

核技术利用建设项目

加速器测试平台项目

环境影响报告书

(送审稿)

合肥中科离子医学技术装备有限公司

二〇二一年八月

环境保护部监制

目 录

1 概述	1
1.1 项目名称、地点.....	1
1.2 项目概况.....	3
1.3 编制依据.....	8
1.4 评价标准.....	14
1.5 评价范围和保护目标.....	17
2 自然环境与社会环境状况	23
2.1 自然环境状况.....	23
2.2 社会环境状况.....	31
2.3 环境质量和辐射现状.....	34
2.4 场址适宜性评价.....	43
2.5 “三线一单”相符性分析.....	43
3 工程分析与源项	48
3.1 项目规模.....	48
3.2 工程设备与工艺分析.....	49
3.3 污染源项.....	59
3.4 废弃物.....	68
4 辐射安全与防护	71
4.1 场所布局与屏蔽.....	71
4.2 辐射安全与防护措施.....	82
4.3 三废治理.....	111
4.4 用户单位进行安装调试期间的辐射安全与防护措施.....	115
4.4 服务期满后的环境保护措施.....	116
5 环境影响分析	118
5.1 建设阶段环境影响分析.....	118
5.2 生产阶段环境影响分析.....	121
5.3 销售阶段环境影响分析.....	147
5.4 事故影响分析.....	149

6 辐射安全管理	154
6.1 机构与人员.....	154
6.2 辐射安全管理规章制度.....	159
6.3 生态环境部门检查情况.....	160
6.4 辐射监测.....	160
6.5 辐射事故应急.....	165
6.6 从事辐射活动技术能力综合性评价.....	166
6.7 小结.....	167
7 利益-代价分析	168
7.1 利益分析.....	168
7.2 代价分析.....	171
7.3 正当性分析.....	172
8 公众参与	173
8.1 公众参与方案.....	173
8.2 信息公开.....	174
8.3 公众参与结果.....	181
9 结论与建议	182
9.1 项目工程概况.....	182
9.2 辐射安全与防护.....	182
9.3 环境影响分析.....	183
9.4 辐射安全管理.....	184
9.5 结论.....	184
9.6 建议和承诺.....	185
9.7 “三同时”竣工环保验收一览表.....	187

图 集:

建模仿真结果图集（单独成册）

附 图:

- 附图1 建设项目地理位置图
- 附图2 建设项目周边环境概况图
- 附图3 项目厂区平面布置图
- 附图4 2#~3#厂房一层平面图
- 附图5 合肥声环境功能区划示意图
- 附图6 蜀山区声环境功能区划示意图

附 件:

- 附件1 委托书
- 附件2 合肥高新区经贸局项目备案表
- 附件3 合肥市环境保护局高新技术产业开发区分局关于对《超导回旋质子治疗系统（一期）项目环境影响报告表》的审批意见（环高审[2017]045号）
- 附件4 安徽省环境保护厅关于合肥中科离子医学技术装备有限公司超导回旋质子治疗系统工程（二期）项目环境影响报告书的审批意见（皖环函[2018]1528号）
- 附件5 辐射安全许可证
- 附件6 辐射工作人员台账、辐射安全与防护考核合格证、个人剂量报告、职业健康检查报告
- 附件7 现有辐射工作场所年度监测报告
- 附件8 辐射安全与防护管理机构及管理制度
- 附件9 生态环境部华东核与辐射安全监督站现场检查笔录及整改报告
- 附件10 基础资料情况说明
- 附件11 环评监测报告
- 附件12 设计蓝图

附 表:

建设项目环境影响报告书审批基础信息表

1 概述

1.1 项目名称、地点

项目名称：加速器测试平台项目

建设性质：改建（增加核技术利用场所）

建设单位：合肥中科离子医学技术装备有限公司

建设地点：企业厂区位于合肥高新区柏堰湾路与火龙地路交口西南，该项目拟在2#厂房（2-A轴）-（2-C轴）间建设，占地约900m²，项目地理位置图详见图1-1。

建设内容及规模：主要包括2间屏蔽室、迷道和辅助配套区，屏蔽体采取装配式搭建。建成后具备2台加速器同时安装、测试的条件，开展SC240超导回旋质子加速器（质子最大能量240MeV）或CIM14-A常导回旋质子加速器（质子最大能量14.2MeV）两种加速器测试，并最终形成年产3台SC240超导回旋质子加速器和年产5台CIM14-A常导回旋质子加速器的能力。

建设计划：一期完成西侧屏蔽室（加速器A室）、迷道、辅助区建造及相应的公用、专用配套设施，预计2021年11月完成建筑主体和公配系统，2021年12月~2022年2月完成专配系统配套。东侧屏蔽室（加速器B室）、迷道及专配设施待未来发展需要时二期建设。

行业类别：医疗诊断、监护及治疗设备制造（C3581）

项目投资：约5776万元人民币

环保投资：3900万元，占总投资的67.5%

项目于2021年6月17日取得了合肥高新经贸局项目备案表，项目代码2106-340161-04-02-319046。

1.2 项目概况

1.2.1 建设单位

为落实中俄两国总理定期会晤成果、以及国家和省市“十三五”发展规划纲要，以及中科院与安徽省在科技成果转化领域合作精神，基于国家创新驱动发展战略、系统推进全面改革创新试验的核心任务总体要求，中科院合肥物质科学研究院与合肥市政府合作共建“合肥离子医学中心”，以“合作+自主”创新模式，依托“EAST超导托克马克实验装置”等国家大科学技术基础，与国际一流科研院所、跨国企业、医疗机构合作，引进成熟、先进的质子治疗系统，研制超导质子治疗系统等国际水准的高端医疗装备，整合创新资源、开展多学科交叉研究、催生变革性技术，推动高端医疗装备产业布局，建设集离子医学技术研发、治疗、培训、数据化处理中心和离子医学医疗装备的研发、国产化两个公共平台为一体的创新科技基地，助力安徽省及合肥市战略性新兴产业发展。

2016年3月，合肥中科离子医学技术装备有限公司成立。作为合肥综合性国家科学中心创新平台之一——合肥离子医学中心的自主研发承担单位，依托大科学项目研发基础，结合合肥大健康产业和高端医疗装备产业发展，成功将超导核聚变技术落地产业化。

合肥中科离子医学技术装备有限公司已通过ISO9001和ISO13485质量体系认证，成立安徽省超导回旋加速器标准化技术委员会。公司技术骨干曾参与国际热核聚变实验堆与超导托卡马克实验装置两项国际项目的研发，在超导技术上具有丰富的实战经验。公司在加速器物理、束流光学、超导技术、低温技术、强磁场技术、精密机械加工、辐射和离子生物学等方面有国际一流的技术优势。公司拥有研发人员150人，国

内专家团队15人，硕士及以上学历占80%，正高级和副高级研究人员占40%，发表论文数百篇，申请专利近百项，企业标准、地方标准和行业标准共数十项。公司成立了以俄、法、美、日、德、瑞等国的几十位核能、放射、医疗领域专家组成国际专家组，与俄罗斯联合核研究所(JINR)合作成立中俄超导质子联合研究中心；与瑞士保罗谢勒国家实验室建立战略合作伙伴关系；与法国原子能署、意大利国家核物理研究院、波兰科学院核物理研究所等国际一流机构保持紧密合作；与安徽省立医院和合肥离子医学中心等医疗机构共建质子治疗系统医疗联合体；与国际先进成熟的质子治疗系统研发生产企业和中国科技大学等科研院所广泛合作。高品质的人才实力、雄厚的科技支撑，为国产化超导质子治疗系统的研发打下坚实的基础。

1.2.2 项目背景和意义

目前SC200的调试全面使用2#厂房集成区，预计整机调试至2021年12月底，该场地后期继续作为配置证核验和医疗实验场所，较长时间内将被占用。随着公司业务的发展，相继进行14.2MeV、240MeV加速器生产，其中14.2MeV加速器预计2021年8月可进入调试准备阶段。现有集成区不能及时转接其他类型加速器的测试工作。考虑加速器的生产作为公司未来重要发展方向，公司需要多个不同的辐射屏蔽测试平台供不同类型产品的调试和并行装配。因此，公司拟在2#厂房（2-A轴）-（2-C轴）间建设2间加速器屏蔽室、迷道和辅助区，辅助区包含主控、水冷、电源室等，总占地约900m²，建成后具备2台加速器同时安装、测试的作业条件。

