电转换板卡	光电/电光转换	1U	台	8	0.6	4.8
7.1.4	同轴线	lemo-SMA 和 lemo-BNC	3 米/5 米/10 米	条	25	0.015	0.375
7.1.5	光纤跳线	ST-ST/LC-LC/LC-ST	50 米	条	25	0.02	0.5
7.2	快速保护系统						
7.2.1	主逻辑板卡	XCZU47DR FPGA、16 路 SFP、MTCA 总线	6U	块	4	1.8	7.2
7.2.2	信号收集板卡	16 路 ST 接口输入	6U	块	4	0.6	2.4
7.2.3	保护输出板卡	16 路 ST 接口输出	6U	块	4	0.65	2.6
7.2.4	机箱及控制器	国产自研机箱	6U 机箱	台	4	1.8	7.2
7.2.5	光纤跳线	ST-ST/LC-ST	50 米	条	30	0.02	0.6
7.3	机器保护系统						
7.3.1	PLC 模块	中大型 PLC	AM500/AC700	套	1	7	7
7.3.2	机柜	PLC 控制机柜	2100x800x800mm	套	1	8	8
7.3.3	电缆	低烟无卤，屏蔽双绞	4*2*0.5 mm^2	米	5000	0.001	5
7.4	服务器系统						
7.4.1	通用计算服务器	2*32 核 CPU 16*32G 内存	H3C UIS 3000 G5	台	3	20	60

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
		10*7.68T 固态硬盘 4*万兆光口，4*千兆电口 2*电源模块					
7.5	网络系统						
7.5.1	汇聚交换机	48*10/100/1000BASE-T 端口 4*10G/1G BASE-X SFP+端口 2*电源模块	S7503X	台	1	8.5	8.5
7.5.2	接入交换机	48 个 10/100/1000BASE-T 以太网端口 4 个万兆 SFP+ 双电源模块	S5736-S48T4XC	台	6	1.5	9
7.5.3	网线	六类带屏蔽网线、光纤条线、光缆	10 米/20 米/100 米	条	125	0.02	2.5
7.6	磁铁电源远控系统						
7.6.1	嵌入式工控机	无风扇工控机	DA720	台	2	2.5	5
7.6.2	串口服务器	16 口	NPort 5650-16	台	4	0.6	2.4
7.6.3	光电转换模块	DB9 转 ST 光口	TCF90	个	36	0.1	3.6
7.6.4	光纤	ST 型光纤跳线	ST 型接头	条	36	0.015	0.54
7.7	真空控制系统						
7.7.1	PLC 模块	中大型 PLC	AM500/AC700	套	2	5	10
7.7.2	机柜	PLC 控制机柜	2100x800x800mm	套	2	8	16
7.7.3	串口服务器	16 口	NPort 5650-16	台	4	0.6	2.4
7.7.4	电缆	低烟无卤，屏蔽双绞	8*2*0.5 mm^2	米	400	0.0025	1
7.8	温度监测系统						

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
7.8.1	远程 I/O 模块	6 路 RTD	E1260	个	5	0.3	1.5
7.8.2	电缆	低烟无卤，屏蔽双绞	4*2*0.5 mm^2	米	1000	0.0013	1.3
7.8.3	嵌入式工控机	无风扇工控机	DA720	台	1	2.5	2.5
7.9	漏水监测系统						
7.9.1	定位型漏水监测控制器	定位分辨率：0.1 米，精度：0.5m±1%FS	JCJ100XDW	个	4	0.2	0.8
7.9.2	定位漏水感应线	50 米/80 米	JCJLSXLDZW	米	200	0.006	1.2
7.9.3	串口服务器	2 口	NPort 5230A	个	4	0.2	0.8
7.9.4	嵌入式工控机	无风扇工控机	DA720	台	1	2.5	2.5
7.10	工艺系统						
7.10.1	不间断电源	后备时间 30 分钟，工频机	50 kVA/100 kVA	台	1	24	24
7.10.2	标准网络机柜	2100*800*800 mm	G38842	台	20	0.4	8
7.10.3	室外光缆	OM4、铠装	18 芯	米	1000	0.002	2
7.10.4	耗材	扎带、标签纸、套管、水晶头、接线端子、		批	1	2	2
7.10.5	设备安装	敷设线缆、接线、光缆熔接、设备安装		批	1	8	8
7.11	中央控制室						
7.11.1	LED 大屏幕	LED 大屏幕	屏幕 P1.86，尺寸 2.5 m×10 m	套	1	12	12
7.11.2	中控台	中控台	15 座席	套	1	10	10
7.11.3	计算机	14 代 i5-14400，16G DDR5 高频内存，1T SSD	成就 3030S	台	8	1	8

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
7.12	视频监控系统						
7.12.1	智能球机	400 万像素，23 倍光学变倍，带云台控制	DS-2DE44YWSX-LJ	个	4	0.3	1.2
7.12.2	双光谱测温筒机	可见光分辨率：2688 × 1520，热成像分辨率：256 × 192	HM-TD26YWSX-LJ	个	8	0.4	3.2
7.12.3	NVR	32 路，1 个月数据	DS-7732N-I5-LJ	台	2	1	2
7.12.4	安装及辅料	线管、安装和调试等	国标	套	1	3	3
8	**束测系统**						**815**
8.1	流强探测器						68
8.1.1	CT 探头及支架	内径 120 mm，漏气率<1x10^-10 Pa·m^3/s 、极限真空度≤1x10^-6 Pa	非标	台	2	15	30
8.1.2	前端电子学及线缆组件	带宽 100 kHz，增益 1k-100k 可调	非标	套	2	4	8
8.1.3	数据采集卡和机箱	PXIe8 槽机箱，PXIe 控制器，PXIe 5160 采集卡，4 通道，采样率 1.25 GSa/s	标准	套	1	30	30
8.2	束流位置探测器						262
8.2.1	斜切型 BPM 探头及支架	探头钛合金材质相对磁导率μ＜1.05，漏气率<1x10^-10 Pa·m^3/s 、极限真空度≤1x10^-6 Pa，支架铝合金材质，高度可调	非标	台	4	40	160

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
8.2.2	N 型 Feedthrough	漏气率<1x10^-10 Pa·m^3/s，绝缘电阻 1000 MΩ	非标	个	20	0.6	12
8.2.3	电子学及线缆组件	4 路信号输入、采样频 250 MHz、16 位	非标	套	4	20	80
8.2.4	数据交互服务器	32 核，256 G 内存，32T 硬盘存储	标准	台	1	10	10
8.3	工作点测量系统						242
8.3.1	数据采集与控制模块	带宽 100kHz-10 MHz、采样频率 125 MHz，4 通道输入，4 通道 DAC 信号输出，内存大于 4 GB	非标	套	2	25	50
8.3.2	条带型激励器及支架	漏气率<1x10^-10 Pa·m^3/s 、极限真空度≤1x10^-6 Pa	非标	台	2	20	40
8.3.3	功率放大器	峰值功率 2 kW、频率 100 kHz-10 MHz	非标	台	4	20	80
8.3.4	负载	可承受功率大于 5 kW	非标	台	4	5	20
8.3.5	信号发生器	Keysight 33622A，120 MHz，2 通道	标准	台	2	10	20
8.3.6	射频线缆、衰减器和接头组件	衰减<10 dB@100m	标准	米	400	0.08	32
8.4	束损探测器						76
8.4.1	电离型 BLM 探头及支架	气体压强 1 atm、绝缘电阻>10^12 欧姆，漏气率小于 1x10^-10 mbar·L/s，支架铝合金材质，高度可调	非标	个	10	1.8	18
8.4.2	前端电子学和机箱	增益 1-10 k 范围内 4 个档位，噪声水平低于 10 mV	非标	套	10	0.8	8

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
8.4.3	高压电源机箱	8 插槽、AC100~264 V，功率 200 W	标准	台	1	4	4
8.4.4	高压插件	最大输出电压 3 kV、最大输出电流 4 mA、极性可调	标准	个	3	2	6
8.4.5	数据采集卡、控制器和机箱	PXIe8 槽机箱，PXIe 控制器，PXIe 5160 采集卡，4 通道，采样率 1.25 GSa/s	标准	套	1	40	40
8.5	注入区多丝靶（MWS）						167
8.5.1	注入区多丝靶探头	丝直径 0.1 mm、布丝误差低于 1 mm，41 芯航空插头信号输出，设备极限真空度≤2x10^-6 Pa	非标	台	1	30	30
8.5.2	大直径碳纳米管丝材料	丝直径 0.1 mm，力学强度大于 1.5 GPa	非标	米	100	0.1	10
8.5.3	多丝靶前端模拟电子学	波形展宽：90 ns 展宽至大于 50 us，3 增益档位，动态范围 3 个数量级，4 通道/插件	非标	套	80	0.6	48
8.5.4	耐辐照位移台及控制模块	位移精度优于 0.1 mm、耐辐照水平>10^6 Gy	标准	套	1	9	9
8.5.5	数据采集卡、控制器和机箱	PXIe8 槽机箱，PXIe 控制器，PXIe 5160 采集卡，4 通道，采样率 1.25 GSa/s	标准	套	1	50	50
8.5.6	41 芯耐辐射线缆组件	耐辐照水平>1 MGy	非标	米	200	0.1	20

表 7.1-5 靶站分总体工艺专项明细表（2）

序号	设备名称	设备费类型	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
二	**靶站设计制造及靶的制备**							**11200.1**
1	**靶站屏蔽系统**							**6136.2**
1.1	屏蔽系统							
1.2	靶区顶部普混活动屏蔽块	研制	用于靶区顶部、辐照束线以及降能器辐射屏蔽，密度 2.4 吨/立方米	标准	立方米	1424	0.6	854.4
1.3	热室铁混活动屏蔽块	研制	用于靶区及热室顶部辐射屏蔽，密度 3.5 吨/立方米	标准	立方米	115	2	230
1.4	靶区顶部铁混活动屏蔽块	研制	用于靶区顶部辐射屏蔽，密度 3.5 吨立方米	标准	立方米	160	2	320
1.5	靶区铁屏蔽	研制	用于靶区辐射屏蔽，低碳钢，密度 7.8 吨/立方米	标准	吨	1017	1.2	1220.4
1.6	隧道铁屏蔽	研制	用于靶区辐射屏蔽，低碳钢，密度 7.8 吨/立方米	标准	吨	936	1.2	1123.2
1.7	辐照束线实验厅铁屏蔽	研制	用于辐照束线低本底和超高本底实验厅的辐射屏蔽，低碳钢，密度 7.8 吨/立方米	标准	吨	523	1.2	627.6
1.8	辐照束线废束站铁屏蔽	研制	用于靶区辐射屏蔽，低碳钢，密度 7.8 吨/立方米	标准	吨	28	1.2	33.6
1.9	降能器铁屏蔽	研制	用于靶区辐射屏蔽，低碳钢，密度 7.8 吨/立方米	标准	吨	233	1.2	279.6
1.10	不锈钢屏蔽	研制	用于靶区特殊区域的辐射屏蔽，304 不锈钢，密度 7.93 吨/立方米	标准	吨	144.6	3	433.8

序号	设备名称	设备费类型	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
1.11	停束体	研制	无氧铜，水冷	非标	套	1	160	160
1.12	包覆容器	研制	壁厚 20 mm，材质 304，二级密封	非标	套	1	80	80
1.13	预埋管	研制	316 L 无缝钢管，焊接处 100%渗透及射线检测	非标	批	1	24	24
1.14	吊装转运屏蔽罐	研制	壁厚 150 mm，铅材质	非标	套	4	60	240
1.15	热室屏蔽门	研制	15 cm 的低碳钢+20 cm 的铅屏蔽+15 cm 低碳钢，自动开合	非标	套	2	75	150
1.16	风冷密封罐	研制	底板和顶盖厚度 100mm，壁厚 40 mm，304 不锈钢	非标	套	1	220	220
1.17	放废厅铅屏蔽墙	材料费	壁厚 300 mm，高 1600 mm，铅材质，可拆卸	非标	组	2	69.8	139.6
2	**防护系统**							**210**
2.1	安全联锁	研制	用于束流联锁控制区，含 PLC 联锁系统*（PLC，紧急停机、搜索清场、声光报警等）；门禁联锁系统（双机热备服务器和接入控制器，出入读卡器，摄像机，NVR 等）；钥匙联锁系统（钥匙交换装置、联锁门综合控制柜）等。	非标	套	3	40	120

序号	设备名称	设备费类型	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
2.2	控制区门禁与视频监控	研制	门禁监控系统，满足各门点互锁要求，配置双机热备服务器和接入控制器，支持单门双向，具有出入读卡器，摄像机，NVR 等设备；工作温度-40～85 度；相对湿度 5%～95%；工作额定电压 DC12V，可稳定工作电压范围：DC10～16V（带过流，过压，防雷，防反接，防短路保护）	非标	套	30	3	90
3	**低温气冷系统**							**2000**
3.1	核级过滤系统	购置	核级过滤器 0.2 um，99.9%,5000 Nm^3/h 流量，压力 12 bara，去除气冷系统中的碘离子、钍颗粒物等	标准	套	1	2000	2000
4	**水冷系统**							**1365**
4.1	动力设备	购置	1.卧式、不锈钢、H=85/65 m，Q=18/8 m^3/h，T=50℃；2、压气速率≥40 l/min；进气压力 0.1 Mpa；正常出气压力 0.6 Mpa；极限出气压力 0.85 Mpa；主体材料为不锈钢；驱动方式：电动	非标	套	1	60	60
4.2	换热设备	购置	换热器、冷凝器、加热器	非标	套	1	100	100

序号	设备名称	设备费类型	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
4.3	仪表阀门	购置	电动阀，手动阀、气动阀、温度计、流量计、压力计、电导率仪、液位计、振动测量仪等，不锈钢，抗辐照	非标	套	1	280	280
4.4	压力容器	购置	延迟罐、贮存罐、气水分离器、衰变箱、缓冲罐等	非标	套	1	160	160
4.5	净化设备	购置	过滤器、离子交换器，铅屏蔽	非标	套	1	130	130
4.6	控制设备	购置	控制柜，控制台、信号电缆等	非标	套	1	85	85
4.7	电气设备	购置	电气柜、动力电缆、桥架、备用电源等	非标	套	1	60	60
4.8	气水分析设备	购置	色谱仪、手套箱等	非标	套	1	130	130
4.9	真空设备	购置	罗茨泵、冷阱等	非标	套	1	30	30
4.10	靶站二次水冷设备	购置	设备间内部二次水工艺设备，包括阀门、仪表、管线、支架等	非标	套	1	20	20
4.11	靶站冷冻水设备	购置	设备间内部冷冻水工艺设备，包括阀门、仪表、管线、支架等	非标	套	1	10	10

序号	设备名称	设备费类型	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
4.12	不锈钢覆面	购置	不锈钢，3 cm 厚，焊接，钢基础由基建提供	非标	套	1	130	130
4.13	预埋件	购置	管线、基础等	非标	套	1	50	50
4.14	介质传输设备	购置	管线、支吊架等	非标	套	1	80	80
4.15	系统集成	购置	软件集成、模拟件、假负载等	非标	套	1	40	40
5	**靶站监测系统**							**172**
5.1	高辐射剂量区视频监控系统	研制	摄像头总耐辐照剂量优于 1000 Gy	非标	套	4	43	172
6	**实验测量系统**							**114.9**
6.1	放射性核素衰变测量用真空腔体	测试加工费	测量放射性核素的α衰变粒子	非标	台	1	10	10
6.2	真空机组与真空柜	购置	真空腔体抽真空所使用获得真空环境	标准	套	1	5	5
6.3	前置放大器	购置	硅探测器等探测器输出电荷信号放大	标准	台	3	5	15

序号	设备名称	设备费类型	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
6.4	低纹波高精度高压电源	购置	探测器供应高压电源	标准	台	3	9	27
6.5	直流稳压电源	购置	供应前置放大器等工作所需 30 V 以内直流电压	标准	台	5	1	5
6.6	探测器支架	测试加工费	硅探测器、高纯锗探测器等探测器组成符合探测系统时所需探测器支架	非标	套	1	5	5
6.7	探测器屏蔽	材料费	为伽马探测器工作创造所需要的屏蔽环境	非标	套	2	5	10
6.8	PXIe 机箱及控制器	购置	为波形采样电子学提供供电及信号打包、传输	标准	台	1	13	13
6.9	不间断电源	购置	实验系统工作时保障供电需要，计划采购 6 kW 不间断电源	标准	台	2	0.5	1
6.10	机柜及配件	购置	波形采样电子学系统所需支撑机柜	标准	台	1	1.9	1.9
6.11	实验数采工控机	购置	i7-6700/32G/2T SSD，含本地用小型工业显示器	标准	台	1	0.8	0.8
6.12	干净地线	测试加工费	需要为探测器工作提供干净电	非标	套	1	20	20
6.13	样品储存干燥柜	购置	样品储存所需干燥柜	标准	台	2	0.6	1.2
7	**实验室条件**							**54**
7.1	防静电实验台及附属设备	购置	工作台及工作桌椅等	非标	台	15	0.60	9

序号	设备名称	设备费类型	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
7.2	超净间	测试加工费	千级、100 平方米	非标	套	1	45.00	45
8	**高纯核素分离系统**							**548**
8.1	高温靶真空室及其附件	研制	高温 2000℃，漏率<1×10^{-9} Pa m³ /s；引出电极高压范围 30-60kV；真空附件包含真空计、插板阀、角阀	非标	套	1	94	94
8.2	高压隔离平台	研制	高压加速电源（直流高压 60 kV，5 kW），高压隔离变压器，电容器，高压开关，绝缘端子，高压保护系统等	非标	套	1	85	85
8.3	泵浦激光器	研制	Nd:YAG，波长 1064 nm，功率 20 W，重复频率 10 kHz，发散角＜0.9 mrad	非标	台	2	80	160
8.4	波长调控模块	研制	波长调节范围 700-960 nm，带二倍频	非标	台	2	70	140
8.5	基准校准激光器	购置	氦氖激光，精确波长	标准	台	1	10	10
8.6	高精度激光波长计	购置	检测范围 400-600 nm，分辨率 0.001 nm，用于高精度波长测量，保证激光波长满足能级要求	标准	台	1	20	20
8.7	激光功率计	购置	300 - 1100 nm，1 μW - 3 W	标准	套	1	5	5
8.8	数字延时脉冲发生器	购置	多通道，用于时间同步	标准	台	1	6.5	6.5

序号	设备名称	设备费类型	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
8.9	束斑位置灵敏监测系统	购置	反射镜，滤波片，中性密度吸收片，cmos相机等，用于反向监测束斑的实时位置。	非标	台	1	4	4
8.10	光学平台	购置	2400 mmx1800 mm，阻尼减震，作为激光器及光学器件布置平台。	标准	台	2	6	12
8.11	剪切干涉仪	购置	光束平行检测	标准	台	1	0.5	0.5
8.12	光路合束系统	研制	光路数量 2 路	非标	台	1	11	11
9	**准直系统**							**600**
9.1	激光雷达测量仪	购置	测量范围：40 m（目标跟踪模式和直接扫描模式）；距离精度：10 um + 4 um/m，角度精度：6 um/m，数据输出速率：2000 Hz；分辨力 0.07 弧秒，精度 15 um + 6 um/m，角度范围：水平 320°/ 垂直 50°至 80°；动态性能：加速度 675°/s2，旋转速度 180°/s；全景相机：12MP|10° FOV；集成一体设计，内置电池，可供电 6 小时。	标准	套	1	350	350

序号	设备名称	设备费类型	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
9.2	隐藏点多自由度测量仪	购置	测量空间：最大测量范围（直径）160 m；水平方向士 360°无极限；垂直方向士 145°；测量与跟踪性能：数据输出速度 1.000 点/秒；横向跟踪速度 4 m/s；径向跟踪速度> 6 m/s；横向加速度>2 g；径向加速度 无限大；绝对干涉仪 AIFM：是；干涉仪精度 0.2 μm/m；绝对测距仪分辨率 0.1 μm；动态锁定精度（ADM）10 μm；测量精度：角度分辨率 0.07°；角度重复性 7.5 μm + 3 μm /m；角度精度 15 μm + 6 μm /m。	标准	套	1	250	250

表 7.1-6 分离纯化分总体工艺专项明细表

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
一	**分离纯化分总体**						**47890.00**
1	**分离纯化系统**						**32109.00**
1.1	解靶热室	待定	定制	台	1	1000	1000
1.2	溶靶热室	待定	定制	台	1	1000	1000
1.3	自动化解靶装置	待定	研制	台	1	200	200
1.4	自动化溶靶装置	待定	研制	台	2	300	600
1.5	料液过滤传输设备	待定	研制	台	1	100	100
1.6	Mo-99 分离纯化热室	待定	定制	台	2	1000	2000
1.7	Mo-99 自动化色谱分离模块	待定	研制	台	2	300	600
1.8	Ra 分离纯化热室	待定	定制	台	3	800	2400
1.9	自动化反应装置	待定	研制	台	2	200	400
1.10	Ra 自动化色谱分离模块	待定	研制	台	2	300	600
1.11	Ac-225（非 GMP）分离纯化热室	待定	定制	台	2	800	1600
1.12	Ac-225 自动化色谱分离纯化	待定	研制	台	2	300	600
1.13	Ac-225(GMP 级）分离纯化热室	待定	定制	台	2	600	1200
1.14	Ac-225(GMP 级）自动化色谱分离模块	待定	研制	套	2	300	600

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
1.15	Th 沉淀转化热室	待定	定制	台	2	600	1200
1.16	Ra-223 分离纯化热室	待定	定制	台	2	600	1200
1.17	Ra-223 自动化色谱分离模块	待定	研制	套	2	300	600
1.18	Ra-224 分离纯化热室	待定	定制	台	3	600	1800
1.19	Ra-224 自动化色谱分离模块	待定	研制	套	3	300	900
1.20	废物减容热室	待定	定制	台	2	800	1600
1.21	自动化离心模块	待定	研制	套	9	300	2700
1.22	自动化加热反应模块	待定	研制	套	2	200	400
1.23	Th 沉淀存取屏蔽柜	待定	定制	套	1	2000	2000
1.24	自动化定位提取装置	待定	研制	套	1	1000	1000
1.25	可移动屏蔽门	待定	定制	台	2	600	1200
1.26	分离纯化在线监测设备	待定	定制	套	6	80	480
1.27	总控系统	待定	研制	套	1	1000	1000
1.28	样品转移运输系统	待定	研制	套	1	2000	2000
1.29	HPGe 探测器	数字化多道 DSPEC50 A；液氮回凝制冷器 MOBIUS DET；谱分析软件 A66-BW，铅室 Pb-100 mm	Ortec GEm³0P4-76	台	1	150	150
1.30	α谱仪	8 路 α 能谱系统，能量探测范围 0-10 MeV，腔室真空 10-20 mTorr，探测器偏压 0-100 V，数字化 MCA，能量分辨率（FWHM）≤20KeV（探测器到源的距离等于探测器的直径），探测器效率≥25%（探测器到源的距离小于 10mm），本底在 3MeV 以上，每小时计数≤1	Ortec Alpha Ensemble	台	2	150	300

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
1.31	ICP-QQQ 质谱仪	灵敏度，在 CeO+/Ce+ ≤ 2 %条件下测定：低质量数： Li-7，280 Mcps/ppm；中质量数： In-115 ≥ 960 Mcps/ppm；高质量数： U-238 ≥ 640 Mcps/ppm；背景噪声 ≤ 0.2 cps （在 9 amu 和 238 amu，Be 及 U 处测定）；氧化物干扰产率：CeO+/Ce+: ≤ 2.0 %；短期稳定性（RSD）: ≤ 2 % (20 min）；长期稳定性（RSD） ≤ 2 % (2 hrs）。	Aglient 8900	台	1	200	200
1.32	ICP-MS	灵敏度：低质量数：Li-7 ≥150 M cps/ppm，中质量数：In-115 ≥350 M cps/ppm，高质量数：U-238 ≥550 M cps/ppm；低质量数：Be-9 ≤ 0.1ppt，中质量数：In-115 ≤ 0.05 ppt，高质量数：Bi-209 ≤ 0.05ppt	Aglient 7850	台	1	120	120
1.33	LS 液闪谱仪	内置 3 个低本底光电倍增管探测器，3 个探测器在同一平面上，夹角 120 度，采用三双符合比（TDCR）技术，实现绝对活度测量	Hidex 300SL	台	2	80	160
1.34	便携式液闪谱仪	单光子计数光电倍增管 PMT，0.1s ~ 9,999 分钟计数时间，拥有 alpha-beta 区分的能力，具有液闪 LSC 分析功能，能量范围不小于 3 keV - 2MeV，使用多通道分析仪（MCA）进行能谱分析。	Hidex Triathler	台	1	24	24
1.35	ICP-AES 光谱仪	全谱直读，检出限（180.669 nm）<5ug/L，重复性优于 1%，稳定性优于 1%（4 小时），波长范围 167-785 nm，光学分辨率≤0.0065 nm，等离子体输出功率 700-1700 W，等离子体冷却气 0-22.5 L/min 可调，RF 发生器频率 40.68 MHz	Aglient 5800	台	1	90	90

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
1.36	XRF 仪	元素分析范围 F-U，选配可拓展至 C-U，元素分析浓度范围：ppm-100%，Mn Ka 分辨率优于 140 eV	ARL QUANT'X EDXRF	台	1	50	50
1.37	便携式 XRF 仪	铑靶 X 光管， 2.5W，最大电压 50 kV；SDD 检测系统-能量分辨率小于 150 电子伏特	SPECTROSCOUT	台	1	35	35
2	**GMP 分装系统**						**10139.00**
2.1	分离分装热室	待定	定制	台	24	300	7200
2.2	灭菌装置	待定		台	8	10	80
2.3	色谱纯化装置	待定	定制	台	16	80	1280
2.4	分装机	待定	定制	台	8	50	400
2.5	灯检机	待定		台	8	10	80
2.6	纯水系统	预处理、反渗透（RO） 、电去离子（EDI）处理能力、巴氏消毒、全自动控制，符合中国药典 2015 版、美国药典 USP39、欧洲药典 EP8.0	Senday-PWMSCROE--500L/h	台	1	50	50
2.7	HPGe 谱仪	数字化多道 DSPEC50A；液氮回凝制冷器 MOBIUS DET；谱分析软件 A66-BW，铅室 Pb-100 mm	Ortec GEm³0P4-76	台	1	150	150
2.8	α谱仪	8 路 α 能谱系统，能量探测范围 0-10 MeV，腔室真空 10-20 mTorr，探测器偏压 0-100 V，数字化 MCA，能量分辨率（FWHM）≤20KeV（探测器到源的距离等于探测器的直径），探测器效率≥25%（探测器到源的距离小于 10 mm），本底在 3MeV 以上，每小时计数≤1	Ortec Alpha Ensemble	台	2	150	300

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
2.9	ICP-QQQ 质谱仪	灵敏度，在 CeO+/Ce+ ≤ 2 %条件下测定：低质量数：Li-7，280 Mcps/ppm；中质量数： In-115 ≥ 960 Mcps/ppm；高质量数：U-238 ≥ 640 Mcps/ppm；背景噪声 ≤ 0.2 cps （在 9 amu 和 238 amu，Be 及 U 处测定）；氧化物干扰产率：CeO+/Ce+: ≤ 2.0 %；短期稳定性（RSD）: ≤ 2 % (20 min）；长期稳定性（RSD）≤ 2 % (2 hrs）。	Aglient 8900	台	1	200	200
2.10	ICP-MS 质谱仪	灵敏度：低质量数：Li-7 ≥150 M cps/ppm，中质量数：In-115 ≥350 M cps/ppm，高质量数：U-238 ≥550 M cps/ppm；低质量数：9 Be ≤ 0.1 ppt，中质量数：115 In ≤ 0.05 ppt，高质量数：209Bi ≤ 0.0 5ppt	Aglient 7850	台	1	120	120
2.11	液体闪烁谱仪	内置 3 个低本底光电倍增管探测器，3 个探测器在同一平面上，夹角 120 度，采用三双符合比（TDCR）技术，实现绝对活度测量	Hidex 300SL	台	1	80	80
2.12	便携式液闪谱仪	单光子计数光电倍增管 PMT，0.1s～9,999 分钟计数时间，拥有 alpha-beta 区分的能力，具有液闪 LSC 分析功能，能量范围不小于 3 keV - 2 MeV，使用多通道分析仪（MCA）进行能谱分析。	Hidex Triathler	台	1	24	24
2.13	ICP-AES 光谱仪	全谱直读，检出限（180.669 nm）<5 ug/L，重复性优于 1%，稳定性优于 1%（4 小时），波长范围 167-785 nm，光学分辨率≤0.0065 nm，等离子体输出功率 700-1700 W，等离子体冷却气 0-22.5 L/min 可调，RF 发生器频率 40.68 MHz	Aglient 5800	台	1	90	90

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
2.14	XRF 仪	元素分析范围 F-U，选配可拓展至 C-U，元素分析浓度范围：ppm-100%，Mn Ka 分辨率优于 140 eV	ARL QUANT'X EDXRF	台	1	50	50
2.15	便携式 XRF 仪	铑靶 X 光管， 2.5W，最大电压 50kV；SDD 检测系统-能量分辨率小于 150 电子伏特	SPECTROSCOUT	台	1	35	35
3	**工艺研发测试系统**						**2657.00**
3.1	工艺研发热室	\		台	2	600	1200
3.2	屏蔽手套箱	\		台	1	300	300
3.3	紫外可见光谱仪	提供可变光谱带宽的能力，从 0.5 nm 到 20 nm，兼容种类多样的附件，包括多联样品池转换器（水浴和半导体 Peltier 控温），固体样品透射和反射测试附件、远程测量的光纤探针、颜色和漫反射测试的积分球以及多种样品池支架	LAMBDA 365，PE	台	1	15	15
3.4	高效液相色谱 HPLC	宽度：435 mm，泵类型：等度二元泵四元泵，深度：468 mm，温度区域的最大数量：G7116A/B 提供双温区配备集成式柱温箱的样品瓶进样器提供单温区，溶剂最大数量：4，电源电压：100-240 VAC，系统压力操作范围：高达 600 bar，色谱柱容量：4	Aglient 1260	台	1	48	48

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
3.5	放射性薄层色谱扫描仪	灵敏度：（10 分钟分析）3H，125I 为 1,000 DPM 14C，32P 和其他大部分的 100 DPM 同位素，解析度：对于 14C 为 0.5-1 mm³H1-2 mm，32P 和大部分γ发射体为 3 mm，线性校准到 1%（± 2 毫米）以内，背景每 mm 小于 0.15 CPM，功率： 110 / 220V，50 / 60Hz，气体供应：P10 计数气体（90%氩气，10%甲烷）调节到 10 - 20 psi（0.7 -1.4 巴）	Eckert&Ziegler MiniScan B-AR-2000-1	台	1	25	25
3.6	高分辨质谱仪	TOF 质量分辨率 (FWHM）：> 在 m/z 118 处为 35000，与采集速率无关> 在 m/z 2722 处为 60000，与采集速率无关，TOF 质量范围：m/z 20-10,000，同位素保真度：<5 %，四极杆分离质量范围：m/z 20-4000，四极杆分辨率 (FWHM）：1.3 Da（自动调谐，极性切换占空比：1.0 s，温度质量稳定性：<1 ppm / 3 °C，离子源：Dual-AJSDual-ESIAPCI 谱图内动态范围：5 个数量级	Agilent 1290	台	1	40	40
3.7	活度计	测量范围：最大活度 300 GBq（8 Ci），分辨率：0.001 MBq（0.01 uCi），静电计精度：优于±2% ，系统精度：优于 FSD 的±0.1% 系统线性：±2%以内 ，重复性：±2%以内，响应时间：（高活度样品）2 秒以内，（非常低活度样品）4—16 秒以内	Capintec CRC-55tR	台	1	15	15
3.8	HPGe 谱仪	数字化多道 DSPEC50A；液氮回凝制冷器 MOBIUS DET；谱分析软件 A66-BW，铅室 Pb-100mm	Ortec GEm³0P4-76	台	1	150	150

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
3.9	α谱仪	8 路 α 能谱系统，能量探测范围 0-10 MeV，腔室真空 10-20 mTorr，探测器偏压 0-100 V，数字化 MCA，能量分辨率（FWHM）≤20KeV（探测器到源的距离等于探测器的直径），探测器效率≥25%（探测器到源的距离小于 10mm），本底在 3MeV 以上，每小时计数≤1	Ortec Alpha Ensemble	台	2	150	300
3.10	ICP-QQQ 质谱仪	灵敏度，在 CeO+/Ce+ ≤ 2 %条件下测定：低质量数：Li-7，280 Mcps/ppm；中质量数： In-115 ≥ 960 Mcps/ppm；高质量数：U-238 ≥ 640 Mcps/ppm；背景噪声 ≤ 0.2 cps （在 9 amu 和 238 amu，Be 及 U 处测定）；氧化物干扰产率：CeO+/Ce+: ≤ 2.0 %; 短期稳定性（RSD）: ≤ 2 % (20 min）; 长期稳定性（RSD）≤ 2 % (2 hrs）。	Aglient 8900	台	1	200	200
3.11	ICP-MS 质谱仪	灵敏度：低质量数：Li-7 ≥150 M cps/ppm，中质量数：In-115 ≥350 M cps/ppm，高质量数：U-238 ≥550 M cps/ppm；低质量数：9Be ≤ 0.1ppt，中质量数：115In ≤ 0.05 ppt，高质量数：209Bi ≤ 0.05ppt	Aglient 7850	台	1	120	120
3.12	液体闪烁谱仪	内置 3 个低本底光电倍增管探测器，3 个探测器在同一平面上，夹角 120 度，采用三双符合比（TDCR）技术，实现绝对活度测量	Hidex 300SL	台	1	80	80
3.13	便携式液闪谱仪	单光子计数光电倍增管 PMT，0.1s ~ 9,999 分钟计数时间，拥有 alpha-beta 区分的能力，具有液闪 LSC 分析功能，能量范围不小于 3 keV - 2MeV，使用多通道分析仪（MCA）进行能谱	Hidex Triathler	台	1	24	24