1.2.3 项目用地

合肥中科离子医学技术装备有限公司位于合肥市高新区柏堰湾路

与火龙地路交口西南角，用地性质为工业用地，用地性质符合总体规划。
 本项目加速器测试平台拟在公司已建的2#厂房内建设，不新增用地。

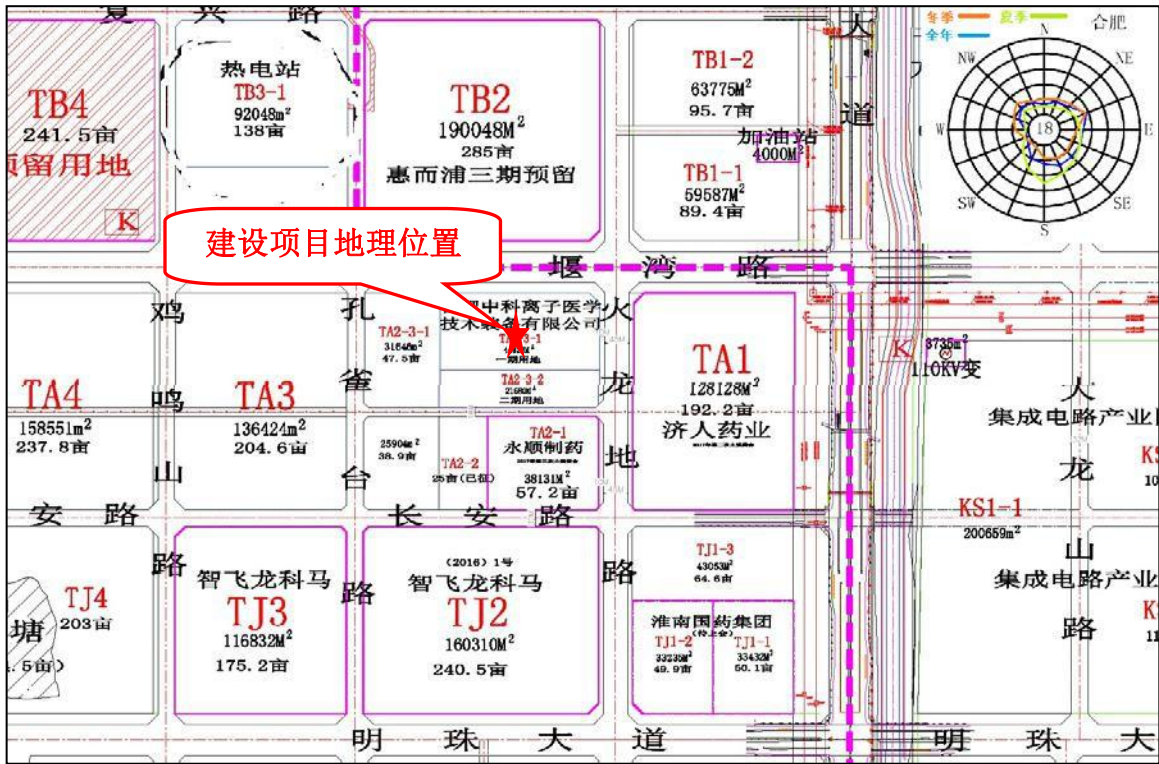


图 1-2 项目外环境关系规划图

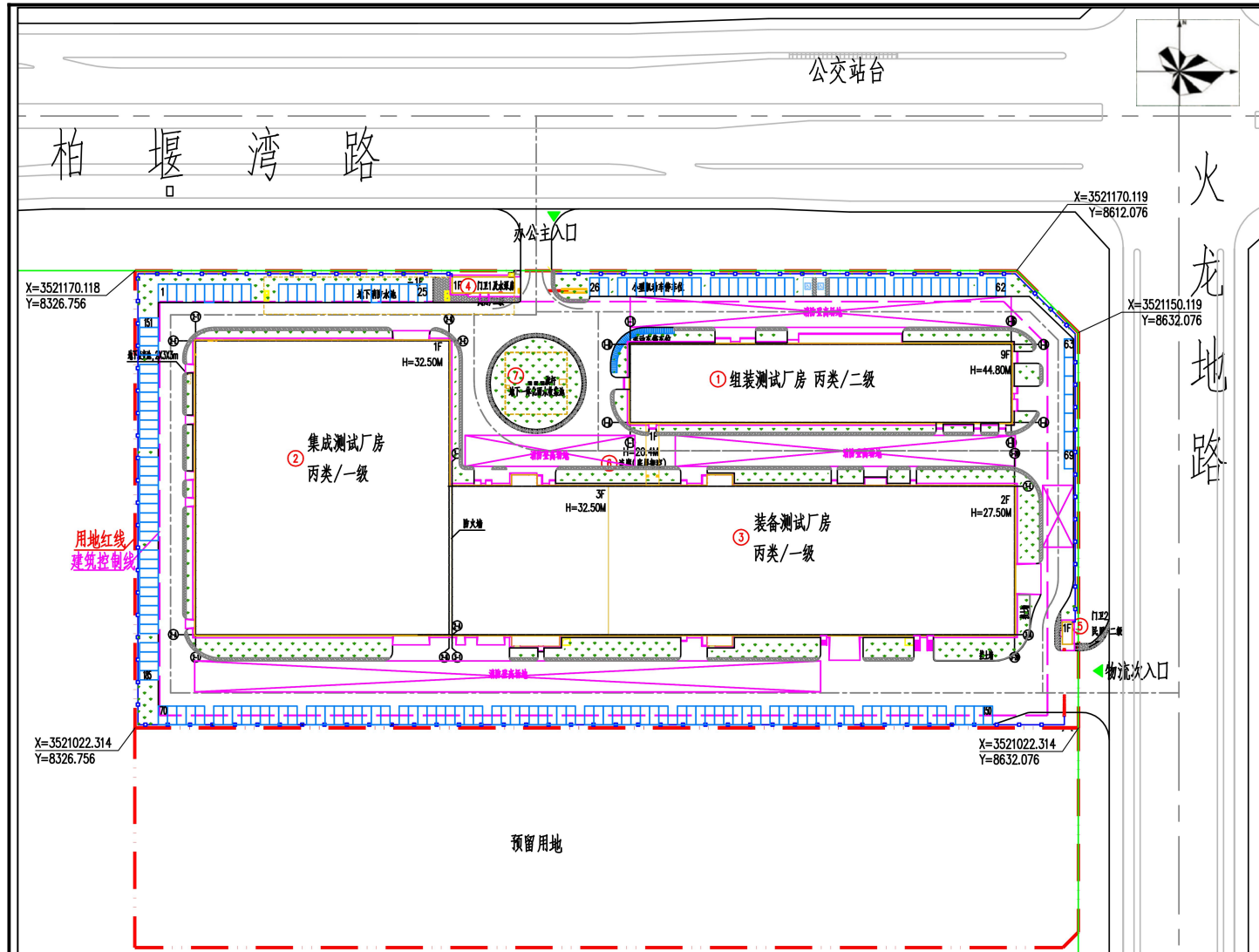


图 1-3 厂区平面布置示意图

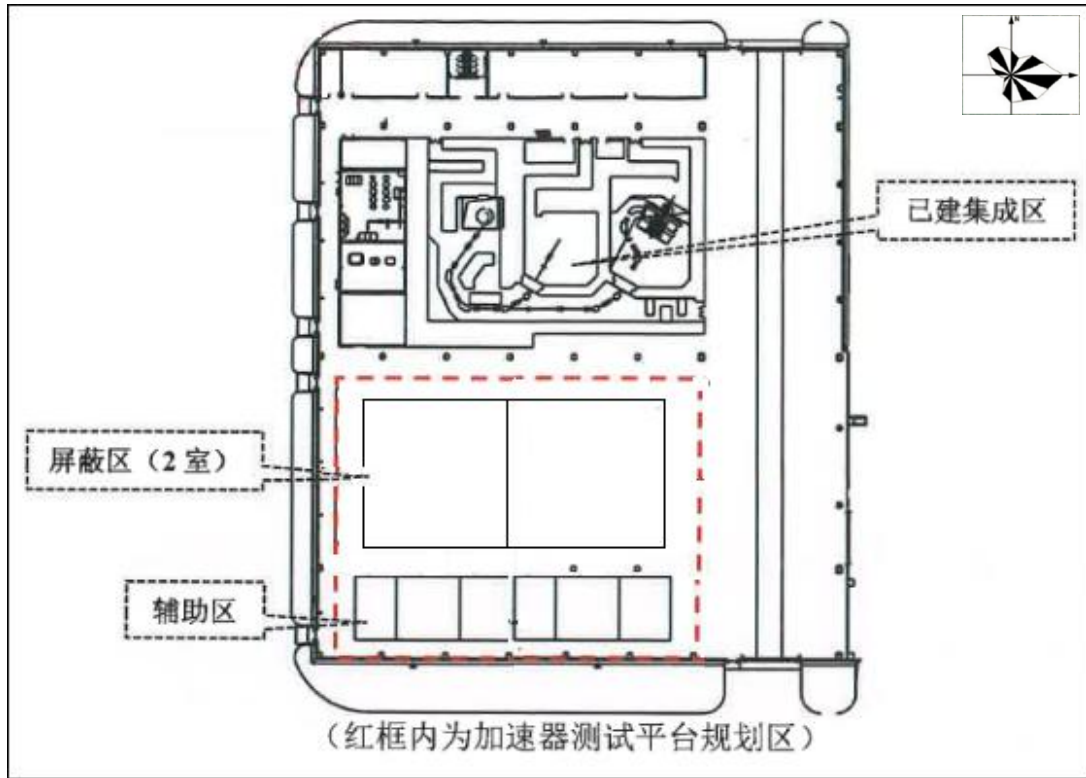


图 1-4 项目在 2# 厂房中的位置示意图

1.2.4 项目周边环境条件

经现场勘查，项目厂界南侧为在建的永顺制药，200米范围内其余地块均为空地；厂界西北侧约300m为合肥热电厂。项目周边5km范围内无风景旅游区、名胜古迹、自然保护区等环境敏感保护目标。

1.2.5 产业政策相符性

该项目为质子加速器测试平台建设项目，属于《产业结构调整指导目录（2019年本）》（国家发改委令2019第29号）中第一类鼓励类第六项第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目。因此，该项目符合国家产业政策。

1.2.6 原有项目环保手续履行情况

该项目所在厂区建设项目于2017年办理环评手续，并于2017年4月10日取得合肥市环境保护局高新技术产业开发区分局批复意见，批

复文号为环高审[2017]045号。超导回旋质子治疗系统建设项目于2018年办理环评手续，并于2018年11月17日取得安徽省环境保护厅审批意见，批复文号为皖环函[2018]1528号。

目前，厂区及超导回旋质子治疗系统均处于调试状态，运行负荷尚处于较低水平，尚未达到竣工环保验收条件。

1.2.7 现有核技术利用情况

合肥中科离子医学技术装备有限公司现有年2台超导回旋质子治疗系统的销售（含建造）、使用能力，以及年20台CBCT图像引导系统生产、销售、使用能力，并已取得辐射安全许可证（证书编号：国环辐证[00504]，有效期至2025年12月30日。许可种类和范围：生产、销售、使用Ⅲ类射线装置；使用Ⅰ类射线装置；销售（含建造）Ⅰ类射线装置）。合肥中科离子医学技术装备有限公司核技术应用现状具体情况详见表1-1。

表 1-1 核技术应用现状具体情况一览表

序号	射线装置名称	规格型号	主要技术参数	射线装置类别	规模	工作场所名称
1	超导回旋质子治疗系统	SC200	能量：202MeV 流强：500nA	Ⅰ类	2台/年	集成测试厂房加速器室
2	CBCT图像引导系统	GS-20724/VarianG0242	管电压：150kV 管电流：320mA	Ⅲ类	20台/年	铅房和集成测试厂房固定/旋转治疗室

1.3 编制依据

1.3.1 法律、法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》2015年1月1日起施行；
- (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》2016年9月1日起施行；主

席令第24号修订，2018年12月29日起施行；

(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003年10月1日起施行；

(4) 《中华人民共和国大气污染防治法》2016年1月1日起施行；主席令第16号修订，2018年10月26日起施行；

(5) 《中华人民共和国水污染防治法》2018年1月1日起施行；

(6) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》1997年3月1日起施行；主席令第24号修订，2018年12月29日起施行；

(7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》2005年4月1日起施行；主席令第43号修订，2020年4月29日起施行；

(8) 《建设项目环境保护管理条例》国务院令第682号，2017年10月1日起施行；

(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院令第449号，2005年12月1日起施行；国务院令第653号修订，2014年7月29日起施行；国务院令第709号修订，2019年3月2日起施行；

(10) 《放射性废物安全管理条例》国务院令第612号，2012年3月1日起施行；

(11) 《安徽省环境保护条例》，安徽省第十二届人大常委会第四十一次会议审议通过，2018年1月1日施行。

1.3.2 部门规章及规划性文件

(1) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行；

(2) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》国家环保总局令第31号，2006年3月1日起施行；环境保护部令第3号第一次修订，2008年12月4日起施行；环境保护部令第47号第二次修订，2017年12月20日

起施行；2019年8月22日生态环境部令第7号第三次修订，2019年8月22日施行；生态环境部令第20号第四次修订，2021年1月4日施行；

(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日起施行；

(4) 《关于发布<射线装置分类>的公告》环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告，公告2017年第66号，2017年12月6日起施行；

(5) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145号；

(6) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》环境保护部，环办辐射函[2016]430号；

(7) 《关于发布<注册核安全工程师执业资格关键岗位名录>（第一批）的通知》国家核安全局，国核安发[2010]25号；

(8) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》环境保护部、工业和信息化部、国防科工局，公告2017年第65号，2018年1月1日起施行；

(9) 《放射工作人员职业健康管理辦法》卫生部令第55号，2007年11月1日起施行；

(10) 《产业结构调整指导目录（2019年本）》国家发改委令2019年第29号，2020年1月1日起施行；

(11) 《环境影响评价公众参与办法》生态环境部令第4号，2019年1月1日起施行；

(12) 《安徽省放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，安徽省环保局2008年9月18日颁布。

1.3.3 技术规范和标准

(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；

- (2) 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）；
- (3) 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ 2.3-2018）；
- (4) 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2009）；
- (5) 《环境噪声与振动控制工程技术导则》（HJ 2034-2013）；
- (6) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；
- (7) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；
- (8) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；
- (9) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）；
- (10) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第5部分：质子加速器治疗机房》（GBZ/T 201.5-2015）；
- (11) 《超导回旋质子加速器 辐射屏蔽规范》（GB/T 39325-2020）；
- (12) 《超导回旋加速器 辐射屏蔽规范》（DB 34/T 3178-2018）；
- (13) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；
- (14) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-1985）；
- (15) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；
- (16) 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）；
- (17) 《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB 11743-2013）；
- (18) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；
- (19) 《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）；
- (20) 《工作场所有害因素职业接触限值 化学有害因素》（GBZ 2.1-2007）；
- (21) 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；

- (22) 《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）；
- (23) 《声环境质量标准》（GB 3096-2008）；
- (24) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）；
- (25) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；
- (26) 《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）。

1.3.4 项目相关文件

- (1) 建设项目环境影响评价委托书及设计文件；
- (2) 合肥高新区经贸局项目备案表；
- (3) 合肥市环境保护局高新技术产业开发区分局关于对《超导回旋质子治疗系统（一期）项目环境影响报告表》的审批意见（环高审[2017]045号）；
- (4) 安徽省环境保护厅关于合肥中科离子医学技术装备有限公司超导回旋质子治疗系统工程（二期）项目环境影响报告书的审批意见（皖环函[2018]1528号）；
- (5) 辐射安全许可证；
- (6) 辐射工作人员台账、辐射安全与防护考核合格证、个人剂量报告、职业健康检查报告；
- (7) 辐射安全与防护管理机构及管理制度；
- (8) 生态环境部华东核与辐射安全监督站现场检查笔录及整改情况汇报。

1.3.5 参考文献

- (1) NCRP144号报告（Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities, NCRPReportNo.144）；
- (2) IAEA19号报告（Generic Models for Use in Assessing the Impact of

Discharges of Radioactive Substances to the Environment) ；

(3) 《辐射防护手册》第一、三分册，原子能出版社，李德平、潘自强主编；

(4) 《辐射防护导论》原子能出版社，方杰主编；

(5) 《加速器保健物理》(H.W.帕特森，R.H.托马斯)；

(6) 《质子治疗技术基础》北京原子能出版社，郁庆长等著；

(7) 《质子和重离子治疗及其装置》科学出版社，刘世耀主编；

(8) 《实用辐射安全手册》原子能出版社，丛慧玲主编；

(9) 《高能质子加速器治疗系统应用中的环境安全问题》原子能科学技术2004年第38卷，刘原中等；

(10) 《质子重离子加速器治疗系统环境影响评价讨论》中国核学会“三核论坛”，顾建刚等；

(11) 《基于FLUKA的质子加速器室屏蔽设计》科技创新与应用2019年第17期，闫学文等；

(12) 《恒健质子治疗装置的辐射与屏蔽设计》南方能源建设2016年第3卷第3期，吴表彪等；

(13) 《核设施正常工况气载放射性排出物后果评价推荐模式的参数》辐射防护2003年第23卷第1期，李红等；

(14) 《2019年全国辐射环境质量报告》生态环境部，2018年10月发布；

(15) 《2020年安徽省生态环境状况公报》安徽省生态环境厅，2021年6月发布。

1.4 评价标准

1.4.1 辐射剂量约束值

参照《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的相关规定，以及建设单位的设备辐射防护设计资料，该项目辐射工作场所屏蔽体外最高剂量率控制水平详见表1-2。

表 1-2 辐射工作场所屏蔽体外最高剂量率控制水平

序号	场所名称	最高剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	人员全居留工作场所（居留因子 $T>1/2$ ）：主控室	2.5
2	人员部分和偶然居留场所（居留因子 $T\leq 1/2$ ）：其他辅助功能用房，测试机房周围	10

该项目正常运行期间对辐射工作人员和公众中任何个人造成的有效剂量的限值，执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的规定：“对任何辐射工作人员的职业照射的剂量限值由审管部门决定，连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）不超过20mSv，其中任何一年中的有效剂量不超过50mSv；公众照射剂量限值是公众中有关关键人群组的成员所受到的平均个人年有效剂量估计值不超过1mSv”，该项目年剂量约束值取上述限值的1/4，即：辐射工作人员不超过5mSv/a，公众不超过0.25mSv/a，具体详见表1-3。

表 1-3 辐射工作人员和公众剂量控制限值

分类	GB18871-2002标准限值 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
辐射工作人员	20	5
公众	1	0.25

1.4.2 放射性废水排放

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002，低放废液可以直接排入流量大于10倍排放量的普通下水道，每月排放的总活度不得超过10ALImin（年摄入量限值），每次排放的活度不得超过1ALImin，且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗。

根据GB18871-2002计算的该项目废水中（设备冷却水）可能有的主要放射性核素的ALImin值见表1-4。

表 1-4 活化冷却水主要放射性核素的 ALImin 值

编号	核素	ALI _{min} 值 (Bq)
1	H-3	4.8×10 ⁸
2	Be-7	3.8×10 ⁸

1.4.3 放射性固废处置

项目正常运行期间，放射性固废处置执行《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）。

1.4.4 非放射性环境评价标准

(1) 大气评价标准

根据项目所在区域的大气环境功能区划分，属二类区（即城镇规划中确定的居住区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区），执行GB3095-2012《环境空气质量标准》中的二级标准，具体详见表1-5。

表 1-5 环境空气质量标准

项目	取值时间	标准值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	标准来源
NO ₂	年平均	40	GB3095-2012 及其修改单 中二级标准
	24 小时平均	80	
	1 小时平均	200	
O ₃	日最大 8 小时平均	160	
	1 小时平均	200	

该项目室内臭氧浓度限值按照《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》（GBZ2.1-2007）控制MAC（最高容许浓度），控制值为0.30mg/m³；外环境质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及其修改单中二级标准，浓度限值0.16mg/m³。

项目废气主要为空气被电离产生的臭氧及氮氧化物，氮氧化物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）排放限值。

（2）噪声评价标准

厂界噪声执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中3类标准。

（3）固废评价标准

一般固废临时贮存执行《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599-2001）；危险废物贮存执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）。

1.4.5 电磁环境

本项目加速器高频设备的频率约为106~500MHz，根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）确定本项目的电磁场控制限值见表1-6。

表 1-6 电磁环境公众曝露控制限值

频率范围 (MHz)	电场强度 (V/m)	磁场强度 (A/m)	磁感应强度 (μT)	等效平面波功率密度 (W/m^2)
30~3000	12	0.032	0.04	0.4

1.5 评价范围和保护目标

1.5.1 评价范围

该项目拟生产、调试使用的质子加速器为I类射线装置，其主要的辐射环境影响途径为瞬发辐射外照射以及运行期间排入环境感生放射性气体对人员造成的照射。

根据《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ/T10.1-2016）中有关“报告书”项目评价范围的相关要求，该项目辐射环境影响评价范围为以测试机房屏蔽体外50m的区域。

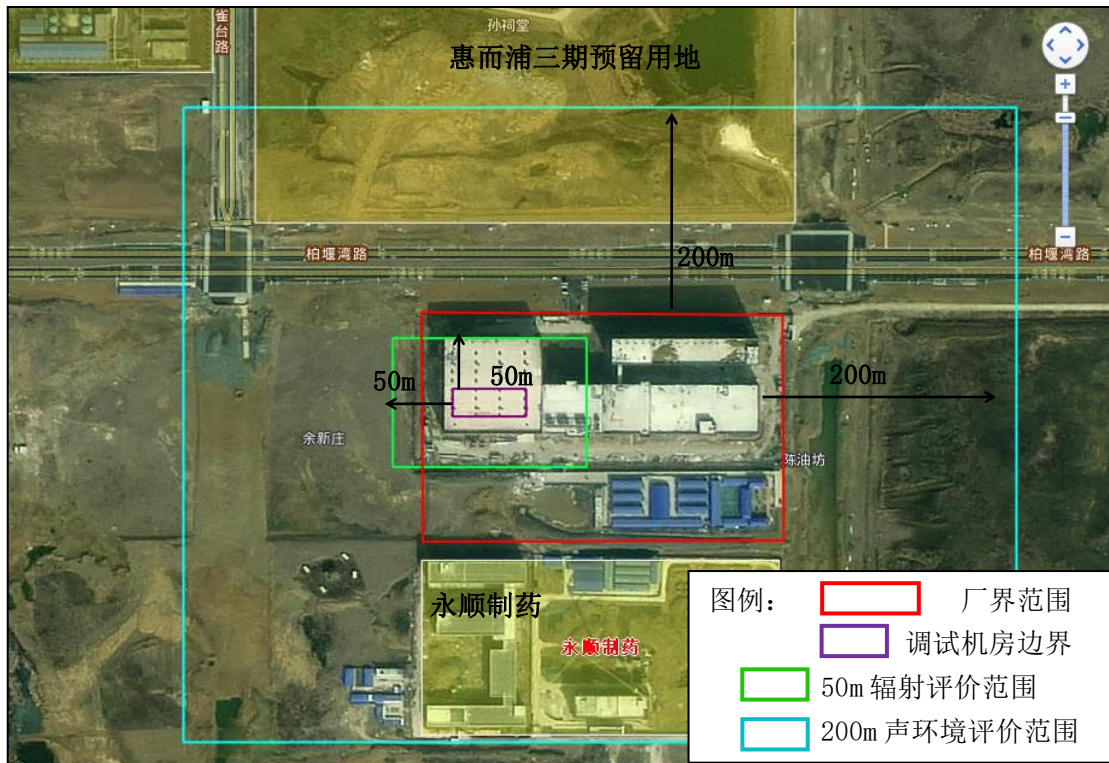


图1-5 该项目50m辐射环境影响评价范围图

根据《环境影响评价技术导则声环境》（HJ2.4-2009）的规定，该项目所处声环境功能区为GB3096中的3类功能区，确定该项目声环境影响评价等级为三级，评价范围为厂界外200m范围。

根据《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2008）的规定，该项目感生放射性大气环境评价范围为以加速器测试机房为中心半径5km的圆形范围。

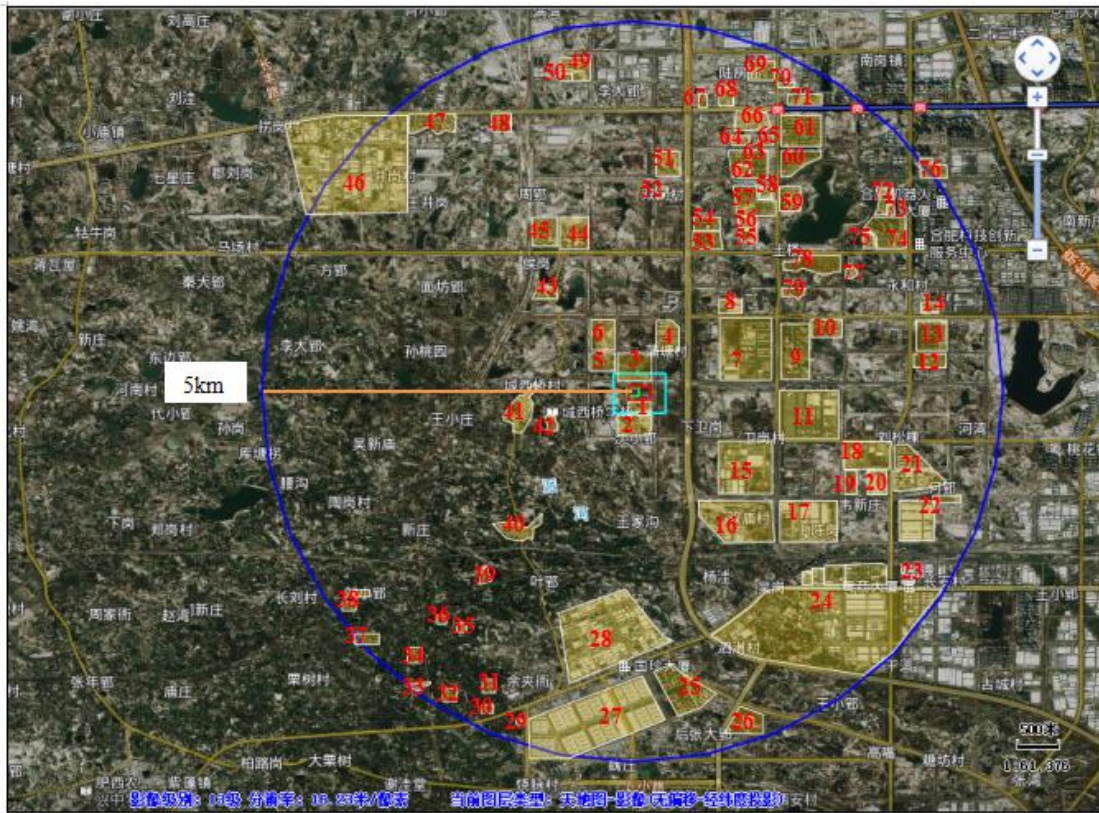


图1-6 项目周围5km范围内环境敏感目标分布图

1.5.2 保护目标

与污染源项相应的环境保护目标和评价因子情况详见表1-7。项目周围5km范围内环境敏感目标见表1-8、图1-6。

表1-7 项目环境保护目标和评价因子

源项类型	评价因子	保护目标	保护要求
质子加速器 瞬发辐射 (贯穿辐射)	n、X- γ 射线	辐射工作人员、其他工作人员	辐射工作人员剂量不大于5mSv/a, 公众剂量不大于0.25mSv/a
质子加速器 感生放射性	感生放射性气体	辐射工作人员、其他工作人员	防止活化空气泄漏到工作场所, 同时尽量减少环境排放量
	活化的设备冷却水		独立贮存, 经有关部门监测达标后排放
	加速器活化部件等		满足 GB11928-1989 要求, 妥善处理
非放相关的有害气体	臭氧、氮氧化物	工作场所及周围环境空气	满足 GBZ2.1-2007 和 GB3095-2012 的相关要求

表1-8 项目周围5km范围内环境敏感目标分布情况

序号	环境敏感目标	方位	距离(km)	人口(人)
1	永顺制药	S	0.02	在建
2	智飞龙科马	S	0.23	~300
3	惠而浦公司三期预留用地	N	0.1	待建
4	惠而浦工业园	EN	0.6	~1000
5	合肥热电厂	WN	0.29	~200
6	国家健康大数据产业园	WN	0.6	~1000
7	通威太阳能(合肥)有限公司	NE	1.2	~3000
8	3M 材料技术(合肥)有限公司	NE	1.6	~200
9	长宁家园小区	NE	2.0	2400 户 (~7000)
10	中国国际智能语音产业园	NE	2.6	~1000
11	合肥晶澳太阳能科技有限公司	E	2.0	~1500
12	合肥高新中加学校	NE	3.7	~4000
13	复兴家园小区	NE	3.7	4800 户 (~15000)

14	合肥卷烟厂	NE	4.1	~2500
15	国风塑业复合材料	SE	1.3	~200
16	中电科三十八所特种产业园	SE	1.9	~200
17	美的安得物流	SE	2.6	~200
18	大数据产业园	SE	2.9	~1000
19	合肥嘉利诚金属加工有限公司	SE	3.1	~100
20	合肥恩斯克有限公司	SE	3.4	~100
21	明珠产业园	SE	3.6	~1000
22	美的暖通产业园	SE	4.0	~1000
23	合肥中艺美术学校 安徽省现代油盐研究院	SE	4.5	~200
24	经开区方兴大道以北繁华大道以南 企业集中区域	SE	4.0-5.0	>50 家企业
25	紫荆名都	S	4.3	2400 户 (~7000)
26	华南城紫荆名都	S	5.1	在建
27	华南商业城	S	4.4	~2000 (流动人口)
28	紫鹏镇工业集中区	S	3.1~4.5	>50 家企业
29	余大郢村民组	WS	4.8	约 10 户 30 人
30	小苏郢村民组	WS	4.8	约 10 户 30 人
31	王郑郢村民组	WS	4.8	约 30 户 90 人
32	沈小庄村民组	WS	4.8	约 20 户 60 人
33	小柱园村民组	WS	4.9	约 30 户 90 人
34	凌小郢村民组	WS	4.8	约 30 户 90 人
35	大河沿村民组	WS	4.2	约 30 户 90 人
36	小河沿村民组	WS	4.3	约 30 户 90 人
37	许小郢村民组	WS	4.9	约 30 户 90 人
38	刘小郢村民组	WS	4.8	约 30 户 90 人
39	新建村民组	WS	3.3	拆迁
40	偶岗村民组	WS	2.5	拆迁

41	城西桥场镇	W	1.3	~1000
42	城西桥中学	W	1.1	~500
43	青龙岗小区	WN	1.8	900 户 (~2700)
44	西子曼城	WN	2.3	在建, 约 2400 户 (~7000)
45	望江台·璟宸小区	NW	2.7	约 3000 户 (~9000)
46	小庙工业园企业集中区域	NW	4.4~5	>20 企业
47	西城西苑	NW	4.7	约 1000 户 (~3000)
48	合肥百花中学西校区	NW	4.4	~500
49	保利·柏林之春	NW	4.9	在建, 约 2000 户 (~6000)
50	将军岭小学	NW	4.9	~500
51	乐富强·悦湖熙岸	NE	3.4	在建, 约 1000 户 (~3000)
52	双河村、双河村小学	NE	3.0	~1000
53	合肥市第七中学	NE	2.5	~1000
54	名门学府小区	NE	2.7	2400 户 (~7000)
55	擢秀园	NE	2.8	2000 户 (~6000)
56	蜀西湖畔花园	NE	2.9	在建, 约 2000 户 (~6000)
57	祥源·金港湾	NE	3.1	约 5000 户 (~15000)
58	高新区文化服务中心	NE	3.5	~1000 (流动人口)
59	砂之船(合肥)艺术商业广场	NE	3.4	~2000 (流动人口)
60	雍锦半岛小区	NE	4.0	约 2500 户 (~7500)
61	永和公寓	NE	4.3	约 3000 户 (~9000)
62	合肥市永和学校	NE	3.7	~1000
63	永和家园小区	NE	3.7	约 2500 户 (~7500)

64	永和北苑	NE	4.1	约 2500 户 (~7500)
65	幸福金色年华小区	NE	4.3	898 户 (~2700)
66	南岗镇场镇	NE	4.5	~1000
67	合肥市候店小学	NE	4.6	~500
68	合肥新华公学	NE	4.6	~1000
69	航空新城	NE	4.8	约 2500 户 (~7500)
70	南岗青年公寓	NE	4.8	约 2500 户 (~7500)
71	安徽省妇幼保健院西院	NE	4.9	~5000
72	悦湖熙岸	NE	4.2	约 2000 户 (~6000)
73	合肥高新创新实验小学	NE	4.4	~1000
74	祥源城	NE	3.9	约 5000 户 (~15000)
75	湖山别墅	NE	3.8	约 500 户 (~1500)
76	合肥高新区彩虹中学	NE	4.9	~1000
77	尚贤居	NE	3.3	约 1000 户 (~3000)
78	中国科学院量子信息与量子科技 创新研究院	NE	2.7	~150
79	合肥离子医学中心	NE	2.5	~50

注：上表中环境敏感目标与图1-6中序号对应。

2 自然环境与社会环境状况

2.1 自然环境状况

2.1.1 地理位置

合肥市位于安徽省中部，北纬31度52分、东经117度17分。北与淮南市接壤，南与安庆市相连，东与滁州市、马鞍山市、芜湖市毗邻，西与六安市交界。

合肥中科离子医学技术装备有限公司位于合肥高新区柏堰湾路与火龙地路交口西南。该项目拟在2#厂房（2-A轴）-（2-C轴）间进行建设，占地约900m²，项目地理位置详见图1-1，周围环境概况见图1-2。

2.1.2 地形、地貌、地质

该项目加速器测试机房在公司已建厂区内的已建厂房内建设，地形地貌和地质条件良好。

合肥地区属于下扬子海槽和淮阳古陆边缘地带。震旦纪前，该地为烟波浩淼的海浸区，吕梁造山运动，产生了淮阳高地与古大别山。白垩纪的燕山运动，江淮间出现皱褶，形成了江淮丘陵。第四纪的喜马拉雅运动，地壳升降、断裂、波折，出现西东走向的江淮分水岭，形成江淮分水格局。

合肥地区断层较为发育，除郯庐（山东省郯城至安徽省庐江）深断裂通过其东部外，境内断层纵横。

1) 肥中断裂（F1）：走向近EW，压扭性，形成时期较早，是合肥纬向构造带的断裂之一。

2) 合肥一义城集断裂（F2）：走向NNW，压扭性，东盘北移，西盘南移，贯穿整个区域。

3) 合肥—东关断裂 (F3): 走向 NW, 压扭性, 形成较晚, 切割区内的断裂构造。

4) 合肥—千人桥断裂 (F4): 走向 NNE, 压性, 贯穿整个区域。

5) 义城集—三河镇断裂 (F5): 走向 NNE, 压性, 贯穿整个区域, 与 F4 均属于新华夏构造体系中的断裂。

6) 肥东—西山驿断裂 (F6): 走向 NW, 压扭性, 穿过肥东县城。

7) 六安—合肥断裂 (F7): 走向近 EW, 压扭性。

项目区域位于江淮丘陵地带, 地貌类型属河谷平原, 地势基本上为西北高、东南低, 地形起伏, 岗冲相间, 以耕地为主, 多于旱地。该项目所在地地形平坦, 略呈东高西低, 海拔为 18.3~22.2 米; 基岩为白垩纪第三系红砂岩, 地表覆盖粘土层。

现将地层由老到新介绍如下:

(1) 侏罗系上统 (J3)

分布在本区的西南部。以紫红、灰紫色粗面岩、粗面斑岩、安山岩及其凝灰熔岩、凝灰岩为主。其次为粗面质和安山质角砾岩、集块岩, 少量流纹质和石英质熔凝灰岩。局部见有珍珠岩和黑曜岩, 部分地段夹红色细砂岩, 底部为砾岩。厚度大于 1033m。

(2) 白垩系

1) 下统朱巷组 (K1z)

分布在区域的北部。主要为一套红色碎屑岩和粘土岩, 局部夹碳酸盐岩, 厚度 600~1843m。其岩性大体可分四段:

第一段 (K1z1): 棕红色含砾粗砂岩、细砂岩夹粉砂质泥岩和泥岩。厚度大于 513m。

第二段 (K1z2): 深棕褐色粉砂质泥岩夹粉砂岩及黄绿色页岩, 含

石膏。厚度 191.5~739m。

第三段 (K1z3)：棕红色砾岩、砂岩夹褐色粉砂质泥岩及黄绿色页岩。厚度 150.5~463.7m。

第四段 (K1z4)：棕褐色粉砂质泥岩和灰绿色页岩。厚度 121.5~1213.5m。

2) 上统张桥组 (K2z)

下部为红色砾岩，含砾中粗砂岩夹细砂岩，砾石成分以花岗片岩和大理岩为主，厚度 50m。上部为鲜红色薄层细砂岩、厚层含砾中粗砂岩、紫红色厚层铁质泥岩，含粉砂质泥岩和少量灰白色泥质粉砂岩，厚度大于 503.3m。

(3) 下第三系定远群 (Edn)