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
		分析。					
3.14	ICP-AES 光谱仪	全谱直读，检出限（180.669 nm）<5ug/L，重复性优于 1%，稳定性优于 1%（4 小时），波长范围 167-785 nm，光学分辨率≤0.0065 nm，等离子体输出功率 700-1700 W，等离子体冷却气 0-22.5 L/min 可调，RF 发生器频率 40.68 MHz	Aglient 5800	台	1	90	90
3.15	XRF 仪	元素分析范围 F-U，选配可拓展至 C-U，元素分析浓度范围：ppm-100%，Mn Ka 分辨率优于 140 eV	ARL QUANT'X EDXRF	台	1	50	50
4	**废物处置系统**						**1600**
4.1	废物暂存及转运系统	\		套	2	800	1600
5	**防护系统**						**1385.00**
5.1	低本底αβ计数器	每个计数抽屉有四个探测器，高效率的流气式正比计数器，探测器直径：5.7cm，本底：总α、β：≤0.80cpm，α：≤0.05cpm，β：≤0.75cpm， 效率：α（210Po）≥40%，β（90Sr/90Y）≥45%，串扰：α对β<1.0% (210Po），α坪斜≤2.5%/100V；坪长≥800V，β坪斜≤2.5%/100V；坪长≥200V，样品计数率：500 000cpm，死时间丢失的计数<1.5%，计数时间预设：0.1—9999 m	堪培拉 LB4200	套	1	75	75

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
5.2	液氮回凝制冷机	液氮罐容积：2 5L, 在探测器处于冷却状态后，液氮罐充满的状态下，可保证两年或更长的时间不需要充液氮。（运行过程中未出现断电情况）全球顶级斯特林压缩机制造商（sunpower公司）平均无故障时间大于 20 万小时自带感应与控制元件，以文字或数字形式显示如下信息：是否在液氮循环状态；当前液氮水平配备安全泄压阀，保证设备不会因断电导致压力过高而导致危险匹配 UPS 电源等配件。 噪声： 1 m 处小于 60 分贝 接近零维护	欧泰克 Mobiuss	套	1	40	40
5.3	在线气氚监测系统	直接探测下限不低于 40 Bq/L	Tyne7045	套	1	35	35
5.4	在线式气溶胶监测系统	测量对象：α、β；测量范围：α10-2~3.7*10-6/Bq/m³；β1.0~3.7*10-6/Bq/m³；	SIM-MAX PING3201	套	1	40	40
5.5	空气放射性监测系统	此设备适配便携式高纯锗伽马谱仪定制，包含 NaI 探头和配套的光电倍增管、多道、定制化气体测量腔室、可拆卸低本底铅屏蔽结构、空气泵等机械管路及配件、定制化系统控制软件、定制化移动小车等。采用实验室用的低本底铅，活度要求小于 200 Bq/kg，屏蔽结构安装到测量腔室，和高纯锗探头组成测量系统后，要求本底小于 20 cps。	自研	套	1	60	60

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
5.6	屏蔽门	屏蔽门主体材料和尺寸待定；基础材料要求如下：混凝土密度不小于 2.35 g/cm³，钢板采用 Q235B，密度不小于 7.85 g/cm³。板材尽量采用一块成型，若尺寸过大，可根据自身工艺采用板材拼焊的制造方式加工成型，但要求整体无直缝。屏蔽门除门体外还应包含门机、门框、电磁门锁及行程开关。其中门机需配备门机控制装置及安全防夹装置。技术指标：1、尺寸偏差：±5mm ²、门一墙间隙不大于 5mm³、配置电磁离合装置，紧急情况可自由推拉。	非标	套	11	25	275
5.7	场所剂量监测系统	监测 CSNSII装置区域内的辐射剂量。按照各实验区的要求，实现报警、联锁功能。实现数据存储、事件记录和数据发布功能。	定制	套	9	10	90
5.8	表面污染监测系统	探测限：α≤0.037 Bq/cm²，β≤0.37 Bq/cm²	C2	套	1	200	200
5.9	极早期火灾报警系统	具有高灵敏：0.001～20%obs/m，采样管敷设长度： 200 m，保护面积：2000 ㎡，上位机配套可编程软件 VSC/VSM4，报警阈值总数： 4 个，继电器输出：5 个，采样孔最大数量：36 个。	ICAM IFT-PT	套	24	5	120

序号	设备名称	主要技术参数	规格型号	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
5.10	安全联锁	用于束流联锁控制区，含 PLC 联锁系统*（PLC，紧急停机、搜索清场、声光报警等）；门禁联锁系统（双机热备服务器和接入控制器，出入读卡器，摄像机，NVR 等）；钥匙联锁系统（钥匙交换装置、联锁门综合控制柜）等。	非标	套	6	40	240
5.11	控制区门禁与视频监控	门禁监控系统，满足各门点互锁要求，配置双机热备服务器和接入控制器，支持单门双向，具有出入读卡器，摄像机，NVR 等设备；工作温度-40～85 度；相对湿度 5%～95%；工作额定电压 DC12V，可稳定工作电压范围：DC10～16 V（带过流，过压，防雷，防反接，防短路保护）	非标	套	70	3	210

表 7.1-7 公用设施分总体工艺专项明细表

序号	设备名称	主要技术参数	参考厂家（制造厂、国别）	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
	公用设施设备费						**14998**
1	**供配电系统**						**5284**
1.1	干式变压器	SCB-2000-2500 kVA-NX2、10/0. 4kV	国产	台	16	34	544
1.2	10kV 开关柜	10 kV、25 kA～31. 5kA、630～1250 A，中置柜	国产	台	40	10	400
1.3	低压柜	400 V、抽出式成套低压开关柜	国产	台	144	11.5	1656
1.4	直流馈电屏	直流 110 V	国产	台	2	5	10
1.5	母线槽	密集型铜母线槽，5000 A，IP54~IP65	国产	批	1	120	120
1.6	配电箱、变频器和启动控制柜	400 V、固定式成套设备	国产	台	200	1.8	360
1.7	电线电缆	室外新增 10 kV 电缆，FYZR-YJV22-8.7/15-3*240	国产	km	7.2	70	504
1.8	电线电缆	室内其他电缆	国产	项	1	1300	1300
1.9	供配电辅材	成品支吊架、铜鼻子、热缩套管、末端桥架、线管、金属软管	国产	批	1	100	100

序号	设备名称	主要技术参数	参考厂家（制造厂、国别）	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
1.10	电力监控系统	服务器、交换机、通信管理机、工作站、操作屏、监控软件等	国产	项	1	80	80
1.11	动态电压调节器	800 kVA	国产	台	2	80	160
1.12	UPS	15 0kVA，3 h	国产	项	1	50	50
2	**工艺水冷系统**						**3503**
2.1	水泵	Q=10~1300 m³/h，H=35~95 m: P=55~160 kW	国产	台	26	15	390
2.2	潜水泵	Q=5 m³/h，H=30 m ；不锈钢	国产	台	6	1.8	10.8
2.3	冷水机组	Q1=700 m³/h，Q2=1300 m³/h: P=5500 kW	国产	台	3	220	660
2.4	冷却塔	Q=450 m³/h，P1=2500 kW，P2=22 kW	国产	台	9	18	162
2.5	稳压装置	V=0.2 m³	国产	台	8	4	32
2.6	水质处理装置	Q=1~20 m³/h	国产	套	8	25	200
2.7	水冷控制（现场控制器、软件等）	精度：±0.1~1℃	国产	项	8	40	320
2.8	膨胀水箱	V=1.2~10 m³	国产	台	7	2	14

序号	设备名称	主要技术参数	参考厂家（制造厂、国别）	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
2.9	废水储罐（不锈钢）	V=15 m³	国产	台	2	12	24
2.10	机械过滤器	Q=30~250 m³/h	国产	台	14	3.5	49
2.11	阀门	DN6-450，PN1.0~1.6 MPa	国产	项	1	450	450
2.12	电加热器	Q=1~810 m³/h，P=2~200 kW	国产	台	8	8.2	65.6
2.13	调功柜	P=2~200 kW	国产	台	8	5.5	44
2.14	电动调节阀	DN25~DN400	国产	台	9	8.4	75.6
2.15	板式换热器	Q1=37~638 m³/h，Q2=22～13000m³/h: P=10~5500 kW	国产	台	10	8.6	86
2.16	仪表及传感器	流量、压力、压差、温度、水质等	国产	项	1	350	350
2.17	管道管件	φ8*1~φ630*9	国产	项	1	450	450
2.18	保温材料	φ8*1~φ630*9	国产	项	1	120	120
3	**工艺通风空调系统**						**5654**
3.1	不锈钢离心风机	S304，耐压 10000 Pa，风量 3000 m³/h~30000 m³/h，风压 1000 Pa~500 0Pa，变频电机	国产	台	31	24	744

序号	设备名称	主要技术参数	参考厂家（制造厂、国别）	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
3.2	通风机	风量 10000 m³/h~30000 m³/h，机外余压 500 Pa~1500 Pa，变频电机	国产	台	25	2.6	65
3.3	不锈钢密闭空调箱	S304，耐压±3000 Pa，零级泄漏。风量 30000 m³/h，冷量 150 kW，电加热量 45 kW。	国产	台	10	18	180
3.4	高效空气粒子过滤器	S304，耐压 10000 Pa，运行期间无泄漏。采用 1 级或 2 级 HEPA 滤芯，过滤效率 99.97%@0.3μm。单台风量 3400 m³/h	国产	台	41	9	369
3.5	吸附器	单台风量 3400 m³/h，S304，整机耐压 10000 Pa	国产	台	10	15	150
3.6	气体处理装置	304 或 PP 材质，耐压±10000 Pa，对外零级泄漏	国产	套	6	5	30
3.7	空调末端设备	风量 3000 m³/h~50000 m³/h，冷量 10 kW~250 kW，机外余压 500 Pa~1500 Pa，过滤效率 F4～H14	国产	台	57	10.5	598.5
3.8	不锈钢密闭风阀	不锈钢 S304 材质，外泄漏等级为零级泄漏，内泄漏等级为零级泄漏或一级泄漏。外径 DN50～DN1000	国产	项	1	430	430
3.9	碳钢阀门	平衡阀、电动调节阀（含工业执行机构）、蝶阀、球阀、闸阀、截止阀等，DN15~DN350	国产	项	1	136	136

序号	设备名称	主要技术参数	参考厂家（制造厂、国别）	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
3.10	不锈钢烟囱	不锈钢 S304 材质，出口管径 DN1500，高度 40 m。	国产	台	1	140	140
3.11	厚壁不锈钢管道管件	不锈钢 S304 材质，外径 DN15～DN1500，壁厚 2 mm～8 mm	国产	项	1	584.5	584.5
3.12	碳钢管道管件	DN15~DN350	国产	项	1	46	46
3.13	镀锌钢板风管系统	镀锌钢板风管管道、管件、各类手动和电动风阀含执行机构	国产	项	1	48	48
3.14	高密度聚乙烯风管	公称直径 DN500～DN900，带钢丝网骨架 HDPE 材质，耐压优于 0.25 MPa	国产	项	1	210	210
3.15	变频柜	功率 4~75 kW，含变频器、配套元器件、控制二次回路及柜体等	国产	台	115	1.6	184
3.16	调功柜	功率 10~150 kW，含可控硅无级调节器、配套电气元件、控制二次回路及柜体等。	国产	台	65	1.6	104
3.17	控制柜	含 PLC 控制器和相关各类模块，本地显示，数据记录存储等设备	国产	台	94	2	188
3.18	传感器及仪器仪表	温度传感器、温湿度传感器、露点温度传感器、压差传感器、气体流量计、微差压变送器、压力表及温度计等。	国产	项	1	164	164
3.19	卫生级管道系统	卫生级管道、管件、阀门（含执行机构），不锈钢 S304 材质，内外抛光，Ra 优于 0.8 μm，DN25~DN350	国产	项	1	26	26

序号	设备名称	主要技术参数	参考厂家（制造厂、国别）	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
3.20	压缩空气气源	0.6/0.8 MPa，含油优于 0.01 ppm，压力露点≤-40℃	国产	套	1	90	90
3.21	卡套式管阀件	不锈钢 S304 或 S316 材质，管道为光面管，管道管件和阀门均为卡套式连接。	国产	项	1	60	60
3.22	自动控制系统	含服务器、各类工作站、网络交换机、通讯装置、线缆、声光报警装置等	国产	项	1	150	150
3.23	密闭式风量调节装置	控制风量 200~1000 m^3/h，对外零级泄漏。S304	国产	项	148	4	592
3.24	冷水机组	冷量 3580 kW，用电量 640 kW，冷冻水供回水温度 6/14℃，冷却水进出水温 32/37℃	国产	台	2	130	260
3.25	水泵	水量 375~720 m^3/h，扬程 30~50 m，功率 55~90 kW	国产	台	4	15	60
3.26	冷却塔	水量 800 m^3/h，功率 30 kW，进出水温度 37/32℃	国产	套	2	18	36
3.27	水处理装置	水质处理和定压补水等	国产	套	3	3	9
4	**设备安装系统**						**268**
4.1	天车	5t~30 t，跨度 7-30 m	国产	台	6	38	228
4.2	工具工装	标准件、安装工具、吊索具、安装工装等	国产	项	1	40	40
5	**计算机网络系统**						**289**

序号	设备名称	主要技术参数	参考厂家（制造厂、国别）	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
5.1	汇聚交换机	不低于 20 个 10G SFP+光口，4 个 10 G/25 G SFP28 光口；2 个模块化电源	国产	套	4	2	8
5.2	POE 交换机	不低于 40 个 10/100/1000 M 自适应电口，不低于 4 个 10G SFP+光口；PoE 满载不低于 1000 W	国产	套	6	2	12
5.3	接入交换机	不低于 40 个 10/100/1000 M 自适应电口，不低于 4 个 10G SFP+光口	国产	套	12	1	12
5.4	无线 AP	不低于 6 条空间流；工作频段：802.11a/b/g/n/ac/ax	国产	套	110	0.5	55
5.5	无线 AP 管理 license	增加管理 128 个 AP	国产	套	2	2	4
5.6	实验数据传输交换机	不低于 40 个 10G/25G SFP28 端口，不低于 6 个 40 G/100 G QSFP28 端口	国产	套	6	10	60
5.7	服务器 1	双路 CPU，不低于 56 核心；内存：192 GB；光纤 HBA 卡数量：1 块双口 16Gb FC HBA 卡，配备 2*1TB 数据盘	国产	台	10	5	50
5.8	服务器 2	双路 CPU，不低于 56 核心；内存：192 GB；25 G 光模块，配备 12*12TB 数据盘	国产	台	1	8	8
5.9	服务器 3	双路 CPU，不低于 112 核心；内存不低于 256 GB；25 G 光模块；配备 4 个 GPU 卡；配备 2*1TB 数据盘	国产	台	4	10	40

序号	设备名称	主要技术参数	参考厂家（制造厂、国别）	单位（台、套等）	数量	单价（万元）	总价（万元）
5.10	SAS 阵列	硬盘数量：6；单硬盘容量：14 TB	国产	套	1	20	20
5.11	SSD 阵列	硬盘数量：3；单硬盘容量：3.84 TB	国产	套	1	20	20

表 7.1-8 实验设施工程明细表

序号	名称	特征	规格	单位	数量	单价（元/个或组、台、把、套、匹）	合计（万元）
1	光学平台	阻尼隔振	2400mm×1500mm×800mm	个	10	45000	45.00
2	小光学平台	阻尼隔振	1200mm×600mm×800mm	个	10	18000	18.00
3	主控操作终端	标准台面	台面 M6 螺孔	个	30	12000	36.00
4	静电防护作业站	全钢结构，理化桌面	900mm(w)x850mm(H)	米	500	1500	75.00
5	化学通风处理单元	全钢结构，钢化玻璃可视窗，理化桌面	1mm 冷轧板，台面供电，自带高效过滤和活性炭过滤	个	12	6000	7.20
6	气瓶防爆存储单元	1.0mm 冷轧钢板，双层结构，配泄漏报警装置	1900mm（高）×1200mm（宽）×450mm	个	6	4000	2.40
7	危化品安全储存单元	耐腐蚀防爆柜 GA 机械双人双锁	22 加仑	个	12	2000	2.40
8	集中控制终端	12 位控制台	非标定制，照彰	套	1	250000	25.00

序号	名称	特征	规格	单位	数量	单价（元/个或组、台、把、套、匹）	合计（万元）
9	630B 标准实验作业基座	1.630B 结构（1.mm 冷轧钢板）2.20mm 陶瓷板台面	1800*750*850	台	8	5000	4.00
10	6306 标准实验作业基座	1.630B 结构（1.mm 冷轧钢板）2.20mm 陶瓷板台面	1000*1000*850	台	2	4000	0.80
11	630B 标准实验作业基座	1.630B 结构（1.mm 冷轧钢板）2.20mm 陶瓷板台面	1600*750*850	台	2	5000	1.00
12	630B 仪器安置基座	1.630B 结构（1.mm 冷轧钢板）2.20mm 陶瓷板台面	3000*900*850	台	2	10000	2.00
13	墙边实验作业基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉末，台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚，110 度缓冲合页三节静音导轨	4500*750*850	台	65	13500	87.75

序号	名称	特征	规格	单位	数量	单价（元/个或组、台、把、套、匹）	合计（万元）
14	墙边实验作业基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用1.0厚钢板成型喷涂环氧树脂粉末，台面为12.7MM实芯理化板台面边缘加厚，110度缓冲合页三节静音导轨	1800*750*850	台	75	5400	40.50
15	墙边实验作业基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用1.0厚钢板成型喷涂环氧树脂粉末，台面为12.7MM实芯理化板台面边缘加厚，110度缓冲合页三节静音导轨	1600*750*850	台	70	4800	33.60
16	墙边实验作业基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用1.0厚钢板成型喷涂环氧树脂粉末，台面为12.7MM实芯	3000*750*850	台	30	9000	27.00

序号	名称	特征	规格	单位	数量	单价（元/个或组、台、把、套、匹）	合计（万元）
		理化板台面边缘加厚，110 度缓冲合页三节静音导轨					
17	中央实验操作岛	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉末，台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚，110 度缓冲合页三节静音导轨	3000*1500*850	台	75	18000	135.00
18	中央实验操作岛	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉末，台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚，110 度缓冲合页三节静音导轨	4500*1500*850	台	70	26360	184.52

序号	名称	特征	规格	单位	数量	单价（元/个或组、台、把、套、匹）	合计（万元）
19	局部排风处理单元	全钢结构，箱体采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉末，内衬 5MM 抗贝特板台面为 12.7MM 实芯理化板台面.带光源插座液晶控制面板等.	1500*850*2350	台	75	8850	66.38
20	仪器固定安置基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉末，台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚，110 度缓冲合页三节静音导轨	2700*900*850	台	65	8400	54.60
21	仪器固定安置基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉末，台面为 12.7MM 实芯	1500*900*850	台	35	4565	15.98

序号	名称	特征	规格	单位	数量	单价（元/个或组、台、把、套、匹）	合计（万元）
		理化板台面边缘加厚，110 度缓冲合页三节静音导轨					
22	仪器固定安置基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉末，台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚，110 度缓冲合页三节静音导轨	5200*900*850	台	10	15600	15.60
23	转角连接作业基座	全钢落地箱结构，箱体整焊采用 1.0 厚钢板成型喷涂环氧树脂粉末，台面为 12.7MM 实芯理化板台面边缘加厚，110 度缓冲合页三节静音导轨	1000*1000*850	台	75	3825	28.69

序号	名称	特征	规格	单位	数量	单价（元/个或组、台、把、套、匹）	合计（万元）
24	化学试剂储存单元	PP 材质，四门，上下视窗	900*450*1800	台	192	1500	28.80
25	实验器皿收纳单元	PP 材质，四门，上视窗、下百叶	900*450*1800	台	128	1450	18.56
26	万向排气罩	铝合金材质，三节式	Φ100	套	108	3200	34.56
27	原子吸收罩	201 材质	罩口：300*300 mm，管径：110 mm， 总高度：850 mm	套	15	260	0.39
28	PP 滴水架	PP 材质，带背板，61 根 PP 棒	457*76*917	套	67	580	3.89
29	PP 中号水槽+三联水龙头+紧急洗眼器	水槽为 PP 材质，洗眼器为手持双口	550*450*310	套	83	648	5.38
	合计						**1000.00**

7.1.5 项目的前期经费

1.拟开展的项目前期工作

结合项目实际，拟申请开展工程监理费、可行性研究报告编制、环境影响咨询服务费、节能报告编制费、气候可行性论证费、雷电风险评估费、水土保持方案编制及检测费、场地准备及临时设施费、设计费、勘察费、BIM 技术服务费、施工图技术审查费、工程造价咨询费、招标代理服务费、检验监测费、工程保险费、城市基础设施建设费、高可靠性供电费、白蚁防治费、人防易地建设费、特殊消防论证费、职业病危害评估、联合试运转、地震安全性评价费等 24 项前期工作。

2.前期工作经费的计算过程

项目总投资 54050.80 万元。其中，工程费用 37905.04 万元，工程建设其他费 4653.02 万元(含建设期利息 1878.21 万元)，预备费 2033.99 万元，学校设备购置费 9458.75 万元。根据相关计算标准，以及参考《东莞市财政投资固定资产项目第三方服务费标准调整方案》，本项目前期工作经费共计 1060.49 万元，具体计算过程如下表，

2.前期工作经费构成

参考相关计费标准，预计项目的前期经费如下:

(1) 工程监理费约 571.22 万元；

(2) 可行性研究报告编制约 64.75 万元；

(3) 环境影响咨询服务费约 150 万元；

(4) 节能报告编制费约 8.66 万元；

(5) 气候可行性论证费约 15.16 万元；

(6) 雷电风险评估费约 20.08 万元；

(7) 水土保持方案编制及检测费

1）水土保持方案编制费约 13.21 万元；

2）水土保持监测费约 19.82 万元；

3）水土保持设施竣工验收技术评估报告编制费约 10 万元；

(8) 场地准备及临时设施费约 133.86 万元；

(9) 设计费约 1618.8 万元；

(10) 勘察费约 175.43 万元；

(11) BIM 技术服务费约 37.36 万元；

(12) 施工图技术审查费约 116.62 万元；

(13) 工程造价咨询费约 57.36 万元；

(14) 招标代理服务费

1）工程招标代理费约 69.32 万元；

2）工程勘察招标代理费约 2.1 万元；

3）工程设计招标代理费约 9.73 万元；

(15) 检验监测费约 267.72 万元；

(16) 工程保险费约 125.31 万元；

(17) 城市基础设施建设费约 76.53 万元；

(18) 高可靠性供电费约 638.4 万元；

(19) 白蚁防治费约 7.18 万元；

(20) 人防易地建设费约 583.7 万元；

(21) 特殊消防论证费约 80 万元；

(22) 职业病危害评估约 100 万元；

(23) 联合试运转约 466.85 万元；

(24) 地震安全性评价费约 20 万元。

3.前期工作经费的计算过程

项目总投资 125007.25 万元，其中，工程费用 115907.09 万元，工程建设其他费用 5459.17 万元，预备费 3640.99 万元。根据相关计算标准，以及参考《东莞市财政投资固定资产项目第三方服务费标准调整方案》，本项目前期工作经费共计 5459.17 万元，具体计算过程如下表，

表 7.1-9 项目的前期经费计算表

序号	项目	费用（万元）	计算公式	计算依据及说明
1	工程监理费	571.22	=(991.4+(1255.8-991.4)/20000*(26772.08+14998+(88135.01-14998+1000)*40%-60000))*50%	发改价格〔2007〕670 文，1.（以建筑工程+公用设施分总体）*1+（工艺专项工程-公用设施分总体）*40%+实验家具工程费用*40%为计算基数）； 2.下浮 50%。
2	可行性研究报告编制	64.75	=(110+(200-110)/(500000-100000)*(125007.25-100000))*0.8*1*70%	计价格〔1999〕1283 号,下浮 30%
3	环境影响咨询服务费	150	=50+20+50+30	包括环境影响评价报告书编写费用约 50 万元，辐射监测费用约 20 万元，辐射安全许可证申请过程的辐射安全分析报告编写费用约 50 万元，竣工环保验收监测费用约 30 万元。
4	节能报告编制费	8.66	=12+(15-12)/(300000-100000)*(125007.25-100000))*70%	1.按东发改〔2014〕427 号； 2.下浮 30%。
5	气候可行性论证费	15.16	=(30+(35-30)/(50-10)*(125007.25/10000-10))*50%	按东气函〔2020〕25 号计费，下浮 50%
6	雷电风险评估费	20.08	=26772.08*0.15%*50%	粤价函〔2004〕409 号文、（粤气〔2003〕88 号文），下浮 50%
7	水土保持方案编制及检测费			东发改〔2014〕427 号、东水务函〔2014〕909 号）
7.1	水土保持方案编制费	13.21	=(12+(14-12)/(20000-10000)*(4119.05+2345.35+8885.88+7834.81-10000)*70%	参考东水务函〔2014〕909 号文，以土建费用为计算基数，下浮 30%
7.2	水土保持监测费	19.82	(18+(21-18)/(20000-10000)*(4119.05+2345.35+8885.88+7834.81-10000)*70%)	按水保监〔2005〕22 号文，以土建费用为计算基数，下浮 30%

序号	项目	费用（万元）	计算公式	计算依据及说明
7.3	水土保持设施竣工验收技术评估报告编制费	10	=10	按水保监〔2005〕22 号文
8	场地准备及临时设施费	133.86	=26772.08*0.5%	暂按 0.5%计算
9	设计费	1618.8	(2393.4+(4450.8-2393.4)/(200000-100000)*(115907.09-100000))*1*0.85*70%	计价格〔2002〕10 号，以工程费用为设计费计算基数，下浮 30%
10	勘察费	175.43	=(26772.08+14998.00)*0.6%*70%	以建筑工程和公共设施费之和为计算基数，暂按 0.6%计算。
11	BIM 技术服务费	37.36	=31.24*23917/10000*50%	粤建科〔2019〕12 号,下浮 50%
12	施工图技术审查费	116.62	=175.43*6.5%	按工程勘察费+工程设计费 6.5%计
13	工程造价咨询费	57.36	(100*0.48%+400*0.41%+500*0.38%+4000*0.34%+5000*0.29%+(26772.08+14998-10000)*0.26%)*50%	按粤价〔2011〕742 号（以建筑工程和公共设施费之和为计算基数），计取工程量清单及预算编制费；下浮 50%
14	招标代理服务费			计价格〔2002〕1980 号
14.1	工程招标代理费	69.32	=100*1%+400*0.7%+500*0.55%+4000*0.35%+5000*0.2%+40000*0.05%+50000*0.035%+(115907.09-100000)*0.008%)*100%	
14.2	工程勘察招标代理费	2.1	=(100*1.5%+(175.43-100)*0.8%)*100%	
14.3	工程设计招标	9.73	=(100*1.5%+(500-100)*0.8%+(1618.8-500)*	

序号	项目	费用（万元）	计算公式	计算依据及说明
	代理费		0.45%)*100%	
15	检验监测费	267.72	=26772.08*1%	按建安费 1%计算（以建筑工程费为计算基数）
16	工程保险费	125.31	=（26772.08+14998）*1%	按建安费 0.3%计算以建筑工程和公共设施费之和为计算基数）
17	城市基础设施建设费	76.53	=800*23917*4%/10000	《东莞市自然资源局 东莞市财政局 东莞市住房和城乡建设局关于重新印发东莞市城市基础设施配套费征收管理规定（试行）的通知》（东自然资规〔2025〕3 号），工业类别
18	高可靠性供电费	638.4	=(2500*12+2000*4)*112*1.5/10000	粤发改价格函〔2017〕5068 号
19	白蚁防治费	7.18	=23917*3/10000	粤价〔2002〕370 号
20	人防易地建设费	583.7	=3242.8*1800/10000	东发改〔2021〕30 号
21	特殊消防论证费	80	=80	暂估
22	职业病危害评估	100	=100	本项目属于核能中的核技术利用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发等，另外，生产过程中也存在噪声的影响。根据项目实际需求，计取职业病危害评估。
23	联合试运转	466.85	=93370.23*0.5%	设计单位在建筑、结构、各类机电等专业均需要与工艺设计深入协作，设计内容和工艺布局高度耦合，与常规设计相比工作量和难度显著提高，还需要多次长时间现场联合设计，因此按设备及安装费的 0.5%计取。
24	地震安全性评价费	20	=20	暂估

7.2 财务分析

7.2.1 编制依据

1．国家发展改革委、建设部以发改投资〔2006〕1325 号《关于印发建设项目经济评价方法与参数的通知》（第三版）；

2．《投资项目经济咨询评估指南》中国国际工程咨询公司〔1998〕；

3．本项目的有关数据；

4．企业财务通则；

5．企业会计准则；

6．其他有关经济法规和文件。

7.2.2 编制说明

1．项目计算期

本次财务评价期取 20 年，其中项目土建及装修工期约 3 年 6 月，计划从 2026 年 1 月至 2029 年 6 月。项目工艺技术工期约 6 年，计划从 2025 年 12 月至 2031 年 12 月。

2．财务基准收益率

根据医药行业基准收益率水平，结合项目融资成本及投资方的收益预期，本项目全投资财务基准收益率设定为 18%。

3．税种及税率

①增值税：本项目经营收入计征增值税，增值税税率取 9%。

②增值税附加：城市维护建设税、教育费附加、地方教育费附加分别按应纳增值税的 7%、3%、2%计征。

③企业所得税：项目企业所得税税率取 25%。

7.2.3 经营收入

项目经营收入主要是销售镭-223、锕-225、铅-212/铋-212 收入。

这 3 款α核素具体价格受购买途径及核素纯度差异很大，Ra^{-223} 药品单剂目前国内价格是 20 万元/mCi；Ac^{-225} 价格非 GMP 级价格在 10 万元/mCi，GMP 级价格在 30-40 万元/mCi；Pb^{-212} 价格为 8 万元/mCi。考虑到未来量产后价格降低，极保守的估计价格为当前价格的 1/10，暂按以下价格核算收益，Ra^{-223} 2 万元/mCi，

Ac^{-225} 1 万元/mCi， Pb^{-212} 0.8 万元/mCi。

本项目核心产能指标如下：

表 7.2-1 核心产能指标

1	镭$^{-223}$年产能	居里	300	放射性核纯度≥99%
2	锕$^{-225}$年产能	居里	250	放射性核纯度≥99%
3	铅$^{-212}$/铋$^{-212}$年产能	居里	300	放射性核纯度≥99%

营业收入及税费估算详见附表 1。

7.2.4 总成本及费用估算

项目总成本及费用包括外购原材料费、外购燃料及动力、设备维修维护及检测费用、日常建筑修理费、工资及福利费、管理费用及其他研发成本等。

研发中心运维成本包括水电费、人员经费、药物研发（试剂、耗材、动物）药物安全评价、设备维护及“三废”处理费等。

1．外购原材料费

投产后，项目年外购原材料暂按 9200 万元考虑。

2．外购燃料及动力

本项目外购燃料及动力主要是电及水，用水包括生产及生活用水；年用电量包括生产及生活用电。投产后，项目外购燃料及动力暂按 7690 万元考虑。

3．设备维修维护及检测费用

项目设备维修维护及检测费按照工艺设备费用的 10%考虑。

4．日常建筑修理费

日常建筑维修费按照工程费减去工艺设备及实验设施工程费用的 2%暂算。

5．工资及福利费

本项目建成后技术人员约 260 人，人均工资及福利按照 50 万元/年考虑；管理及后勤配套人员暂按 50 人考虑，人均工资及福利按照 30 万元/年考虑。

6．管理费

管理费包括日常办公费用、差旅费、业务接待费等，暂按收入 1%暂估。

7．其他研发成本

暂按 30000 万元/年考虑，共考虑 5 年。

8．折旧及摊销费

固定资产折旧按直线法分类折旧计算，建筑折旧年限按 36 年，固定资产净残值率为 5%。生产设备折旧年限按 16 年，固定资产净残值率为 5%。

9．财务费用

财务费用发债所产生的利息，发债利率暂按 3.5%计算，在运营期最后一年还本。

成本费用估算详见附表 2。固定资产折旧详见附表 3。

7.2.5 项目损益表及利润分配

根据营业收入减去综合税费和总成本，进行利润的估算。利润及利润分配详见附表 5。

7.2.6 财务盈利能力分析

经测算，项目全部投资财务内部收益率为 51.85 %（基准收益率 18%），全部投资财务净现值为 489660 万元，全投资回收期为 6.70 年（含建设期）。

表 7.2-2　　财务盈利能力分析

序号	项　　目	单位	指标	备注
1	全投资内部收益率	%	51.85%	
2	全投资财务净现值	万元	489660	折现率 18%
3	全投资回收期	年	6.70	含建设期

以上指标表明本项目财务评价可行。

项目投资现金流量表详见附表 5。

7.2.7 融资方案

项目资金来源：根据《市政府工作会议纪要》（〔2025〕501 号），资金来源主要依靠申报地方政府专项债券资金解决，若地方政府专项债券资金获批总额不足以覆盖项目概算批复的建设经费总额，由市财政、松山湖财政按照 1:1 比例分摊补足。根据项目建设进度计划安排，项目资金主要分 3 年投入，资金使用初步计划见下表：