分布于区内的东部和东南部。为一套红色含膏、盐的碎屑岩、粘土岩沉积，与下伏张桥组连续过渡，总厚 753.5~3290.8m。岩性可分四段：

第一段 (Edn1)：棕、棕褐、紫红色夹青灰色粉砂质泥岩，泥质粉砂岩，细砂岩，底部有时为含砾细砂岩。厚度 144~390m。

第二段 (Edn2)：紫红、棕、青灰、黄绿色泥质粉砂质砂岩，泥质粉砂岩，粉砂质泥岩夹粉砂岩。厚度 119.9~161.1m。

第三段 (Edn3)：紫红、棕红、浅棕青灰色泥岩，粉砂质泥岩夹粉砂岩，细砂岩含石膏。厚度 139.6~160.6m。

第四段 (Edn4)：灰红、棕红、褐黄色粉砂岩、细砂岩，粉砂质泥岩，底部为含砾粉砂岩。厚度 76.6m。

(4) 第四系

区内第四系主要分布有第四系上更新统和全新统。

上更新统 (Q3)：广泛分布于整个区域内的河间地区，主要是河流

冲积物。岩性稳定单一，主要为棕黄、褐黄、青黄杂色亚粘土，结构紧密，柱状节理发育，可碎裂成块状或蒜瓣状，含铁锰质和钙质结核，底部较富集，钙质结核粒径一般在 10~20cm。下部可见亚砂土或薄层砂层透镜体。厚度一般在 2~20m。

全新统（Q4）：主要分布在河谷地带，一般具有二元结构。下部主要为青灰、黄褐、灰白、灰绿色中细砂层，含砾砂层或砂砾石层，一般 1~10m 不等，结构松散，分选性较好，砂颗粒成分主要为石英、长石等。上部多为青灰、黄褐、灰黑色淤泥质亚粘土或粉土质亚粘土，局部亚砂土，含少量的铁锰质结核，厚度一般在 3~20m。

2.1.3 水文

2.1.3.1 地表水

合肥地表水系较为发达，以江淮分水岭为界，岭北为淮河水系，岭南为长江水系，淮河水系主要有东淝河、沛河、池河等，长江水系主要有南淝河、派河、丰乐河、杭埠河、滁河、裕溪河、兆河、柘皋河、白石天河、西河等。

境内巢湖是中国五大淡水湖之一，东西长 54.5 公里，南北宽 21 公里，水域面积 770 平方公里，号称“八百里巢湖”，湖底海拔 5 米，湖水容量随水位高程的不同而不同，当水位高程达 14 米时，湖水容量为 63.7 亿立方米。

2.1.3.2 地下水

该区地下水类型属上层滞水（分布在杂、素填土中）和下部轻亚粘土及砂层中的潜水，主要补给来源为大气降水。

一、地下水类型及富水特征

根据地下水的赋存条件、水力性质及地层岩性组合特征，区域的含

水岩组可划分为松散岩类孔隙水含水岩组和碎屑岩裂隙孔隙水含水岩组。

1、第四系松散岩类孔隙水含水岩组

1) 第四系全新统 (Q4) 冲积孔隙含水岩组: 主要分布在河流的河漫滩平原。含水岩组岩性主要为粉细砂、中细砂、含砾中粗砂和砂砾石层。上覆比较稳定的亚粘土层, 顶板埋深一般在 8~18m, 1~4 层。水位埋深一般在 1~3m, 具有承压性, 含水层厚度一般 3~7m。含水层粒度从上游到下游、由河床向两侧、自上而下均具有颗粒由粗变细的分选特征。含水砂层孔隙度大, 连通性好, 导水性强。单井涌水量一般在 100~500m³/d, 局部含水砂层厚度大, 含水颗粒粗的地方, 大于 500m³/d。水化学类型主要为 HCO₃-Ca、HCO₃-Ca·Na 和 HCO₃-Na·Ca 型, 矿化度一般小于 1000mg/L。

2) 第四系上更新统 (Q3) 冲洪积层孔隙裂隙含水岩组: 主要分布在河间一级阶地和山间的波状平原。岩性主要为粘性土, 含水岩组岩性主要为粘性土中的孔隙、柱状裂隙。上更新统粘性土多不整合在下伏的基岩之上, 其厚度变化受古地貌的控制, 即下伏基岩埋深大, 则厚度相应就大, 反之厚度相应较小。本区厚度有一般在 20~40m。地下水水位埋深一般 5~7m, 季节性变化较大, 年变幅一般不小于 5m, 干旱季节水位埋藏很深, 甚至无水, 以潜水或上层滞水的形式存在。单井涌水量一般在 2~10m³/d, 仅在局部, 有良好的补给和储存条件下, 水量可以达到 30~50m³/d。水化学类型以 HCO₃-Ca、HCO₃-Ca·Na 型为主, 矿化度一般小于 1000mg/L。

2、碎屑岩裂隙孔隙水含水岩组

区域广泛分布由中、新生界一套红色内陆湖湘沉积的侏罗系、白垩

系、下第三系的砂砾岩、中粗砂岩、粉细砂岩、泥质砂岩、砂质泥岩及泥岩等碎屑岩组成的含水岩组，部分岩组在不同程度上含可溶盐和易溶盐成分，如方解石、石膏、芒硝、钙芒硝等，常以柱状、晶族状、团块状、条带状、似层状或以胶结物形式分布，充填于岩层及碎屑物中。地层产状平缓，倾向 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。区内被第四系全部覆盖。

区内含水岩组由下第三系定远群(Edn1)和白垩系上统张桥组(K2z)的中细砂岩、中粗砂岩、含砾砂岩组成。其中定远群第一段岩层中富含碳酸盐成分或未泥钙质、钙质胶结，结构较疏松，裂隙发育。在富钙层位中，由于水的交替作用，钙质体经溶蚀形成小溶孔、溶洞，类似碳酸盐岩中的“岩溶”。水的交替作用扩大了岩层中原有的裂隙孔隙，构成蜂窝状的储水空间，张桥组岩层一般松散，无异于第四系松散砂层，其透水性和连通性良好，有利于地下水的运移和富集。上述富钙和松散的粗屑岩层，其补给条件优越，为富水性较强的含水层。水位埋深一般小于20m，具承压性质，在有利的地质构造和补给条件下，可以自留。

二、地下水补径排及动态特征

1、第四系松散岩类孔隙水含水岩组

1) 第四系全新统(Q4)冲积孔隙含水岩组

该含水岩组主要分布在河漫滩地带，地形平坦，组成地层岩性为全新统冲积粉土质亚粘土、亚砂土及砂砾石层，结构松散，孔隙性大，连通性好。地下水的主要补给来源是：大气降水的入渗补给、河谷两侧及上游阶地地表径流渗入补给和山前基岩裂隙水的侧向径流补给。受地形的控制，通过河床和漫滩松散堆积物孔隙从上游至下游径流，水力坡度较小，一般 $1/1000\sim 2/1000$ ，径流迟缓，径流量不大。径流排泄、向河流排泄和开采排泄是其主要的排泄方式。地下水的动态受降水影响十分

明显，雨季补给充足，地下水水位上升，旱季补给减少，地下水水位明显下降，一般年变幅在 3~5m。

2) 第四系上更新统 (Q3) 冲洪积层孔隙裂隙含水岩组

该含水岩组主要分布在河间一级阶地和山间的波状平原。岩性主要为粘性土，其柱状裂隙发育，地下水的主要补给来源是大气降水入渗补给，部分有山前地表径流渗入补给。由于岩性不含水，降水或地表径流沿粘性土的柱状裂隙渗入，形成包气带中的上层滞水，当包气带被地下水饱和后才有可能在重力的作用下补给下伏含水层。同时垂直裂隙组成了水平方向上的隔水边界，基本不产生水平方向上的地下水径流，从而构成了渗入—蒸发型为特征的循环方式。蒸发排泄和开采排泄是其主要排泄途径。根据长期观测资料，地下水的动态主要受降水影响，其变化规律与降水是相符合的，一般年变幅在 5~7m。

2、碎屑岩裂隙孔隙水含水岩组

由侏罗系、白垩系、下第三系的砂砾岩、中粗砂岩、粉细砂岩、泥质砂岩、砂质泥岩及泥岩等碎屑岩组成的含水岩组，被第四系覆盖。其地下水循环方式一般不受气象因素的直接控制和影响，与上覆含水层在无构造作用或其它条件造成相互连通的情况下，两者地下水的动态变化在时间上也不具有同一性。

地下水的补给来源比较复杂：大气降水在山前补给区或其它出露区的直接渗入补给；通过导水断裂引入地表径流或从被切穿的相邻含水层中获得补给；上覆第四系松散层补给以及人为补给等等。径流方式：沿含水层底板由山前补给区向远山方向径流，穿越含水层径流以及沿导水断裂通道径流等。排泄途径：各种的径流排泄和人工开采是其主要排泄途径。

2.1.4 气候与气象

合肥市位于江淮之间，属于暖温带向亚热带的过度带气候型，为亚热带湿润季风气候，季风明显、四季分明、气候温和、雨量适中、春温多变、秋高气爽、梅雨显著、夏雨集中。年平均气温 15.7 度，降雨量 1019mm，蒸发量 1471mm，日照 2100 多个小时。

年平均气：15.7℃

极端最高气温：40℃

极端最低气温：-20℃

采暖室外计算温度：-3℃

年主导风向：东北偏东（ENE）

夏季主导风向：南风（S）

冬季主导风向：东风（E）、东北风（NE）

夏季平均风速：2.6m/s

年最大降雨量：1541.9mm

年平均降雨量：1067.2mm

年均相对湿度：76%

最大冻土深度：400mm

最大积雪厚度：450mm

2.1.4 气候与气象

合肥市属北亚热带季风气候，雨量适中，光照充足。农作物主要有水稻、油菜、花生、小麦、大豆、山芋等。区域环境内无自然状态下的森林，无珍稀或濒临物种，植被以人工植被为主，野生动物稀少，仅有鸟类、蛇类。近郊家禽主要为猪、牛、鸡、鸭、鹅等，天然鱼类资源很少，主要是人工养殖的经济鱼类，为鲢、草、青、鲫等。

2.2 社会环境状况

2.2.1 人口区划与人口分布

截至 2020 年，合肥市下辖 4 个区（瑶海区、庐阳区、蜀山区、包河区）、4 个县（肥东县、肥西县、长丰县、庐江县）、代管 1 个县级市（巢湖市），总面积 11445 平方千米，建成区 528.5 平方千米。根据第七次人口普查数据，合肥市常住人口 936.98 万人，城镇化率达 82.28%。

2.2.2 经济发展状况

近年来，合肥市围绕经济结构战略性调整，加大改革开放力度，制定出台千亿元发展规划和四大基地建设规划，积极实施项目带动，着力培育经济增长点，有力促进了国民经济持续快速发展，同时又创造了更多的就业岗位，带动了二、三产业发展，产业结构得到进一步优化。第一产业比重下降，二、三产业比重上升。

2020 年，合肥市实现地区生产总值 10045.72 亿元，按可比价格计算，同比增长 4.3%。其中，第一产业增加 332.32 亿元，增长 1.2%；第二产业增加 3579.51 亿元，增长 6.4%；第三产业增加 6133.89 亿元，增长 3.0%。

2021 年《安徽省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要的通知》提出，支持合肥朝着国家中心城市发展，加快“五高地一示范”建设，全面提升长三角世界级城市群副中心功能，加快建成国际化新兴特大城市。

2.2.3 交通

合肥交通便捷，境内铁路、公路、航空、水运交通发达，形成纵横交错、四通八达的立体化交通网络，是国家规划建设中的全国性综合交通枢纽。东有合宁线连接南京、上海，西有合武线通往武汉、成都，北

有合蚌高铁直通北京，南向将通过京福高铁连通江西、福建。合肥港为二类水运开放口岸，综合码头二期工程开工建设中，建成后年吞吐能力将达到 50 万标箱。总投资 43 亿元、设计年旅客吞吐量为 1100 万人次的 4E 级合肥新桥国际机场开通有国内航线 51 条，国际及地区航线 13 条。合肥城区道路骨架实现了“十”字型向“井”字型格局的转变，形成了“三环多放射”的城市动脉交通网。

2.2.4 文物古迹及风景名胜

合肥是中国优秀旅游城市，三河古镇为国家 5A 级旅游景区。截至 2015 年，合肥有 6 处全国重点文物保护单位，安徽省文物保护单位 36 处，市级文物保护单位 54 处。2015 年，全市共有 A 级景区 157 家，其中 4A 级以上景区 23 家。

2.2.5 合肥市高新技术产业开发区简介

合肥国家高新技术产业开发区（简称高新区）是 1991 年经国务院批准的首批国家级高新区，管理面积达 128 平方公里，是合肥综合性国家科学中心的核心区、合肥滨湖科学城创新引领核、国家自主创新示范区、首批国家双创示范基地和中国（安徽）自由贸易试验区合肥片区核心区，是创新型国家建设的战略支点和合肥建设“大湖名城创新高地”的主要载体，在全国 169 家国家级高新区综合排名中一直稳居前列，2019 年位居国家级高新区第六名，地区生产总值、战略性新兴产业、财政收入等主要经济指标连续多年保持高速增长。

高新区秉持“发展高科技、实现产业化”的立区宗旨，探索出了一条“科学-技术-创新-产业”的内生发展之路，在新一代人工智能、量子信息等前沿技术、颠覆性技术和产业化方面取得重大突破，科大讯飞入选首批四大国家 AI 开放创新平台，安徽省科技创新“一号工程”量子信息与

量子科技创新研究院加速建设，形成了“中国声谷量子中心”的园区品牌。2018年4月，高新区被科技部火炬中心纳入世界一流高科技园区建设序列，跻身参与全球科技竞争的国家队。

高新区区位优势突出，毗邻市政府，北接4E级新桥国际机场，南临4A级紫蓬山森林公园，东距合肥高铁南站约10公里。合淮阜高速和长江西路高架贯穿而过，地铁2号线、4号线和规划中的6号线、7号线、8号线直通市中心。基础设施和综合配套完善，“七纵六横”骨干道路体系全面建成，拥有合肥七中、合肥加拿大国际学校、安医附院高新医院、合肥国际人才城、砂之船奥特莱斯等优质配套，坐拥“生态绿肺”大蜀山国家森林公园，柏堰湖、蜀西湖交相辉映，城区绿化覆盖率达45%。

高新区产业体系完善。培育了科大讯飞、科大国盾、四创电子、华米科技、阳光电源、安科生物等行业领军企业，形成了人工智能、集成电路、量子信息、网络安全、生物医药、节能环保等高端产业集群，人工智能、集成电路成功入选国家发改委首批66个国家战略性新兴产业集群。“中国声谷”作为中国首家定位于人工智能领域的国家级产业基地，截至2020年底，入驻企业1024户、营业收入1060亿元，成功实现“双千目标”。

高新区科教资源丰富。集聚了如中加国际学校、中科大附中高新中学、合肥六中高新中学、合肥七中等优质教育资源。实施领航企业家培养工程，建立全国高新区首家企业家大学，企业员工超过30万人，本科以上学历占比达35%以上，聚集市级以上各类人才550余人，约占全市的40%。拥有侨梦苑、中德智能制造国际创新园、欧美同学会长三角海创中心等国际化双创基地，聚集各类海归人才1万余人。

高新区创新创业活跃。聚集企业 4 万余家，自主培育的上市企业 42 家，新三板挂牌企业 41 家。拥有各类孵化平台 91 个，孵化面积 300 余万平方米，在孵企业 3000 余家。建立了天使投资、创新贷、助保贷和股权投资等全周期科技金融服务体系，聚集各类基金 200 余支，基金规模 2200 亿元。率先建设全省首个区域经济大脑，对区内企业实施精准画像，提供精准服务，合创券自推出 4 年来，为 2600 家科技型中小企业提供政策支持 1.5 亿元，提供超过 1 万次科技中介服务，形成各类知识产权超 5000 件。国家双创示范基地建设两次获得国务院办公厅通报表彰。

进入新时代，合肥高新区将重点实施“创新驱动、产业引领、开放发展、产城融合”四大战略，倾力打造合肥国家综合性科学中心和产业创新中心核心承载区，承载国家使命，参与全球竞争，朝着世界一流高科技园区的目标阔步前行，到 2035 年综合实力进入全球高科技园区前列，成为全球创新创业网络核心枢纽、全球原创科技和产业的重要策源地，成为我国建设创新型国家的核心力量之一，实现“财富高新、和谐高新、美丽高新”的美好愿景。

2.3 环境质量和辐射现状

2.3.1 监测内容

该项目主要辐射污染因子为瞬发辐射和感生放射性，主要的环境影响因素为空气、地表水、地下水和土壤。同时为了解厂界声环境质量现状，对厂界噪声也进行监测。环境现状监测对象和监测项目见表 2-1。

回旋质子加速器运行期间的辐射场为中子和 γ 辐射混合场，因此贯穿辐射监测内容包括环境地表 γ 辐射剂量率和中子剂量当量率。

回旋质子加速器运行期间，测试机房内的空气及加速器一回路冷却

水被活化，排入环境可能对空气、地表水、地下水和土壤产生影响，因此，此次辐射环境现状调查中，对空气、地表水、地下水和土壤相关核素的活度浓度进行采样分析。此外，考虑到总 α 、总 β 能够反映某区域的总放射性水平，因此此次现状调查对空气、地表水、地下水和土壤中的总 α 、总 β 也进行了分析。

表2-1 监测对象和项目

序号	监测对象	监测项目
1	贯穿辐射	环境地表 γ 辐射剂量率
		中子剂量当量率
2	大气	氡-3活度浓度
3	土壤	总 α 、总 β 、氡-3、钾-40、镭-226、钍-232、铀-238活度浓度
4	地下水	总 α 、总 β 、氡-3、钾-40、镭-226、钍-232、铀-238活度浓度
5	地表水	总 α 、总 β 、氡-3、钾-40、镭-226、钍-232、铀-238活度浓度
6	噪声	等效连续A声级

2.3.2 监测（分析）依据和监测设备

为了解掌握该项目所在区域的环境质量现状，核工业二七〇研究所于2021年6月9日对项目环境地表 γ 辐射剂量率、中子剂量当量率及厂界声环境进行了现状监测，同时委托苏州热工研究院有限公司于2021年7月对项目拟建场址周围进行了空气、地表水、地下水和土壤中核素的活度浓度进行了监测。

此次监测使用的仪器设备详见表2-2。监测、分析时监测仪器设备均处于检定（校准）有效期内，各项指标均满足国家标准且能满足该项目的监测需求。

表2-2 监测仪器设备及其性能指标

仪器名称	仪器型号	主要技术参数	有效期
便携式X、 γ 剂量率仪	主机：FH40G-X 探头：FHZ 672 E-10	测量范围：10nSv/h~1Sv/h 能量响应：30keV~4.4MeV	2021.03.30~ 2022.03.29
中子剂量当量仪	主机：FH40G-X 探头：FHT762	测量范围：0.01 μ Sv/h~100mSv/h 能量响应：0.025keV~5GeV	2020.08.07~ 2021.08.06
多功能声级计	AWA6228	频率范围：10Hz~20kHz 测量范围：低量程20~132dB (A) 高量程30~142dB (A)	2021.04.01~ 2022.03.31
声校准器	AWA6221A	标称声压级：94dB、114dB 频率：1000Hz+5Hz	2021.04.07~ 2022.04.06
N型高纯锗 γ 能谱仪	GMX50P4-83 (HJ-124)	能量范围：3.0keV~10MeV 本底计数率：2.90cps 能量分辨率：2.00keV 相对探测效率：50.0%	2020.04.07~ 2022.04.06
超低本底液体闪烁谱仪	Quantulus1220 (HJ-28)	氡测量：本底计数小于1cpm、效率大于20%； 碳-14测量：本底计数小于3cpm、效率大于60%	2020.05.08~ 2022.05.07
低本底 α 、 β 测量仪	MPC9604 (HJ-30)	本底计数率： α 小于0.1cpm， B小于0.9cpm； 探测效率： α 大于40% (Am-241)， β 大于55% (Sr-90/Y-90)	2020.01.03~ 2022.01.02
高纯锗 γ 谱仪	GEM50P4-83多道谱仪DSPEC JR2.0 (HJ-26)	能量范围：10keV~10MeV 本底计数率：2.90cps 能量分辨率：1.90keV 相对探测效率：50.02%	2020.06.24~ 2022.06.23

表2-3 监测方法和布点原则

序号	监测对象	监测方法	标准依据
1	贯穿辐射	在项目拟建址、环境敏感点、厂界等关注点处布设贯穿辐射剂量率监测点位，共计18个监测点位。采用便携式监测仪表，以定点测量方式进行。每个监测点位测量10次，每次间隔5秒钟，监测结果取平均值	《辐射环境监测技术规范》 (HJ 61-2021)
2	噪声	在厂界外1m、高度1.2m以上、距任一反射面距离不小于1m的位置，共设4个监测点位，分别在昼间、夜间两个时段测量1min的等效声级	《工业企业厂界环境噪声排放标准》 (GB12348-2008)
3	土壤	在厂内及厂区西北侧合肥高新综合管廊公司布置2个土壤采样点位。土壤样品送实验室预处理后采用低本底 α 、 β 测量仪进行总 α 、总 β 活度浓度测量，采用高纯锗 γ 谱仪测量 γ 核素活度浓度	《核能 核燃料循环技术 废物 液闪法测量废物中氡活度》(NF 翻译的中文 NF-M60-325-2005) 《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》(GB/T11743-2013) 《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》(GB/T16140-2018)
4	水样	分别取厂区西北侧池塘地表水及派河地表水2个水样，地下水利用项目周围已有水井采样，水样送实验室预处理后采用高纯锗 γ 谱仪和液闪谱仪测量 γ 核素的活度浓度	《水中氡的分析方法》(HJ1126-2020) 《水质 总 α 放射性的测定 厚源法》(HJ898-2017) 《水质 总 β 放射性的测定 厚源法》(HJ899-2017)
5	大气	在厂内及厂区西北侧合肥高新综合管廊公司设2个采样点	《气载放射性物质取样一般规定》(HJ/T22-1998) 《环境中放射性核素测量 土壤 第六部分：总 α 和总 β 活度测定》(ISO 18589-6-2019)

2.3.3 质量保证措施

(1) 监测单位取得了《检验检测机构资质认定证书》(核工业二七〇研究所证书编号171421180789; 苏州热工研究院有限公司环境检测中心证书编号151012050252)，现场监测时间在其证书有效期内。监测项目在《检验检测机构资质认定证书附表》里批准的检验检测能力范围内。

(2) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。

(3) 针对各类样品的采集，监测单位制定了操作规程，要求参加采样人员在实施采样前充分了解，并在采样过程中严格执行。

(4) 采样器符合国家技术标准的规定，使用前须检验并确认其性能良好后方可采样，保证采样器和样品容器的清洁，防止交叉污染。

(5) 采样后按规定方法进行暂存或预处理，并尽快送往实验室，做好样品交接工作。

(6) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。

(7) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。

(8) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

(9) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

(10) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校验、审核，最后由技术总负责审定。

2.3.4 监测结果

2.3.4.1 贯穿辐射

项目拟建地址及周围环境贯穿辐射剂量率监测结果见表2-4。

表 2-4 项目拟建地址及周围环境贯穿辐射剂量率监测结果

序号	监测位置描述	环境地表 γ 辐射剂量率 (nSv/h)	中子剂量当量率 (nSv/h)	备注
1	北厂界处	104	0	室外
2	北侧门卫室 1 内	118	0	室内
3	西厂界处	95	0	室外
4	南厂界处	105	0	室外
5	东厂界处	110	0	室外
6	东侧门卫室 2 内	118	0	室内
7	2#厂房北侧墙外 30cm 处	106	0	室外
8	2#厂房西侧墙外 30cm 处	102	0	室外

9	2#厂房南侧墙外 30cm 处	112	0	室外
10	2#厂房东侧墙外 30cm 处	115	0	3#车间茶水间休息区室内
11	拟建加速器 A 室入口处	106	0	室内
12	拟建加速器 A 室中央	103	0	室内
13	拟建加速器 B 室入口处	104	0	室内
14	拟建加速器 B 室中央	109	0	室内
15	拟建水冷机房	103	0	室内
16	拟建加速器电源室	105	0	室内
17	拟建主控室	98	0	室内
18	拟建加速器室北侧	104	0	室内

注：监测结果未扣除宇宙射线响应值。

由监测结果可知，该项目拟建地址及周围环境地表 γ 辐射剂量率（含宇宙射线贡献值）为95~118nSv/h。根据《安徽省环境状况公报》（2020年）中数据显示，2020年安徽省全省环境 γ 辐射空气吸收剂量率（含宇宙射线贡献值）均值为94nGy/h，范围为72~126nGy/h。该项目拟建地址及周围环境地表 γ 辐射剂量率与安徽省天然贯穿辐射水平基本相当。

该项目拟建地址及周围环境中的中子辐射辐射剂量率均低于仪器检出限。

2.3.4.2 空气

项目拟建地址及周围环境空气中氡活度浓度监测结果见表 2-5。

表 2-5 项目拟建地址及周围环境空气中氡监测结果

序号	监测位置描述	样品活度浓度 (Bq/L)	样品活度浓度 (mBq/m ³)
1	高新管廊公司	<1.1	<35
2	公司厂区	<1.1	<21

由监测结果可知，拟建场址周围环境空气中氡（氢-3）的活度浓度

低于 35mBq/m^3 ，对照生态环境部发布的《2019全国辐射环境质量报告》：全国空气（水蒸气）中氡活度浓度为 $9.2\sim 38\text{mBq/m}^3$ ，该项目区域空气氡浓度处于全国空气氡活度浓度的正常范围内，未见明显异常。

2.3.4.3 土壤

项目拟建地址及周围土壤中放射性核素活度浓度监测结果见表2-6。

表 2-6 项目拟建地址及周围土壤中放射性核素活度浓度监测结果

序号	监测位置描述	监测项目	活度浓度
1	高新管廊公司南侧 花坛土壤	总 α (Bq/g)	0.73 ± 0.09
		总 β (Bq/g)	0.79 ± 0.03
		钾-40 (Bq/kg.干)	497 ± 11
		镭-226 (Bq/kg.干)	31.1 ± 1.2
		钍-232 (Bq/kg.干)	50.8 ± 1.1
		铀-238 (Bq/kg.干)	46 ± 10
2	公司厂区北侧花坛土壤	总 α (Bq/g)	0.72 ± 0.08
		总 β (Bq/g)	0.78 ± 0.03
		钾-40 (Bq/kg.干)	523 ± 11
		镭-226 (Bq/kg.干)	28.7 ± 1.2
		钍-232 (Bq/kg.干)	50.8 ± 1.1
		铀-238 (Bq/kg.干)	43 ± 10

由监测结果可知，拟建场址周围土壤中总 α 活度浓度在 $0.72\sim 0.73\text{Bq/g}$ ，总 β 活度浓度在 $0.78\sim 0.79\text{Bq/g}$ ；放射性核素钾-40活度浓度在 $497\sim 523\text{Bq/kg.干}$ 、镭-226活度浓度在 $28.7\sim 31.1\text{Bq/kg.干}$ 、钍-232活度浓度 50.8Bq/kg.干 、铀-238活度浓度在 $43\sim 46\text{Bq/kg.干}$ 。对照《2019全国辐射环境质量报告》中土壤放射性检测结果，该项目周围环境土壤中的天然核素镭-226、钍-232、铀-238的活度浓度均处于正常范围。

2.3.4.4 地下水

项目拟建地址周围地下水中放射性核素活度浓度监测结果见表2-7。

表 2-7 项目拟建地址周围地下水中放射性核素活度浓度监测结果

序号	监测位置描述	监测项目	活度浓度
1	项目厂址附近水井	总 α (Bq/L)	<0.046
		总 β (Bq/L)	0.272 \pm 0.015
		氢-3 (Bq/L)	<1.1
		钾-40 (mBq/L)	392 \pm 32
		镭-226 (mBq/L)	<8.6
		钍-232 (mBq/L)	<4.0
		铀-238 (mBq/L)	<162

由监测结果可知，拟建场址周围地下水中总 α 活度浓度小于0.046 Bq/L，总 β 活度浓度为0.272Bq/L；氢-3活度浓度低于1.1Bq/L；放射性核素钾-40活度浓度为392mBq/L、镭-226活度浓度低于8.6mBq/L、钍-232活度浓度低于4.0mBq/L、铀-238活度浓度低于162mBq/L。对照《2019全国辐射环境质量报告》中地下水放射性检测结果，该项目周围地下水中的总 α 、总 β 活度浓度、天然核素镭-226活度浓度均处于正常范围。

2.3.4.4 地表水

项目拟建地址周围地表水中放射性核素活度浓度监测结果见表2-8。

表 2-8 项目拟建地址周围地表水中放射性核素活度浓度监测结果

序号	监测位置描述	监测项目	活度浓度
1	厂区西北侧池塘地表水	总 α (Bq/L)	<0.016
		总 β (Bq/L)	0.066 \pm 0.005
		氢-3 (Bq/L)	<1.1
		钾-40 (mBq/L)	61 \pm 26
		镭-226 (mBq/L)	<8.1
		钍-232 (mBq/L)	<4.0
		铀-238 (mBq/L)	<156

2	派河地表水	总 α (Bq/L)	<0.052 \pm 0.010
		总 β (Bq/L)	0.167 \pm 0.006
		氡-3 (Bq/L)	<1.1
		钾-40 (mBq/L)	135 \pm 27
		镭-226 (mBq/L)	<8.6
		钍-232 (mBq/L)	<4.0
		铀-238 (mBq/L)	<159

由监测结果可知，拟建场址周围地表水及纳污水体派河地表水中总 α 活度浓度在0.016~0.052Bq/L，总 β 活度浓度在0.066~0.167Bq/L；氡-3活度浓度低于1.1Bq/L；放射性核素钾-40活度浓度在61~135mBq/L、镭-226活度浓度低于8.6mBq/L、钍-232活度浓度低于4.0mBq/L、铀-238活度浓度低于159mBq/L。对照《2019全国辐射环境质量报告》中地表水放射性检测结果，该项目周围地下水中的总 α 、总 β 活度浓度、天然核素镭-226的活度浓度均处于正常范围。

2.3.4.5 声环境

项目拟建地址周围声环境监测结果见表2-9。

表 2-9 项目拟建地址周围声环境监测结果

序号	监测位置描述	等效连续 A 声级 (dB (A))	
		昼间	夜间
1	北厂界外 1m 处	59	47
2	西厂界外 1m 处	57	45
3	南厂界外 1m 处	57	46
4	东厂界外 1m 处	58	46