表 7.2-3 投资计划与资金筹措表

单位：万元

序号	项目	合计	建设期			
			1	2	3	4
1	**总投资**	**125007.25**	**5000.29**	**18751.09**	**56253.26**	**45002.61**
1.1	建设投资	125007.25	5000.29	18751.09	56253.26	45002.61
1.2	建设期利息	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.3	流动资金	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	**资金筹措**	**125007.25**	**5000.29**	**18751.09**	**56253.26**	**45002.61**
2.1	自筹资金	0.00	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
2.1.1	用于建设投资	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.1.2	用于建设期利息	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.1.3	用于流动资金	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.2	专项债券融资	**125007.25**	**5000.29**	**18751.09**	**56253.26**	**45002.61**
2.2.1	用于建设投资	125007.25	5000.29	18751.09	56253.26	45002.61
2.2.2	用于建设期利息	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.2.3	用于流动资金	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

7.2.8 债务清偿能力分析

本项目计划发行专项债券融资，融资总额 125007.25 万元，发行年限为 20 年期，债券利息按半年支付，债券到期一次性偿还本金，该债券可按规定在全国银行间债券市场和证券交易所债券市场上市流通。该专项债券还本付息资金来源为本项目的运营收入。从财务分析数据中可知，运营年末可用于还本金额约 4901918 万元（未分配利润及折旧费）。这些指标表明本项目在运营期内偿债能力较好。

借款还本付息计划表见附表 6。

7.2.9 财务可持续性分析

通过对财务计划现金流量分析，项目方案比较合理，能实现自身资金平衡。

第八章 项目影响效果分析

8.1 经济影响分析

8.1.1 宏观经济影响分析

《国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出：

强化国家战略科技力量，从国家急迫需要和长远需求出发，集中优势资源攻关新发突发传染病和生物安全风险防控、医药和医疗设备、关键元器件零部件和基础材料、油气勘探开发等领域关键核心技术。

加强产业基础能力建设。实施产业基础再造工程，加快补齐基础零部件及元器件、基础软件、基础材料、基础工艺和产业技术基础等瓶颈短板。依托行业龙头企业，加大重要产品和关键核心技术攻关力度，加快工程化产业化突破。

构筑产业体系新支柱。聚焦新一代信息技术、生物技术、新能源、新材料、高端装备、新能源汽车、绿色环保以及航空航天、海洋装备等战略性新兴产业，加快关键核心技术创新应用，增强要素保障能力，培育壮大产业发展新动能。推动生物技术和信息技术融合创新，加快发展生物医药、生物育种、生物材料、生物能源等产业，做大做强生物经济。深入推进国家战略性新兴产业集群发展工程，健全产业集群组织管理和专业化推进机制，建设创新和公共服务综合体，构建一批各具特色、优势互补、结构合理的战略性新兴产业增长引擎。鼓励技术创新和企业兼并重组，防止低水平重复建设。

深化医药卫生体制改革。加强预防、治疗、护理、康复有机衔接。推进国家组织药品和耗材集中带量采购使用改革，发展高端医疗设备。完善创新药物、疫苗、医疗器械等快速审评审批机制，加快临床急需和罕见病治疗药品、医疗器械审评审批，促进临床急需境外已上市新药和医疗器械尽快在境内上市。

本项目采用世界领先的医用同位素量产装置，项目运营将取得可观的经济与示范效益。本项目的建设符合国家医疗事业的发展要求，有助于推进健康中国发展，促进国家经济社会的平稳发展。

8.1.2 区域经济影响分析

松山湖地处东莞中部，与深圳市光明科学城接壤。2001 年设立产业园区，2010 年升格为国家级高新区；2018 年，在松山湖国家高新区部分区域基础上，整合大朗、大岭山、黄江等周边镇部分区域共 90.5 平方公里，规划建设松山湖科学城；2020 年 7 月，与深圳光明科学城共同获批建设大湾区综合性国家科学中心先行启动区。

先进制造业集聚。形成了以华为公司为龙头的千亿级智能移动终端产业集群；重点布局智能装备制造、生物医药、新能源、新材料等战略性新兴产业；大力发展数字经济，入选省产业集群数字化转型试点、省数字服务出口基地名单。市场主体超过 17000 户，拥有 7 家上市企业、37 家专精特新“小巨人”企业、222 家省级专精特新中小企业。拥有千亿元企业 1 家，百亿元企业 6 家，50 亿元企业 5 家，10 亿元企业 25 家。2024 年，先进制造业增加值占比 57.7%，高技术制造业增加值占比 89%。获评国家绿色产业示范基地、国家级外贸转型升级基地。

科创资源集聚。先后建成中国唯一、全球第四台脉冲式散裂中子源、南方光源研究测试平台，散裂中子源二期、先进阿秒激光设施已动工建设。以国家实验室标准建设的省实验室—松山湖材料实验室于 2018 年投入使用。现有广东医科大学、东莞理工学院、香港城市大学（东莞）、大湾区大学（松山湖校区）等 6 所高校。拥有省级新型研发机构 18 家，国家级孵化器 15 家，国家高新技术企业 750 家，市级以上重点实验室和工程技术研究中心 389 家。全社会 R&D 投入强度达 13%。

本项目的建设将凝聚一批高端科研人员，吸引一批国内外高端用户，成为医用同位素药物相关人才聚集地。项目建设有利于改善区域的投资环境，提高区域人才吸引力。

本项目的建设运营将带来大量的税收和财政收入，为地方政府提供财政支持，用于区域基础设施建设、公共服务提升等，带动周边区域经济发展。

8.1.3 行业影响分析

本项目属于医疗卫生事业，是服务于国计民生的大事，医疗卫生事业的发展

是提高国家人民幸福指数的关键指标。本项目依托散裂中子源伴生质子束，建设高能强流质子束线站、高功率靶站及核素分离纯化产线，突破α同位素量产关键技术，实现镭-223、锕-225、铅-212/铋-212 等百居里级高纯医用核素年产能，构建自主可控的同位素生产体系。项目的建设有利于提高我国核医学创新能力，提高创新效率。项目的建设有利于解决我国医用同位素及其药物的供给问题，推动我国核医学产业上下游全链条发展，培育壮大新兴产业集群。

8.2 社会影响分析

8.2.1 社会效益

项目建设符合《国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》等国家、省、市规划要求，满足社会发展和人民生活水平提高的需求。

本项目的建成实现我国医用α同位素及其他高价值医用同位素的自主生产，促进我国放射性同位素应用技术创新和技术进步，带动我国抗癌创新靶向核药的量产，带动区域抗癌创新药的研发，是“彻底解决国内医用放射性同位素供应安全问题，推动我国核医学应用进一步普及与发展，全面提升人民医疗健康水平”的重要手段。

本项目建成后还可实现示范效应，促进核医药产业向高端发展，带动和推动当地经济向高端转型，具有带动和示范作用，有助于放射性同位素生产行业和专业技能人才的聚集，产生虹吸效应，吸引人才，繁荣地方经济，带动地区就业。

综上所述，项目建设有利于强化国家战略科技力量，提升企业技术创新能力；有利于提高国家医疗水平；有利于区域基础设施建设和城市化进程；有利于增加就业机会，提高居民收入。项目建设社会效益显著。

8.2.2 负面影响

项目建设期间，施工中产生的噪声、粉尘会给区域内居民的生活带来一定影响。主要体现在运输过程中材料及土石方的洒落、刮吹起尘等，对项目周边正常的交通运行带来一定的影响；以及由于施工中土方开挖、施工机械进出、施工噪声等将对地块周边生产生活带来一定的影响。

项目建成后营运过程中，会产生污水废液、废弃物、废气等污染物，但经采取相应措施处理后，其影响均低于国家标准中规定的限值。工作人员和周围公众受到在国家标准范围内的少量辐射照射。

综上所述，项目带来的影响都是可以接受的。

8.2.3 综合影响

综合以上分析，本项目社会影响综合分析见下表。

表 8.2-1 项目社会影响分析表

序号	社会因素	影响的范围、程度	可能出现的结果	措施建议
1	对居民收入的影响	有一定影响	增加了对地区的建设材料和劳动力的需求，提高了地区的国民生产总值，提高了居民的收入。	
2	对居民生活水平与生活质量的影响	有一定影响	周边居民生活水平与生活质量有一定程度的提高。但周围公众受到在国家标准范围内的少量辐射照射。	做好放射性物质的处理
3	对居民就业的影响	有一定影响	增加一定就业机会	
4	对不同利益群体的影响	较小	施工和运营期产生的污染物对周边环境有一定影响	施工期要确保文明施工，加大环保力度。运营期要做好污染物的处理，减少环境影响。
5	对弱势群体的影响	有一定影响	居民的医疗卫生条件得到改善	

序号	社会因素	影响的范围、程度	可能出现的结果	措施建议
6	对地区文化、教育、卫生的影响	有较大影响	医疗卫生条件得到改善	
7	对地区基础设施、社会服务容量和城市化进程的影响	有一定影响	推动了基础设施建设，社会服务容量增大	
8	对少数民族风俗习惯和宗教的影响	无直接影响	无	

8.2.4 项目与所在地互适性分析

互适性分析主要是分析预测项目能否为当地的社会环境、人文条件所接纳，以及当地政府、居民支持项目存在与发展的程度，考察项目与当地社会环境的相互适应关系。社会对项目的适应性和可接受程度分析详见下表。

表 8.2-2 社会对项目的适应性和可接受程度分析表

序号	社会因素	相关者	相关者的兴趣	态度、要求	影响程度	措施建议
1	不同利益群体	劳动者	投入使用时间、人员需求	配套完善	中	加快建设进度
		市民	建设效果、投入使用时间	快，适用	中	调查意见
		附近居民	何时建成，施工期和运营期是否受影响	文明施工、保护环境、降低运营影响	一般	采取必要的环境保护及交通组织措施
		材料设备供应商、设计、施工、监理	价格、建设要求	价格有竞争力，技术要求较低	小	公开招标
2	当地组织机构	市、区政府	建设规模、投资、资金落实、进度	支持项目建设，关注项目的社会效益	较大	重视
		市、区相关部门	规划、用地、环保			
3	当地技术条件	设计	建设规模、进度和建设标准	建设进度时间安排	一般	符合当地人文环境特点

序号	社会因素	相关者	相关者的兴趣	态度、要求	影响程度	措施建议
		施工	建设规模、进度和建设标准		一般	确保质量和进度要求
		监理	建设规模、进度和建设标准		一般	管理措施
		建筑材料	建设规模、进度和建设标准		一般	质量、价格
		市政配套	建设规模、进度		一般	满足运营要求

从与项目关系密切的主要利益群体分析可知，项目建设对区政府、当地居民、周边企业、商业和服务机构均有良好影响，可望得到以上几个方面利益群体的支持。

因此，项目的建设与社会总体上能互相适应，协调发展。

8.2.5 社会评价结论

根据建设项目对社会的影响分析和互适性分析，本项目的建成有利于构建社会主义和谐社会，提高国家医疗水平和科研能力，有利于推动区域发展建设，能够增加当地居民的就业，具有显著的社会效益。

8.3 生态环境影响分析

8.3.1 编制依据及标准

1. 《中华人民共和国环境保护法》；
2. 《中华人民共和国大气污染防治法》；
3. 《中华人民共和国水污染防治法》；
4. 《中华人民共和国噪声污染防治法》；
5. 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》；
6. 《中华人民共和国水土保持法》；
7. 《中华人民共和国土壤污染防治法》；
8. 《医疗废物管理条例》；
9. 《国家危险废物名录》（2021 年版）；

10．《建设项目环境保护管理条例》；

11．《危险废物识别标志设置技术规范》（HJ 1276-2022）；

12．《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）；

13．《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；

14．《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；

15．《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）；

16．《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-85））。

8.3.2 生态环境现状

根据《2024 年度东莞市生态环境状况公报》，2024 年东莞市空气质量综合指数为 3.02，空气质量指数（AQI）范围为 20-151，达标天数比例为 89.3%，全年空气质量优 206 天、良 121 天、轻度污染 37 天、中度污染 2 天，未出现重度及以上污染。2024 年东莞市空气质量同比改善，综合指数下降 0.12，达标天数比例上升 0.5 个百分点，优良天数增加 5 天。

8.3.3 建设期环境影响及治理措施

本项目建设阶段主要为建筑施工、装修以及设备安装等，该阶段无辐射环境影响，主要的污染因子为施工场地扬尘、施工机械噪声、施工废水、工作人员的生活污水及施工过程中产生的建筑垃圾、生活垃圾等。

项目建设期间，对影响目标产生较大的污染包括：水污染、大气污染、噪声污染和固体废弃物污染。

1．施工期水污染分析及保护

项目施工期间产生的水污染主要为施工工人生活污水、道路清洗水、机械冲洗水、设备材料冲洗水、泥浆水等。主要污染物为 CODcr 石油类、SS 等。

建议采取如下措施：生活污水通过预先埋设的污水管道排入市政污水管道，生产污水须经过简单过滤沉淀处理后再排入污水处理管网，经过污水处理厂处理达标后排放，严禁污水乱排。同时，及时检查施工场地上各机械的油储情况，防止汽油泄漏。

2．施工期大气污染分析及保护

项目在晴天施工期间，进行基坑开挖和砂石灰料运输过程中均会产生扬尘，施工现场周围 100 m 内空气中总悬浮颗粒物浓度显著增加，对影响目标的生活带来不良影响。

拟建项目扬尘点分散，源高一般在 15 m 以下，属无组织排放，特别是输送物料过程中，产生的二次扬尘较突出。

为防止和减少此类污染，建议采取以下措施：

（1）施工过程中遵守《防治城市扬尘污染技术规范》（HJ/T 393-2007）的相关规定：在风力大于 4 级的情况下停止土方作业，同时作业处覆盖防尘网；

（2）建议实行封闭式施工，利用围护材料以防止扬尘，建议设置高度 2 m 以上的围挡，围挡之间应无缝隙。在工地建筑结构脚手架外侧设置有效抑尘的密目防护网或防尘布；

（3）建议使用商品混凝土以避免现场搅拌带来的扬尘；运载建筑材料以及建筑垃圾的车辆在施工现场出入时需办理准运证，并且加盖遮雨布遮盖或使用密闭运输车减少散落；施工场地设置洗车平台，车辆驶出装、卸场地前用水将车厢和轮胎冲洗干净；运输车辆驶出施工现场前将车轮和槽帮冲洗干净，确保车辆不带泥土驶离工地；施工场地内运输通道及时清扫冲洗，以减少汽车行驶扬尘；运输车辆行驶路线避免穿越城市中心区，尽量避开居民点和环境敏感点。不使用敞口运输车运输施工垃圾，杜绝超高、超载和沿路撒落等违法运输行为；

（4）对作业面和临时堆场适当洒水，使其保持一定的湿度，在大风日增加洒水量及洒水次数，施工便道建议进行夯实硬化处理，减少起尘量；

（5）尽可能增大项目施工材料的临时堆放点与周边居民之间的距离，减少扬尘对周围环境的影响；

（6）合理安排施工运输工作，对于施工作业中的大型构件和大量物资的运输，尽量避开交通高峰期，以缓解交通压力。同时，建议施工单位与交通管理部门协调一致，采取相应措施，做好施工现场的交通疏导，避免压车和交通阻塞，最大限度地控制汽车尾气的排放；

（7）各施工阶段建议设置专职环境保护管理人员，其职责是指导和管理施工现场的建筑垃圾、建筑材料的处置、清运、堆放，场地恢复和硬化，清除进出

施工现场道路上的泥土、弃料以及轮胎上的泥土，防止二次扬尘污染。

（8）施工机械废气处理措施包括：源头采用电动化或符合国五/Stage V 标准的低排放发动机；过程优化通过高压共轨、EGR 和低硫柴油减少原生污染；终端加装 DOC+DPF+SCR 组合系统，高效去除颗粒物和氮氧化物；辅以定期维护、减少怠速、油品管理及排放监控，并依托政策强制升级和区域限排，实现全面环保达标。

采取以上防治措施后，可以减轻项目施工扬尘对周围环境的影响。施工期造成的大气污染是短暂的、可恢复的，施工结束后，影响将随之消失。

3．施工期噪声污染分析及保护

施工噪声对周围声环境质量有一定影响，根据《中华人民共和国噪声污染防治法》第二十七条规定“在城市市区内向周围生活环境排放建筑施工噪声时，应当符合国家规定的建筑施工场界环境噪声排放标准”，尽管施工期产生噪声干扰无法完全避免，但仍可以降低到一定程度。

由于建筑施工是在露天作业，流动性和间歇性较强，对各生产环节中的噪声治理具有一定难度，下面结合施工特点，对一些重点噪声设备和声源，提出治理措施建议：

（1）采用低噪声施工机械设备和先进的施工技术是控制施工期噪声有效手段之一。施工机械进场应得到环保或有关部门的批准，淘汰落后的施工设备。对有固定基座的设备应做单独地基处理，减少地面振动与结构噪声的传递；

（2）对各施工环节中噪声较为突出且又难以对声源进行降噪可能的设备装置，建议采取临时围障措施，围障最好辅以吸声材料，以此达到降噪效果。据相关研究资料表明，在搅拌机、电锯、振捣棒等强噪声设备周围设置临时隔声屏障（木板或珍珠岩板等），可降噪 15 dB（A）；

（3）合理安排施工时间，除工程必须，并取得环保部门批准外，避免在 22：00～次日 06：00 期间施工；

（4）合理布置噪声源设备：根据施工场地的地理位置及周围敏感点的分布状况，合理布置噪声设备，施工现场设置临时的屏障设施，在不影响施工情况下将噪声设备尽量不集中安排，同时对固定的机械设备尽量入棚操作；

（5）在施工过程中，采用商品混凝土和成品窗；大型建筑构件建议在施工现场外预制，运到施工现场再行安装；

（6）施工期因工艺或特殊需要必须连续施工的，建议在施工前三日内报经环境环保部门批准，并向施工场地周围的社区、居民或单位公告，以征得公众的理解和支持；

（7）加强交通车辆造成的噪声影响管理，运输车辆尽量采用低声级的喇叭，进出施工现场控制或禁止鸣喇叭，减少交通噪声；

（8）制定施工噪声控制备用应急方案，重视噪声源头的治理工作。当常规噪声控制措施不能满足要求，出现噪声扰民情况，应及时对产生噪声的设备和施工工艺停止施工，并检查噪声防治措施的可靠性。

建议全面落实上述措施，避免对周围居民产生扰民现象，并使施工各阶段的噪声符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中的规定。施工期间的噪声为暂时污染，施工结束后，噪声源消失。

4．施工期固体废弃物污染分析及保护

施工期间产生的固体废弃物污染主要有施工工人产生的生活垃圾、余泥、施工剩余废料等。

建议采取如下措施：

（1）项目施工过程产生的建筑垃圾应尽量结合周边工程的建设进行综合利用，可用于土方回填、道路铺设等用途。建设单位和施工单位应在施工图设计阶段，依据建筑垃圾类别及预估量向市容环境卫生主管部门申请处置核准文件。取得核准后，须严格按批准的地点、运输路线及时间清运处置，确保无法回收利用的建筑垃圾全程合规消纳。

（2）建设单位和施工单位应同步编制《建筑垃圾减量化与处置方案》，明确分类收集、再生利用及最终消纳路径。方案经监理单位确认后，向工程所在镇街（园区）城市管理综合执法分局申请备案。

（3）按照《东莞市建筑垃圾管理条例》和《东莞市建筑垃圾处置管理办法》相关管理办法规范建筑垃圾管理，全面实施建筑垃圾处置电子联单制度，要求建筑垃圾产生单位、运输企业和处置场所必须通过全市统一监管平台进行全流程电

子化操作。产生单位需在线申报垃圾信息并生成电子联单，运输车辆须实时上传轨迹且处置点须扫码核验联单，实现“来源可查、去向可追”。对未使用联单、信息造假或非法倾倒等行为，最高处以罚款并纳入信用惩戒，通过闭环监管杜绝违规处置，促进建筑垃圾资源化利用。

（4）施工场地产生的生活垃圾应集中收集，委托环卫部门清运。

5．施工废水治理措施

（1）源头分类管控：对基坑降水、车辆冲洗、混凝土养护等不同废水实施分流收集，其中高浊度泥浆水经三级沉淀池（添加絮凝剂）处理，含油废水采用隔油池分离；

（2）过程循环利用：处理后的清水回用于降尘、冲洗或养护，减少新鲜水耗；

（3）末端达标排放：通过 pH 调节（如酸性废水中和）、悬浮物过滤及水质监测，确保废水符合《污水综合排放标准》（GB 8978）后排放市政管网。同步建立防渗应急池，防范渗漏风险，实现废水减量化、资源化与合规处置。

8.3.4 运营期环境影响及治理措施（非放射性）

本项目在营运过程中产生的废水、废气、噪声及固废等污染物对周围环境造成一定的影响，因此必须采取相应的环保措施，并保证其环保投资，以使环境影响降到最低程度。

1．废水污染分析及保护

综合废水来自生产工艺中的实验室清洗废水、废气净化系统排水等，采用“pH 调节+酸碱中和”处理工艺预处理满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入园区市政污水管网。纯水制备浓水属于清净下水，排入雨水管网。

2．大气污染分析及保护

实验室废气主要来源于主要为加速器研发分析实验过程中产生的酸性气体、有机废气，主要污染物包括氮氧化物、氟化物、氯化氢、硫酸雾、非甲烷总烃等。项目可使用碱液喷淋+过滤棉吸附+活性炭吸附为可行技术。

3．固体废物污染分析及保护

本项目营运期产生的固体废物主要包括一般工业固废、危险废物、生活垃圾。

营运期产生的一般工业固体废物主要为设备维修产生的废零件、纯水制备产生的废离子交换树脂，统一收集后定期交回收单位处理。

实验室内产生的废试剂瓶、实验室废液，倒入实验室专用废液收集容器中，交由有资质单位处置，不外排。废活性炭、废过滤棉、材料研发实验废树脂、废抹布、含油手套属于危险废物，收集后暂存于危废暂存间，交由有资质单位处理。

生活垃圾收集后交由市政环卫部门处置。

采取措施后，固体废物可以实现妥善处置，不会造成二次污染。

4．噪声污染分析及保护

采取选用低噪声设备、基础减振、厂房隔声降噪后，厂界的昼间、夜间噪声贡献值可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 3 类标准限值要求，声环境保护目标噪声叠加值满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）3 类标准要求。

5．地下水及土壤污染分析及保护

本项目营运期废水处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入市政污水管网进入工业污水处理厂处理，正常情况下废水不会对土壤、地下水造成影响。项目根据厂区构筑物性质、污染物泄漏的途径、生产功能单元所处的位置，可划分为一般防渗区和重点防渗区。

建设单位应布设 1 处地下水监测井定期监控，及时发现事故泄漏并采取有效的应急措施。

8.3.5 运营期环境影响及治理措施（放射性）

项目运营期间，主要的放射性三废（废气、废液、固体废物）主要来自射线装置区域和非密封放射性物质工作场所。具体分析如下：

1．放射性废气

加速器运行期间初级粒子或次级粒子与空气的等相互作用产生放射性气体，其放射性同位素主要通过热中子俘获（n，2n）、（γ，n）反应和散裂反应而产生，产生放射性同位素，对人体的辐射影响主要通过气体浸没外照射和吸入引起

的内照射。

治理措施：

通风与过滤系统方面，在射线装置区域及非密封放射性物质操作场所，均配置完全独立的机械通风系统。各区域排风管道严格隔离，并集成高效活性炭吸附装置，利用活性炭的多孔结构与化学吸附特性，针对性截留气态碘同位素、惰性气体及其他挥发性放射性核素。处理后的废气经专用设施排放，确保扩散稀释效果。

气流组织与压力控制上，通过精细化设计通风系统参数，强制实现定向气流路径：气流始终由清洁区流向监督区，最终汇至控制区，并在放射性操作区维持稳定的负压环境。绝对避免污染气体逆流或交叉扩散，保障低污染区空气洁净度。

实时监测与应急响应环节，所有排风管道出口均安装高灵敏度气载流出物在线监测仪，持续追踪废气中总α/β活度浓度及特征核素水平。系统配备多级阈值报警功能，一旦检测值接近限值，立即触发声光报警并同步启动应急通风强化程序。同时，定期对过滤装置进行性能验证及更换，确保整个治理体系持续符合辐射防护最优化原则，全方位守护人员健康与公众安全。

2．放射性废液

针对本项目加速器运行期间产生的放射性废液，主要包括活化设备冷却水与非密封放射性物质工作场所的工艺废液，采取系统化的综合治理措施。在加速器运行过程中，设备冷却系统使用的高纯度去离子水因粒子束流作用发生活化现象，其中氧元素（^{16}O）经散裂反应产生的放射性核素以短寿命为主，除^{7}Be、^{3}H 等少数核素外，绝大多数核素半衰期极短，可通过科学暂存实现自然衰变。与此同时，非密封放射性物质操作区域产生的工艺废液，因涉及同位素制备、化学分离等流程，可能含有有机溶剂、靶材残留物及微量人工放射性物质，其成分与活度水平需针对性管控。

为安全处理上述废液，在加速器及靶站区域设有专用屏蔽式衰变贮存设施，用于活化冷却水的集中暂存。该设施通过优化结构设计与滞留周期，确保短寿命核素充分衰变至可管理水平。非密封工作场所则配备分类废液暂存区，依据废液理化特性与放射性核素种类实施分区贮存，所有容器均采用防渗漏、耐腐蚀材质

并设置二次包容措施，从源头上阻断泄漏风险。

废液经暂存衰变后，需经过严格的多级放射性活度检测。对于衰变后满足国家《电离辐射防护与辐射源安全标准》的废液，在确保无环境风险的前提下排入厂区污水管网；对仍含长半衰期核素或活度超标的废液，则密封转运至具备国家许可资质的放射性废物处理机构，通过固化、焚烧等专业工艺进行最终安全处置。

全过程实施纵深防御机制：暂存设施配备液位与辐射剂量在线监测系统，实时数据接入中央控制室并设置阈值报警；衰变池与暂存库采用钢筋混凝土结构结合不锈钢内衬的双重防渗屏障，地面设置导流沟及应急收集槽以应对极端工况；同时建立从废液产生、转运到处置的全流程电子追踪体系，确保各环节符合核安全法规要求，最终实现放射性废液风险的全过程受控与环境零影响。

3．放射性固体废物

针对本项目加速器运行期间产生的放射性固体废物，系统采取分类暂存、分级衰变与专业处置相结合的综合治理模式。放射性固体废物主要包含加速器系统活化部件（如束流管、磁铁组件、屏蔽体等金属构件）及废靶材，其材质以铁、铝等金属为主。停机后，部件中因高能粒子辐照活化产生的长半衰期核素（如^{52}Mn、^{54}Mn 等）成为表面剂量率的主要贡献源。非密封放射性物质工作场所产生的废物则呈现高度复杂性，涵盖工艺残留物（废靶托、包壳）、纯化耗材（离子交换树脂、过滤柱、滤膜滤芯）、实验辅料（沾染的试剂瓶、玻璃器皿、包装材料）、废气处理介质（废活性炭、高效空气过滤器）以及防护用品（手套、袖套、防护服等），其放射性活度水平、核素种类及物理形态存在显著差异。

为安全管控上述废物，在加速器隧道、靶站及非密封工作区均设置标准化放射性固体废物暂存设施。针对活化金属部件，采用铅钢复合屏蔽容器进行封存，有效阻隔γ辐射，并依据核素半衰期特性规划衰变路径；对于非密封区产生的多样化废物，则实施精细化分类管理：高活度树脂与废靶材置于密闭铅罐中，沾染性耗材与防护用品采用双层防渗密封袋封装，挥发性废物如废活性炭则装入负压密封容器，从源头上控制气溶胶扩散风险。所有废物均按辐射风险等级与化学性质分区存放，确保暂存期间无交叉污染。

暂存期间建立动态监测机制，通过定期无损γ能谱分析与表面污染扫描跟踪

活度衰减进程。对经充分衰变后达到国家《放射性废物清洁解控标准》的金属部件及低活度废物，经第三方权威机构检测认证后解除放射性管制，移交至工业固体废物处理渠道；对含长半衰期核素的活化部件、高活度树脂及不可解控废物，经压缩减容或固化稳定化预处理，密封转运至国家许可的放射性废物处置场进行最终安全处置。

暂存库采用混凝土屏蔽墙体与环氧树脂防渗地面的复合结构，配备负压通风及活性炭过滤系统，实现辐射防护与污染控制双重保障。全过程实施电子化溯源管理，从废物生成、包装编码、入库登记到外运处置，各环节数据实时录入放射性废物信息平台，确保全生命周期可追溯。同时制定容器泄漏封堵、污染区域隔离等应急预案，构建纵深防御体系，最大限度保障工作人员与周边环境安全，最终实现放射性固体废物从源头暂存到终端处置的全过程受控。

8.3.6 服务期满后的环境影响及治理措施

本项目运行期结束后，建设单位拟按法规标准（《核技术利用设施退役》（HAD401/14-2021））规定要求实施退役。建设单位承诺对各种原因导致项目不能正常运行时，按规定实施强制退役。为保证拟建项目服务期满后顺利开展退役工作，建设单位计划在拟建项目建成正式投产后，按照相关要求及拟建项目运行效益定期拨付退役专项资金，并建立退役专项资金账户，根据相关要求实施装置场所退役。在退役实施前，建设单位应开展污染调查，编制相应退役方案、制定退役目标；在退役活动首先安全、妥善处理放射源与放射性废物，重点做好退役产生放射性废物的管理及退役实施期间的辐射安全防护等工作，并确保放射性废物得到安全、妥善处理，并按照国家相关法律法规及标准完成该辐射工作场所服务期满后的退役工作。

8.3.7 结论

本项目运行时对周围环境的影响满足我国法规标准的要求。本项目在认真落实本报告书中的各项污染防治措施和管理措施后，将具备从事本次申请的核技术利用活动的技术能力和辐射安全防护能力，项目建成投入运行后对环境影响符合环境保护的要求，故从环境保护角度考虑，本项目的建设是可行的。

8.4 资源和能源利用效果分析

8.4.1 编制依据

1．《中华人民共和国节约能源法》；

2．《中华人民共和国可再生能源法》；

3．《民用建筑节能条例》；

4．《固定资产投资项目节能审查办法》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 2 号）；

5．《公共建筑节能设计标准》（GB 50189-2015）；

6．《建筑照明设计标准》（GB 50034-2013）；

7．《建筑采光设计标准》（GB/T 50033-2013）；

8．《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》（JGJ 75-2012）；

9．《建筑节能与可再生能源利用通用规范》（GB 55015-2021）；

10．《公共机构能源资源消耗限额》（DB 44/T2267-2021）；

11．国家和地方颁布的有关设计规范和标准。

8.4.2 项目所在地能源供应状况

拟建项目使用的能源主要为电能和水，项目选址所在区域供电配套设施和市政给水管网完备，电力和供水完全能满足项目建设和建成投入使用后需要。

8.4.3 能耗分析

本项目外购燃料及动力主要是电及水，用水包括生产及生活用水。年用电量包括生产及生活用电。年耗电量约 6620 万 kWh，年耗水量约 44.71 万 m^3。项目的主要能源及耗能工质年消耗量见下表。

表 8.4-1　　主要能源及耗能工质年消耗量表

序号	项目	折算标煤系数		年耗能量		
		标煤/实物单位	数据	实物单位	年消耗量	折标煤吨（吨）
1	电	tce/万 kWh	1.229	万 kWh	6620	8135.98

序号	项目	折算标煤系数		年耗能量		
		标煤/实物单位	数据	实物单位	年消耗量	折标煤吨（吨）
2	水	tce/万 m³	0.857	万 m³	44.71	38.32
合计						8174.30

8.4.4 节能措施

1．建筑节能

1）综合采用建筑布局与平立面优化设计、窗墙面积比优化设计、围护结构热工优化设计、建筑外遮阳等综合围护结构节能设计措施，确保项目的围护结构热工指标符合《公共建筑节能设计标准》（GB50189-2015）的规定。

2）避免在正东、正西和西偏北设置大面积玻璃门窗或玻璃幕墙。房间内有良好、合理的自然通风，一是可以显著地降低夏季房间自然室温，改善室内热环境，提高热舒适性；二是可以充分利用过渡季节较低的室外空气，减少房间空调设备的运行时间，节约能源。

3）为保证建筑的节能，抵御夏季和冬季室外空气过多地向室内渗透，对外窗的气密性能有较高的要求。外窗气密性不低于现行国家标准《建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测方法》GB/T7106-2008 规定的 6 级要求。

4）建筑外窗可开启面积不小于外窗总面积的 35%。为了使室内人员在较好的室外气象条件下，可通过开启外窗通风来获得热舒适性和良好的室内空气品质。

5）保温屋面：建议建筑屋面均采用 40 mm 厚挤塑板（XPS）的保温措施。天窗采用中空 LOW-E 玻璃（传热系数≤3.5/(㎡·K) ，遮阳系数 SC≤0.35）。

6）种植遮阴效果好的乔木，广植草地、花木，以减少太阳辐射的影响，调节小环境的温度、湿度，降低空调冷负荷。

7）建筑设计执行有关建筑节能技术标准，按要求做好建筑节能设计审查。

8）建立能源计量管理体系，加强水、电计量器具配备，对基本用能单元和重点耗能设备进行能源统计。

2．设备节能

拟建项目耗能设备主要包括：空调、照明、通风设备、动力设备等，设备节能可采取如下措施：

（1）在总图布置方面，尽可能将公用工程布置在负荷中心，并合理布置负荷流向，减少线路长度，以利于降低能耗。

（2）减少配电线路的损耗，调节功率因数、实现合理的配电方式，通过分散补偿和优化配电方式减少配电线路的损耗。

（3）确定各功能区的照度，根据照明场所建筑与装饰设计所确定的采光形式及采光参数、主要装饰材料的技术参数和照明区域的性质、规模等，合理选择照度，防止电能的无效耗费。