由监测结果可知，拟建项目所在厂区的厂界各监测点昼间噪声在57~59dB（A）范围内，夜间噪声在45~47dB（A）范围内，满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中3类功能区标准要求。

2.4 场址适宜性评价

该项目位于合肥市高新区，利用合肥中科离子医学技术装备有限公司利用已建2#厂房建设占地约900m²的加速器测试区。

经过以上的自然环境与社会环境状况的调查结果可知，该项目选址合理，且根据该项目的辐射环境现状监测结果可知，项目所在区域辐射环境现状未见异常，均在环境本底水平范围内。因此，该项目场址适宜性良好。

2.5 “三线一单”相符性分析

根据《“十三五”环境影响评价改革实施方案》要求，以生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单（简称“三线一单”）为手段，强化空间、总量、准入环境管理，划框子、定规则、查落实、强基础。作为“十三五”环评改革的思路和主线，这标志着我国环评管理的思路、方式和着力点均发生重大转变，战略和规划环评顶层设计更加完善，也将带来整个环评体系全面、立体的变革。

落实“三线一单”根本目的在于协调好发展与底线关系，确保发展不超载、底线不突破。要以空间、总量和准入环境管控为切入点落实“三线一单”。

（1）生态保护红线：指在生态空间范围内有特殊重要生态功能、必须强制性严格保护的区域，是保障和维护国家生态安全的底线，通常包括具有重要水源涵养、生物多样性维护、水土保持、防风固沙、海岸生态稳定等功能的生态功能重要区域，以及水土流失、土地沙化、石漠化

和盐渍化等生态环境敏感脆弱区域。按照只能增加、不能减少的基本要求，实施严格管控。

该项目不涉及生态功能重要区域和生态环境敏感脆弱区域，不属于生态保护红线范围内。

(2) 环境质量底线：按照水、大气、土壤环境质量“只能更好、不能变坏”的原则，科学评估环境质量的改善潜力，衔接环境质量改善要求，确定分区域分阶段环境质量目标及相应环境管控和污染物排放总量限值要求。

根据《合肥市 2020 年环境质量公报》可知，项目所在区域评价指标(SO_2 、 NO_2 、 CO 、 O_3 、 PM_{10})均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中二级标准及环保部公告 2018 年第 29 号《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)修改单， $\text{PM}_{2.5}$ 超标。根据《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)，项目所在区域判定为不达标区域。

2019 年合肥市人民政府已制定了《合肥市打赢蓝天保卫战三年行动计划实施方案》，围绕工业大气污染治理、扬(烟)尘污染防治、农业面源污染防治等开展“十大专项行动”。此外，合肥市实行“分解任务咬定工作目标”，已出台《合肥市空气质量达标阶段性工作方案》及分年度重点工作安排，排定“措施方法、任务时限、责任单位”，做到有的放矢。随着《实施方案》的落实，近年来合肥市主要大气污染物排放总量大幅减少，协同减少温室气体排放，细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)浓度逐年降低，重污染天数持续减少，环境空气质量改善明显。

该项目不排放 $\text{PM}_{2.5}$ ，排放的废气主要成分为臭氧、 NO_x 及少量感生放射性气体，排放量很小，总体不会改变区域空气环境功能。

该项目纳污水体为派河，根据合肥市水功能区划及相关资料，派河

执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类水体功能标准。根据2020年合肥市环境质量公报，派河氨氮和化学需氧量浓度分别为1.18mg/L和17.4mg/L，较去年同期分别下降15.11%和11.22%。氨氮和总磷浓度均呈下降趋势，派河由V类好转为IV类。目前，合肥市通过了《南淝河、十五里河、派河、双桥河水体达标方案》，其中派河方案列出重点工程15项，通过外源截污、底泥清淤、生态修复、旁路人工湿地净化、生态补水等措施，加强周边企业监管，严格环境执法、完善排污许可制度和总量控制等措施，确保派河水质达标。该项目不新增厂区总劳动定员，极少量的感生放射性废水经检测合格后排放，不会减少派河的环境容量。

故该项目符合环境质量底线要求。

（3）资源利用上线：指按照自然资源资产“只能增值、不能贬值”的原则，以保障生态安全和改善环境质量为目的，参考自然资源资产负债表，结合自然资源开发利用效率，提出的分区域分阶段的资源开发利用总量、强度、效率等上线管控要求。

该项目运行中会消耗一定量的电源、水资源，施工期使用一定量预制混凝土材料，不存在资源过度使用情况，符合资源利用上限要求。不会对自然资源及生态安全产生明显影响。

（4）环境准入清单：指基于环境管控单元，统筹考虑生态红线、环境质量底线、资源利用上线管控要求，提出空间布局、污染物排放、资源开发利用等禁止和限制的环境转入情形。

该项目位于合肥市高新技术产业开发区内，根据《关于合肥高新技术产业开发区规划环境影响报告书审查意见》环审[2008]143号文，合肥高新区主要发展以电子信息、生物医药、新材料、光机电一体化及其

它国家鼓励类有关产业和符合《中国高新技术产品目录》的高新技术产业。该项目产品为回旋质子加速器，属于高端医疗诊断、监护及治疗设备，不属于合肥市高新技术产业开发区负面清单产业。因此项目建设满足负面清单要求。

根据《安徽省“三线一单”图集—安徽省环境管控单元图》，该项目属于安徽省生态环境分区管控体系中的重点管控单元，该项目不会新增工作人员，不会新增生活废水，调试机房运行产生极少量的放射性废水经检测达标后方可排放；废气通过厂房的排气系统排出室外，臭氧、氮氧化物排放浓度极低，经过计算，感生放射性废气对周围环境的影响也非常小；该项目运行期间不涉及高噪声设备，仅涉及调试平台区域的通排风设备，均采购低噪设备，能确保达到厂界声环境达标，所以该项目能够满足重点管控单元的要求。

综上所述，该项目的建设不会触及生态红线，不会降低区域环境质量，不会突破自然资源利用上线，符合环境准入清单。因此，该项目的建设符合“三线一单”的要求。

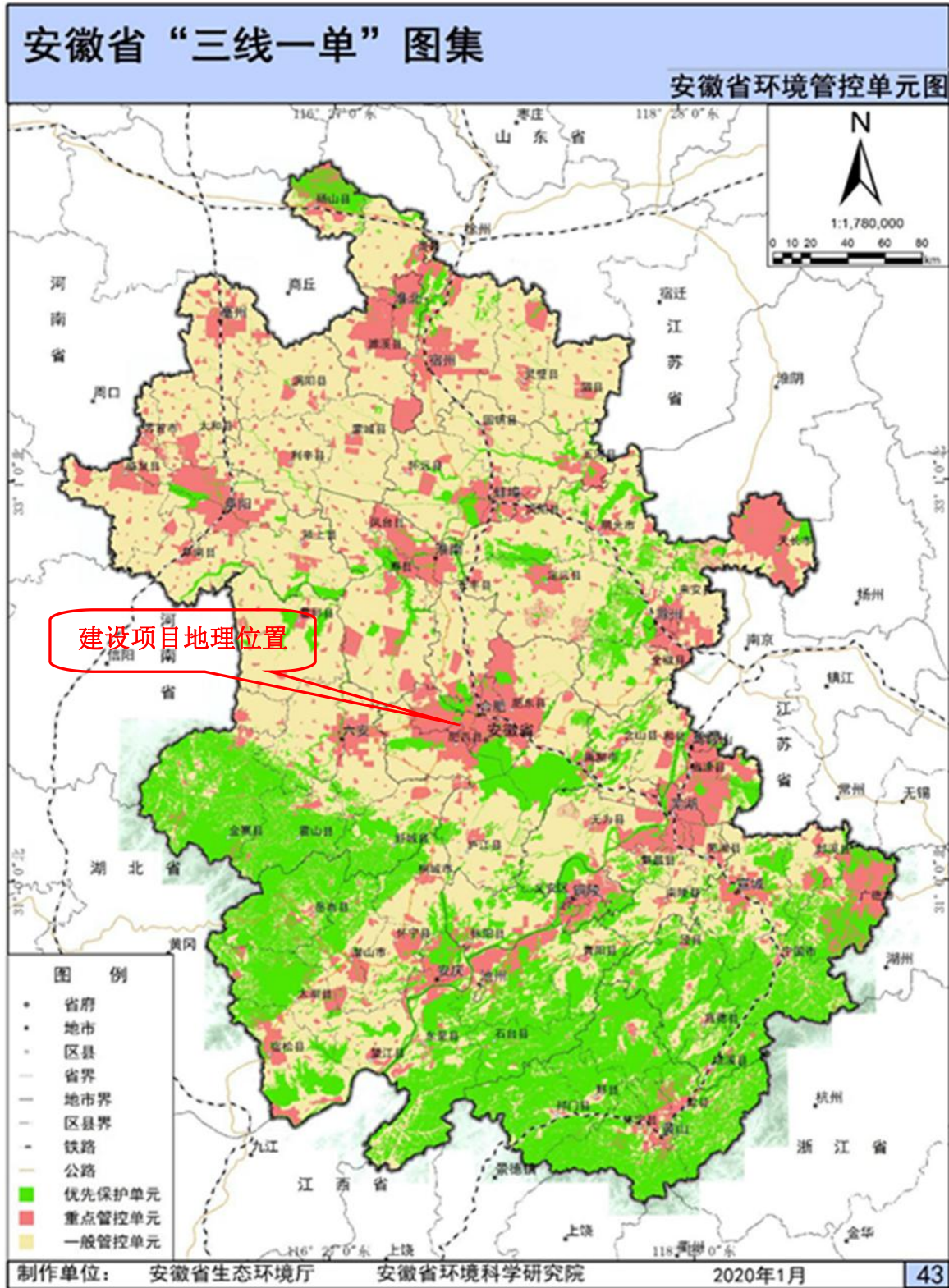


图2-1 安徽省环境管控单元图

3 工程分析与源项

3.1 项目规模

合肥中科离子医学技术装备有限公司厂区位于合肥高新区柏堰湾路与火龙地路交口西南，加速器测试平台项目拟在2#厂房(2-A轴)-(2-C轴)间建设，占地约900m²，主要建设内容包括2间屏蔽室、迷道和辅助配套区，屏蔽体采取装配式搭建。加速器测试平台屏蔽室及迷道结构如图3-1~图3-4所示。