（4）公共场所和部位的照明采用高效光源、高效灯具和低损耗镇流器等附件。主要房间均采用格栅型荧光灯盘，光源选用 T5 灯管；室外泛光照明采用 LED 灯具。

（5）在机电设备的选型上，严格把关，选用合理的高效设备，在价格合理的情况下尽量采用技术先进、材料优良、结构合理、机械强度高、使用寿命长的节能型机电设备，以利于有效降低产品的能耗。如选择节能型的变压器、电梯、风机、水泵等。

（6）使用空调设备时，建议设定适宜的温度。离开房间较长时，应关闭空调电源。

（7）合理选用电梯，并采取电梯并联或群控控制、轿厢无人自动关灯技术、驱动器休眠技术等。

3．给排水措施

（1）给排水节能措施

1）根据用途在各用水点设置分类计量水表、卫生器具采用满足绿建一星标准的节水型产品、控制出水点水压不大于 0.20 MPa、给排水管材配件等采用防漏效果好和结实耐用产品。

2）公共卫生间采用感应式水龙头及感应式小便器冲洗阀、感应式大便器冲洗阀。

3）水池、水箱溢流水位均设置报警装置，防止进水阀门故障时，水池、水箱长时间溢流排水。

4）生活给水系统采用竖向分区方式控制最不利点处用水器具的静水压力。

5）室外绿化使用微喷灌的灌溉方式，最大限度地达到节水的效果。

6）室内外给水排水工程所使用的设备、材料均应符合国家现行的产品质量标准，应选用技术先进、节能环保、低噪声、对人体健康有益的产品。

（2）给排水环保措施

1）本工程的生活污废水均采用室内污废合流，室外污废分流。生活污水经化粪池预处理后，与生活废水一起排入园区废水管网。最终排入市政污水管网。地上部分排水采用重力流排水，地下室卫生间排水至一体化污水提升装置抽排至室外污水检查井，一体化污水提升装置设通气管。

2）排水系统设置完善的通气管系统，保证排水通畅，防止臭气外溢。

3）除必须设置地漏的场所外，对不易有水流动的地方不设地漏。所设地漏保证有良好的水封（水封高度不小于 50 mm）；不经常排水的空调机房等采用快开式密闭地漏，其余场所采用直通式地漏下设存水弯；水管井等有事故排水的场所采用无水封地漏，间接排水。

4）低放废水处理：加速器工艺废水中包括普通废水和带放废水（带有低放射性的废水）两部分，其中普通工艺废水视水质情况直接排放或经处理后排放，带放废水需集中收集储存进行自然衰减，经检测后按国家相关标准和规范要求排放。充分利用现有的废水收集及排放装置，有必要时新建废水集中储存区和相应的排放设施用于收集和排放低放废水。

8.5 碳达峰碳中和分析

2021 年 6 月，生态环境部发布《关于加强高耗能、高排放建设项目生态环境源头防控的指导意见》，其中明确：‘两高’项目暂按煤电、石化、化工、钢铁、有色金属冶炼、建材等六个行业类别统计，后续对“两高”范围国家如有明确规定的，从其规定。本项目属于“两高项目”，应对其进行碳中和分析。

建筑碳排放是指建筑物在与其有关的建材生产及运输、建造及拆除、运行阶

段产生的温室气体排放的总和，以二氧化碳当量表示。本项目参考国家标准《建筑碳排放计算标准》（GB/T51366-2019）、广东省《建筑碳排放计算导则（试行）》进行分析。

8.5.1 碳排放计算分析

1．建造阶段碳排放 C_{JZ} 核算

根据广东省《建筑碳排放计算导则（试行）》，采用经验公式法进行估算，建筑单位面积的碳排放量计算公式 Y=X+1.99。

式中：Y——建筑单位面积碳排放量（$kgCO_2/㎡$）；

X——建筑层数。

建造阶段碳排放估算值 $C_{JZ}=Y\times A$

式中：A——建筑面积（㎡）。

2．运行阶段碳排放 C_M 核算

根据项目能源利用情况分析，可知运行阶段能源消耗为电力。

3．拆除阶段碳排放 C_{CC} 核算

根据广东省《建筑碳排放计算导则（试行）》，采用经验公式法进行估算，建筑单位面积碳排放量计算公式：Y=X+1.99（$kgCO_2/㎡$），

建筑单位面积的碳排放量计算公式 Y=X+1.99。

式中：Y——建筑单位面积碳排放量（$kgCO_2/㎡$）；

X——建筑层数。

则拆除阶段碳排放估算值：

$C_{CC}=Y\times A$

式中：A——建筑面积（㎡）。

4．碳汇量 C_P 核算

本项目碳汇主要是各种绿化。根据各种绿化面积和植被种类选择相应的碳汇因子。

5．计算结果汇总

6．计算结果汇总

（1）建筑年度运行净碳排放量

年度运行净碳排放量=消耗能源产生的碳排放量（C_M）-碳汇量（C_P）

（2）建筑整个使用期各阶段碳排放量

表 8.5-1　　项目各阶段碳排放量明细表

阶段	分类	
建造阶段	施工	C_{JZ}
运行阶段	运行	C_M×50
拆除阶段	拆除	C_{CC}
/	碳汇	C_P×50

（3）总量和单位指标

表 8.5-2　　项目碳排放总量及单位指标表

名称	核算公式	单位
TCEL 建筑总体碳排放	$C_{JZ}+C_M×50+C_{CC}-C_P×50$	tCO_2
ICEA 单位面积碳排放	TCEL/AREA	$tCO_2/㎡$
ICEB 单位面积年度碳排放	(CM-CP)/AREA	$kgCO_2/㎡$

8.5.2 碳排放控制方案

1．施工阶段碳排放控制

碳排放控制主要包括减源、增汇和替代等措施。施工阶段应推行绿色建造方式。开展建筑施工节能降碳技术研究，推广绿色施工管理。提升绿色建材、可再循环材料和可再利用材料的应用比例，降低建筑材料消耗。施工期建立施工能耗和碳排放统计制度，研究建立建筑施工能耗限额管理制度，从而减少化石能源消耗。

2．运营阶段碳排放控制

通过建立建筑用能数据共享机制，整合多源能耗数据并构建统一管理平台，

实现政府监管、行业对标及用户参与的透明化数据协同，结合区块链技术与政策激励提升共享效能；同步强化能耗监测能力，部署智能传感网络与动态诊断系统，实时识别能效偏差与碳排放热点，支撑精准节能决策；重点实施高能效空调系统优化，基于全年动态负荷需求预测，协同设计选型、运行参数调优及智慧控制策略，实现空调系统全周期低碳高效运行，形成“监测－分析－优化－反馈”的可持续运营闭环，系统性降低建筑碳足迹。

综上，建筑采用一系列被动及主动节能措施，通过可再生能源利用、用户行为管理等措施，实现碳排放控制。

第九章 项目风险管控方案

9.1 风险识别与评价

9.1.1 主要风险识别

风险识别是指运用各种相关的知识和方法，全面、系统、连续地认识所面临的各种风险以及分析风险事件发生的潜在原因，其目的是便于衡量风险的大小和为了选择最佳的风险处置措施方案，通过对项目的充分认识及风险调查的基础上，识别项目潜在的社会稳定风险和引起这些风险的具体风险因素，为开展风险估计和风险对策研究提供基础。

通过进一步识别，本项目主要社会稳定风险因素有以下 8 类风险：

1．产业链供应链风险；

2．关键技术风险；

3．工程建设风险；

4．运营管理风险；

5．资金筹措与投融资风险；

6．生态影响风险；

7．社会影响风险。

9.1.2 风险影响程度评估

风险估计是对项目的识别出来的主要风险因素进行分析估计，综合估计项目的风险因素的风险概率、风险影响程度和风险程度。将风险程度按灾难性风险、严重风险、较大风险、一般风险进行分类。

9.1.2.1 产业链供应链风险

原材料供应不足或不稳定：同位素项目需要一定量的原材料，如标记化合物、同位素分离剂等，如果原材料的供应不足或不稳定，会对项目的生产和供应产生影响。

产业链上下游企业合作不顺畅：同位素项目的产业链较长，涉及多个上下游企业，如果上下游企业之间的合作不顺畅，会导致项目生产过程中的瓶颈和延误。

设备故障或维护不当：同位素项目需要高精度的设备进行生产和检测，如果

设备出现故障或维护不当，会对项目的生产和产品质量产生影响。

物流和运输风险：同位素项目需要将产品运输到不同的地区和领域，如果物流和运输出现问题，会导致产品供应的延误和质量损失。

因此，工程风险所产生的风险概率中等，风险影响程度中等，风险程度一般。

9.1.2.2 关键技术及市场风险

分离技术：同位素的分离是同位素项目中的关键技术之一，其分离效率、纯度、能耗等指标对项目的成功与否具有决定性影响。然而，由于同位素分离技术难度较大，且受到多种因素的影响，如原料的纯度、设备的性能等，因此存在一定的技术风险。

标记化合物合成：同位素标记化合物是同位素技术在医学、生物学等领域应用的重要基础。然而，标记化合物的合成是一项技术难度较大的工作，涉及化学、生物学等多个学科的知识，因此存在一定的技术风险。

放射性测量技术：放射性测量是同位素项目中的关键技术之一，需要使用高精度的测量设备和技术。然而，由于测量设备的性能限制、测量技术的误差等因素的影响，因此存在一定的技术风险。

同位素示踪应用：同位素示踪是同位素项目的重要应用之一，涉及多个领域的应用，如医学、生物学、环境科学等。然而，由于不同领域的应用需求和条件不同，因此存在一定的技术风险。

因此，工程风险所产生的风险概率中等，风险影响程度中等，风险程度一般。

9.1.2.3 工程建设风险

1．工程进度风险

影响工程进度的因素很多，主要有以下几点：

1）设计不当造成过多的设计变更；

2）外界配合条件不当造成的外部交通运输受阻、水电供应不及时、社会干扰、建设资金投入延误等；

3）建设单位、设计、监理、施工、设备供货各单位组织协调不力，造成停工待料和工序脱节；

4）突发事件和不可预见事件的发生，如恶劣天气、自然灾害等；安全、质量事故的调查、分析，争执的调解、仲裁。

2．工程质量风险

影响工程质量的风险因素主要有人、材料、方法和环境等：

1）人的因素包括：设计工程师、监理工程师、财务等主要管理人员的经历、技术水平、政策水平、管理能力、对本项目定位的理解能力和工作态度将直接影响工程的质量。

2）材料的风险因素：材料是工程施工的物质基础，是影响工程质量的重要因素。

3）方法的风险因素：方法指工程建设中所采用的技术方案、工程招投标及评标、施工组织设计、监理工作大纲及细则、质量检测制度及手段、项目管理的组织措施等。方法不当将严重影响工程质量。

4）环境风险因素：包括工程技术环境、工程管理环境、劳动环境。工程技术环境，如工程地质、水文、气象等。工程管理环境，如质量保证体系、质量管理制度等。劳动环境，如劳动组合、劳动工具、工作面等。环境因素对工程质量的影响具有复杂多变的特点，气象条件的变化直接影响工程质量。因此，环境是工程质量的风险因素之一。

3．工程技术风险

工程采用技术的先进性、可行性、可靠性和实用性，也是工程风险之一。

项目施工时间较为紧迫，在追赶进度的同时必须对工程造价、工程质量等进行把关，同时需要采用先进的工程技术。

因此，工程风险所产生的风险概率较高，风险影响程度中等，风险程度一般。

9.1.2.4 运营管理风险

项目定位于医用同位素原料生产和销售，涉及项目基建、设备研发、医用同位素生产、经营管理、销售渠道搭建等事项。当前主要具备提供设备研发和生产技术支持条件，项目经营管理和销售等其他事项尚无专业团队负责。

因此，项目运营管理所产生的风险概率较大，风险影响程度中等，风险程度较大。

9.1.2.5 资金筹措及投融资风险

项目需要大量的资金投入，包括设备购买、建设、运营等费用，因此存在资金不足、融资困难等资金风险。

因此，项目资金筹措及投融资所产生的风险概率较大，风险影响程度中等，风险程度较大。

9.1.2.6 生态影响风险

医用同位素分离过程产生的放射性废液处理仍是一个难点问题，需提前预留废液存储空间暂时储存再处理，且存在储存不当导致放射性物质泄漏风险。

因此，项目运营管理所产生的风险概率中等，风险影响程度较大，风险程度较大。

9.1.2.7 社会影响风险

本项目目前处于前期工作阶段，尚未对本项目制定相应的应急处置预案等。项目实施前应就该项目与当地政府及相关单位充分沟通，对本项目过程中可能会产生的社会稳定风险因素进行充分认识并做到各司其职，将本项目纳入政府风险管理系统中，建立社会稳定风险管理责任制和联动机制，制定相应的应急处置预案等。因此，社会稳定风险管理体系所产生的风险概率中等，风险影响程度中等，风险程度一般。

9.2 风险管控方案

9.2.1 产业链供应链风险

加强与供应商和合作伙伴的沟通与合作，建立稳定的供应关系和物流渠道，加强设备维护和管理，确保产业链的稳定和顺畅。同时，还需要加强自身的技术和管理能力，提高项目生产的效率和产品质量，降低同位素项目产业链供应风险。

9.2.2 关键技术及市场风险

需要进行充分的技术调研和评估，制定科学合理的项目计划和预算，建立完善的技术管理体系和应急预案，同时加强与高校、研究机构和企业的合作与交流，共同推动同位素项目的发展和应用。此外，还需要不断学习和掌握新的技术和知识，以适应市场的变化和技术的发展，降低同位素项目关键技术风险。项目依托散裂中子源质子束建设量产线，旨在突破镭$^{-223}$/锕$^{-225}$/铅$^{-212}$等百居里级医用α核素（当前全球锕$^{-225}$年产量仅约 2 居里）的关键生产技术，需随时结合国际产能动态复核项目经济收益。

9.2.3 工程建设风险

制定合理的总体施工进度计划和专项施工进度计划，编制科学可行的施工设计和专项施工方案。通过招标，项目建设单位选择有资质、经验丰富的地质勘察

公司对项目的场址进行详勘，尽可能查明地质情况，降低因出现不良工程及水文地质带来的风险；聘请具有良好施工经验的公司，同时增加工程项目过程管理，邀请具有一定资质的咨询公司进行项目过程管理，加强工程质量、进度、投资方面的控制。与施工方、监理方协调加强工期进度的控制。

9.2.4 运营管理风险

尽快确定项目经营管理和销售等其他事项的专业团队负责。

设备操作规程制定和执行：制定详细的设备操作规程，并对操作人员进行培训和考核，确保操作人员能够熟练掌握设备的操作和维护技能。设备安全监控和报警系统：建立设备安全监控和报警系统，对设备的运行状态、温度、压力、电流等参数进行实时监测，及时发现和排除设备故障和安全隐患。设备运行记录和数据管理：建立设备运行记录和数据管理制度，对设备的运行数据、维护保养记录等进行归档管理，方便查询和分析设备的性能和状态。

9.2.5 资金筹措与投融资风险

本项目资金筹措方式主要采用专项债，专项债纳入政府性基金预算管理，由省级财政统一发行并明确项目收益优先偿债机制，依托地方财政支付能力形成刚性兑付预期。项目自身收益良好，与政府性基金共同构成还款来源双保险。

为降低主观判断失误的可能性，建议建设单位加强投资风险管控，与承包商尽量签订总包合同，让承包商承担一定的风险。并加快制定并落实项目资金筹措方案，建议进行多种资金筹措方案的比选研究，明确项目资金安排使用计划。在落实资金来源渠道的同时，控制好项目建设质量和进度。

9.2.6 生态影响风险

废液的分类收集和处理：根据废液的放射性浓度和种类，将其分为高、中、低放废液，分别进行收集和处理。高放废液需要进行固化处理，中、低放废液可以进行蒸发、离子交换、过滤等处理。

废液的减量化处理：通过蒸发、离子交换、过滤等物理或化学方法，将放射性废液中的有害物质转化为固体残渣，减少废液的体积和毒性。

废液的固化处理：将放射性废液与适当的固化剂混合，形成稳定的固化体，减少放射性废液对环境和人类的危害。常用的固化剂包括水泥、沥青等。

废液的储存和处理：经过处理的放射性废液需要储存在专用的容器中，并按

照相关规定进行处置和监管。储存容器需要满足相关标准和规定，具有足够的屏蔽和密封性能。

废液的监测和管理：对放射性废液进行定期监测和管理，确保其安全性和合规性。监测内容包括放射性浓度、pH 值、温度等指标，以及储存和处理设施的安全性能。

针对放射性物质储存泄漏风险，在预防层面采用多重物理屏障设计，包括废物密封容器、防渗建筑结构及高效通风过滤系统，结合实时辐射与泄漏智能监测网络，严格实施双人双锁、定期维护及废物相容性管控等运行制度，从源头阻断泄漏可能。

泄漏事件发生后，立即启动分级响应：紧急隔离污染区域，利用移动屏蔽装置控制辐射扩散，采用专用吸附材料阻断液态或气载污染物蔓延，同步开展人员去污与医疗监护；后续通过专业化技术手段（如表面去污、污染介质修复及废水固化）恢复环境安全，并基于事件溯源分析持续优化储存方案与应急预案，确保全周期风险可控。

9.2.7 社会影响风险

建设单位与当地政府共同构建风险管理协调联动工作机制，发挥各层次维稳工作部门的作用，由项目所在地政府牵头，成立社会风险管理联动小组，相关单位设立专职的维稳小组，协调与联动小组的工作，快速灵敏的应急处理机制和矛盾分级分责化解机制，落实风险预防化解工作职责。

9.3 风险应急预案

9.3.1 社会稳定风险应急预案

社会稳定问题产生的根源在于工程建设和运营对群众造成的各种影响，但问题的发生又具有很大的不确定性，其表现形式也复杂多变。在全面落实上述措施化解风险的同时，制定相应的专项应急处理预案，加强维稳和处置能力，一旦发生影响社会稳定问题的苗头和事件时，应向信访相关部门报告，并启动各应急预案。

9.3.1.1 编制依据

根据《中华人民共和国突发事件应对法》《中华人民共和国政府信息公开条

例》等法律法规的规定的有关要求。

9.3.1.2 适用范围

由某些社会矛盾引发，特定群体或不特定多数人聚合临时形成的偶合群体，以人民内部矛盾的形式，通过没有合法依据的规模性聚集、对社会造成负面影响的群体活动、发生多数人语言行为或肢体行为上的冲突等群体行为的方式，或表达诉求和主张，或直接争取和维护自身利益，或发泄不满、制造影响，因而对社会秩序和社会稳定造成重大负面影响的各种事件。

9.3.1.3 应急组织体系

1．成立区和街道牵头、相关单位参与的项目社会稳定工作领导协调小组。在项目建设期和运营期，领导协调小组成员单位建议包含公安、维稳、信访、环保等相关政府部门等。

2．协调小组应明确参与人员，加强领导、强化责任意识，建立高效的联动工作机制。落实维护社会稳定责任制，明确维护社会稳定工作的重点部位、重点问题。对维护社会稳定工作实行目标管理，并对各责任部门维护社会稳定工作进行考核。

3．要设立维稳工作岗位，配备专、兼职维稳工作人员，加强维稳工作人员知识技能培训，不断提高维稳接待和处置能力，引导社会稳定问题通过正常途径反映和解决。在接到重大社会不稳定通报后，有关人员要保证 24 小时值班和电话畅通，随时掌握各方面信息，并保证信息能够及时上传下达。

9.3.1.4 处置原则

重点控稳，预防为主，紧急处置，职责明确，统筹配合。

9.3.1.5 预防机制

1．把项目维护社会稳定工作列入项目建设重要议事日程，定期组织召开维护社会稳定工作会议，听取有关单位社会稳定工作汇报；认真研究公众反映的新情况、新问题，分析可能出现的重大问题研究对策。

2．坚持走访调研工作制度，由群众反映变为走访，深入工程现场、社区，倾听群众意见建议，有针对性地研究和解决问题。

3．坚持信息通报、预测排查制度，对群众反映的普遍性、突出性问题，研究制定解决办法，发现群体性事件苗头，要及时就地化解。

4．建立风险预警机制。建设期全过程参与项目前期的各项准备工作，及时发现社会稳定风险问题，分析原因，以预防为主，在风险因素处于萌芽状态时予以解决，减少风险事件的发生。

9.3.1.6 应急处置

发现项目应急事件和重大社会稳定问题苗头或事件时，启动预案，并按以下程序开展工作：

1．对已发生的群体性事件，相关部门要认真接待，有关人员及时赶赴现场做好耐心细致地疏导工作，防止矛盾激化。

2．第一时间召开维护社会稳定工作会议，通报不稳定情况和处理情况，分析研究可能出现的重大问题及对策。并将不稳定情况向上级有关部门报告，并制定联动机制。

3．对已发生的群体性事件，相关人员应迅速赶赴现场组织工作。以教育、疏导为主，力争把问题解决在萌芽或初始状态。对问题复杂、规模较大的群体性事件要及时控制现场，防止矛盾激化，将由此造成的损失降低至最低程度。

4．对已发生的社会稳定风险进行全面调查，查清事件经过、分析产生原因和造成的损失，必要时启动问责机制。

9.3.1.7 应急保障

为及时控制和稳妥处理项目建设中可能出现的社会稳定风险事件，相关单位自身应从各方面予以保障。

1．车辆保障。准备车辆，并具备随时出发的能力，保证协助完成社会稳定风险稳定应急处置措施。

2．人员保障。明确社会稳定风险工作协调小组参与人员，落实责任分工，及时处理突发情况。

3．能力保障。对社会稳定风险工作协调小组成员进行定期教育与培训，举办应急处置演练，不断提高人员工作能力和水平。

9.3.2 放射性场所风险应急预案

9.3.2.1 编制依据

根据原国家环保总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145 号）和《放射性同位素与射线装置安全

和防护办法》（18 号令）有关安全事故防范工作要求，开展辐射事故预防与应急处置。

9.3.2.2 适用范围

辐射事故，是指放射源丢失、被盗、失控事故；或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到异常照射的事故。

9.3.2.3 处置原则

迅速报告、主动抢救、生命第一、科学施救，控制危险源，预防事故扩大、保护现场，收集证据、预防为主。

9.3.2.4 放射源分类原则

参照国际原子能机构的有关规定，按照放射源对人体健康和环境的潜在危害程度，从高到低将放射源分为I、II、III、IV、V类，V 类源的下限活度值为该种核素的豁免活度。

1．I类放射源为极高危险源。没有防护情况下，接触这类源几分钟到 1 小时就可致人死亡；

2．II类放射源为高危险源。没有防护情况下，接触这类源几小时至几天可致人死亡；

3．III类放射源为危险源。没有防护情况下，接触这类源几小时就可对人造成永久性损伤，接触几天至几周也可致人死亡；

4．IV类放射源为低危险源。基本不会对人造成永久性损伤，但对长时间、近距离接触这些放射源的人可能造成可恢复的临时性损伤；

5．V类放射源为极低危险源。不会对人造成永久性损伤。

9.3.2.5 辐射事故分级

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

特别重大辐射事故，是指I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。

重大辐射事故，是指I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素

和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故，是指III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

一般辐射事故，是指IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

9.3.2.6 应急组织体系

应急指挥部：由放射性生产场所的主要负责人担任指挥长，成员包括相关部门负责人。

应急处置组：负责具体的应急处置工作，包括事故现场控制、人员疏散、伤员救治等。

通讯联络组：负责事故现场通讯联络，确保信息畅通。

后勤保障组：负责提供应急所需的物资和装备，确保应急处置工作的顺利进行。

9.3.2.7 预防机制

1．场所安全和防护

（1）生产、使用放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。

射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。

放射性同位素的包装容器、含放射性同位素的设备和射线装置，应当设置明显的放射性标识和中文警示说明；放射源上能够设置放射性标识的，应当一并设置。运输放射性同位素和含放射源的射线装置的工具，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志或者显示危险信号。

（2）生产、使用放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定采取有效措施，防止运行故障，并避免故障导致次生危害。

（3）放射性同位素和被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。

贮存、领取、使用、归还放射性同位素时，应当进行登记、检查，做到账物相符。对放射性同位素贮存场所应当采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的安全措施。

对放射源还应当根据其潜在危害的大小，建立相应的多重防护和安全措施，并对可移动的放射源定期进行盘存，确保其处于指定位置，具有可靠的安全保障。

（4）在室外、野外使用放射性同位素与射线装置的，应当按照国家安全和防护标准的要求划出安全防护区域，设置明显的放射性标志，必要时设专人警戒。

（5）生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。

（6）建设项目竣工环境保护验收涉及的辐射监测和退役核技术利用项目的终态辐射监测，由生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位委托经省级以上人民政府环境保护主管部门批准的有相应资质的辐射环境监测机构进行。

（7）生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当加强对本单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况的日常检查。发现安全隐患的，应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业并报告发放辐射安全许可证的环境保护主管部门（以下简称“发证机关”），经发证机关检查核实安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

（8）生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

1）辐射安全和防护设施的运行与维护情况；

2）辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；

3）辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训（以下简称“辐射安全培训”）情况；

4）放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账；

5）场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；

6）辐射事故及应急响应情况；

7）核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；

8）存在的安全隐患及其整改情况；

9）其他有关法律法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

（9）使用I类、II类、III类放射源的场所，生产放射性同位素的场所，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（以下简称《基本标准》）确定的甲级、乙级非密封放射性物质使用场所，以及终结运行后产生放射性污染的射线装置，应当依法实施退役。

依照前款规定实施退役的生产、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当在实施退役前完成下列工作：

1）将有使用价值的放射源按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的规定转让；

2）将废旧放射源交回生产单位、返回原出口方或者送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

（10）依法实施退役的生产、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当在实施退役前编制环境影响评价文件，报原辐射安全许可证发证机关审查批准；未经批准的，不得实施退役。

（11）退役工作完成后六十日内，依法实施退役的生产、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当向原辐射安全许可证发证机关申请退役核技术利用项目终态验收，并提交退役项目辐射环境终态监测报告或者监测表。

依法实施退役的生产、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当自终态验收合格之日起二十日内，到原发证机关办理辐射安全许可证变更或者注销手续。

（12）生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，在依法被撤销、依法解散、依法破产或者因其他原因终止前，应当确保环境辐射安全，妥善实施辐射工作场所或者设备的退役，并承担退役完成前所有的安全责任。

2．人员安全和防护

（1）生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保

护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。

（2）辐射安全培训分为高级、中级和初级三个级别。

从事下列活动的辐射工作人员，应当接受中级或者高级辐射安全培训：

1）生产、销售、使用I类放射源的；

2）在甲级非密封放射性物质工作场所操作放射性同位素的；

3）使用I类射线装置的；

4）使用伽马射线移动探伤设备的。

从事前款所列活动单位的辐射防护负责人，以及从事前款所列装置、设备和场所设计、安装、调试、倒源、维修以及其他与辐射安全相关技术服务活动的人员，应当接受中级或者高级辐射安全培训。

（3）从事辐射安全培训的单位，应当具备下列条件：

1）有健全的培训管理制度并有专职培训管理人员；

2）有常用的辐射监测设备；

3）有与培训规模相适应的教学、实践场地与设施；

4）有核物理、辐射防护、核技术应用及相关专业本科以上学历的专业教师。

拟开展初级辐射安全培训的单位，应当有五名以上专业教师，其中至少两名具有注册核安全工程师执业资格。

拟开展中级或者高级辐射安全培训的单位，应当有十名以上专业教师，其中至少五名具有注册核安全工程师执业资格，外聘教师不得超过教师总数的30%。

从事辐射安全培训的专业教师应当接受环境保护部组织的培训，具体办法由环境保护部另行制定。

（4）省级以上人民政府环境保护主管部门对从事辐射安全培训的单位进行评估，择优向社会推荐。

环境保护部评估并推荐的单位可以开展高级、中级和初级辐射安全培训；省级人民政府环境保护主管部门评估并推荐的单位可以开展初级辐射安全培训。

省级以上人民政府环境保护主管部门应当向社会公布其推荐的从事辐射安全培训的单位名单，并定期对名单所列从事辐射安全培训的单位进行考核；对考

核不合格的，予以除名，并向社会公告。

（5）从事辐射安全培训的单位负责对参加辐射安全培训的人员进行考核，并对考核合格的人员颁发辐射安全培训合格证书。辐射安全培训合格证书的格式由环境保护部规定。

取得高级别辐射安全培训合格证书的人员，不需再接受低级别的辐射安全培训。

（6）取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每四年接受一次再培训。

辐射安全再培训包括新颁布的相关法律法规和辐射安全与防护专业标准、技术规范，以及辐射事故案例分析与经验反馈等内容。

不参加再培训的人员或者再培训考核不合格的人员，其辐射安全培训合格证书自动失效。

（7）生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。

生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

辐射工作人员有权查阅和复制本人的个人剂量档案。辐射工作人员调换单位的，原用人单位应当向新用人单位或者辐射工作人员本人提供个人剂量档案的复印件。

（8）生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备下列条件的机构进行个人剂量监测：

1）具有保证个人剂量监测质量的设备、技术；

2）经省级以上人民政府计量行政主管部门计量认证；

3）法律法规规定的从事个人剂量监测的其他条件。

（9）环境保护部对从事个人剂量监测的机构进行评估，择优向社会推荐。

环境保护部定期对其推荐的从事个人剂量监测的机构进行监测质量考核；对

考核不合格的，予以除名，并向社会公告。

（10）接受委托进行个人剂量监测的机构，应当按照国家有关技术规范的要求进行个人剂量监测，并对监测结果负责。

接受委托进行个人剂量监测的机构，应当及时向委托单位出具监测报告，并将监测结果以书面和网上报送方式，直接报告委托单位所在地的省级人民政府环境保护主管部门。

（11）环境保护部应当建立全国统一的辐射工作人员个人剂量数据库，并与卫生等相关部门实现数据共享。

9.3.2.8 应急处置

1．紧急响应阶段

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。对事故规模、种类和时间进行初步评估，确定紧急处理措施和防范措施。启动应急响应机制，及时通知相关部门和人员，组织人员撤离和防护措施。排查事故现场，确认辐射源的性质、规模和辐射强度。制定现场管理措施，防止事故扩大和进一步的辐射泄漏。向公众发布紧急通知，明确事故情况和防护指南。

2．救援与处理阶段：

组织专业人员进行辐射监测，确保救援人员的安全。制定救援方案，确定救援区域和实施措施。防止放射源外泄，采取适当的封堵和封闭措施。进行现场清理和辐射源回收，确保辐射源得到妥善处置。组织受污染区域的消毒和重新恢复。

3．事后评估与整改阶段：

进行事故原因的调查与分析，查找事故责任和漏洞。评估事故的影响范围和危害程度，制定事故应急预案的改进措施。对相关责任单位和责任人进行追责和处罚。更新和完善同位素辐射事故应急预案，提高应急响应能力。组织事故经验总结和知识分享，加强同位素辐射事故的宣传教育工作。

第十章 研究结论及建议

10.1 主要研究结论

1．项目建设是贯彻落实国家、省、市相关规划政策的需要；是提高我国医疗水平，提升人民健康水平，推动健康中国建设的需要；是推动我国核医学产业上下游全链条发展，培育壮大新兴产业集群的需要；是培养核医学人才，提升促进核医学创新和发展的需要。项目的建设是迫切和必要的。

2．项目要素保障完备。项目建设地点位于广东省东莞市松山湖中子源路散裂中子源科学中心，所在地区周围环境条件较好，水、电、通信等公共配套条件完善，交通条件较好，周边环境符合项目的要求，有利于项目建设和建成后投入使用。

3．项目建设内容与规模合理。项目建设内容包括高功率靶站及叠层靶的研制、α核素分离纯化及质控体系建设以及相关土建工程和配套设施。

4．项目的工程建设方案、工程组织计划与进度计划安排基本合理。

项目投资规模合理，资金来源可靠。项目总投资 125007.25 万元，其中，工程费用 115907.09 万元，工程建设其他费用 5459.17 万元，预备费 3640.99 万元，项目建设管理费 0.00 万元。根据《市政府工作会议纪要》（〔2025〕501 号），资金来源主要依靠申报地方政府专项债券资金解决，若地方政府专项债券资金获批总额不足以覆盖项目概算批复的建设经费总额，由市财政、松山湖财政按照 1:1 比例分摊补足。

5．项目财务评价可行。项目全部投资财务内部收益率为 51.85 %（基准收益率 18%），全部投资财务净现值为 489660 万元，全投资回收期为 6.70 年（含建设期）。在整个评价期内，本项目全投资税后财务内部收益率大于基准收益率，财务净现值大于零。

10.2 问题与建议

1．项目为医学同位素项目，存在辐射等敏感因素，建议尽快做好环境影响评价和社会稳定风险评估工作，推进项目的顺利建设。

2．下一阶段建议尽快开展地质勘察工作及物探工作。

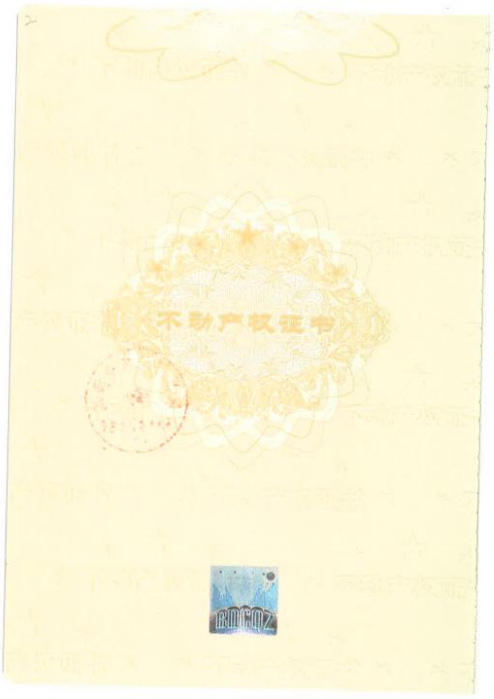
3．项目建设期间应尽量避免影响周边居民的生活，做好围蔽设施。

4．建议将环境影响评价等关键评估工作作为项目推进的重要前提，确保依法合规、按期完成，保障项目顺利实施 。

第十一章 附件和附图

附件一：不动产权证







粤(2019) 东莞 不动产权第 0277344 号

权利人	中国科学院高能物理研究所
共有情况	单独所有
坐落	东莞市大朗镇水平村中子源路1号
不动产单元号	441917014003GB00364W00000000
权利类型	国有建设用地使用权
权利性质	划拨
用途	科研用地
面积	267623.05 ㎡
使用期限	
权利其他状况	权利人情况： 中国科学院高能物理研究所:12100000400012211J 以下空白