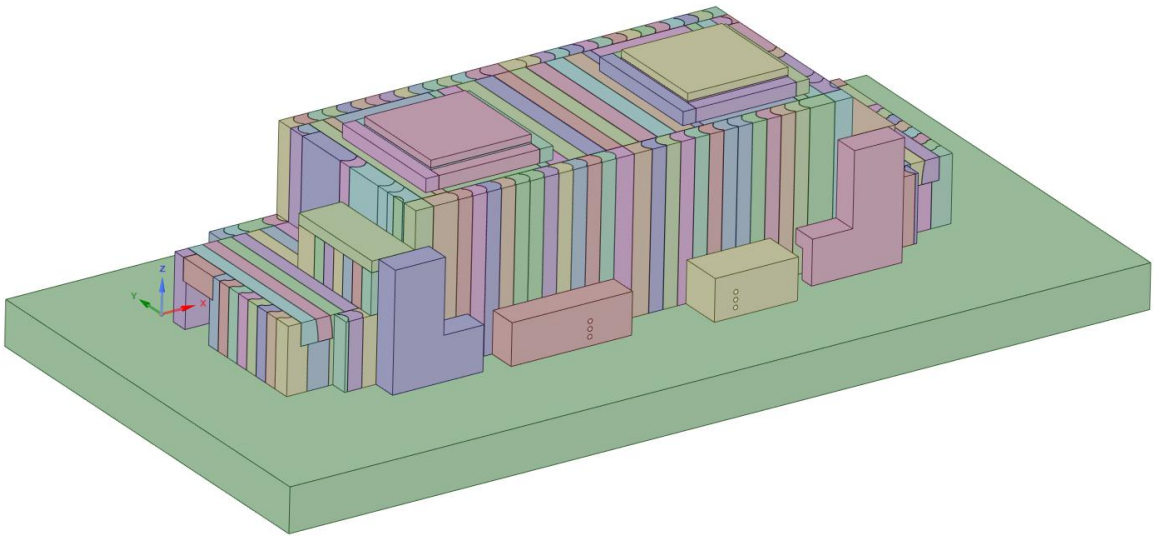


图3-1 加速器测试平台屏蔽室及迷道外部效果示意图

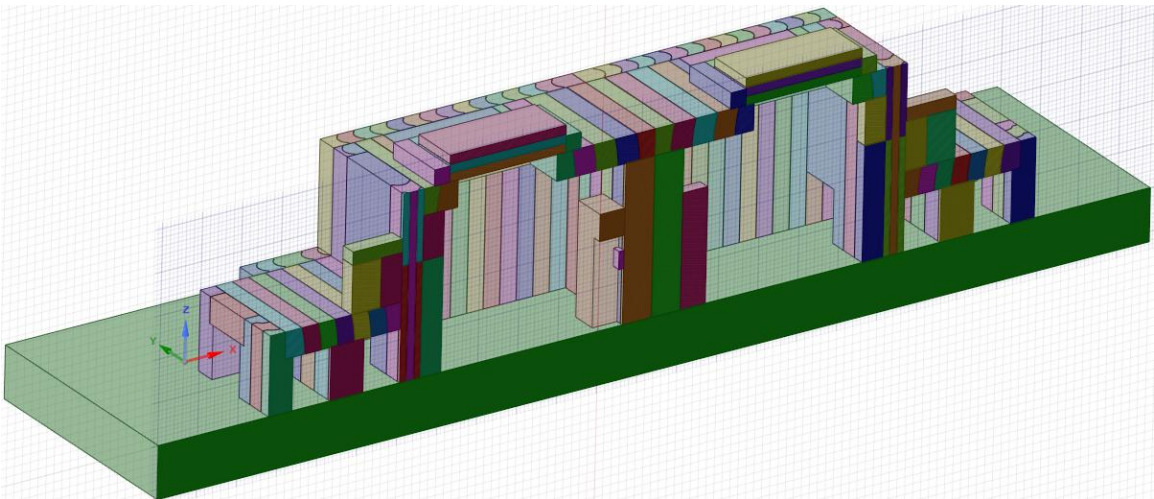


图3-2 加速器测试平台屏蔽室及迷道东西垂直剖面示意图

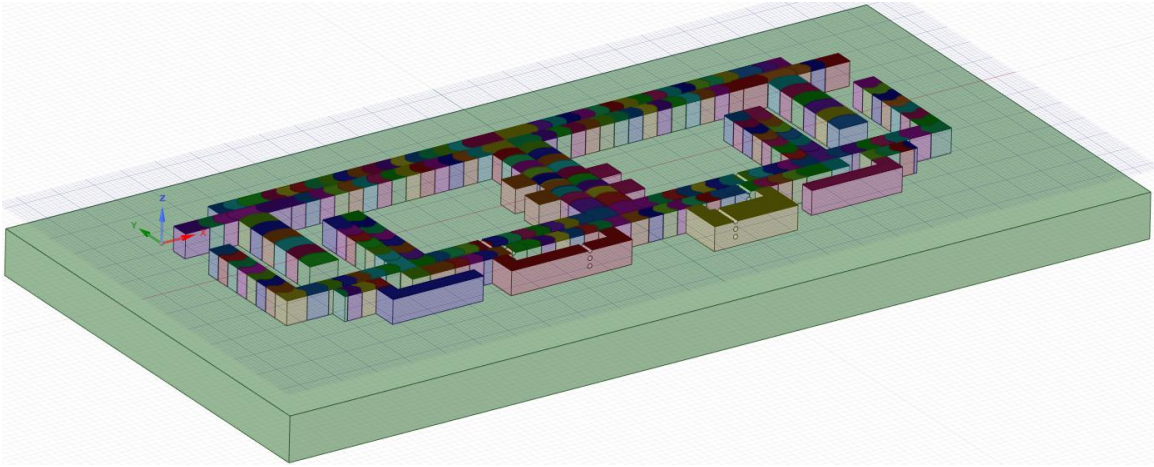


图3-3 加速器测试平台屏蔽室及迷道一楼水平剖面示意图

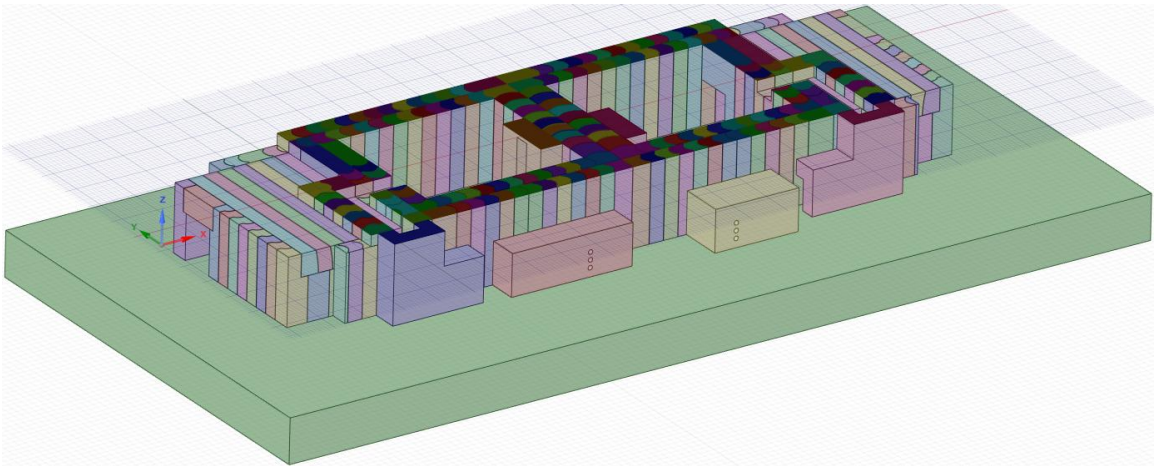


图3-4 加速器测试平台屏蔽室及迷道二楼水平剖面示意图

项目建成后，具备2台加速器同时安装、测试的条件，计划测试的加速器包括SC240超导回旋质子加速器和CIM14-A常导回旋质子加速器两种类型，并形成年产3台SC240超导回旋质子加速器和年产5台CIM14-A常导回旋质子加速器的能力。

3.2 工程设备与工艺分析

3.1.1 超导回旋质子加速器

SC240为超导回旋质子加速器，属于等时性回旋加速器，通过固定

磁场和交变电场将质子束流从离子源引出后不断回旋加速，其旋转半径随着能量的增加而不断增大，束流由keV级能量顺时针旋转最终加速到最高240MeV，通过引出系统引出。

SC240由离子源单元、磁铁单元、射频单元、引出单元、束测单元和真空单元等组成，其结构组成如表3-1、图3-5~图3-7所示。

表 3-1 SC240 超导回旋质子加速器结构组成

序号	子系统名称	部件名称
1	离子源单元	离子源
2	磁铁单元	螺旋磁极
3		超导磁体
4		低温系统
5		磁铁系统
6		举升系统
7	射频单元	中心区
8		RF 主系统
9	引出单元	引出区
10	束测单元	直杆探针
11		曲轨探针
12	真空单元	加速器真空
13		超导绝热真空
14	其他	准直器
15		束流负载

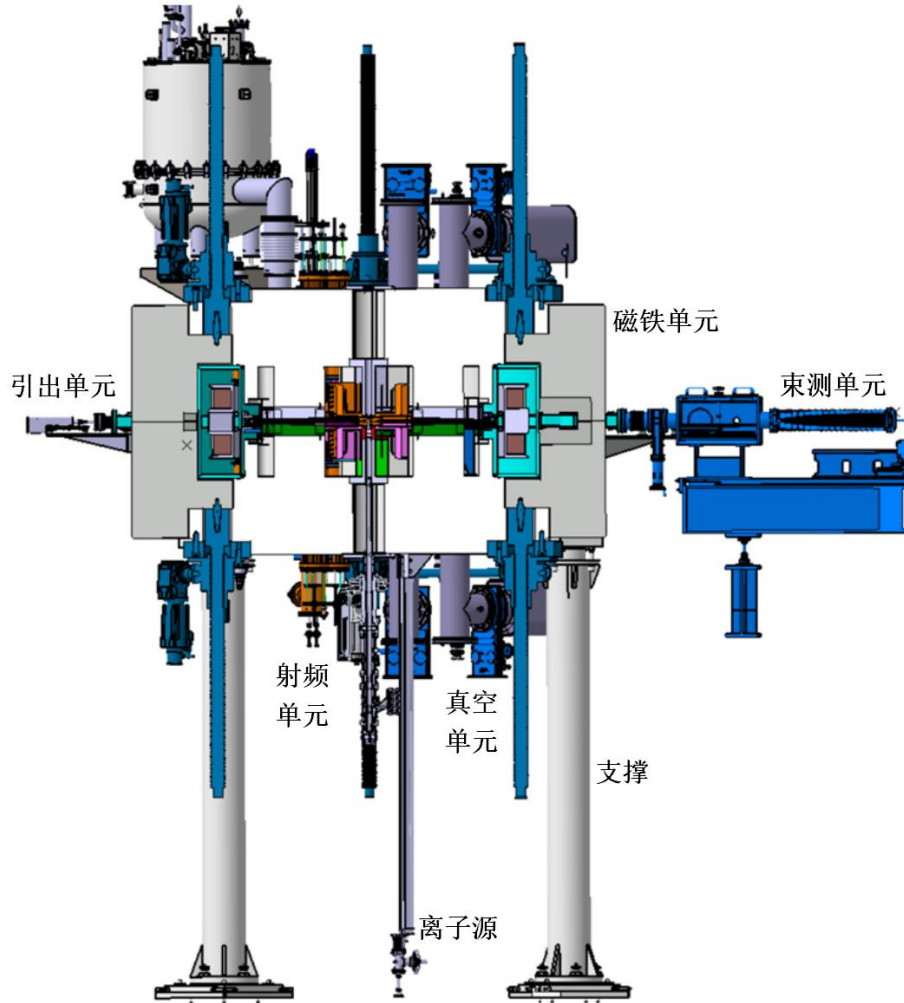


图3-5 SC240超导回旋质子加速器结构竖直剖面图

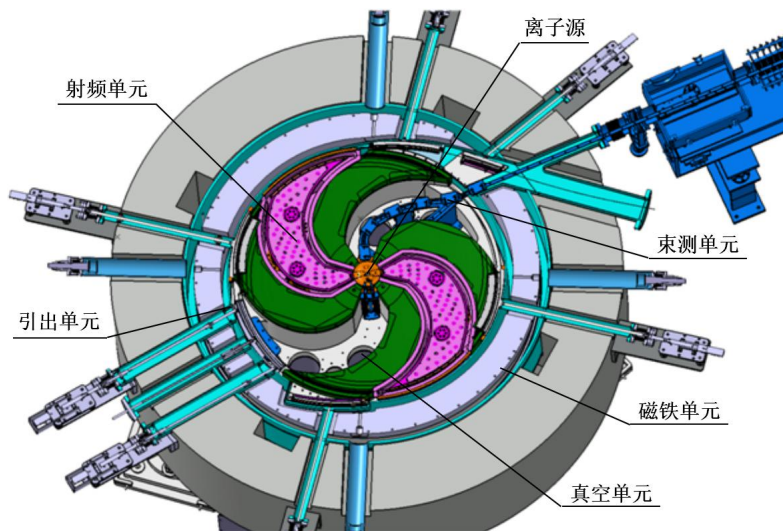


图3-6 SC240超导回旋质子加速器结构水平剖面图

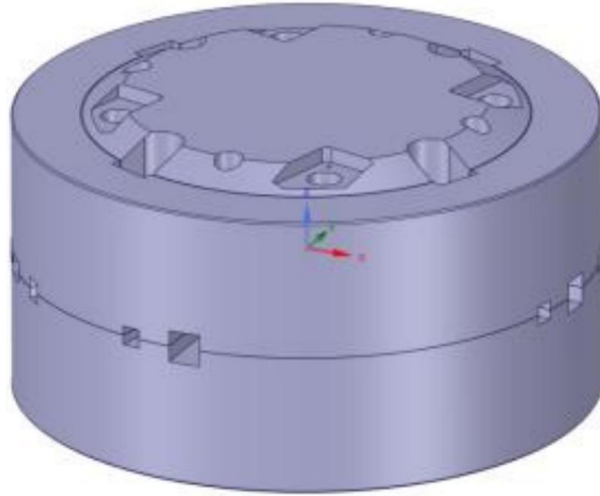


图3-7 SC240超导回旋质子加速器铁轭模型图

SC240超导回旋质子加速器主要技术参数如表3-2所示。

表 3-2 SC240 超导回旋质子加速器主要技术参数

名称	技术指标
加速粒子	质子
引出能量	240MeV
引出流强	10nA
加速器尺寸	$\Phi 3\text{m} \times 1.68\text{m}$
加速器重量	75T
铁轭厚度	上下均为 480mm，侧壁 414mm
线圈最大场强	3.5T
谐波数	2
射频频率	78MHz
引出电场	$< 120\text{kV/cm}$
工作真空度	$3.5 \times 10^{-3}\text{Pa}$

注：SC240 在该加速器测试平台通过硬件联锁限定引出流强不超过 10nA。

在加速器的调试运行过程，SC240的辐射源项主要是加速器内外的束测探针、准直器、束流负载上的束流损失。SC240的具体辐射源项情况如表3-3所示，各束流损失点的具体位置如图3-8所示。加速器设计的调试引出流强上限为10nA，束流每次只能在直杆探针、曲轨探针、准直

器+束流负载这3者中的1种情况损失，不可能同时在2者或3者上损失。

表 3-3 SC240 超导回旋质子加速器束流损失情况

编号	/	①	②	③	④
源项位置	加速过程	直杆探针	曲轨探针	准直器	束流负载
质子能量 (MeV)	0~240	3~240	3~240	240	240
通过前流强 (nA)	/	10	10	10	9.5
通过后流强 (nA)	/	0	0	9.5	0
损失流强 (nA)	/	10	10	0.5	9.5
靶材	/	Cu	Cu/Mo/W	Cu/W	Cu
年损失总时间 (h)	900	300	300	300	300
损失工作量 (nA·h)	/	3000	3000	150	2850

注：1、加速器内的束流损失除上述损失点外，在束流注入和引出部位也存在少量损失。束流注入因其能量低于0.1MeV，损失的束流及其次级射线基本被铁轭等结构屏蔽，不予考虑。束流引出部位的损失集中在靠近MC部件的一对磁极上，损失位置具有一定的分布，因其与直杆探针和曲轨探针相邻（小于10cm），相对于关注点的距离，可视为同一点。因此，将束流引出部位的束流损失，叠加到直杆探针和曲轨探针一并考虑。

2、加速器外的束流损失，因引出束流设计具有特定的参数要求，束流损失主要集中在准直器和终端的束流拦截部件上，束流管道的损失可忽略。

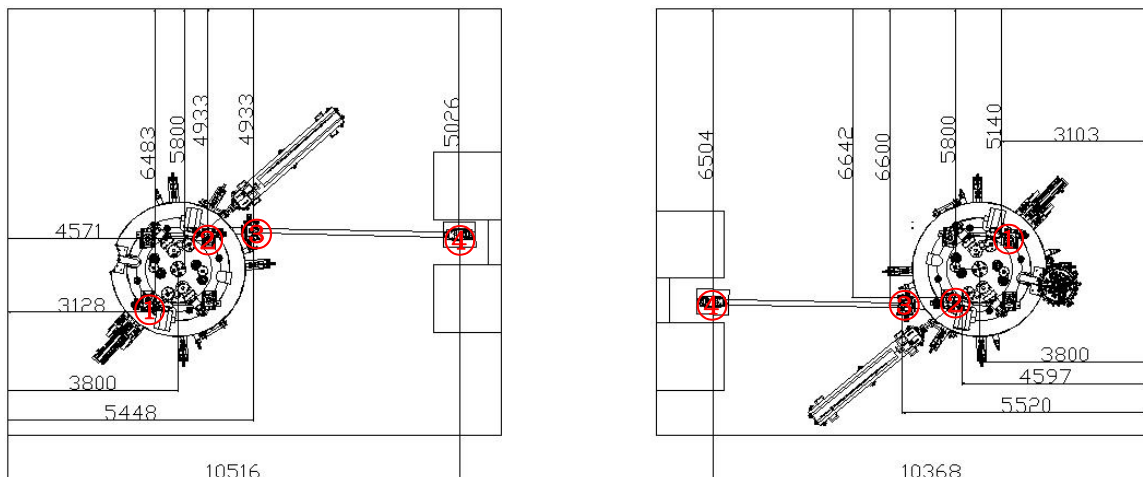


图 3-8 SC240 超导回旋质子加速器束流损失位置

3.1.2 常导回旋质子加速器

CIM14-A为常导回旋质子加速器，属于等时性回旋加速器，通过固定磁场和交变电场将质子束流从离子源引出后不断回旋加速，其旋转半径随着能量的增加而不断增大，束流由keV级能量逆时针旋转最终加速到最高14.2MeV，通过引出系统引出。

CIM14-A由离子源单元、磁铁单元、射频单元、引出单元、束测单元、真空单元等组成，其结构组成如表3-4、图3-9~图3-11所示。

表 3-4 CIM14-A 常导回旋质子加速器结构组成

序号	子系统名称	部件名称
1	离子源单元	离子源
2	磁铁单元	螺旋磁极
3		常导磁体
4		磁铁系统
5		举升系统
6		射频单元
7	RF 主系统	
8	引出单元	剥离靶
9	束测单元	直杆探针
10	真空单元	加速器真空
11	其他	准直器
12		束流负载