附 记

该土地上的建筑物未进行登记

附 图 页

宗地图

单位：m m²

土地权利人：中国科学院高能物理研究所
宗地面积：267623.05

宗地代号：441917014003GB00364
所在图幅号：2529.75-38491.25

北

比例尺：1:5300

界址点坐标表

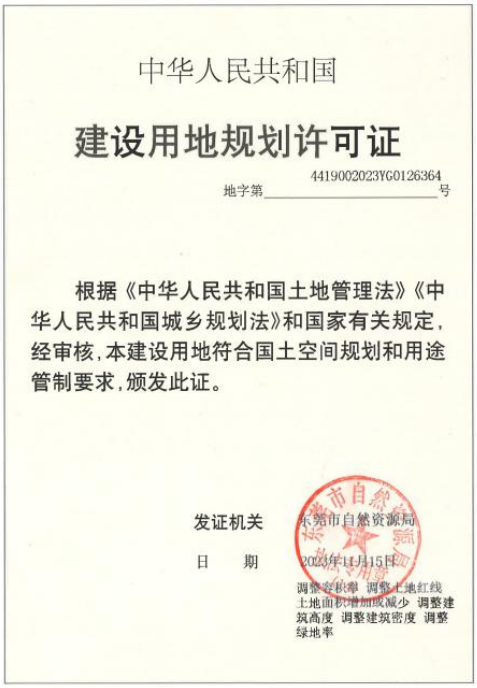
点号	X坐标	Y坐标	点号	X坐标	Y坐标
J1	2529895.857	38491036.300			
J2	2530164.123	38491541.829			
J3	2529825.773	38491737.802			
J4	2529787.977	38491694.823			
J5	2529717.167	38491671.597			
J6	2529627.862	38491576.716			
J7	2529621.296	38491520.536			
J8	2529621.851	38491479.246			
J9	2529511.941	38491259.588			
J10	2529592.335	38491179.655			
J11	2529824.965	38491043.439			
备注	2000国家大地坐标系面积267623.05平方米，珠区坐标系面积267621.83平方米。				

附件二：建设用地规划许可证


中华人民共和国

建设用地
规划许可证

中华人民共和国自然资源部监制


中华人民共和国

建设用地规划许可证

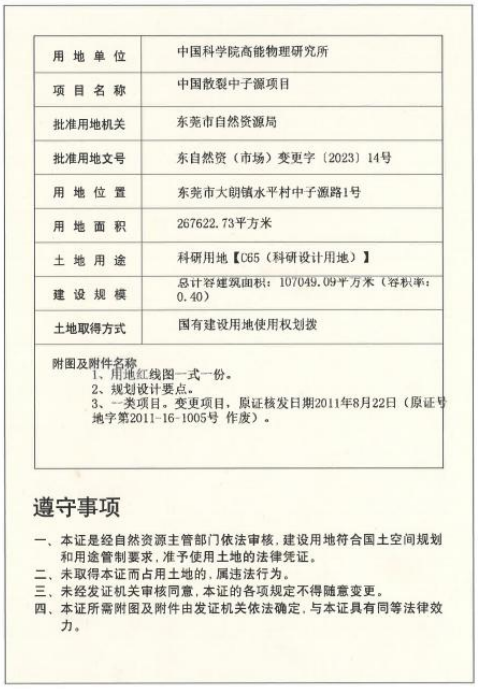
地字第 4419002023YG0126364 号

根据《中华人民共和国土地管理法》《中华人民共和国城乡规划法》和国家有关规定，经审核，本建设用地符合国土空间规划和用途管制要求，颁发此证。

发证机关 东莞市自然资源局

日 期 2023年11月15日

调整容积率 调整土地红线 土地面积增加或减少 调整建筑高度 调整建筑密度 调整绿地率



用地单位	中国科学院高能物理研究所
项目名称	中国散裂中子源项目
批准用地机关	东莞市自然资源局
批准用地文号	东自然资（市场）变更字〔2023〕14号
用地位置	东莞市大朗镇水平村中子源路1号
用地面积	267622.73平方米
土地用途	科研用地【C65（科研设计用地）】
建设规模	总计容建筑面积：107049.09平方米（容积率：0.40）
土地取得方式	国有建设用地使用权划拨

附图及附件名称
1、用地红线图一式一份。
2、规划设计要点。
3、一类项目。变更项目，原证核发日期2011年8月22日（原证号地字第2011-16-1005号 作废）。

遵守事项

一、本证是经自然资源主管部门依法审核，建设用地符合国土空间规划和用途管制要求，准予使用土地的法律凭证。
二、未取得本证而占用土地的，属违法行为。
三、未经发证机关审核同意，本证的各项规定不得随意变更。
四、本证所需附图及附件由发证机关依法确定，与本证具有同等法律效力。

规划设计要点

一、用地概况

（一）编号：地字第441900202 3YG0126364号

（二）申请人名称：中国科学院高能物理研究所

（三）用地位置：东莞市大朗镇水平村中子源路1号

（四）用地性质：科研用地【C65（科研设计用地）】

【√】主要功能：科研设计

二、基本指标

指标名称	数值
用地面积	267622.73平方米
容积率（R）	≤0.40
绿地率（L）%	≥25
建筑密度（M）%	≤50
建筑限高（G）米	≤40

三、公建配套要求

【√】地块须按控制性详细规划、城市设计（地块包装）、《城市居住区规划设计标准》及《东莞市城市规划管理技术规定》的要求配建相关公共设施。

【√】控规配套要求如下：

公建设施名称	用地面积（㎡）	建筑面积（㎡）	设置要求	备注
1座110kv变电站	-	-	-	-

四、交通市政要求

【√】机动车停车位：停车位数量按计容建筑面积每1000平方米6个配建。

【√】机动车出入口：原则上不得在控制性详细规划中禁止机动车开口路段开设机动车出入口。

【√】地块的雨水年径流总量控制率应大于等于74%。

【√】用地内部道路宜与南方先进光源项目用地内部道路连通。

五、公共空间要求

【√】建筑退缩：建筑退缩距离须满足建筑红线的管控要求，同时应满足《东莞市城市规划管理技术规定》及消防、日照、卫生、安全、地下管线、交通安全、防灾、防汛、公路及市政道路、绿化和工程施工等方面的法律、法规和规范。

【√】建筑退后用地红线距离为下限，具体还应按照《东莞市城市规划管理技术规定》的有关规定，满足相应退缩要求。沿中子源路一侧建筑应按照燃气主管部门要求做好建筑退让，确保建筑与高压燃气管间有足够的安全距离；中国散裂中子源项目与南方先进光源项目用地间的连通设备、设施，道路或连廊可不受重叠边界处建筑退让的限制；已建成的110KV变电站对外连接的电力设施可不受建筑退让的限制。

1

六、竖向设计

【√】建筑基地的场地竖向设计应减少对原有自然地貌的人为影响，应有利于城市空间环境，符合城市防洪、排涝的要求。

【√】场地设计标高应与相邻建筑基地保持统一和协调，地形条件允许的，应与相邻建筑基地的场地设计标高持平。

七、城市景观要求

【√】建筑风格应与周边环境及规划相协调。

【√】建筑体量、色彩、材质等方面应与散裂中子源一期基本保持一致，打造统一的片区建筑群落风格。

八、其他要求

【√】地块开发建设时，应按照通信主管部门相关要求开展通讯基础设施建设。

【√】建设项目在工程设计阶段应开始实施“污染防治设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用”的“三同时” 制度。

【√】地块建设工程设计方案须满足《东莞市大朗镇2021-02地块规划选址评估及地块控制性详细规划图则》的要求。

【√】项目地块内存在值班室1、临时储存用房1、临时储存用房2、临时办公用房共4幢违章建筑物（详见红线图），需在项目总平面规划条件核实前拆除。

【√】项目地块内存在1座110KV变电站，用地单位正在申请纳入《补办试点项目台账》，需在项目总平面规划条件核实前完成相关补办手续。

【√】项目地块内实验配套区综合实验楼、实验配套区综合服务楼、主装置区直线设备楼、主装置区LRBT设备楼、辅助设备区辐射防护实验室、主装置区排风中心、辅助设备区冷冻站、辅助设备区维修站及仓库、辅助设备区测试实验楼2、辅助设备区测试实验楼1、主装置区靶站、主装置区RTBT设备楼、主装置区RCS设备楼、主装置区隧道共14幢建筑已办理不动产权证；工程材料中子衍射谱仪、高分辨粉末谱仪、环境监测站1、环境监测站2、环境监测站3、环境监测站4、值班室2共7幢建筑已办理建设工程规划许可证，在地块进行新建、改造、拆旧建新时，需按规划行政主管部门的规划设计要点重新进行规划建设。

九、注意事项

项目开发建设应符合现行国家和省市关于教育、环保、住建、交通、水务、文物、卫生、消防和通信等方面的规定、规范，落实相关行政主管部门对各类专项规划及相关问题的管理要求。

【√】《广东省绿色建筑条例》及相关政策规定。

【√】《关于进一步明确我市装配式建筑实施范围和相关工作要求的通知》（东建节能〔2020〕4号）及相关政策规定。

【√】《关于进一步明确东莞市装配式建筑实施标准和范围等有关工作要求的通知》（东建节能〔2022〕8号）及相关政策规定。

【√】《广东省人民政府办公厅关于加快新能源汽车推广应用的实施意见》（粤府办【2016】23号）及相关政策规定。

【√】《东莞市海绵城市规划建设管理暂行办法》（东府办〔2020〕35号）及相关政策规定。

【√】《东莞市加快5G基站建设的实施方案》（东工信〔2020〕252号）及相关政策规定。

2

【√】地块现状存在违法建筑（未取得建设工程规划许可证的情况下已建成），已函告执法部门进行处理。

注释：

（一）本规划设计要点依据国家和省市法律、法规、技术规定、控制性详细规划确定。

（二）本规划设计要点应与建设用地规划红线图共同使用，作为《建设用地规划条件》、《建设用地规划许可证》的附件，具同等法律效力。

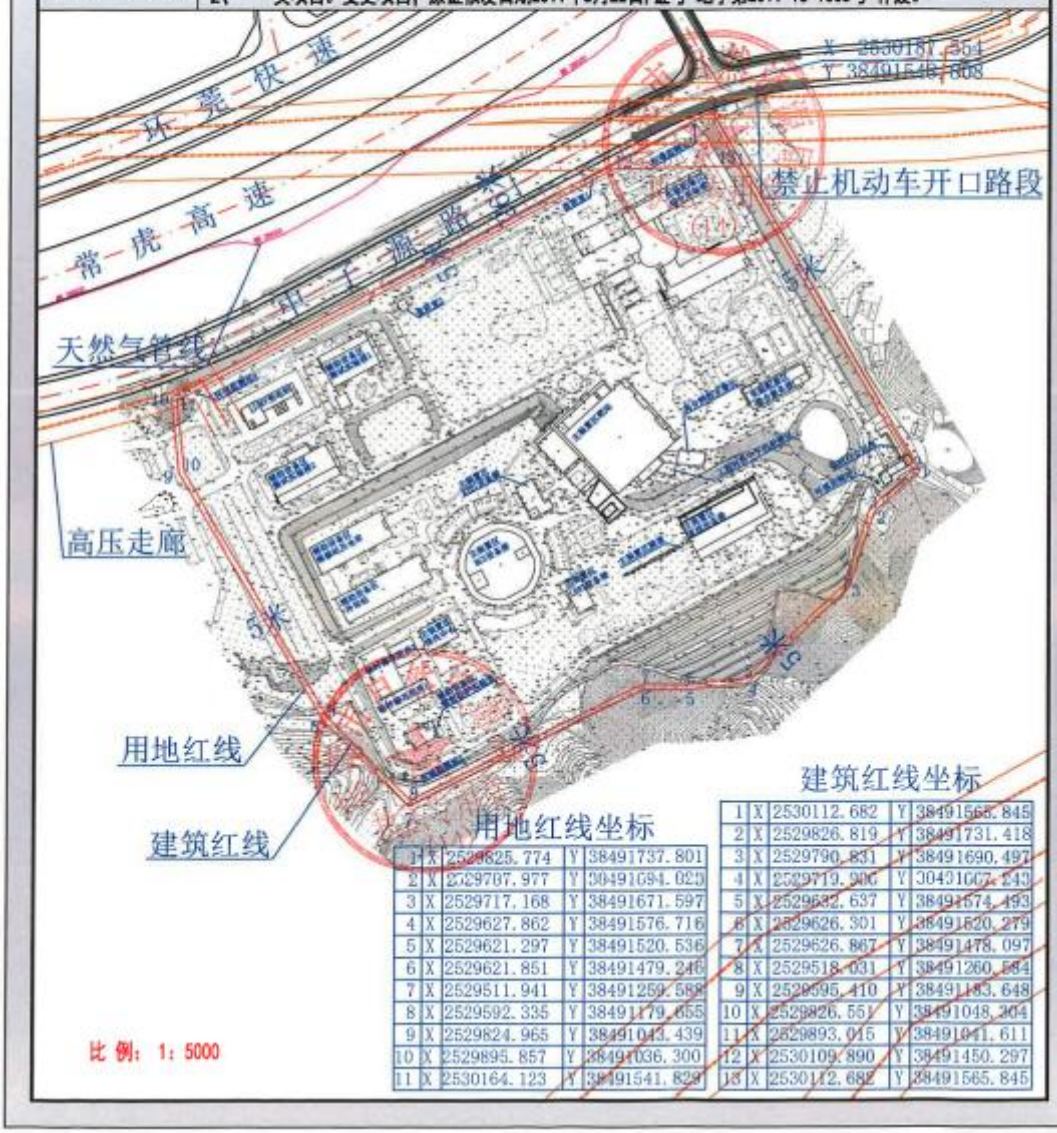
（三）建设用地的开发建设应符合本规划设计要点、国家和省市现行有关规定规范、《东莞市城市规划管理技术规定》、《东莞市建设用地规划条件管理暂行规定》和相关控制性详细规划要求。

（四）未尽事宜，按国家和省市现行有关规定规范执行。

核发日期：2023年11月15日

3

申请单位	中国科学院高能物理研究所	用地规划许可编号	地字第 441900202 3Y G0126364 号
用地项目名称	中国散裂中子源项目	用地位置	东莞市大朗镇水平村中子源路1号
用地面积	267622.73平方米[401.43]亩	土地用途	科研用地【C65（科研设计用地）】
批准机关	东莞市自然资源局	批准日期	2023年11月15日
基本指标	容积率 <=0.40	绿地率	>=25%
	建筑密度 <=50%	最大高度	<=40米
其它要求	1、 具体要求按《东莞市城市规划管理技术规定》及相关规范执行		
	2、 一类项目。变更项目，原证核发日期2011年8月22日，证号 地字第2011-16-1005号 作废。		



用地红线坐标

1	X	2529825.774	Y	38491737.801
2	X	2529707.977	Y	38491694.025
3	X	2529717.168	Y	38491671.597
4	X	2529627.862	Y	38491576.716
5	X	2529621.297	Y	38491520.536
6	X	2529621.851	Y	38491479.246
7	X	2529511.941	Y	38491259.588
8	X	2529592.335	Y	38491179.655
9	X	2529824.965	Y	38491043.439
10	X	2529895.857	Y	38491036.300
11	X	2530164.123	Y	38491541.829

建筑红线坐标

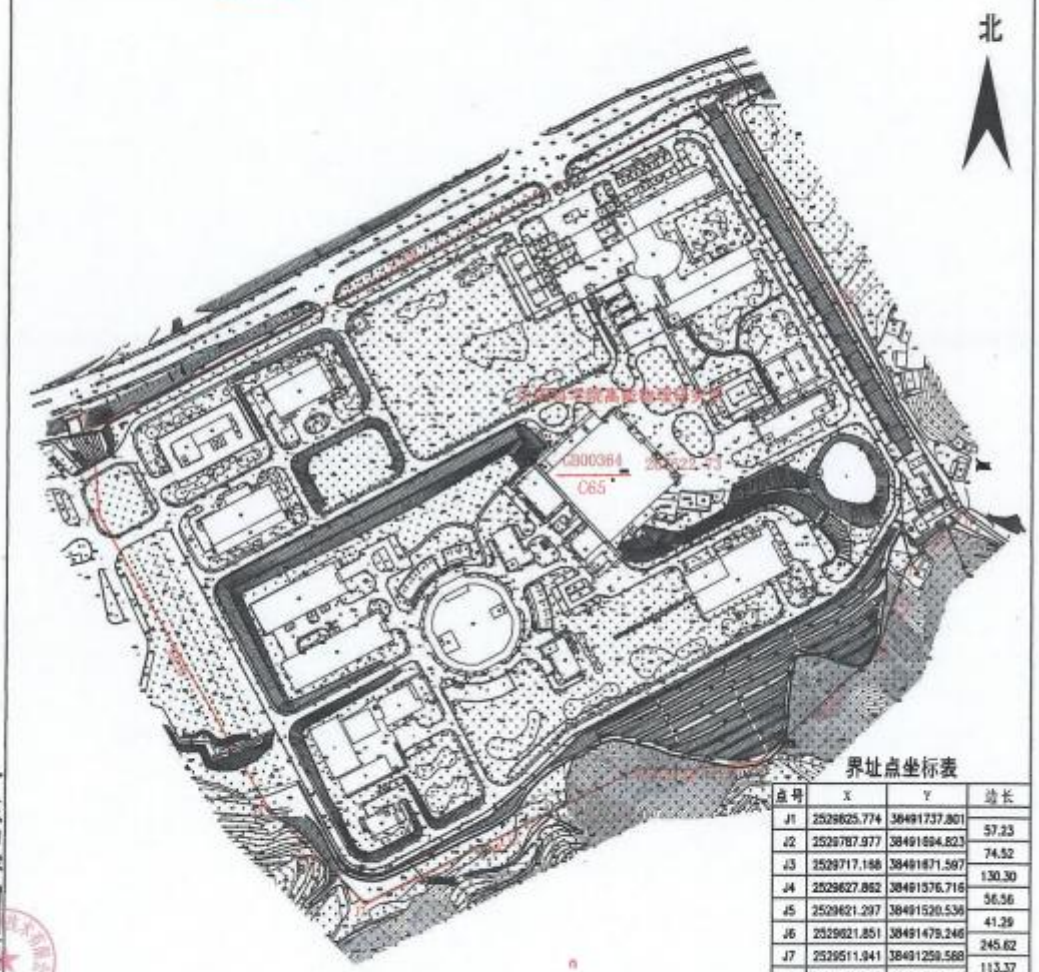
1	X	2530112.682	Y	38491565.845
2	X	2529826.819	Y	38491731.418
3	X	2529790.831	Y	38491690.497
4	X	2529719.906	Y	38491607.243
5	X	2529632.637	Y	38491574.493
6	X	2529626.301	Y	38491620.279
7	X	2529626.867	Y	38491478.097
8	X	2529518.031	Y	38491260.584
9	X	2529595.410	Y	38491183.648
10	X	2529826.551	Y	38491048.304
11	X	2529893.015	Y	38491041.611
12	X	2530109.890	Y	38491450.297
13	X	2530112.682	Y	38491565.845

宗地图

单位:m.m²

宗地编号:4419017014003GB00364　　权利人:中国科学院高能物理研究所

地籍图号:2529.60-38491.25　　宗地面积:267622.73



界址点坐标表

点号	X	Y	边长
J1	2529825.774	38491737.801	
J2	2529787.977	38491694.823	57.23
J3	2529717.168	38491671.567	74.52
J4	2529627.862	38491576.716	130.30
J5	2529621.297	38491520.536	56.56
J6	2529621.851	38491479.246	41.29
J7	2529511.941	38491259.568	245.62
J8	2529592.335	38491179.655	113.37
J9	2529824.965	38491043.439	269.58
J10	2529895.857	38491036.300	71.25
J11	2530184.123	38491541.829	572.30
J1	2529825.774	38491737.801	391.01
2000国家大地坐标系			

广东中睿勘测技术有限公司

绘图日期2023年7月30日　　1:4590　　绘图员:付龙华

审核日期2023年7月30日　　审核员:王 伟

附件三：用地预审与选址意见书



中华人民共和国

建设项目
用地预审与选址意见书

用字第 441900202100149 号

根据《中华人民共和国土地管理法》《中华人民共和国城乡规划法》和国家有关规定，经审核，本建设项目符合国土空间用途管制要求，核发此书。

核发机关

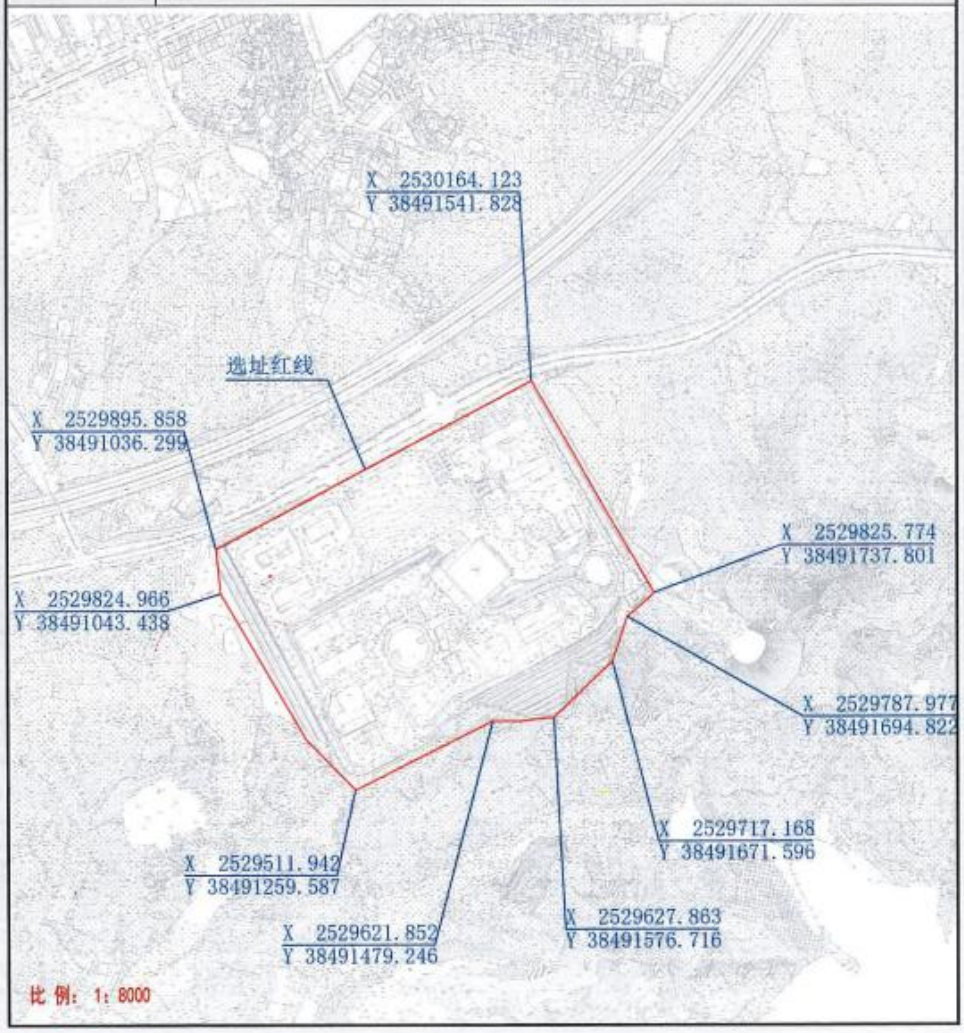
日　期

基本情况	项目名称	中国散裂中子源二期工程
	项目代码	2110-440000-04-01-735997
	建设单位名称	中国科学院高能物理研究所
	项目建设依据	发改高技〔2021〕1466号
	项目拟选位置	东莞市大朗镇水平村中子源路1号
	拟用地面积（含各地类明细）	26.7623公顷
	拟建设规模	以项目可行性研究报告的批复为准
附图及附件名称	《建设项目用地预审与选址红线图》（A4图幅）一式一份；《建设项目用地预审选址要求》一式一份。	

遵守事项

一、本书是自然资源主管部门依法审核建设项目用地预审和规划选址的法定凭据。
二、未经依法审核同意，本书的各项内容不得随意变更。
三、本书所需附图及附件由相应权限的机关依法确定，与本书具有同等法律效力，附图指项目规划选址范围图，附件指建设用地要求。
四、本书自核发起有效期三年，如对土地用途、建设项目选址等进行重大调整的，应当重新办理本书。

建设单位名称	中国科学院高能物理研究所		预审与选址编号	用字第 441900202100149 号
建设项目名称	中国散裂中子源二期工程		建设项目拟选位置	东莞市大朗镇水平村中子源路1号
拟用地面积	26.7623公顷		用地性质	C6（教育科研设计）
批准机关	东莞市自然资源局		批准日期	2021年11月26日
基本指标	容积率	<=0.40	绿地率	>=35.00%
	建筑密度	<=20.00%	最大高度	<=米
其它要求	1、具体要求按《东莞市城市规划管理技术规定》及相关规范执行			
	2、			



建设项目用地预审选址要求

审批内容：建设项目用地预审与选址意见

用地概况：

建设项目用地预审与选址意见书证号：用字第441900202100149号

申请单位名称：中国科学院高能物理研究所

用地位置：东莞市大朗镇水平村中子源路1号

【☑】 建设项目用地预审意见：（已办理用地预审报批手续）

一、项目符合大朗镇土地利用总体规划。用地界址点坐标为详见选址红线图。

二、申请用地面积为26.7623公顷，其中农用地0公顷（耕地0公顷，含基本农田0公顷），建设用地26.7623公顷，未利用地0公顷，围填海0公顷。用地规模适宜；建设项目属国家允许供地项目；土地用途为C6（教育科研设计）。

【☑】 建设项目选址意见

用地功能要求：

【☑】 使用性质：C6（教育科研设计）

【☑】 主要功能：科研用地

【☑】基本指标：

指标名称	数值	强制性指标	指导性指标
用地面积	26.7623公顷	√	
容积率	0.40	√	
绿地率	≥35.00%	√	
建筑密度	≤20.00%		√
最大高度	≤米		√

交通市政要求：

【☑】按照我市海绵城市专项规划、排水相关规划落实雨水径流控制措施。项目竖向标高的选取需征得水务等相关部门同意，并满足防洪排涝要求。同步预留市政管线敷设空间。

注释：

（一）《建设项目用地预审选址要求》依据国家和省市法律、法规、土地利用总体规划及城市控制性详细规划确定。

（二）含选址意见的《建设项目用地预审选址要求》应与建设用地规划红线图共同使 用。

（三）所列强制性指标不得突破。指导性指标如需调整，须结合具体设计方案报市自然资源主管部门同意。

（四）地块规划（建筑）设计应符合本《建设项目用地预审选址要求》、国家现行规划及建筑设计规范和《东莞市城市规划管理技术规定》的要求。

（五）本《建设项目用地预审选址要求》作为《建设项目用地预审与选址意见书》的附件，具同等法律效力和期限约束力，请在文件有效期内到我局申请办理用地手续，在未取得建设用地批准之前不得开工建设。

（六）本《建设项目用地预审选址要求》解释权归东莞市自然资源局所有。

（七）本《建设项目用地预审选址意见书》有效期为3年，本文件有效期至2024年11月26日。

批准日期：2021年11月26日

附件四：相关药企应用证明（两份）

1.原子高科股份有限公司

应用证明

项目名称	基于散裂中子源强流伴生质子束医用同位素的量产技术研究
应用单位	原子高科股份有限公司
单位注册地址	北京市海淀区厂洼中街 66 号 1 号楼 1 层南部 105 室
应用时间	2025 年 7 月

具体应用情况：

2025 年 7 月，我单位使用中国科学院高能物理研究所中国散裂中子源制备的铜-225（^{225}Ac）核素，针对前列腺癌靶向探针 PSMA 与神经内分泌肿瘤靶向探针 DOTATATE 开展了 ^{225}Ac 放射性标记实验。分别在碳酸盐与乙酸钠两种缓冲体系下，于 95℃条件进行反应，经 iTLC-SG/0.1 M 柠檬酸钠体系质控，获得了放射化学纯度大于 95%的标记产物。

供样关键信息（以实际批次为准）：供样形态：^{225}Ac 溶于 0.1 M HCl；批次活度：约 1 μCi/批次。

标记实验结果：^{225}Ac-PSMA I&T 放化纯度 99.4%；^{225}Ac-DOTATATE 放化纯度 97.15%。

以上结果证明中国科学院高能物理研究所东莞研究部制备的 ^{225}Ac 核素质量可满足开展 ^{225}Ac 放射性标记等科研试验用途的需求。

我单位在实际使用过程中的进一步需求与建议：进一步提高单批供应活度，以便开展系统性的放化纯度/稳定性评价、前体与缓冲体系筛选、放大可行性研究等。

原子高科股份有限公司

应用单位盖章

2025年 9月 4日

2.烟台蓝纳成生物技术股份有限公司

应 用 证 明

项目名称	医用α核素 $^{212}Pb/^{212}Bi$ 的放射性药物标记应用		
应用单位	烟台蓝纳成生物技术股份有限公司		
联系人	文雪君	移动电话	18205963499
电子邮箱	xjwen@dcb-grgroup.com	固定电话	/
通讯地址	山东省烟台市牟平区东兴大街9号21号楼		
应用时间	2025年7月		

应用情况及社会经济效益：

本项目利用中国散裂中子源伴生质子辐照钍靶分离制备的医用α核素 $^{212}Pb/^{212}Bi$ 进行了放射性药物标记实验。医用α核素 $^{212}Pb/^{212}Bi$ 与蓝纳成 LNC1011M 前体在特定条件下反应，制得了 LNC1011M-$^{212}Pb/^{212}Bi$ 放射性标记药物，标记率可达 98%以上，该标记率等同或优于国外 $^{212}Pb/^{212}Bi$ 放射性药物的标记率。

实验结果表明，利用中国散裂中子源伴生质子辐照钍靶分离制备的医用α核素 $^{212}Pb/^{212}Bi$ 已满足医用纯度要求，可保证 $^{212}Pb/^{212}Bi$ 核素在放射性药物研发及生产中的标记率，这将为我国医用α核素的生产提供强有力的技术支撑及原料保障，进而推动α放射性治疗药物的研发及临床应用，产生巨大的社会效益与经济效益。

应用单位（盖章）

2025年8月27日

附件五：鉴定意见

中国科学院抢占科技制高点专项
同位素变革性生产技术

基于散裂中子源伴生质子束的医用同位素生产项目里程碑节点“百毫居里级年产能、毫居里级产量医用α核素”的鉴定意见

2025年7月4日，同位素变革性生产技术专项办组织专家在中国科学院高能物理研究所东莞研究部对中国科学院抢占科技制高点专项“同位素变革性生产技术——基于散裂中子源伴生质子束的医用同位素生产”里程碑节点“百毫居里级年产能、毫居里级产量医用α核素”进行了鉴定。与会专家听取了项目进展汇报，进行了实验室生产现场检查，并审阅了研究和分析报告等资料。专家组经过认真讨论，形成如下意见：

一、 项目团队完成了2025年里程碑节点“毫居里级锕-225、镭-223、铅-212三种医用α核素的产量目标”，三种核素的化学和核纯度均达到验收指标。

二、 项目团队自主集成创新，在加速器辐照工艺、靶站与叠层靶制备技术、三种核素联合分离纯化工艺等方面取得了一系列重大进展。主要有：

1、利用中国散裂中子源高能强流直线加速器运行时的额外束流，在不影响装置既定目标的情况下，应用其伴生质子束照射钍靶，成功

获取了三种重要医用α核素，实现了大科学装置一机两用，为医用核素生产开辟了一条经济可行的生产路径。

2、创新性开发了一种强流高能质子辐照叠层钍靶工艺，显著提高了辐照效率和同位素产额，为实现医用α核素的大规模经济制备奠定了基础。

3、开发了一种大质量靶材（~50 g 钍靶）中三种医用α核素的联合分离纯化技术和工艺，获得了单批次毫居里级、核纯度≥99%的锕-225、镭-223、铅-212，满足医药研发要求。

与会专家一致认为，基于散裂中子源伴生质子束辐照钍靶制备毫居里级锕-225、镭-223、铅-212 的技术与工艺达到国际先进水平，突破了关键医用α核素长期受制于人的技术瓶颈。

鉴定专家组组长：

2025 年 7 月 4 日

附件：

中国散裂中子源α同位素量产项目
评审专家签到表

序号	姓 名	职务/职称	工作单位	签名	备注
1	陈和生	院士	中国科学院高能物理研究所		
2	柴之芳	院士	苏州大学		组长
3	陈春英	院士	国家纳米中心		
4	杜 进	首席科学家/研究员	中国同辐股份有限公司		
5	侯小琳	院长/教授	兰州大学		
6	蒲 钇	研究员	国家自然科学基金委员会		
7	肖成梁	副院长/研究员	浙江大学		

附表一：经营收入及税费估算表

单位： 万元

序号	项目	合计	计算期																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
一	**营业收入**	**9052500**					**85000**	**127500**	**212500**	**297500**	**340000**	**467500**	**510000**	**637500**	**680000**	**722500**	**765000**	**807500**	**850000**	**850000**	**850000**	**850000**
1	镭-223收入	**6390000**					**60000**	**90000**	**150000**	**210000**	**240000**	**330000**	**360000**	**450000**	**480000**	**510000**	**540000**	**570000**	**600000**	**600000**	**600000**	**600000**
1.1	设计产能（Ci）						300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
1.2	实际产能（Ci）						30	45	75	105	120	165	180	225	240	255	270	285	300	300	300	300
1.3	销售单价（mCi/万元）						2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
1.4	达产指标率						10%	15%	25%	35%	40%	55%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	100%	100%	100%
2	锕-225收入	**2662500**					**25000**	**37500**	**62500**	**87500**	**100000**	**137500**	**150000**	**187500**	**200000**	**212500**	**225000**	**237500**	**250000**	**250000**	**250000**	**250000**
2.1	设计产能（Ci）						250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
2.2	实际产能（Ci）						25	38	63	88	100	138	150	188	200	213	225	238	250	250	250	250
2.3	销售单价（mCi/万元）						1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2.4	达产指标率						10%	15%	25%	35%	40%	55%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	100%	100%	100%
3	铅-212/铋-212收入	**2556000**					**24000**	**36000**	**60000**	**84000**	**96000**	**132000**	**144000**	**180000**	**192000**	**204000**	**216000**	**228000**	**240000**	**240000**	**240000**	**240000**
3.1	设计产能（Ci）						300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
3.2	实际产能（Ci）						30	45	75	105	120	165	180	225	240	255	270	285	300	300	300	300
3.3	销售单价（mCi/万元）						0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
3.4	达产指标率						10%	15%	25%	35%	40%	55%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	100%	100%	100%
二	**税金与附加**	**93879**					**0**	**750**	**2128**	**3046**	**3505**	**4882**	**5341**	**6718**	**7177**	**7636**	**8095**	**8554**	**9013**	**9013**	**9013**	**9013**
1	城市维护建设税（7%）	54763					0	438	1241	1777	2044	2848	3115	3919	4186	4454	4722	4990	5257	5257	5257	5257
2	教育费附加（3%）	23470					0	188	532	761	876	1220	1335	1679	1794	1909	2024	2138	2253	2253	2253	2253
3	地方教育费附加（2%）	15647					0	125	355	508	584	814	890	1120	1196	1273	1349	1426	1502	1502	1502	1502
三	**增值税**	**782326**					**0**	**6250**	**17730**	**25380**	**29205**	**40680**	**44505**	**55980**	**59805**	**63630**	**67455**	**71280**	**75105**	**75105**	**75105**	**75105**
1	销项税额	814725					7650	11475	19125	26775	30600	42075	45900	57375	61200	65025	68850	72675	76500	76500	76500	76500
2	进项税额	22313					1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395	1395
3	抵扣固定资产进项税额	10085					6255	3830	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

附表二：成本费用估算表

单位： 万元

序号	项目	合计	计算期																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	外购原材料费	147200				0	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200
2	外购燃料及动力	123040				0	7690	7690	7690	7690	7690	7690	7690	7690	7690	7690	7690	7690	7690	7690	7690	7690
2.1	水费	3040				0	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
2.2	电费	120000				0	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500
3	设备维修维护及检测费用	141016				0	8814	8814	8814	8814	8814	8814	8814	8814	8814	8814	8814	8814	8814	8814	8814	8814
4	日常建筑修理费	8567				0	535	535	535	535	535	535	535	535	535	535	535	535	535	535	535	535
5	工资及福利费	232000				0	14500	14500	14500	14500	14500	14500	14500	14500	14500	14500	14500	14500	14500	14500	14500	14500
6	管理费用	90525				0	850	1275	2125	2975	3400	4675	5100	6375	6800	7225	7650	8075	8500	8500	8500	8500
7	其他研发成本	150000				0	30000	30000	30000	30000	30000											
8	经营成本合计（1+2+3+4+5+6+7）	892348				0	71589	72014	72864	73714	74139	45414	45839	47114	47539	47964	48389	48814	49239	49239	49239	49239
9	折旧费	100023				0	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251
10	摊销费	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	利息支出	70004					4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375
12	总成本费用（8+9+10+11）	**1062375**				**0**	**82216**	**82641**	**83491**	**84341**	**84766**	**56041**	**56466**	**57741**	**58166**	**58591**	**59016**	**59441**	**59866**	**59866**	**59866**	**59866**

附表三：固定资产折旧估算表

单位：万元

序号	项　　目	原值	折旧年限	计算期															
				5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	房屋、建筑物及其他	25787																	
	折旧费		36	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680
	净值			25106	24426	23745	23065	22384	21704	21023	20343	19662	18982	18301	17621	16941	16260	15580	14899
2	设备费	89135																	
	折旧费		16	5571	5571	5571	5571	5571	5571	5571	5571	5571	5571	5571	5571	5571	5571	5571	5571
	净值			83564	77993	72422	66851	61280	55709	50138	44568	38997	33426	27855	22284	16713	11142	5571	0
	固定资产合计	114922																	
	折旧费			6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251
	净值			108670	102419	96168	89916	83665	77413	71162	64910	58659	52408	46156	39905	33653	27402	21150	14899

附表四：利润和利润分配表

单位：万元

序号	项目	合计	计算期																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	营业收入	9052500					85000	127500	212500	297500	340000	467500	510000	637500	680000	722500	765000	807500	850000	850000	850000	850000
2	税金及附加	876205					0	7000	19858	28426	32710	45562	49846	62698	66982	71266	75550	79834	84118	84118	84118	84118
3	总成本费用	1062375					82216	82641	83491	84341	84766	56041	56466	57741	58166	58591	59016	59441	59866	59866	59866	59866
4	补贴收入	0																				
5	利润总额（1-2-3+4）	7113920					2784	37859	109151	184733	222524	365897	403688	517061	554852	592643	630434	668225	706016	706016	706016	706016
6	弥补以前年度亏损	0																				
7	应纳税所得额（5-6-4）	7113920					2784	37859	109151	184733	222524	365897	403688	517061	554852	592643	630434	668225	706016	706016	706016	706016
8	所得税	1778480					696	9465	27288	46183	55631	91474	100922	129265	138713	148161	157609	167056	176504	176504	176504	176504
9	净利润（5-8）	5335440					2088	28394	81863	138550	166893	274423	302766	387796	416139	444482	472826	501169	529512	529512	529512	529512
10	期末未分配利润	0																				
11	可供分配的利润（9+10）	5335440					2088	28394	81863	138550	166893	274423	302766	387796	416139	444482	472826	501169	529512	529512	529512	529512
12	提取法定盈余公积金	533544					209	2839	8186	13855	16689	27442	30277	38780	41614	44448	47283	50117	52951	52951	52951	52951
13	可供投资者分配的利润（11-12）	4801896					1879	25555	73677	124695	150204	246981	272490	349016	374525	400034	425543	451052	476561	476561	476561	476561
14	应付优先股股利	0																				
15	提取任意盈余公积金	0																				
16	应付普通股股利	0																				
17	投资各方利润分配	0																				
18	未分配利润（13-14-15-17）	4801896					1879	25555	73677	124695	150204	246981	272490	349016	374525	400034	425543	451052	476561	476561	476561	476561
19	息税前利润（利润总额+利息支出）	7179549					2784	42234	113527	189109	226900	370273	408064	521437	559228	597019	634810	672601	710392	710392	710392	710392
20	息税折旧摊销前利润（息税前利润+折旧+摊销）	7273320					2784	48486	119778	195360	233151	376524	414315	527688	565479	603270	641061	678852	716643	716643	716643	716643
21	累计盈余公积金						209	3048	11235	25090	41779	69221	99498	138277	179891	224340	271622	321739	374690	427642	480593	533544
22	累计未分配利润						1879	27434	101111	225806	376010	622991	895481	1244497	1619022	2019057	2444600	2895652	3372213	3848774	4325335	4801896

附表五：项目投资现金流量表

单位：万元

序号	项目	合计	计算期																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	现金流入	9077484	0	0	0	0	91255	131330	212500	297500	340000	467500	510000	637500	680000	722500	765000	807500	850000	850000	850000	864899
1.1	营业收入	9052500	0	0	0	0	85000	127500	212500	297500	340000	467500	510000	637500	680000	722500	765000	807500	850000	850000	850000	850000
1.2	补贴收入	0																				
1.3	回收固定资产余值	14899																				14899
1.4	回收流动资金	0																				0
1.5	建设投资进项税抵扣额	10085	0	0	0	0	6255	3830	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	现金流出	1893561	5000	18751	56253	45003	71589	79014	92722	102140	106849	90976	95685	109812	114521	119230	123939	128648	133357	133357	133357	133357
2.1	建设投资	125007	5000	18751	56253	45003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.2	流动资金	0																				
2.3	经营成本	892348	0	0	0	0	71589	72014	72864	73714	74139	45414	45839	47114	47539	47964	48389	48814	49239	49239	49239	49239
2.4	税金及附加	876205	0	0	0	0	0	7000	19858	28426	32710	45562	49846	62698	66982	71266	75550	79834	84118	84118	84118	84118
2.5	维持运营投资	0																				
3	所得税前净现金流量（1-2）	7183924	-5000	-18751	-56253	-45003	19666	52316	119778	195360	233151	376524	414315	527688	565479	603270	641061	678852	716643	716643	716643	731542
4	累计所得税前净现金流量		-5000	-23751	-80005	-125007	-105341	-53025	66753	262113	495264	871788	1286103	1813791	2379270	2982540	3623601	4302453	5019096	5735739	6452382	7183924
5	调整所得税	1794887	0	0	0	0	696	10559	28382	47277	56725	92568	102016	130359	139807	149255	158702	168150	177598	177598	177598	177598
6	所得税后净现金流量（3-5）	5389037	-5000	-18751	-56253	-45003	18970	41757	91396	148083	176426	283956	312299	397329	425672	454015	482359	510702	539045	539045	539045	553944
7	累计所得税后净现金流量		-5000	-23751	-80005	-125007	-106037	-64280	27117	175199	351625	635581	947880	1345209	1770881	2224897	2707255	3217957	3757002	4296047	4835093	5389037
	计算指标：		所得税后				所得税前															
	项目投资财务内部收益率（%）		51.85%				57.97%															
	项目投资财务净现值（万元）		489660		Ic=18%	18.0%	670180	Ic=	18.0%													
	投资回收期（年）		6.70				6.44															

附表六：借款还本付息计划表

单位：万元

序号	项目	计算期																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
一	**银行长期借款**																				
1	年初借款余额	0	5000	23751	80005	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007
2	本年借款	5000	18751	56253	45003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	本年应计利息(建设期、运营期)	88	503	1816	3588	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375
3.1	建设期利息	88	503	1816	3588																
3.2	运营期利息					4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375
4	本年还本付息	88	503	1816	3588	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	129383
4.1	还本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125007
4.2	付息	88	503	1816	3588	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375	4375
5	年末借款余额	5000	23751	80005	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	125007	0
6	年初借款未用额																				
三	**偿还本金资金来源**	**0**	**0**	**0**	**0**	**8131**	**31806**	**79929**	**130946**	**156455**	**253232**	**278741**	**355268**	**380777**	**406286**	**431795**	**457304**	**482812**	**482812**	**482812**	**482812**
1	自有资金																				
2	折旧摊销费					6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251	6251
3	未分配利润					1879	25555	73677	124695	150204	246981	272490	349016	374525	400034	425543	451052	476561	476561	476561	476561

附表七：评估意见执行情况表

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
一	宏达公司意见				
1	宏达公司意见	1.1.5 建设内容和规模：补充项目占地面积。	是	1.1.5 建设内容和规模、3.4.2 建设内容及规模	已补充项目占地面积。
2	宏达公司意见	1.1.6 建设工期：补充项目建设工期的年、月。	是	5.6.7 时间节点安排	项目建设期约 3 年 6 月，计划从 2026 年 1 月至 2029 年 6 月。 前期工作及设计阶段为 2026 年 1 月至 10 月，土建及装修工期为 2026 年 10 月至 2029 年 6 月。 项目工艺技术工期约 6 年，计划从 2025 年 12 月至 2031 年 12 月。 具体如下： 2025 年 12 月至 2026 年 12 月：初步掌握镭-223、锕-225 等医用同位素的批量化生产，实现镭-223、锕-225 百毫居里年产能。 2026 年 12 月至 2027 年 12 月：完成镭-223、锕-225 的分离中试、铅-212 小试验证，建立相应质量控制体系； 2027 年 12 月至 2028 年 12 月：完成镭-223、锕-225 等医用同位素分离纯化的中试验证及自动化分离工艺设计； 2028 年 12 月至 2031 年 12 月：实现百居里镭-223、锕-225 和铅-212/铋-212 的年产能技术验证并实现批量供应。
3	宏达公司意见	1.1.10 《技术经济指标表》不完整，应补充地下室、地上建筑面积，配套设施、设备等指标。	是	1.1.10 技术经济指标表	已补充地下建筑面积、地上建筑面积、构筑物面积等指标。
4	宏达公司意见	1.3 编制依据：补充国家发展改革委《政府投资项目可行性研究报告编写通用大纲（2023 年版）》。	是	1.3.5 专题研究成果及其他依据	已补充《政府投资项目可行性研究报告编写通用大纲（2023 年版）》作为本项目编制依据。
5	宏达公司意见	1.3.2 国家和地方有关支持性政策及依据：《“十四五”医药工业发展规划》不适用于本项目。	是	--	已删除无关内容。
6	宏达公司意见	第一章：补充项目绩效目标。	是	1.1.11 总体绩效指	1.技术突破目标突破

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
				标	开发高辐照环境下高功率靶站自动化远控技术，完成靶体更换、辐照、转运全流程自动化，在理论和实验基础上，研制针对锕-225、镭-223 和铅-212 等同位素生产的叠层靶技术方案，掌握厚靶的冷却、装卸等同位素生产的关键技术。 研发快速、高效、稳定的辐照钍靶中多种医用核素的联合分离纯化技术，准确的质控分析技术及经济可行的放射性废液减容技术，建立镭-223、锕-225 与铅-212/铋-212 的批量化、自动化分离纯化工艺流程及标准化分装工艺流程，建设甲级放化生产设施，实现百居里级高纯医用α核素的年产能。 2.产能保障目标 在 2029 年 6 月前完成α同位素量产设施土建装修的基础上，2031 年完成项目工艺设备的安装调试，实现百居里级镭-223、锕-225、铅-212 医用α核素的年产能。
7	宏达公司意见	2.1 项目建设背景：补充项目单位建设本项目具备的优势条件，以及对放射性污染的防治能力等。	是	2.1.3 项目提出的背景	质子应用产业化平台项目基于中国散裂源装置，利用散裂中子源高能强流质子束（最高 300 MeV,200 kW 的质子束流），通过建设高功率靶站及叠层靶技术，轰击钍靶制备稀缺医用α核素。项目建设单位已经完成了辐照 Th 靶中医用α核素分离制备的小/中试验证，研发掌握了辐照靶中医用α核素分离纯化工艺。 分离纯化分总体研发制定了放射性废物的减容处置方案。工艺热室内产生的放射性废气首先经过研制的废气捕集装置捕收，排放出的其他废气经吸附和高效过滤装置处理后高空排放。放射性废液在废物减容间内经过沉淀及离子交换浓缩后与其他放射性固体废物一并转移至 B3 层放废厅暂存。散裂中子源目前在运行国内功率最高功率散裂靶，具有高功率靶、靶站、热室和放射性设施设计、建设和操作运行的经验。
8	宏达公司意见	2.2.3 产业政策符合性：补充项目与《产业机构调整指导目录（2024 年本）》的符合性分析。	是	2.2.3 产业政策符合性	已补充项目与《产业机构调整指导目录（2024 年本）》的符合性分析，本项目属于“鼓励类”第六项：核能中的核技术利用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造。
9	宏达公司意见	3.1 需求分析：补充项目建筑规模的需求分析。	是	3.3 项目建设需求	质子应用产业化平台项目基于中国散裂中子源装置，聚焦锕-225、镭-223 和铅-212/铋-212 等稀缺α同位素的生产制备，建设百居里级年产能基地，以期解决国内α同位素严重依赖进口的“卡脖子”问题，实现α医用同位素的自主生产供应。项目建设是贯彻落实国家、省、市相关规划政策的需要，对于提高我国医疗水平，提升人民健康水平，推动健康中国建设具有重大

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
					作用。质子应用产业化平台项目的建设有助于推动我国核医学产业上下游全链条发展，助力新兴产业集群培育与壮大。 由于本项目具有一定的前瞻性，并无具体建设标准，目前规划是按照工艺需求和布局进行建筑设计，提出了具体功能用房需求： 整个建筑分为地下 3 层，地上 4 层，总面积约 23917 平方米，其中： 负三层主要为冷却系统循环间、污水处理区、液体废物暂存区、固体废物暂存区、低放液体储罐区、气体吸附和过滤间等，所需建筑面积约 3028 平方米。 负二层主要为医用同位素分离纯化工艺间、高功率靶站、热室和靶制备间、同位素研究实验区、加速器束线设备区、废束站、设备转运区及辐射防护检查区域。所需建筑面积约 4840 平方米。 负一层主要为医用同位素 GMP 分装、分析检测及医用同位素产品暂存区域。所以建筑面积约 2877 平方米。 一层主要为乙级放化实验室，同位素生产中控室、靶研究实验室、辐射防护测量和分析实验室、放射药物研发实验室、变配电站、低温厅、冷冻站、压缩空气站、纯水站、空调机房、加速器高频设备本地设备厅、脉冲电源厅等。所需建筑面积约 3290 平方米。 二层主要为分离纯化工艺优化及设备测试实验室、同位素核反应测量实验室、激光电离实验室、直流电源厅、真空本地站、加速器本地控制室、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。 三层主要为医用同位素标记及生物医学应用研发实验室、束测本地站、控制本地站、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。 四层主要为医用同位素质控分析技术研发实验室、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。 另外，在屋面设置消防水池、冷却塔、排风机等。 在首层配置有罐区构筑物，所需建筑物面积约 329 平方米。 各功能用房需求描述详见表 3.3.1
10	宏达公司意见	4.1 项目选址：补充项目选址是否为城市规划中的人口稠密区；是否在风景名	是	4.3.2 资源环境要	本项目不涉及风景名胜区、生态红线区、水源保护区、自然保护区和其他需要特别保护的环

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
		胜区、生态红线区、水源保护区、自然保护区和其他需要特别保护的环境敏感地区；是否存在泥石流、滑坡、塌陷、溶洞等潜在地质灾害影响的地区。		素保障	境敏感地区，存在泥石流、滑坡、塌陷、溶洞等潜在地质灾害影响的地区。
11	宏达公司意见	4.3 要素保障分析：不动产权证书（粤（2019）东莞不动产权第 0277344 号）为科研用地，应明确可以用于建设生产放射性产品的用地。	是	4.3.1 土地要素保障	用地属性未改变，满足本项目建设生产要求。
12	宏达公司意见	4.3 要素保障分析：明确项目是否涉及环境敏感区。	是	4.3.2 资源环境要素保障	本项目周边主要为山体及村落，环境敏感区为村落。
13	宏达公司意见	5.3.1.3 建筑方案：补充建筑、结构标准规范；补充建筑装修方案；《建筑照明设计标准》（GB/T50034-2013）应为《建筑照明设计标准》（GB/T50034-2024）；根据表 5.3.2.1.1 建筑用电负荷按 70W/㎡不能满足需求（用电设备功率较大）。	是	5.3.2.1 编制依据	已补充完善相关规范标准。该部分为建筑常规用电设备，不含工艺用电设备。
14	宏达公司意见	5.6 建设管理方案：补充项目建设质量、工程建设安全管理方案，进度计划补充年、月。	是	5.6.2 质量、安全管理方案和验收标准、5.6.7 时间节点安排	详见 5.6.2.1 质量安全管理、5.6.2.2 技术安全管控 项目建设期约 3 年 6 月，计划从 2026 年 1 月至 2029 年 6 月。 前期工作及设计阶段为 2026 年 1 月至 10 月，土建及装修工期为 2026 年 10 月至 2029 年 6 月。 项目工艺技术工期约 6 年，计划从 2025 年 12 月至 2031 年 12 月。 具体如下： 2025 年 12 月至 2026 年 12 月：初步掌握镭-223、锕-225 等医用同位素的批量化生产，实现镭-223、锕-225 百毫居里年产能。 2026 年 12 月至 2027 年 12 月：完成镭-223、锕-225 的分离中试、铅-212 小试验证，建立相应质量控制体系； 2027 年 12 月至 2028 年 12 月：完成镭-223、锕-225 等医用同位素分离纯化的中试验证及自动化分离工艺设计； 2028 年 12 月至 2031 年 12 月：实现百居里镭-223、锕-225 和铅-212/铋-212 的年产能技术验证并实现批量供应。
15	宏达公司意见	6.1 运营模式选择：应补充具体的运营单位、运营方案及收益分配机制。	是	6.1 运营模式选择	建成后，按照中国科学院规章制度执行。
16	宏达公司意见	6.3 安全保障方案：补充放射性物质泄漏防治措施。	是	6.3.2.4 放射性物质泄漏防治措施	已补充放射性物质泄漏防治措施。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
17	宏达公司意见	6.4 绩效管理方案：补充《项目绩效目标表》；项目绩效目标不全面，并应量化绩效指标。	是	表 6.4-1 项目绩效目标表	已完善绩效目标，并量化绩效指标。
18	宏达公司意见	7.1.2 编制依据：补充《市政工程投资估算编制办法》（建标 〔2007〕164 号）、《关于印发＜东莞市政府投资项目估算造价指标＞ 的通知》（东财〔2024〕95 号）。	是	7.1.2 编制依据	已补充编制依据。
19	宏达公司意见	《项目总投资估算明细表》工程费用：			
19.1	宏达公司意见	建筑工程费：			
(1)	宏达公司意见	（1）地下室 1）挖方工程 120 元/㎥偏高，建议按 63 元/㎥控制（按外运 15km，含消纳费）。 2）填方工程 30 元/㎥偏高，建议按 20 元/㎥控制（利用场内土方）。 3)基坑支护工程：6994.6 ㎡偏多，按“周长约 330m，开挖深度约 15.00—20.40m”，考虑放坡增加因素，建议按 6720 ㎡控制；4500 元/㎡偏高，按建设方案，“基坑上部土层、风化岩层可采用预应力锚杆复合土钉墙进行支护，下部基岩可采用坡率法结合坡面喷砼防护措施”，建议按 700 元/㎡控制。 4）土建工程 8000 元/㎡偏高，建议按 6000 元/㎡控制（地下一层至三层层高分别为 7m、7.3m 及 6.5m，其中基础工程按 800 元/㎡，结构工程按 5200 元/㎡）。 5）装修工程 750 元/㎡偏高，建议按 650 元/㎡控制（地下三层为相关工艺及公辅设备间；地下二层及一层西侧为靶厅相关部分， 包含靶前隧道、靶站、靶厅及一期隧道延长隧道，地下二层及一层东侧为热室操作间、分装室）。 6）标识标志工程 30 元/㎡、抗震支架 60 元/㎡偏高，建议分别按 20 元/㎡、50 元/㎡控制。	部分采纳	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	1.参照《中国散裂中子源二期工程地质勘察报告》地块±0 以下 1.5 米厚为土方，5.5 米-7.7 米为强风化岩，7 米以下为中风化岩，中风化岩需考虑静力爆破，土石方工程费用按照地质实际情况进行了细分。 2.经过现场踏勘，场地东、西面位在建筑，北面也是建筑。考虑到临时堆场到本项目距离，利用土方填方暂按 40 元/立方米考虑。 3.已复核，基坑支护面积约 6701 立方米，场地东、西方均有在建建筑，南门为永久边坡。受场地限制，基坑支护需要采用（灌注桩排桩支护+止水桩+内支撑和钢格构柱+锚索），锚索主要防止滑坡，且周边建筑对基坑设计及施工要求高。基坑支护工程单价暂按 3500 元/平方米考虑。 4.本项目建筑物功能特点是地下室尺寸长约 104.5 米，最宽处宽约 41.2 米，为超长结构。地下工艺区有辐射防护要求，装置区需采用混凝土厚板厚墙进行围蔽，其中负一层约 670 平方米，负二层约 3327 平方米，负三层约 1470 平方米，工艺部分结构工程测算钢筋混凝土指标：约为 3.94 立方米/平方米。另外，地下一层至三层层高分别为 7 m、7.3 m 及 6.5 m，工艺部分区域层高约 9 米，且此费用包括基础工程、筏板抗浮锚杆、工艺厚板厚墙区域及其他区域费用。细化了工艺厚板厚墙区域费用构成，调整了地下室土建工程单价。 5.经复核，B1 层医用同位素 GMP 分装区域，按照医药工业 GMP 场所建设管理规定（C 级洁净区）执行，洁净面积约 830 平方米。除了负三层有部分公用设施用房（975 平方米），其他均为工艺用房。按照洁净区域、公用设施用房及其他工艺用房细化了地下室装修费用，单价调整为 959.80 元/平方米。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
					6.标识标志工程已按 20 元/㎡计取，考虑到本项目实际需要需求，地下室抗震支架建议按 50 元/㎡计取。
(2)	宏达公司意见	（2）地上部分 1）土建工程 2800 元/㎡偏高，建议按 2500 元/㎡控制（4 层，建筑高度 27.4m）。 2）装饰工程 1500 元/㎡偏高，建议按 1200 元/㎡控制。 3）吊车梁 12000 元/吨偏高，建议按 8200 元/吨控制。 4）消防工程 300 元/㎡偏高，建议按 200 元/㎡控制。 5）2 吨消防货梯 42 万元/部、3 吨消防货梯 50 万元/部、1.25 吨客梯消防梯 32 万元/部偏高，建议分别按 35 万元/部、43 万元/部、27 万元/部控制（均按 5 层）。 6）标识标志工程 30 元/㎡偏高，建议按 20 元/㎡控制。 7）地上建筑不单独计取抗震支架费。	部分采纳	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	1.地上工程土建工程已调整成 2500 元/平方米。 2.已复核，地上建筑主要是工艺用房及实验室，且地上一层层高 8.4 米，地上二至四层层高 5.5 米，且地面建筑洁净区域面积 966 平方米。装饰工程按洁净区域及其他工艺区域分别计取费用。装饰工程单价调整为 1510 元/平方米。 3.吊车梁为轨道吊车梁，按照评审意见，暂按 10078.83 元/吨基本合理。 4.消防工程主要包括消防栓+喷淋系统、火灾自动报警系统及气体灭火系统。地上区域三层 真空束控厅、二层电源厅、二层同位素真空束控厅、二层同位素电源厅、二层加速器控制室、首层 脉冲电源厅、首层高频厅均需设置气体灭火（IG100），气体灭火建筑面积约 2248.82 平方米，消防工程单价暂按 282.52 元/平方米。 5.电梯价格按照意见调整，但本项目实际是地下 3 层，地上 4 层，共 7 层。 6.标识标志工程已按 20 元/㎡计取。 7.按照本建筑实际需求，地下建筑需计取抗震支架费。
(3)	宏达公司意见	（3）其他工程 1）实验家具工程 1000 万元、室外管网迁移 300 万元：应补充明细表。 2）装配式增加费：指标名称建议改为装配式建筑增加费；565 元/㎡偏高，建议按 400 元/㎡控制。 3）室外管网 300 元/㎡偏高，建议按 120 元/㎡控制。 4）未见室外电气照明工程，复核是否需要（参考 100 元/㎡）。 5）外电接入 70 万元/km 偏高，建议按 67 万元/km 控制（新增 10kV 电缆，FYZR-YJV22-8.7/15-3*240）。 6）外水接入：300 万元/km 偏高，建议按 23 万元/km 控制（ DN200-内外热镀锌钢管）；复核备注内容是否正确）。 7）光伏太阳能：90000WP 偏多，按建设方案，“共安装光伏组件 6 块，每块组件功率为 500W，装机容量约为 3kWp”，建议调减；7 元/WP 偏高，建议按 3.6	部分采纳	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	1.“实验家具工程”调整为“实验设施工程”。并细化“实验设施工程”费用构成，详见附表。参照中国散裂中子源二期工程项目管线成果图，细化了室外管网迁移费。 2.已取消装配式建筑增加费。 3.室外管网考虑了室外电气工程及室外给排水工程。投资单价按照本项目小红线范围内的室外面积单方造价进行计取。小红线范围内室外面积小，但本项目用电要求双回路供电，且工艺用水要求也高。按评审意见，室外管网单价调整为 175 元/㎡合理。 4.已补充了室外电气照明工程费用。 5.已取消了外电接入相关费用。 6.已复核外水接驳距离，并复核了外水接驳单价。 7.光伏太阳能已按 3.6 元/WP 进行调整。 8.场地现有土方处理按《东莞市政府投资项目估算造价指标（2024 年修编）》80 元/㎡调整。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
		元/WP 控制。 8）场地现有土方处理 90 元/㎥偏高，建议按 63 元/㎥控制（按外运 15km，含消纳费）。			
19.2	宏达公司意见	工艺专项工程			
(1)	宏达公司意见	靶站分总体中“机械系统”出现两次（费用 798 万元、6136.2 万元）、“控制系统”出现两次（费用 294.62 万元、控制系统 172 万元），复核是否重复估算。若属于不同的建设内容，指标名称应有所区别。	是	靶站分总体工艺专项明细表	由于靶站所属两个子系统都有机械负责设备，因此出现了两个机械系统报价，为了避免重复，已经在报告中将靶站屏蔽部分（6136.2 万元）的机械系统改为：靶站屏蔽系统；控制也是在两个子系统中都需控制，为避免重复靶站控制部分（172 万元）改为：靶站监测系统。
(2)	宏达公司意见	工艺专项工程 88181.02 万元，占工程费用 77%，偏多。应说明计费来源，提供相关计费依据（如中标价、报价函等）作附件，压实相关费用。	否		靶站部分总经费计费主要根据散裂中子源现有工程经验和国内相关同位素项目经验进行报价，由于靶站部分设备都为高放射区工作设备，需要考虑抗辐照能力、屏蔽的非标配方和非标异形加工、放射操作、极端使用条件下长寿命要求、后期维护和处理等特殊情况，因此设备不是普通民用设备，设备研制费用较高。分离纯化分总体的工艺设备大多数为自研非标专用设备，包括分离纯化热室及自动化分离设备，需要与制造供应商联合设计定制，由于此类设备并非批量生产且制造材料与精度要求极高，故其制造成本会远高于通用设备；也因为目前医用 Alpha 核素分离纯化自动化设备在国内外都处于早期研发阶段，故相关的经费预算的不确定度较大；尽管我们参考了市场上较成熟的诊断核素及 Beta 治疗核素自动化生产线设备的价格进行了较为保守的预估，但此次预算并未考虑将来通货膨胀带来的价格上涨因素，将来的实际花费很可能会更高。其他标准分析仪器及设备已经过调研比价。公用设施分总体的供配电系统、工艺安装系统和计算机网络系统对连续长期可靠运行有较高要求，部分设备还需要在有放射性的环境长期稳定运行的要求；工艺水冷系统和工艺通风空调系统采购的设备大多为参照核级标准的设备，确保带有放射性的工艺水和空气能安全可靠运行；因此相关主要设备材料的成本高于通用产品，价格参照类似项目采购价或市场询价。
(3)	宏达公司意见	部分设备设施单价偏高（或费用偏多），建议作如下调整： -一紧凑型质子升能装置 1）Matlab 软件 10 万元/套偏高，经查询（网上询价，加配件等费 20%，下同），建议按 5.58 万元/套控制。 2）不间断电源 24 万元/台偏高，经查询，建议按 8.39 万元/台控制	否	--	1）关于 MATLAB 软件 10 万元/套的预算构成，具体包括：（1）Matlab 基础版报价：5.58 万元。（2）Symbolic Math Toolbox（符号数学工具箱）：报价约 3.6 万元。该工具箱能够直接用于演算复杂的束流物理公式，实现解析推导和符号运算，有助于更清晰地理解和构建束流物理图像，是理论研究和算法开发的核心工具。（3）Global Optimization Toolbox（全局优化工具箱）：报价约 0.82 万元。该工具箱将直接应用于粒子束的轨迹优化等问题，提供了必需

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
		（50kVA/100kVA）。 3）中控台 10 万元/套偏高，经查询，建议按 1.44 万元/套控制。 4）8.4.5 数据采集卡、控制器和机箱与 8.5.5 数据采集卡、控制器和机箱的主要技术参数相同，单价应保持一致，建议均按 40 万元/套。			的强大算法，以确保我们能够高效、准确地寻找最优解。（2）和（3）是项目在束流物理研究方面不可或缺的专业工具箱。 2）关于 24 万报价是供应商提供的参考报价。该产品对连续长期可靠运行有较高要求，部分设备还需要在有放射性的环境长期稳定运行的要求。 3）中控台为非标产品，需要根据需求定制，包括台面、机柜、显示器壁挂式支架等，在 2022 年一个规模较小的类似项目中，11 位的中控台报价 6 万元左右（如下图）。本项目规模更大（15 位），且考虑到材料价格上涨等因素， 10 万/套价格预算比较合理。 4）对于数据采集卡、控制器和机器，8.4.5 和 8.5.5 报价上的区别主要是：注入多丝靶系统比束损探测器系统需要多一块采集卡，需要 10 万元。
		-一靶站设计制造及靶的制备 1）不锈钢屏蔽 3 万元/吨偏高，经查询，建议按 1.61 万元/吨控制。 2）PXIe 机箱及控制器 14 万元/台偏高，经查询，建议按 4.56 万元/台控制。	部分采纳	靶站分总体工艺专项明细表	1.放射区使用的不锈钢要求具备强耐腐蚀性，需要采用标号 304 以上材料，同时报价中也含有加工费，由于靶站避免屏蔽要求避免直通、高清洁、表面粗糙度要求高等，屏蔽件是非标定制结构，需要进行难度较大的异形结构件加工和表面处理，整体费用较高，所报单价合理。 2.通用性插槽少的PXIe 机箱及控制器价格的确相对比较低，但本项目中需要使用通道比较多，并且需要记录时间信息，所以需要星形定时槽，且通道比较多，计数率高对控制器要求比较高。因此根据以往采购经验，计划采购简仪可以的 PXIe-2722G2 机箱及 PXIe-3127e 控制器，18 插槽、包含星形定时槽，带宽不低于 8 GB/s，处理器不低于 intel i7，内存不低于 128GB. 通过向代理商询价，目前采购价格为 13 万元，可以按照 13 万元执行。
		-一公用设施分总体工艺专项明细表 1）干式变压器（SCB-2000-2500kVA-NX2、10/0.4kV）34 万元/台偏高，经查询，建议按 23.95 万元/台控制。 2）10kV 开关柜（10kV、25kA～31.5kA、630～1250A，中置柜）10 万元/台偏高，经查询，建议按 3.78 万元/台控制。 3）低压柜 11.5 万元/台偏高，经查询，建议按 3.85 万元/台控制。 4）直流馈电屏 8 万元/台偏高，经查询，建议按 2.47 万元/台控制。 5）水泵 15 万元/台偏高，经查询，建议按 6.31 万元/台控制。	部分采纳	公用设施分总体工艺专项明细表	1.本项目对供电可靠性要求高，设备选型和技术要求高。散裂二期已招标产品的采购均价为 31 万元/台。考虑到现阶段为可研报告阶段，原材料上涨等因素，建议保留原单价。（类似产品询价）。 2.本项目对供电可靠性要求高，设备选型和技术要求高。散裂二期已招标产品的采购均价为 8.3 万元/台。考虑到现阶段为可研报告阶段，原材料上涨等因素，建议保留原单价。 3.本项目对供电可靠性要求高，设备选型和技术要求高。散裂二期已招标产品的采购均价为 10 万元/台。本项目对供电可靠性要求高，设备选型和技术要求高。散裂二期已招标产品的采购均价为 10 万元/台。考虑到现阶段为可研报告阶段，原材料上涨等因素，建议保留原单价。 4.经核实，参照已采购的其他项目，暂按 5 万元/台考虑。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
		6）潜水泵 1.8 万元/台偏高，经查询，建议按 0.6 万元/台控制。 7）水质处理装置 25 万元/套偏高，经查询，建议按 1.54 万元/套控制。 8）水冷控制（现场控制器、软件等）40 万元/项偏高，建议按 6.22 万元/项控制。 9）废水储罐（不锈钢）12 万元/台偏高，经查询，建议按 2.94 万元/台控制。 10）2.1.1 阀门 450 万元/项，费用较高，建议细化费用构成。 11）电动调节阀 8.4 万元/台偏高，经查询，建议按 2.70 万元/台控制。 12）2.1.6 仪表及传感器 350 万元/项、2.1.7 管道管件 450 万元/项、2.18 保温材料 120 万元/项，费用较高，建议均细化费用构成。 13）不锈钢离心风机 24 万元/台偏高，经查询，建议按 5.46 万元/台控制。 14）通风机 2.6 万元/台偏高，经查询，建议按 0.85 万元/台控制。 15）不锈钢密闭空调箱 18 万元/台偏高，经查询，建议按 7.97 万元/台控制。 16）高效空气粒子过滤器 9 万元/台偏高，经查询，建议按 1.44 万元/台控制。 17）空调末端设备 10.5 万元/台偏高，经查询，建议按 6.24 万元/台控制。 18）3.8 不锈钢密闭风阀 430 万元/项，费用较高，建议细化费用构成。 19）不锈钢烟囱（不锈钢 S304 材质，出口管径 DN1500，高度 40m）140 万元/台偏高，经查询，建议按 60 万元/台控制。 20）3.11 厚壁不锈钢管道管件 584.5 万元/项、3.14 高密度聚乙烯风管 210 万元/项、3.18 传感器及仪器仪表 164 万元/项，费用较高，建议均细化费用构成。 21）自动控制系统 150 万元/项偏高，经查询，建议按 54 万元/项控制。 22）水泵 15 万元/台偏高，经查询，建议按 6.38 万元/台控制。 23）天车 38 万元/台偏高，经查询，建议按 10.56 万元/台控制。			5.本项目对工艺冷却水运行可靠性高，设备选型要求高，过流面均为不锈钢材质，防泄漏等级高，输运介质带有一定放射性，属于工业级产品，散裂二期已招标类似产品价格，建议保留原单价。 6.该项用于低放射性废水提升，要求运行可靠，建议保留原单价。 7.该项目水质处理用于有低放射性纯水水源冷却水，技术要求高，建议保留原单价。 8.水冷控制系统用于工艺冷却水、温度、压力、流量调节，控制精度高，与纯水制备控制系统无法横向对比，建议保留原单价。 9.废水储罐用于储存低放射性废水，属于压力容器，且有抗震需求，焊接技术要求比常规拼装水箱高，建议保留原单价。 10.按要求细化，该项阀门包含蝶阀、球阀、截止阀、排气阀、电磁阀、电动阀等，规格 DN10~DN500，连接形式包含法兰、螺纹、卡套等，数目种类众多，且大部分阀门过流介质为低放射性，对阀门的密封性、耐辐照性能高。 11.该项目调节阀要求调节精度高，可调范围大、泄漏率低、能够长期安全、可靠运行且安装、维修方便快捷，所有过流部件均采用不锈钢材质，介质有一定放射性，对电动执行机构长期连续高精度运行有较高要求。建议保留原单价。 12.按要求细化按要求细化 1）此项主要包含高精度、高稳定抗干扰性温度传感器、压力传感器、微差压变送器、压差传感器、纯水水质探头、涡街流量计等，温度精度为±0.1℃，约 100 台。 2）不锈钢管道管件规格 DN15~DN500，壁厚 2~10 mm，不锈钢材质为 S30408，不锈钢管总重约 220 吨。 3）保温材料使用环境为放射性环境，需要有一定的耐辐照能力，所有水冷相关的冷却水、纯水补水、二次水及排水均需考虑保温及防结露措施，且此项含室外安装施工费。 13.该设备按核级设备要求制造，已参照了相关中标价和询价，价格无法参照常规设备询价。 14.该项设备主要用于实验室通风系统，应满足防腐、防爆、抗老化等技术要求。参照了相关中标价和询价。建议按原价格。 15.该设备按核级设备要求制造，已参照了相关中标价和询价，价格无法参照常规设备询价。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
					16.该设备按核级设备要求制造，已参照了相关中标价和询价，价格无法参照常规设备询价。 17.空调末端设备主要为组合式空调机组，该设备为工艺房间提供温度、湿度、洁净度等重要运行参数，同时要保障设备可靠、稳定运行，单台设备风量 10000～50000m³/h，以 40000m³/h 以上的风量为主，部分设备应用在放射性环境。已参照了相关中标价和询价，建议保留原价格。 18.按要求细化，该设备按核级设备要求制造，不锈钢 S304 材质，外泄漏等级为零级泄漏，内泄漏等级为零级泄漏或I级泄漏。外径 DN50～DN1000，以 DN500 及以上为主。法兰式蝶阀，采用电动调节、电动开关、气动开关或手动开关操作装置，密闭风阀总共约 200 台。 19.该不锈钢烟囱顶部管径 1.5 m 底部管径 2.5 m，壁厚 12~18 mm，采用不锈钢 S30408 材质 并包含安装运输费用。有中标或询价依据，建议按原价格。 20.按要求细化 1）不锈钢管规格 DN15~DN1500，壁厚 2~10 mm，其中主要风管 DN200~DN1500，不锈钢材质为 S30408，不锈钢管总重约 280 吨。 2）高密度聚乙烯管管径 DN200~DN1000，以 DN500 及以上为主，管道总长度 1600 m，此项含室外安装施工费。 3）此项主要包含工业温湿度传感器、微差压变送器、密闭气体流量计等，均需按低放射性气体环境使用，以及在±10kPa 系统中保证气密性要求，主要以工业级传感器为主，约 100 台。 21.按要求细化，包括控制柜（含 PLC 模块、电气元件）约 125 台、控制电缆约 5 万米、服务器、各类工作站、控制台、网络交换机、通讯装置、各类线缆、声光报警装置、中控屏幕墙等。多数设备布置在放射性环境，以上装置应按 150 万元考虑。 22.由于冷源为本项目核心散热组成部分，水泵直接关系冷源系统的运行，水泵应采用运行稳定性、可靠性等较高的产品，量产项目设备应满足能适应长期工业环境运行。有中标或询价依据。 23.由于吊车可靠性要求较高，吊车等级采用 A5，询价是 A3，级别不一样价格会有差别。2、吨位不同、跨度不同造价也存在较大差别，贵公司询价的是 10 吨吊车，而可研报告包含 2 台 30 吨和 1 台 2 0 吨吊车，且 30 吨吊车跨度达到 30 米，造价会相差很大。3、因部分吊车使

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
					用场景存在放射性，所以电机和电缆都需要耐辐射，造价也会偏高。该估价也是根据散裂二期起重机招标情况所确定。建议保留原价格。
20	宏达公司意见	工程建设其他费：			
20.1	宏达公司意见	本项目若无项目建议书阶段，无需相关编制费。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	已取消。
20.2	宏达公司意见	环境影响咨询服务费计费文件为计价格〔2002〕125 号、发改价格〔2011〕534 号文。	部分采纳	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	考虑本项目的特殊性，包括环境影响评价报告书编写费用约 50 万元，辐射监测费用约 20 万元，辐射安全许可证申请过程的辐射安全分析报告编写费用约 50 万元，竣工环保验收监测费用约 30 万元。具体以实际发生金额为准。
20.3	宏达公司意见	本项目采取划拨用地方式，不涉及征地拆迁等社会风险，无需社会稳定风险分析报告编制费。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	已取消。
20.4	宏达公司意见	不计绿色建筑咨询费、职业病危害评估、交通影响评价费。	部分采纳	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	已取消交通影响评价费及绿色建筑咨询费。本项目属于核能中的核技术利用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发等，另外，生产过程中也存在噪声的影响；根据项目实际需求，计取职业病危害评估。
20.5	宏达公司意见	特殊消防论证费应补充计费依据。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	负二层工艺区域，由于特殊工艺要求房间不可分隔，需做特殊消防处理。目前国家未发布相关的计费依据，参照同类型项目暂估，具体以实际发生金额为准。
20.6	宏达公司意见	联合试运转费应说明计费过程。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	暂按设备及安装费的 0.5%计取。
20.7	宏达公司意见	未见地震安全性评价费，复核是否需要。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	已补充地震安全性评价费。
20.8	宏达公司意见	不计全过程造价咨询费，计取工程量清单及预算编制费。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	按意见调整。
20.9	宏达公司意见	按 2024 年《东莞市财政投资固定资产项目第三方服务费标准调整方案》规定，相关服务费应按政府文件计算以如下折扣计取：项目建议书编制费、可行性研究报告编制费、设计费、勘察费、监理费、环境影响咨询服务费、节能报告编制费、水土保持方案编制及检测费、交通影响评价费按 7 折计费；气候可行性	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	已按 2024 年《东莞市财政投资固定资产项目第三方服务费标准调整方案》规定计取工程建设其他费用

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
		论证费、雷电风险评估费、BIM 技术服务费、全过程造价咨询费、招标代理服务费按 5 折计费。			
21	宏达公司意见	未见铺底流动资金，复核是否需要。	是	《流动资金估算表》	按照评审意见，暂不考虑流动资金。
22	宏达公司意见	补充《年度资金安排计划表》。	是	表 7.2-3 投资计划与资金筹措表	可研报告中已有。
23	宏达公司意见	P314 “发债利率暂按 5.6%计算”偏高，20 年期专项债年利率按 3.5%即可。	是	7.2.1.4 总成本及费用估算	专项债年利率按 3.5%。
24	宏达公司意见	《经营收入及税费估算表》：本项目建设期为 4 年，但需第 8 年才能产生经营收入，复核是否合适。	是	《经营收入及税费估算表》	已调整项目经营收入。
25	宏达公司意见	《项目投资现金流量表》：经营成本第 18—20 年为 0，复核是否合适。	是	《项目投资现金流量表》	已复核项目经营成本。
26	宏达公司意见	8.3 生态环境影响分析：补充施工废水治理措施；施工机械设备废气治理措施；加强项目运营期放射性废气、放射性废液、放射性固体废物治理方案。	是	8.3.3 建设期环境影响及治理措施、8.3.5 运营期环境影响及治理措施（放射性）	已补充施工废水治理措施、施工机械设备废气治理措施； 完善了项目运营期放射性废气、放射性废液、放射性固体废物治理方案。
27	宏达公司意见	8.4 资源和能源利用效果分析：补充项目运营期年耗电量、年耗水量。	是	8.4.3 能耗分析	本项目外购燃料及动力主要是电及水，用水包括生产及生活用水。年用电量包括生产及生活用电。年耗电量约 6620 万 kWh，年耗水量约 44.71 万 m^3。并补充了项目的主要能源及耗能工质年消耗量表。
28	宏达公司意见	9.1 风险识别与评价：项目资金来源为专项债，应进行资金可靠性分析。补充反射性物质泄漏风险，并提出防范措施。	是	9.2.1.5 资金筹措与投融资风险、9.2.1.6 生态影响风险	1.已补充资金可靠性分析。 2.补充反射性物质泄漏风险，并提出防范措施。
29	宏达公司意见	5.6.6 建设管理模式：说明项目采取代建制。	是	5.6.1 建设管理模式	东莞市科技局是项目主管单位，散裂中子源科学中心是项目单位，东莞市城建工程管理局是项目集中建设管理单位。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
30	宏达公司意见	5.3.2.3.6 主要设备：表 5.3.2.3.3《工艺空调系统主要设备参数表》中冷却塔为 2 套，投资估算表为 4 套，请复核。	是	表 7.1-5 公用设施分总体工艺专项明细表	已核实，冷却塔为 2 套，修改了投资估算表中冷却塔数量。
31	宏达公司意见	7.1.2 编制依据：城市基础设施配套费的文号、人防易地建设费最后一个取费文件的文号有误。	是	7.1.3 编制说明	已修改相关文号。
32	宏达公司意见	7.1.3 编制说明：基本预备费的费率为 5%，估算表预备费费率为 3%，表述不一致；估算表预备费费率不含工程建设其他费，请复核是否遗漏计算。	是	7.1.3 编制说明	已调整预备费取费基数，按照工程费及工程建设其他费之和的 3%计取了基本预备费。
33	宏达公司意见	7.1.4 投资估算结果：（1）代建费（建设单位管理费）应下浮 50%；（2）所有工程建设其他费建议均用 round 函数计算结果；（3）项目建议书编制费、可行性研究报告编制费、代建费计费公式有误。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	1.按照评审意见暂不考虑建设单位管理费，如果由法人单位建设，则增加项目建设管理费。 2.已取消了项目建议书编制费。 3.复核了可研报告编制费。
34	宏达公司意见	7.2.1.2 编制说明：教育费附加、地方教育费附加应按增值税的 3%、2%计征。	是	7.2.1.2 编制说明	已调整编制说明，教育费附加、地方教育费附加应按增值税的 3%、2%计征。
35	宏达公司意见	7.2.2 融资方案：表 7.2-3《投资计划与资金筹措表》中建设期为 3 年，与 1.1.6 建设工期章节的 48 个月不一致，请复核。	是	5.6.7 时间节点安排	已调整了建设工期。
36	宏达公司意见	7.2.3 债券清偿能力分析：融资总额占项目总投资比例 100%，请复核是否合规。	是	1.1.7 投资规模和资金来源	根据《市政府工作会议纪要》（〔2025〕501 号），资金来源主要依靠申报地方政府专项债券资金解决，若地方政府专项债券资金获批总额不足以覆盖项目概算批复的建设经费总额，由市财政、松山湖财政按照 1:1 比例分摊补足。
二	**专家组意见**				
1	专家组意见	本项目应按“安全、适用、经济、绿色、美观”原则执行。	是	5.3.2.3.3 建筑造型	本项目按照“安全、适用、经济、绿色、美观”原则执行。
2	专家组意见	根据项目特点完善项目建设必要性及建设适时性分析。	是	2.3.4 项目建设是符合东莞市战略布局与产业升级的需要	本项目建设符合《关于壮大战略性新兴产业集群和培育未来产业加快发展新质生产力的实施方案》《松山湖科学城发展总体规划（2021—2035 年）》等东莞市产业升级与战略布局的需要。
3	专家组意见	补充完善编制依据、需求分析及建设规模论证。	是	3.3 项目建设需求	质子应用产业化平台项目基于中国散裂中子源装置，聚焦锕-225、镭-223 和铅-212/铋-212 等稀缺α同位素的生产制备，建设百居里级年产能基地，以期解决国内α同位素严重依赖进口的“卡脖子”问题，实现α医用同位素的自主生产供应。项目建设是贯彻落实国家、省、市相关规

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
					划政策的需要，对于提高我国医疗水平，提升人民健康水平，推动健康中国建设具有重大作用。质子应用产业化平台项目的建设有助于推动我国核医学产业上下游全链条发展，助力新兴产业集群培育与壮大。 由于本项目具有一定的前瞻性，并无具体建设标准，目前规划是按照工艺需求和布局进行建筑设计，提出了具体功能用房需求： 整个建筑分为地下 3 层，地上 4 层，总面积约 23917 平方米，其中： 负三层主要为冷却系统循环间、污水处理区、液体废物暂存区、固体废物暂存区、低放液体储罐区、气体吸附和过滤间等，所需建筑面积约 3028 平方米。 负二层主要为医用同位素分离纯化工艺间、高功率靶站、热室和靶制备间、同位素研究实验区、加速器束线设备区、废束站、设备转运区及辐射防护检查区域。所需建筑面积约 4840 平方米。 负一层主要为医用同位素 GMP 分装、分析检测及医用同位素产品暂存区域。所以建筑面积约 2877 平方米。 一层主要为乙级放化实验室，同位素生产中控室、靶研究实验室、辐射防护测量和分析实验室、放射药物研发实验室、变配电站、低温厅、冷冻站、压缩空气站、纯水站、空调机房、加速器高频设备本地设备厅、脉冲电源厅等。所需建筑面积约 3290 平方米。 二层主要为分离纯化工艺优化及设备测试实验室、同位素核反应测量实验室、激光电离实验室、直流电源厅、真空本地站、加速器本地控制室、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。 三层主要为医用同位素标记及生物医学应用研发实验室、束测本地站、控制本地站、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。 四层主要为医用同位素质控分析技术研发实验室、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。 另外，在屋面设置消防水池、冷却塔、排风机等。 在首层配置有罐区构筑物，所需建筑物面积约 329 平方米。 各功能用房需求描述详见表 3.3.1。
4	专家组意见	加强与医药企业、药物研发机构联合，推动下游核药研发与临床应用。	是	详见附件四、附件	已补充烟台蓝纳成生物技术股份有限公司、原子高科股份有限公司两家药企的应用证明。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
				五	
5	专家组意见	加强对装置成本和长期维护费用的统筹考虑，提高经费使用的可持续性。	是	7.2 财务分析	本项目已在财务部分对装置成本和长期维护费用进行统筹考虑
6	专家组意见	完善地下室基坑开挖和支护方案，深化完善抗浮方案。	是	5.3.2.11 基坑支护	已补充完善地下室基坑开挖和支护方案，深化完善抗浮方案。
7	专家组意见	明确界定辐射区域及相应的混凝土抗辐射屏蔽墙所需的厚度。	是	5.3.4.2 辐射屏蔽设计	（1）辐射分区按散裂中子源的划分原则，分为控制区和监督区两部分，控制区包括：靶前隧道、辐照间、靶热室、各放化热室等，剂量率大于等于 2.5 uSv/h；监督区包括：屏蔽体外工作场所，剂量率限值为 2.5 uSv/h。辐射区域为图纸上辐射屏蔽墙区域，其中负三层 1470 平方米，负二层 3327 平方米，负一层 670 平方米。（2）目前防护设计主体屏蔽厚度按上述辐射分区要求，已通过防护计算基本确定，缩减空间不大，但受其它设计影响，仍处于设计优化阶段，待各区域防护相关设计固定时，可同步固定辐射区域及屏蔽厚度。
8	专家组意见	补充完善给排水、供配电系统建设条件。	是	5.3.2.5.3 生活给水系统、5.3.2.6.3 低压配电系统	生活泵房所在建筑（综合实验楼）地面绝对标高 36.90 m，两者地面高程相差 18.90 m，供至本项目的管线长约 600 m，故到达本项目首层地面时加压管压力仅剩 60-18.9-8（水损）=33.1 m 水柱=0.331 MPa。 一期工程已在 CSNS 园区内建有一座 110/10 kV 专用变电站，两路 110kV 电源引自两个不同的上级变电站，两路电源同时工作，互为备用，每路电源均能承担全部负荷。110 kV 变电站装机容量为 2*63 MVA，经与供电局沟通，且仍有预留 10kV 回路，满足使用，原室外 10 kV 管沟/埋管、弱电/消防埋管不够，需要增加相应管沟/埋管距离各变配电室的平均距离约为 0.6 km。
9	专家组意见	进一步细化供配电系统负荷估算，完善供配电系统建设方案；补充专用接地系统建设方案。	是	5.3.2.7.5 防雷与接地、5.3.2.7.3 低压配电系统	已细化供配电系统负荷估算，完善了供配电系统建设方案；补充了专用接地系统建设方案。
10	专家组意见	完善给排水系统建设方案、给水量估算；明确低放废水集中收集储存设施位置、排放标准。	是	5.3.2.6.3 生活给水系统、5.2.2.2 放射性废物处置系统	完善了给排水系统建设方案及给水量估算。 在热室下方设有放射性废物储存间及存储罐，从热室拆卸的高放固废，经靶室机械手转移到下方储罐储存，储罐容量足够满足项目需求。
11	专家组意见	完善室内外消火栓系统建设方案，补充喷淋系统建设方案。	是	5.3.2.6.5 消防灭火系统设计	1.园区综合实验楼（已建设）设有消防水池（消防储水有效容积 800m³）及消防水泵房，内设消火栓合用泵组（两用一备），参数为 Q=60 L/s，H=70 m，N=30*2 kW；自动喷淋泵组（一用一备），参数为 Q=30 L/s，H=70 m，N=45 kW。室外消火栓系统可经现有消火栓水泵组加

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
					压后供水；本建筑屋面新建高位消防水箱和室内消防水池、室内消防泵组供室内消防用水。2.下列部位设置湿式自动喷水灭火系统：除不宜用水灭火房间、贵重设备机房及净高大于 18 m 的区域以外，均设置自动喷水灭火系统（净空大于 800 mm 天花内也须设置）。净高大于 18 m 的区域（如吊装口）设置自动喷水灭火系统。
12	专家组意见	尽快做好环境影响等评价工作，推进项目的顺利进行。	是	10.2 问题与建议	已建议将环境影响评价等关键评估工作作为项目推进的重要前提，确保依法合规、按期完成，保障项目顺利实施 。
13	专家组意见	完善总平面及竖向设计，进一步规范设计文件。	是	5.3.2.2.1 总平面布置	已完善总平面及竖向设计，进一步规范设计文件。
14	专家组意见	同位素大楼为甲级放射性场所，细化基建成本分析、确保建设资金需求；复核单价及工程量，按规定计算工程建设其他费。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	已细化基建成本分析、确保建设资金需求；已复核单价及工程量，并按规定计算工程建设其他费。
三	专家个人意见				
1	蔡晓宝	本项目依托我国散裂中子源，利用高能强流质子加速器，具有很强的技术先进性与可行性，因此不能将其作为普通土建工程。其等级、标准的制定应有长远及前瞻性规划，如建筑的分类、结构使用年限及抗震等级等均应较高、较优层级，特别是 AI、智能化建筑及其应用应较充分考虑于本项目中采用。本项目特殊，不同于一般性的工业建筑，“本项目地上建筑面积超过 5000 平方米，室外装配率、装配率按 50%”此条不可行。	是	--	考虑到本项目工艺技术的特殊性，不同于一般性工业建筑，本项目不考虑装配式，已删除可研报告中装配式内容及相关投资内容。
2		“目前园区主干道宽度为 6 米，主要利用园区已建成的路网”欠妥，要做好规划满足今后发展需求。	是	5.3.2.2.1 总平面布置	因整体园区环形车道宽 6 m 考虑，需保证整体园区一二期的设备运输满足需求，现针对项目周边已有相应的道路改造方案，详见总图。
3		关于总平面图，地图应修改、补充，按照建筑工程设计文件深度要求，如需绘制指北针、比例尺（模拟比例尺）、图例、设计场地竖向设计、项目主出入口、项目与原有建筑、道路、绿化等环境关系一定要绘清晰，标注必要的一些距离尺寸、标高，总图尺寸标注以“米”为单位。	是	5.3.2.2.1 总平面布置	已修改完善了项目总平面图。
4		本项目采用世界领先的医用同位素生产装置，项目运营过程中，会产生“三废”（废气、废水废液、废弃固体物），如何处置、处理，放置在储存厅暂存，宜标明储存厅位置、容量（按最不利情况），是否需新建或增设处理三废的设施	是	5.2.2.2 放射性废物处置系统	项目是中高能质子打重靶（Th 靶），根据计算和前期监测结果，项目存在较多的“三废”，且三废中核素种类多、存在α/β衰变链，需要特别关注，防止三废可能造成的内照射问题，因此，拟采用如下措施对“三废”进行处理处置：（1）为减少放射性废水废液的处理处置困难，活化

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
		设备，以不造成二次污染。			严重的靶体拟采用 He 气冷却而不采用水冷却，且 He 气采用循环密闭冷却方式，平时不排放，仅在 He 气气质中积累较多，必须进行更换时，如运行数周后，才对活化的 He 气排出，并储存到特设的储存罐进行衰减，为使 He 气中的活化核素（He 气本身活化很轻微，主要核素来源于 Th 靶析出的气载核素）对环境影响最小化，拟结合计算和监测结果，设置多个储存罐，确实没有多余储罐继续储存时，按最优化方式进行轮流排放；（2）对排放的放射性废气，将按法规要求设置过滤设备、采用高烟囱扩散排放，并在排放时通过项目自研的高分辨率活化空气监测系统，在线监测和评估排放造成的辐射影响，以确保满足环保要求；（3）在热室下方设有放射性废物储存间及存储罐，从热室拆卸的高放固废，经靶室机械手转移到下方储罐储存，储罐容量足够满足项目需求；（4）可能流经停束体或束窗的高放废水为一次活化水，平时循环利用不排放，检修时或水质变差时不得不更换下来的活化水，将用地下水冷设备间专用的储罐进行储存，储罐容量足够满足项目生命周期的需求，如不得不排放，将采用和散裂放射性废水一致的处置方式，先进行第三方检测，报经监管部门同意后，再进行排放。分离纯化分总体研发制定了放射性废物的减容处置方案。工艺热室内产生的放射性废气首先经过研制的废气捕集装置捕收，排放出的其他废气经高效过滤装置处理后排放。放射性废液在废物减容间内经过沉淀及离子交换浓缩后与其他放射性固体废物一并转移至 B3 层放废厅暂存。
5		增加编制依据《建筑防火通用规范》（GB 55037 - 2022）。	是	5.3.2.1 编制依据	已增加《建筑防火通用规范》（GB 55037 - 2022）作为本项目编制依据。
6		本项目的特殊性，它不同于一般的厂房建设，不宜按原有的标准工艺，如不能“做装配式、装配率按 50%”。	是	--	考虑到本项目工艺技术的特殊性，不同于一般性工业建筑，本项目不考虑装配式，已删除可研报告中装配式内容及相关投资内容。
7		P133 等级设置“耐火等级二级”“丁类厂房”等，适当提高等级。	是	5.3.2.3 建筑方案	参考现有散裂二期的报建情况，目前散裂二期的相关核心工艺厂房如高能质子实验厅为地上耐火等级二级的戊类厂房。考虑本项目地上有相应的实验用房因此提高为耐火等级一级丙类厂房设计。
8		洁净厂房提高要求。	是	3.5.2 质量标准要求	同意，负一层医用同位素 GMP 分装区域，按照医药工业 GMP 场所建设管理规定（C 级洁净区）执行预算申报。地上洁净区域面积为 232+367+367=966 平方米
9		尽量优化结构布局。	是	5.3.2.3.2 平面布置	目前平面深化后为上下对齐结构，局部因工艺需求需要做部分的结构转换。
10		总平面竖向土方平衡量计算。	是	5.3.2.2.3 竖向标高	质子应用产业化平台的竖向设计充分考虑园区已有的建筑、道路的标高情况，并以此为基础

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
				设计	设计规划新建单体建筑的标高。建筑单体±0.0 暂定为 55.80 m（国家 85 高程），其中负二层为隧道的延伸，地下部分的局部标高同一期隧道标高。参照《中国散裂中子源二期工程地质勘察报告》地块±0 以下 1.5 m 厚为土方（约 8001 立方米），5.5 m-7.7 m 为强风化岩（约 29337 m^3），7 m 以下中风化岩（约 60316m^3）。 负一～负二层基坑内面积约 5334 m^2，基坑开挖深度约 13.8 m（从 54.9 m 至 41.1 m）。填土平均厚约 1.5 m，体积=1.5x5334=8001 m^3；强风化岩层厚约 5.5 m，体积=5334x5.5=29337 m^3； 负三层基坑内面积约 3435 m^2，基坑开挖深度约 7 m（从 41.1 m 至 34.1 m），中风化岩体积=5334x（13.8-1.5-5.5）+3435x7=60316.2 m^3。 受场地限制，中风化岩石采用静力爆破石方。 需考虑借土回填约 6341 m^3。 另外，项目现场现有土方需外运处理，初步估算，约有 1056 m^3。
11		本项目应按“安全、适用、经济、绿色、美观”原则执行，强调安全。	是	5.3.1 执行原则	本项目按照“安全、适用、经济、绿色、美观”原则执行。
12		编制文件需要进一步规范。	是	5.3.2.1 编制依据	已完善编制依据。
1	龙志华	完善项目建设场地地质勘察情况说明，特别是地基持力层土质情况的说明，并补充力学指标；（核对 P47、P48 页土层的层厚）。	是	4.2.2 工程地质	本项目未开展地质勘察工作，可研报告参照中国散裂中子源二期工程地质勘察报告，完善了地质分析章节。
2		完善地下室基坑开挖和支护方案，包括支护桩桩径、桩长及水平支撑方案。	是	5.3.2.11 基坑支护	已补充完善地下室基坑开挖和支护方案，深化完善抗浮方案。
3		明确界定辐射区域（范围），以及相应的混凝土抗辐射屏蔽墙（包括地面、天花）所需的厚度。	是	5.3.4.2 辐射屏蔽设计	1.辐射分区按散裂中子源的划分原则，分为控制区和监督区两部分，控制区包括：靶前隧道、辐照间、靶热室、各放化热室等，剂量率大于等于 2.5 uSv/h；监督区包括：屏蔽体外工作场所，剂量率限值为 2.5 uSv/h。辐射区域为图纸上辐射屏蔽墙区域，其中负三层 1470 平方米，负二层 3327 平方米，负一层 670 平方米。2.目前防护设计主体屏蔽厚度按上述辐射分区要求，已通过防护计算基本确定，缩减空间不大，但受其它设计影响，仍处于设计优化阶段，待各区域防护相关设计固定时，可同步固定辐射区域及屏蔽厚度。
4		南侧山体与建筑物距离较近，应补充山体安全性、稳定性说明。	是	5.3.2.11 基坑支护	对南侧永久边坡支护桩另加三道锚索锚入中风化岩内，作为永久边坡坡脚锚固措施。
5		本项目的地下室基坑为深度大于 20 米的深基坑，为减少风险建议对周边建筑和山体进行沉降观测和位移观测。	是	5.3.2.11 基坑支护	在坑深 2 倍范围内涉及的构筑物、边坡等设置变形和沉降观测点。并将基坑与边坡支护作为一个整体进行考虑。
6		深化完善抗浮方案，如抗拔锚杆的入岩深度和间距。	是	5.3.2.4 结构方案	根据周边建筑地质资料，强风化层底绝对标高约 45~48 m，其下为中风化岩。建筑地下室西侧

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
					为地下两层，东侧为地下三层。 根据建筑物特点及设计要求，本项目有工艺区屏蔽构件自重相差较大，工艺区基础有不均匀沉降的要求高。 根据周边地块工程地质资料，强风化层底绝对标高约 45~48 m，其下为中风化岩。建筑地下室西侧为地下两层，东侧为地下三层，基底标高基本达到中风化基岩，暂定用筏板基础，基底持力层为中风化花岗岩或微风化花岗岩。局部未达到设计持力层时采用 C20 素混凝土回填找平，或采用柱下独基（墙下条基）。以中风化花岗岩为持力层可以满足建筑不均匀沉降要求。 地下室平均抗浮水位标高取 54.65 m（绝对标高），抗浮措施采用岩石抗拔锚杆。抗拔锚杆采用压力型预应力抗浮锚杆，直径 220 mm，抗拔承载力特征值取 300 kN，平均有效长度约 6 m。西侧为两层地下室抗拔锚杆间距 2.5m，东侧三层地下室抗拔锚杆间距 1.5 m，布置在板跨中处。
1	蔡翔舟	医用放射性核素量产需要具备甲级辐射安全许可资质，该资质的审批周期长、难度高，建议尽快组织申请。	是	10.2 问题与建议	已建议将环境影响评价等关键评估工作作为项目推进的重要前提，确保依法合规、按期完成，保障项目顺利实施 。
2		项目所生产的医用放射性核素需要供给医药企业和药物研发机构，建议尽快与有资质的单位联合，推动下游核药的研发与临床应用。	是	附件四、附件五	目前已经利用分离纯化的医用α核素与烟台蓝纳成及原子高科分别就 Pb-212 及 Ac-225 标记的放射性药物开展了合作。后续会持续跟进并推动与下游其他核药研发企业的深入合作。已补充烟台蓝纳成生物技术股份有限公司、原子高科股份有限公司两家药企的应用证明
3		项目建设的同位素大楼为甲级放射性场所，基建成本远高于普通建设，建议留足建设资金与不可预见费用。	是	投资估算	已按照最新的土建及工艺及方案，进一步复核了建设投资。
4		放射性医用同位素生产技术难度高、资质审批程序流程复杂、涉及部门多、市场需求迫切，应尽早启动该建设项目，及时推动我国医用 a 核药研制进程，以免失去抢占国家内外市场的先机。	是	--	目前正在项目前期立项阶段，按照项目计划实施节点推进项目，加快项目进度。
1	张小东	建议加强对装置运行成本和长期维护费用的统筹考虑，提高经费使用的可持续性。	是	成本费用估算表	已进一步复核了项目成本估算。
2		建议加快各阶段的审批流程，及早启动环评。	是	10.2 问题与建议	已建议将环境影响评价等关键评估工作作为项目推进的重要前提，确保依法合规、按期完成，保障项目顺利实施 。
3		项目为医学同位素项目，存在辐射等敏感因素，建议尽快做好环境影响评价和社会稳定风险评估工作，推进项目的顺利建设。	是	10.2 问题与建议	已建议将环境影响评价、社会稳定风险评估等关键评估工作作为项目推进的重要前提，确保依法合规、按期完成，保障项目顺利实施 。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
4		项目建设期间应尽量避免影响周边居民的生活，做好围蔽设施。	是	--	本项目在散裂中子源科学中心园区内，距离周边居民较远，对周边居民的生活影响较小，在项目建设过程中对项目建设范围进行施工围蔽，减少对园区内工作人员的影响。
1	刘晨晖	补充完善与本项目建设内容有关的相关政策文件、产业规划、批复（项建批复及可研与项建内容对照表）、工作部署资料、建设标准和规范。《城市排水工程项目规范》（GB55027-2022）有误。	是	1.3 编制依据、2.2.3 产业政策符合性、5.3.2.1 编制依据	已补充完善项目相关政策文件及相关建设标准和规范；本项目并未编制项目建议书。
2		根据质子应用发展前景、项目区域对质子应用产业的需求和本项目定位、相关研发情况、散裂中子源科学中心园区现有建设及使用、运维情况（是否可调配为本项目使用）、本项目建设的优势等，完善本项目建设必要性和适时性分析。	是	2.1.3 项目提出的背景	目前现有园区的区域规划、路网设计、停车位等满足本项目的需求。因量产项目有不间断运行的要求，本项目水电冷水动力等自行配置。打靶高功率质子束流 100kW，打靶后靶及靶件放射性约 2 万居里，需要建设屏蔽能力 200 kW 的高功率站，及具备 2 万居以上操作能力的靶更换操作热室，及靶自动化转运装备。这些高功率靶、靶站和相应实验装置具有极高的建设难度，需要非常专业的技术人员，散裂中子源园区已经有国内唯一最高功率散裂靶在长期稳定运行，具备高放射性装置设计、建造、操作、维护运行的经验，可以保证项目顺利完成。在分离纯化方面，项目建设团队前期已经完成了质子辐照 Th 靶中医用α核素的分离纯化全流程工艺验证，自动化分离纯化设备也正处于紧张研发阶段。同时，针对医用α核素临床应用的的高质量要求，分离纯化分总体已经率先建立了包括 225Ac、223Ra、212Pb 等在内的质控分析技术，可以确保项目产出的医用同位素产品满足放药企业的应用需求。
3		根据相关建设标准、同类建筑建设及使用情况，或设备尺寸、设备间距、安全通道尺寸等，合理确定各功能用房面积、平面尺寸及层高，完善项目需求分析、建设规模及车位测算。（或根据产量确定规模）（或根据工艺确定规模）	是	3.3 项目建设需求	质子应用产业化平台项目基于中国散裂中子源装置，聚焦锕-225、镭-223 和铅-212/铋-212 等稀缺α同位素的生产制备，建设百居里级年产能基地，以期解决国内α同位素严重依赖进口的“卡脖子”问题，实现α医用同位素的自主生产供应。项目建设是贯彻落实国家、省、市相关规划政策的需要，对于提高我国医疗水平，提升人民健康水平，推动健康中国建设具有重大作用。质子应用产业化平台项目的建设有助于推动我国核医学产业上下游全链条发展，助力新兴产业集群培育与壮大。 由于本项目具有一定的前瞻性，并无具体建设标准，目前规划是按照工艺需求和布局进行建筑设计，提出了具体功能用房需求： 整个建筑分为地下 3 层，地上 4 层，总面积约 23917 平方米，其中： 负三层主要为冷却系统循环间、污水处理区、液体废物暂存区、固体废物暂存区、低放液体储罐区、气体吸附和过滤间等，所需建筑面积约 3028 平方米。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
					负二层主要为医用同位素分离纯化工艺间、高功率靶站、热室和靶制备间、同位素研究实验区、加速器束线设备区、废束站、设备转运区及辐射防护检查区域。所需建筑面积约 4840 平方米。 负一层主要为医用同位素 GMP 分装、分析检测及医用同位素产品暂存区域。所以建筑面积约 2877 平方米。 一层主要为乙级放化实验室，同位素生产中控室、靶研究实验室、辐射防护测量和分析实验室、放射药物研发实验室、变配电站、低温厅、冷冻站、压缩空气站、纯水站、空调机房、加速器高频设备本地设备厅、脉冲电源厅等。所需建筑面积约 3290 平方米。 二层主要为分离纯化工艺优化及设备测试实验室、同位素核反应测量实验室、激光电离实验室、直流电源厅、真空本地站、加速器本地控制室、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。 三层主要为医用同位素标记及生物医学应用研发实验室、束测本地站、控制本地站、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。 四层主要为医用同位素质控分析技术研发实验室、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。 另外，在屋面设置消防水池、冷却塔、排风机等。 在首层配置有罐区构筑物，所需建筑物面积约 329 平方米。 各功能用房需求描述详见表 3.3.1
4		完善建筑、工艺平面布局及竖向设计等内容。	是	5.3.2.3.2 平面布置	目前平面深化后为上下对齐结构，局部因工艺需求需要做部分的结构转换，目前相关总平、平面与剖面设计满足要求。
5		明确本项目周边给排水、供配电、通信等公用设施可供本项目接驳的位置。	是	5.3.2.5.3 生活给水系统、5.3.2.6.3 低压配电系统	生活泵房所在建筑（综合实验楼）地面绝对标高 36.90m，两者地面高程相差 18.90 m，供至本项目的管线长约 600 m，故到达本项目首层地面时加压管压力仅剩 60-18.9-8（水损）=33.1m 水柱=0.331 MPa。 一期工程已在 CSNS 园区内建有一座 110/10 kV 专用变电站，两路 110 kV 电源引自两个不同的上级变电站，两路电源同时工作，互为备用，每路电源均能承担全部负荷。110 kV 变电站装机容量为 2*63 MVA，经与供电局沟通，且仍有预留 10kV 回路，满足使用，原室外 10 kV

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
					管沟/埋管、弱电/消防埋管不够，需要增加相应管沟/埋管距离各变配电室的平均距离约为 0.6 km。
6		根据行业标准、《建筑给水排水设计标准》GB50015-2019）、《民用建筑节水设计标准》（GB50555-2010）等，完善用水量估算，复核供水管管径。补充工艺用水量、用水单位数的单位、生活用水 310 人及冷却塔补水的取值依据。	是	5.3.2.5 给排水系统方案	已完善用水量估算，复核供水管管径。已补充工艺用水量、用水单位数的单位、生活用水 310 人及冷却塔补水的取值依据。
7		完善给水系统建设方案，落实市政水压，给水系统应充分利用市政水压合理分区。复核文本所描述的给水系统相关内容（有误）。若本项目确需重新设置供水设备，则补充供水设备选型计算过程及相关性能参数，且性能参数应按《建筑节能与可再生能源利用通用规范》（GB55015-2021）规定提出约束性要求。明确给水泵房，冷却补水泵房设置位置。	是	5.3.2.5 给排水系统方案	已完善给水系统建设方案。
8		完善排水系统建设方案，明确普通工艺废水排放方案、低放废水集中收集储存设施位置及相关工艺及检测流程、排放标准。	是	5.3.2.6.3 生活给水系统、5.2.2.2 放射性废物处置系统	已完善给排水系统建设方案。 在热室下方设有放射性废物储存间及存储罐，从热室拆卸的高放固废，经靶室机械手转移到下方储罐储存，储罐容量足够满足项目需求。
9		根据现行《室外排水设计标准》第 3.3.6 条规定，征询属地相关部门意见，明确本项目是否可以不设置化粪池，若设置则明确本项目化粪池设置位置。	是	--	本项目与园区内在建项目一致，设化粪池。
10		结合海绵城市建设内容，完善雨水系统建设方案，建设后雨水径流量不应超过建设前，综合径流系数应按当地海绵城市相关要求取值。屋面雨水应间接排放于海绵设施，完善室外场地雨水排放方案及海措施具体实施方案。	是	5.3.2.9 海绵城市	已补充详细海绵城市专篇。
11		复核本项目是否会产生山洪雨水倒灌、水浸等问题，并应补充相应解决的技术措施。	是	--	园区已整体考虑防洪措施，项目在范围内场地建设，因此防洪措施不在本项目中单独考虑。
12		完善园区室内外消防系统现状情况说明，如室内外消防流量、消防设施设备设置情况及相关技术参数，复核现有消防设施设备是否满足本项目需求。室外消火栓、天面消防水箱应整个园区统一协调设置。复核本项目室内消防流量、天面消防水箱及消防排水相关描述（有误）。补充喷淋系统建设方案。	是	5.3.2.5.5 消防灭火系统设计	室外消火栓、天面消防水箱已按整个院区考虑设置。其余按意见复核并补充完善。
13		完善项目要素保障、海绵城市、可再生能源利用及碳排放分析等内容。	海绵城市由设计，其	4.3.2 资源环境要素保障、5.3.2.9 海	已完善项目要素保障、海绵城市、可再生能源利用及碳排放分析等内容。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
			他咨询	绵城市、8.3 生态环境影响分析、8.5 碳达峰碳中和分析	
14		完善建设管理方案、运营方案（运营模式、运营组织、绩效管理等）、项目影响分析、风险管控等相关内容。	是	5.6 建设管理方案、第六章项目运营方案、第八章项目影响效果分析、第九章项目风险管控方案	已完善建设管理方案、运营方案（运营模式、运营组织、绩效管理等）、项目影响分析、风险管控等相关内容。
15		公用工程应充分利用园区现有设施设备。对不满足需求的设施设备进行局部改造。	是	5.3.2.5.5 消防灭火系统设计	室外消火栓、天面消防水箱利用整个院区考虑设置。
1	董瑞霞	根据东莞产业升级与战略布局需要，进一步说明建设的必要性。	是	2.3.4 项目建设是符合东莞市战略布局与产业升级的需要	本项目建设符合《关于壮大战略性新兴产业集群和培育未来产业加快发展新质生产力的实施方案》《松山湖科学城发展总体规划（2021—2035 年）》等东莞市产业升级与战略布局的需要。
2		汽车充电桩的建设应符合东莞市相关政策要求。	是	--	本项目建设范围内不设置充电桩，在整个园区内整体考虑，按照《东莞市机动车停车设施管理办法》要求配置。
3		补充 CSNS 园区 110/10kV 专用变电站至本项目的道路市政设施（电力、通讯）的建设情况，评估其能否满足本项目需要。	是	5.3.2.7.3 低压配电系统	原室外 10 kV 管沟/埋管、弱电/消防埋管不够，需要增加相应管沟/埋管，根据意见完善。
4		补充完善 CSNS 园区 110/10kV 专用变电站的现状及供电距离，评估其容量及设备房是否满足本项目建设的需要，否则需要补充增容方案。	是	5.3.2.7.3 低压配电系统	110 kV 变电站装机容量为 2*63 MVA，经与供电局沟通，且仍有预留 10kV 回路，满足使用。距离各变配电室的平均距离约为 0.6 km。
5		补充本项目设置在 CSNS 直线设备楼（二期）变配电房内的变配电系统设备投资分界点。	是	--	投资分界点为 110 kV 变电站 10 kV 出线回路，以下均属于本项目投资。
6		补充完善供配电系统建设方案：	是	5.3.2.7 电气系统方案	5.3.2.1.3 供电电源章节有变配电室的设置说明。
1)		补充核实用电负荷等级（如计算机网络系统应为一级负荷），对高功率靶站等	是	5.3.2.7 电气系统方	1.同意按意见将计算机网络系统为一级负荷。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
		核心设备控制系统是否需要用 UPS 不间断电源。		案	2.工艺设备的 UPS 等均由工艺系统根据需求自行设置。
2)		补充用电设备的电压等级。	是	5.3.2.7.3 低压配电系统	目前考虑用电设备均为低压设备，10kV 开关柜预留部分高压回路，作为备用。
3)		补充完善各专业主要用电设备一览表（电压等级，容量、数量等）。	是	5.3.3.1.5 变配电所	同意。表 5.3.2.1.1 有各单体各系统的负荷表。
4)		按照各专业主要用电设备一览表，并按不同电压等级、各变配电站分别进行用电负荷估算（建议结合高功率靶站等核心设备的具体运行参数，补充完善详细的用电负荷计算书）。	是	5.3.3.1.5 变配电所	表 5.3.2.1.1 有各单体各系统的负荷表。
5)		补充变压器选型。对于工艺供配电系统变压器，建议正常运行时，每台变压器的负载率控制在 50%左右。	是	5.3.3.1.10 主要设备	共有 16 台变压器，其中 12 台 2500 kVA，4 台 2000 kVA。
6)		补充 UPS 的选择。	是	5.3.2.9.4 智能化机房及弱电间规划	供配电系统主要考虑的是排风中心的 UPS，风机负荷约 150 kW，UPS 选型按 300 kVA，3 h 选型。
7)		建议电力变压器、电动机和照明产品选用能效等级二级及以上的产品	是	5.3.2.7.7 电气节能、5.3.2.7.4 照明	同意，完善产品等效等级。
9)		补充变配电房设置的位置及数量。	是	5.3.3.1.3 供电电源	直线设备楼变配电室扩容，新建 2 座变配电室：分别为直线设备楼（二期）变配电室、质子应用产业化平台变配电室。
7		对高次谐波、电压波动等电能质量问题提出针对性治理措施。	是	5.3.3.1.10 主要设备	低压柜低压侧预留有源滤波器的接口，低温设备采用了电压暂降措施。
8		强化电气控制系统的抗干扰设计。项目核心生产区域存在强电磁环境，建议进一步优化控制系统的接地系统设计，采用屏蔽电缆及合理的布线方式，增设电磁干扰抑制装置。	是	--	同意，立项后深化完善。
9		补充完善专用接地系统建设方案。质子平台的接地系统不是常规的附属工程，而是需要前置规划，独立预算、专项设计的核心基础设施，必须在可研阶段给予充分论证和资源预留。	是	5.3.2.7.5 防雷与接地	同意，完善专用接地要求。
10		本项目为高耗能项目，应完善关于能源管理、设备监控、能效优化的初步设想。	是	--	同意，后续深化完善。
	刘德周	土建工程：			
1		问题：序号 1.1.3 基坑支护工程单方指标 4500 元/㎡偏高。	部分采纳	表 7.1-2 项目总投	场地东、西方均有在建建筑，南门为永久边坡。受场地限制，基坑支护采用（灌注桩排桩支

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
		[建议]依据方案采用（灌注桩排桩支护+止水桩+内支撑和钢格构柱）考虑，按《东莞市政府投资项目估算造价指标（2024 年修编）》建议值为 2900 元/㎡。		资估算明细表	护+止水桩+内支撑和钢格构柱+锚索），锚索主要防止滑坡，且周边建筑对基坑设计及施工要求高。基坑支护工程单价暂按 3500 元/平方米考虑。
2		问题：序号 1.3 地下室土建工程单方指标 8000 元/㎡偏高。 [建议]按《东莞市政府投资项目估算造价指标（2024 年修编）》地下三层指标建议仅 3525 元/㎡，但该项目地下室要求防辐射墙（做法为局部大混凝土和铅砖墙）且层高高于常规项目。建议补充佐证材料和防辐射的精密计算进行优化设计，要核实该造价指标的合理性。	否	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	本项目建筑物功能特点是地下室尺寸长约 104.5 米，最宽处宽约 41.2 米，为超长结构。地下工艺区有辐射防护要求，装置区需采用混凝土厚板厚墙进行围蔽，其中负一层约 670 平方米，负二层约 3327 平方米，负三层约 1470 平方米，工艺部分结构工程测算钢筋混凝土指标：约为 3.94 立方米/平方米。另外，地下一层至三层层高分别为 7 m、7.3 m 及 6.5 m，工艺部分区域层高约 9 米，且此费用包括基础工程、筏板抗浮锚杆、工艺厚板厚墙区域及其他区域费用。细化了工艺厚板厚墙区域费用构成，调整了地下室土建工程单价。
3		问题：序号 2.1 地上部分土建工程单方指标 2800 元/㎡偏高。 [建议]按照建设项目的功能特性，建议参考《东莞市政府投资项目估算造价指标（2024 年修编）》中的专科医院的估算指标值，土建工程建议为 2140 元/㎡。	部分采纳	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	地上建筑首层层高 8. 1 米，其他三层 5.5 米。暂按 2500 元/平方米考虑。
4		问题：地上部分外立面工程+装饰工程单方指标 600+1500 元/㎡偏高。 [建议]按照建设项目的功能特性，建议参考《东莞市政府投资项目估算造价指标（2024 年修编）》中的专科医院的估算指标值，土建工程及装饰工程的估算指标值已经包含了外立面工程，因此建议删除外立面工程费用，装饰工程建议为 1600 元/㎡。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	已复核，地上建筑主要是工艺用房及实验室，且地上一层层高 8.4 米，地上二至四层层高 5.5 米，且地面建筑洁净区域面积 966 平方米。装饰工程按洁净区域及其他工艺区域分别计取费用。装饰工程单价调整为 1510 元/平方米。
		安装工程：			
5		问题：序号 1.5.4 地下室电气工程单方指标 320 元/㎡，存在公式关联有误。 [建议]修正公式后应为 620 元/㎡。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	已修改成 620 元/㎡。
6		问题：序号 4.2 外水接入（6 根 DN200-内外热镀锌钢管）单方指标 3000 元/m 偏高。 [建议]建议修改为 2000 元/m。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	按照评审意见，单价调整为 1120 元/m。
		工艺专项工程：			
7		问题：序号 3.1 供配电系统 1.7 项电线电缆（室外新增 10kV 电缆，FYZR-YJV22-8.7/15-3*240 共 7.2km，总价 504 万元）与 4.1 外电接入 392 万元	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	删除 4.1 外电接入部分，保留 1.7 项，实际共需要 6 路（12 根）10kV 回路，每路 0.6 km，共约 7.2 km。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
		重复计算。 [建议]建议删除供配电系统 1.7 项电线电缆 504 万元。			
8		问题：序号 1.5.2、序号 2.5.2 消防工程单方指标 300 元/㎡偏高，且此消防工程不含通风防排烟（序号 1.5.3、序号 2.5.3 空调通风工程已含通风及防排烟）。	否	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	消防工程主要包括消防栓+喷淋系统、火灾自动报警系统及气体灭火系统。地上区域三层 真空束控厅、二层电源厅、二层同位素真空束控厅、二层同位素电源厅、二层加速器控制室、首层 脉冲电源厅、首层高频厅均需设置气体灭火（IG100）面积，气体灭火建筑面积约 2248.82 平方米。已复核，地上建筑消防工程单价约 282.52 元/平方米。地下室气体灭火面积约 1319.69 平方米，且负二层由于特殊工艺要求房间不可分隔，需做特殊消防处理。经复核，单价 270 元/平方米合理。
		工程建设其他费：			
9		问题：序号 2.2 工程监理费计算公式有误，应套用 4 亿～6 亿区间的计费额；另外工艺专项工程的安装调试费建议纳入监理费计费基数中考虑。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	根据<<建设工程监理与相关服务收费管理规定>（发改价格〔2007〕67 号）第 1.0.8 条款“施工监理服务收费以建设项目工程概算投资额分档定额计费方式收费的，其计费额为工程概算中的建筑安装工程费、设备购置费和联合试运转费之和。对设备购置费和联合试运转费占工程概算投资额 40%以上的工程项目，其建筑安装工程费全部计入计费额，设备购置费和联合试运转费按 40%的比例计入计费额。但其计费额不应小于建筑安装工程费与其相同且设备购置费和联合试运转费等于工程概算投资额 40%的工程项目的计费额。本项目监理费计费基础在 6 亿—8 亿之间，套用 6 亿～8 亿区间的计费额。
10		问题：序号 3.4 社会稳定风险分析报告编制费应包含在序号 3.1 项目建议书和序号 3.2 可行性研究报告中，建议不计取该费用。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	已取消社会稳定风险分析报告编制费。
11		问题：序号 7 竣工图编制费按文件要求可计取，但实际一般不发生，建议核实是否需列项。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	已按照评审意见取消，竣工图编制费。
12		问题：序号 11 工程招标代理费，建议拆分为工程招标代理费及货物招标代理费分别计算，且招标代理费未考虑下浮率。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	招标代理费已按照工程招标及服务招标分别计列。
		重点意见和建议			
13		问题：部分工程建设其他费用折扣率与市场偏差较大，例如：项目建议书、可行性研究报告编制、工程监理费、设计费、勘察费、BIM 技术服务费、全过程造价咨询费等。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	已按东莞市财政局文件《东莞市 2026 年预算编制工作方案的通知》（东财〔2025〕98 号文）中的第三方咨询服务费折扣率要求计取工程建设其他费。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
		[建议]建议参考东莞市财政局文件《东莞市 2026 年预算编制工作方案的通知》东财〔2025〕98 号文中的第三方咨询服务费折扣率要求。			
14		问题：未见列“建设期贷款利息”，建设议核实。	是	表 7.2-3 投资计划与资金筹措表	按评审意见暂不考虑建设期贷款利息。
四	**部门意见**				
1	评审中心	补充建筑面积需求分析、测算依据、各功能室组成说明。	是	3.3 项目建设需求	质子应用产业化平台项目基于中国散裂中子源装置，聚焦锕-225、镭-223 和铅-212/铋-212 等稀缺α同位素的生产制备，建设百居里级年产能基地，以期解决国内α同位素严重依赖进口的“卡脖子”问题，实现α医用同位素的自主生产供应。项目建设是贯彻落实国家、省、市相关规划政策的需要，对于提高我国医疗水平，提升人民健康水平，推动健康中国建设具有重大作用。质子应用产业化平台项目的建设有助于推动我国核医学产业上下游全链条发展，助力新兴产业集群培育与壮大。 由于本项目具有一定的前瞻性，并无具体建设标准，目前规划是按照工艺需求和布局进行建筑设计，提出了具体功能用房需求： 整个建筑分为地下 3 层，地上 4 层，总面积约 23917 平方米，其中： 负三层主要为冷却系统循环间、污水处理区、液体废物暂存区、固体废物暂存区、低放液体储罐区、气体吸附和过滤间等，所需建筑面积约 3028 平方米。 负二层主要为医用同位素分离纯化工艺间、高功率靶站、热室和靶制备间、同位素研究实验区、加速器束线设备区、废束站、设备转运区及辐射防护检查区域。所需建筑面积约 4840 平方米。 负一层主要为医用同位素 GMP 分装、分析检测及医用同位素产品暂存区域。所以建筑面积约 2877 平方米。 一层主要为乙级放化实验室，同位素生产中控室、靶研究实验室、辐射防护测量和分析实验室、放射药物研发实验室、变配电站、低温厅、冷冻站、压缩空气站、纯水站、空调机房、加速器高频设备本地设备厅、脉冲电源厅等。所需建筑面积约 3290 平方米。 二层主要为分离纯化工艺优化及设备测试实验室、同位素核反应测量实验室、激光电离实验室、直流电源厅、真空本地站、加速器本地控制室、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
					米。 三层主要为医用同位素标记及生物医学应用研发实验室、束测本地站、控制本地站、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。 四层主要为医用同位素质控分析技术研发实验室、空调机房等。所需建筑面积约 3294 平方米。另外，在屋面设置消防水池、冷却塔、排风机等。 在首层配置有罐区构筑物，所需建筑物面积约 329 平方米。 各功能用房需求描述详见表 3.3.1。
2		补充项目产能测算过程。	是	3.5.3 产出合理性要求	中国散裂中子源二期稳定运行后，可以提供 300 MeV，最大 200 kW 的质子束流。在此最大功率下每年打靶 40 次，每次辐照叠层钍靶 6 天，Th-227 及 Ac-225 的年理论产额（EOB，辐照结束时的靶上产额）分别为 3160 Ci/年和 2300 Ci/年；223 Ra 从辐照后的 227Th 衰变获取；另外，还有约 400Ci/年的 225Ra 理论产额可用于获取高纯医用 225Ac。考虑分离提纯及冷却后所致的损失后只剩 10%左右的 223Ra 及 225Ac，其年产能达到百居里。对于 Pb-212 来说，可以从多次打靶累积的 Th-228 中分离获取，由于 Th-228 半衰期较长（1.91 年），从中提取 Pb-212 有显著的累积倍增，较保守按 20 倍的倍增系数估算，仅需 15Ci 的 Th-228 存量即可实现 300 Ci Pb-212 的年产量；采用 300 MeV、200kW 的质子束流辐照 Th-232 叠层靶仅约需 10 次打靶即可获得足够的 228 Th 存量。
3		根据附表一，本项目的 3 种α素设计产能与实际产能均有较大空间，甚至寿命期内都达不到设计产能，何种原因？	是	经营收入及税费估算表	已调整经营收入。
4		根据财务分析，本项目的经济效益较为可观，建议结合全球范围内其他发达国家目前及未来一段时间内的产能情况进一步复核项目收益，同时进行竞争分析和风险分析。	是	经营收入及税费估算表	已复核三类产品单价。这 3 款α核素具体价格受购买途径及核素纯度差异很大，Ra-223 药品单剂目前国内价格是 20 万元/mCi；Ac-225 价格非 GMP 级价格在 10 万元/mCi，GMP 级价格在 30-40 万元/mCi；212Pb 价格为 8 万元/mCi。考虑到未来量产后价格降低，极保守的估计价格为当前价格的 1/10，暂按以下价格核算收益，Ra-223 2 万元/mCi；Ac-225 1 万元/mCi；Pb-212 0.8 万元/mCi。
5		补充产品质检报告相关内容。	是	附件五：鉴定意见	已提供相关佐证资料。
6	财政局	建议增加列支项目建设期利点			
7		资金来源问题：	部分采纳	7.2.2 融资方案	请东莞市决定，建议由市属部门进行发债；

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
		（1）可研报告中未明确项目出资主体（专项债发债主体），明确项目出资主体。 （2）建议用好“债贷联动”，通过各种方式筹集资金，向市政府投资项目评审中心了解，该项目当前阶段暂不考虑做债贷联动。是否同意做债贷联动，以市发改局意见为准。			评审会财政局反馈债贷联动方式不适合本项目。
8	市财审办	建议明确建筑工程中常规设备与工艺设备的划分界限，以便后期施工及工艺设备安装实施以及明确合同范围，避免遗漏或重复计算。	是		以投资估算为界面，表 7.1-1 中的一、1 建筑工程费，属于建筑工程的常规设备。一、2 工艺专项工程属于工艺设备。
9		因具体基坑支护方案文本表述与估算表方案存在矛盾，建议进一步论证具体施工方案及核实其经济合理性。	是	5.3.2.11 基坑支护	基坑支护计划采用灌注桩排桩支护+内支撑和钢格构柱方案，支护桩采用 1.0 m 直径灌注桩，间距 1.2 m，桩底深入中风化岩内约 4 m，水平支撑采用三道 1 mx1 m 的砼支撑，最下面的一道支撑设置在中风化岩面。
10		因供电电源文件描述与估算表描述不一致，建议核实供电电源方案。	是	5.3.2.6.3 低压配电系统	一期工程已在 CSNS 园区内建有一座 110/10 kV 专用变电站，两路 110 kV 电源引自两个不同的上级变电站，两路电源同时工作，互为备用，每路电源均能承担全部负荷。110 kV 变电站装机容量为 2*63 MVA，经与供电局沟通，且仍有预留 10 kV 回路，满足使用，原室外 10kV 管沟/埋管、弱电/消防埋管不够，需要增加相应管沟/埋管距离各变配电室的平均距离约为 0.6 km。
11	松山湖自然资源局	建议按照 C6 教育科研设计地类相关建筑功能用途（中试实验或科研设计）修改工程方案相关内容。	否	--	由于地下室工艺装置部分含特殊工艺，运行时无人值守，且相关平面流线受限因此消防等级上按丙类厂房设计。参考散裂二期的报建资料，已有在建项目也是按照厂房报建，考虑工艺特殊性，建议维持厂房用途报建。
12	市水务局	根据《国务院办公厅关于加强城市内涝治理的实施意见》《东莞城市规划管理技术规定（2020 年文件汇编）》等文件精神，新建雨水管渠应尽量采用设计重现期标准上限值，我市重要战略地区雨水管渠设计重现期标准建议不低于 10 年，请结合文件要求重新复核规划雨水工程内容。	是	5.3.2.6.4 排水系统	园区现状周边雨水管渠均按 3 年重现期，本项目按意见复核修改为 10 年。
13		请按照《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）《东莞市松山湖防洪（潮）排涝排水规划》等规划标准，补充项目建设范围内及周边现状排水（雨水）管网调研内容，明确项目建设后径流系数、汇水面积、径流总量等重要参数，拟建雨水设施要与周边排水设施做好衔接，不得因地块改建影响周边区域排水需要导致新增内涝，排水防涝方案应当征求松山湖排水管理部门意见。	是	5.3.2.9 海绵城市	已补充详细海绵城市专篇。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
14		海绵城市篇章内容深度不足，请根据《东莞市建设项目海绵城市设计专篇文件编制及审查要点》《松山湖（生态园）海绵城市专项规划》，补充完善项目海绵城市建设篇章内容。	是	5.3.2.9 海绵城市	已补充详细海绵城市专篇。
15	市城建局	项目是否由市城建局代建，具体由市政府决策为准。	否	5.6.1 建设管理模式	考虑到项目的特殊性、专业性、复杂性，且土建与工艺装置高度耦合，项目工艺专项工程由法人单位自建（98235.17 万元），土建工程可由政府安排职能局按照散裂中子源科学中心的技术要求进行代建（26772.08 万元）。
16		项目建设其他费中，充分考虑相关费用，避免漏项（如水土保持补偿费）	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	已复核工程建设其他费。
17	市城管局	建议在可研报告中，增加建筑垃圾规范管理的表述，如施工图在建筑垃圾清运前应取得相关核准文件，而非在车辆进入工地时申请。	是	8.3.3 建设期环境影响及治理措施	已修正相关表述。建设单位和施工单位应在施工图设计阶段，依据建筑垃圾类别及预估量向市容环境卫生主管部门申请处置核准文件。取得核准后，须严格按批准的地点、运输路线及时间清运处置，确保无法回收利用的建筑垃圾全程合规消纳。
18		增加建筑垃圾处置方案及备案相关内容。	是	8.3.3 建设期环境影响及治理措施	建设单位和施工单位应同步编制《建筑垃圾减量化与处置方案》，明确分类收集、再生利用及最终消纳路径。方案经监理单位确认后，向工程所在镇街（园区）城市管理综合执法分局申请备案。
19		增加落实建筑垃圾处置电子联单相关内容。	是	8.3.3 建设期环境影响及治理措施	按照《东莞市建筑垃圾管理条例》《东莞市建筑垃圾处置管理办法》相关管理办法规范建筑垃圾管理，全面实施建筑垃圾处置电子联单制度，要求建筑垃圾产生单位、运输企业和处置场所必须通过全市统一监管平台进行全流程电子化操作。产生单位需在线申报垃圾信息并生成电子联单，运输车辆须实时上传轨迹且处置点须扫码核验联单，实现“来源可查、去向可追”。对未使用联单、信息造假或非法倾倒等行为，最高处以罚款并纳入信用惩戒，通过闭环监管杜绝违规处置，促进建筑垃圾资源化利用。
20	市气象局	P47 气候条件中的气象数据仅介绍 2022 年数据且不是最新数据，不能支持项目使用；P146 因地下空间较多且重要，极端天气下建议采用最新暴雨强度资料并考虑提高标准确保内涝安全。	是	4.2.1.3 气候条件	已将气象数据更新为最新数据。
21		P264 项目总投资估算明细表 3.6 气候可行性论证费用 参考依据有误，建议采用东气函〔2020〕25 号复核预算。	是	表 7.1-2 项目总投资估算明细表	气候可行性论证费用 参考依据已调整为东气函〔2020〕25 号。
22	市科技局资源	建议给予支持该项目尽快建设，产品社会发展效益可观。	是	--	目前正在项目前期立项阶段，按照项目计划实施节点推进项目，加快项目进度。

序号	专家/部门	具体意见	编制单位对评估意见的执行情况		
			是否执行	修改章节位置	意见执行逐条<点>说明
	科				
23	市生态环境局	无意见			
24	市工信局	无			