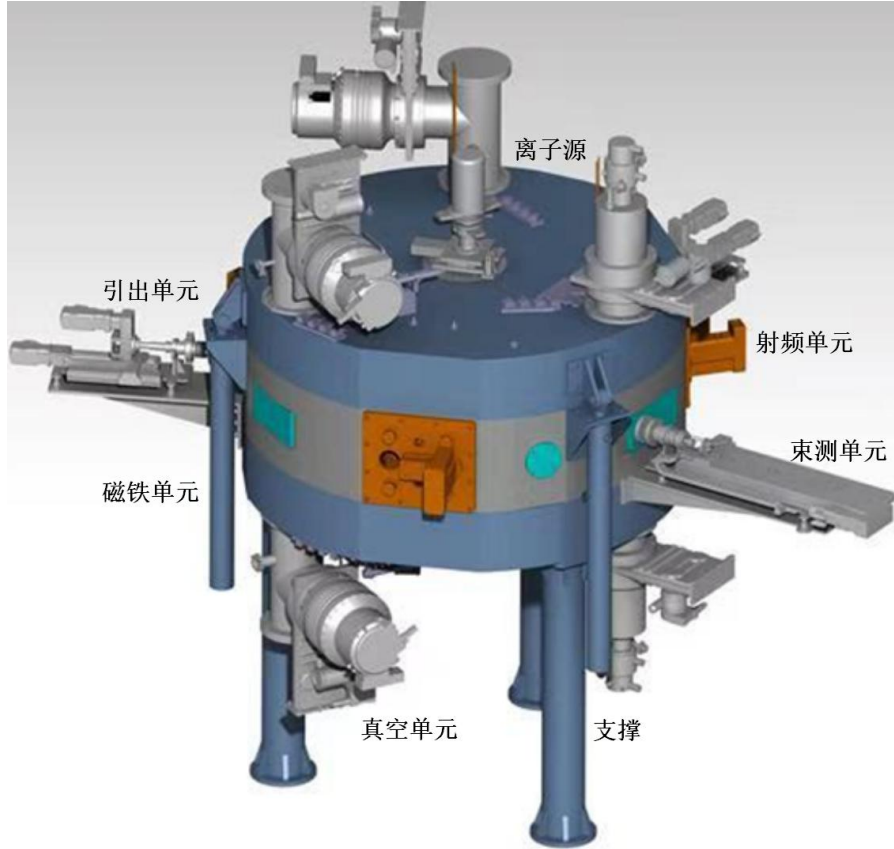


图3-9 CIM14-A常导回旋质子加速器结构图

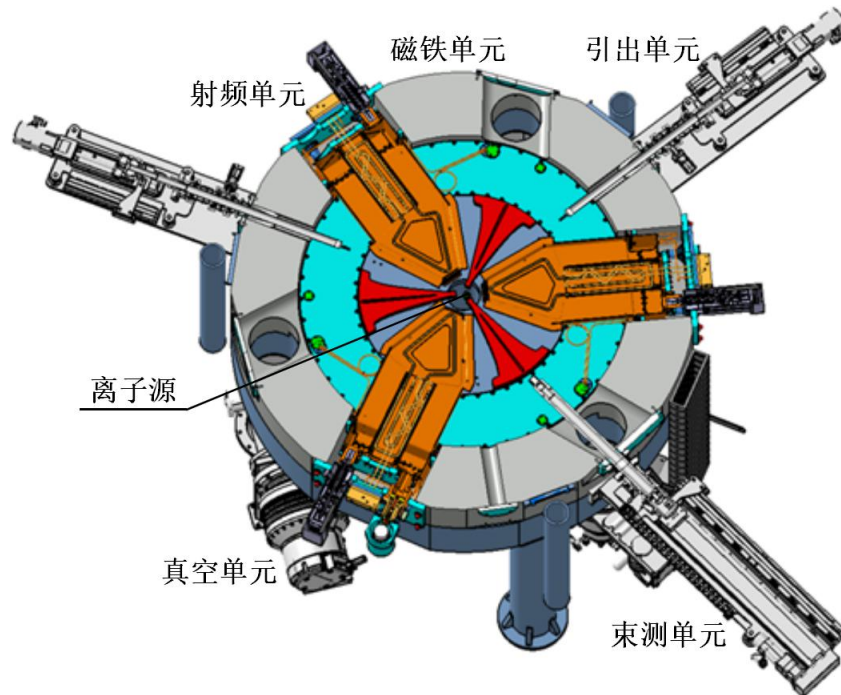


图3-10 CIM14-A常导回旋质子加速器水平剖面图

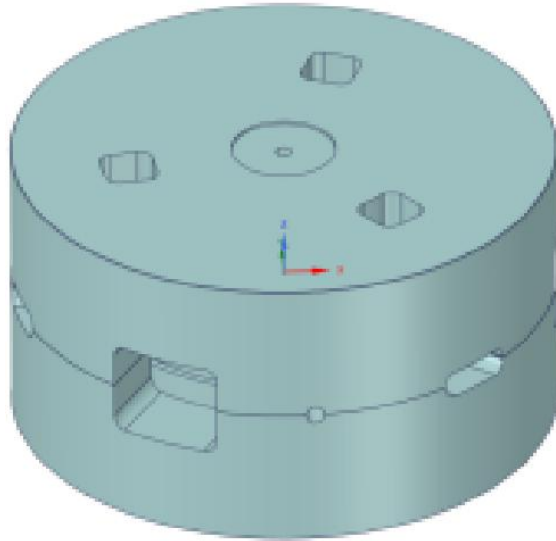


图3-11 CIM14-A常导回旋质子加速器铁轭模型图

CIM14-A常导回旋质子加速器主要技术参数如表3-5所示。

表 3-5 CIM14-A 常导回旋质子加速器主要技术参数

名称	技术指标
加速粒子	质子
引出能量	14.2MeV
引出流强	<100 μ A
加速器尺寸	Φ 1.73m \times 0.92m
加速器重量	16T
铁轭厚度	上下均为 249mm，侧壁 237mm
线圈最大场强	1.57T
谐波数	3
射频频率	71MHz
引出方式	碳膜剥离引出
工作真空度	3.5×10^{-3} Pa

在加速器的调试运行过程，CIM14-A的辐射源项主要是加速器内外的束测探针、准直器、束流负载上的束流损失。CIM14-A的具体辐射源项情况如表3-6所示，各束流损失点的具体位置如图3-12所示。加速器设计的调试引出流强上限为100 μ A，束流每次只能在直杆探针、准直器1+

束流负载1、准直器2+束流负载2这3者中的1种情况损失，不可能同时在2者或3者上损失。

表 3-6 CIM14-A 常导回旋质子加速器束流损失情况

编号	/	①	②	③	④	⑤
源项位置	加速过程	直杆探针	准直器 1	束流负载 1	准直器 2	束流负载 2
质子能量 (MeV)	0~14.2	3~14.2	14.2	14.2	14.2	14.2
通过前流强 (μA)	/	100	100	95	100	95
通过后流强 (μA)	/	0	95	0	95	0
损失流强 (μA)	/	100	5	95	5	95
靶材	/	Mo	Cu	Cu	Cu	Cu
年损失总时间 (h)	800	200	300	300	300	300
损失工作量 ($\mu\text{A}\cdot\text{h}$)	/	20000	1500	28500	1500	28500

注：1、加速器内的束流损失除上述损失点外，在束流注入部位也存在少量损失。束流注入因其能量低于0.1MeV，损失的束流及其次级射线基本被铁轭等结构屏蔽，不予考虑。束流采用剥离方式引出，引出过程的损失可忽略。

2、加速器外的束流损失，因引出束流设计具有特定的参数要求，束流损失主要集中在准直器和终端的束流拦截部件上，束流管道的损失可忽略。

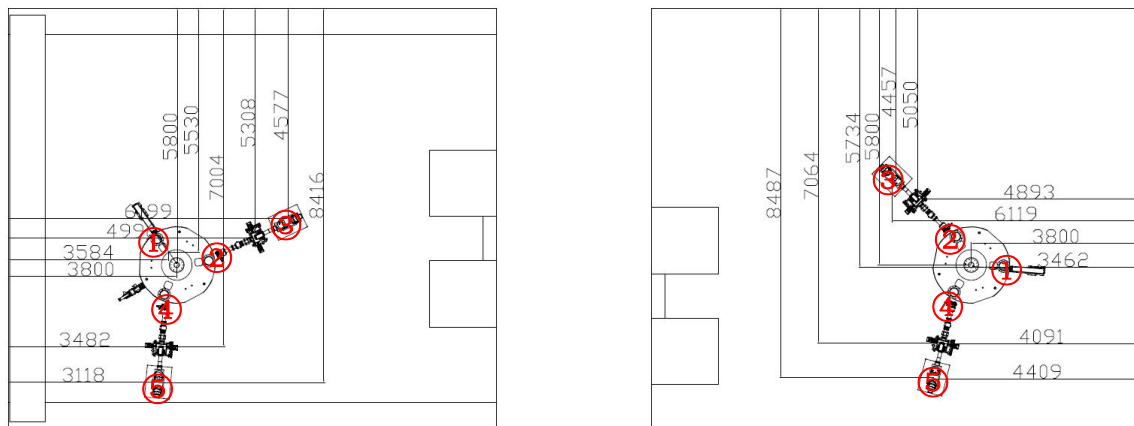


图 3-12 CIM14-A 常导回旋质子加速器束流损失位置

3.1.3 工艺分析

该项目实际包括了质子加速器生产（含在测试平台安装调试）、销售（含在客户单位现场安装调试）两个阶段。具体工艺流程及产污环节如图3-13所示。

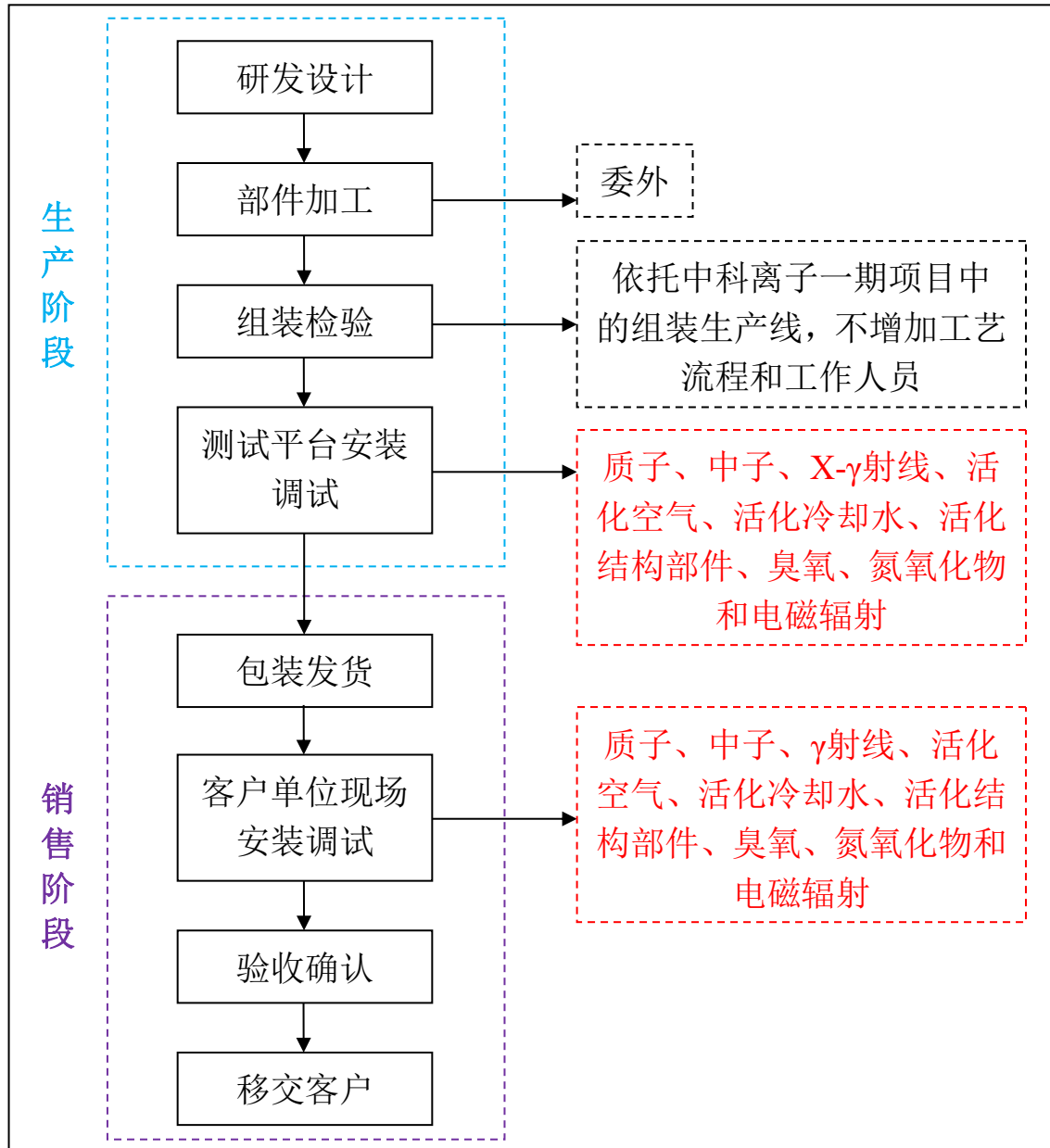


图 3-13 质子加速器工艺流程及产污环节示意图

质子加速器的生产包括研发设计、部件加工、组装检验、安装调试

等活动。建设单位根据市场需求或客户要求，开展质子加速器工艺研发设计，设计确定后，委外进行零部件加工或通过市场直接采购，零部件到货后，依托中科离子一期项目中的组装生产线，在厂区内进行简单装配，中科离子一期项目的组装生产线能满足该项目生产需要，该项目建成后，计划增加约15名辐射工作人员，但厂区内的劳动定员不会超过中科离子一期项目确定的170人。

回旋质子加速器调试工艺是从离子源开始，逐步将束流按预定轨道逐圈往外调束，到达预期能量（240MeV或14.2MeV）后，通过引出系统导出加速器，束流最终被束流负载拦截。调试过程中，可能涉及零部件更换、排除了故障等工作。

3.3 污染源项

该项目涉及的SC240超导回旋质子加速器束流由keV级能量最终加速到最高240MeV，CIM14-A常导回旋质子加速器束流由keV级能量最终加速到最高14.2MeV。运行期间主要的辐射污染为开机出束时产生的“瞬发辐射”和停机后依然存在的“缓发辐射”。

瞬发辐射是质子加速器运行时损失的粒子束流与结构部件、终端负载等发生核反应产生的，特点是能量高、辐射强，但随着质子加速器停机而完全消失。瞬发辐射一般远高于感生放射辐射，它决定了对质子加速器测试机房的屏蔽厚度的设计要求。

缓发辐射主要来自与结构部件、设备冷却水、机房内空气等被主束或次级粒子轰击产生的活化产物，在质子加速器停机后依然存在。由于辐射工作人员在质子加速器停机后需要进入机房内开展检查、维护维修等工作，因此，缓发辐射是辐射工作人员所受剂量的主要来源之一。

3.3.1 瞬发辐射

对于回旋质子加速器，在质子束流形成、加速、准直和引出等过程中，都会发生束流损失。质子与物质相互作用，以原子电离和激发过程为主，同时穿过原子核的库仑势垒，进原子核内部，发生核内级联，通过 (p, n) 、 (p, pn) 、 $(p, 2n)$ 、 (p, α) 、 (p, γ) 等核反应产生瞬发中子、 γ 光子和其他粒子。

在产生的次级粒子中，不论是产生的量还是穿透能力均远小于中子，带电粒子因电离作用迅速停止， γ 光子在经过屏蔽材料时大都被吸收， γ 辐射场较中子辐射场低1~2个数量级。因此，打靶产生的辐射场主要为次级中子，次级中子能量由低到高可分为热中子、蒸发中子和级联中子三部分。在屏蔽墙体的作用下，初始的热中子、蒸发中子和 γ 射线的数量迅速减少，不能穿透深屏蔽，级联中子成为穿透屏蔽墙的主要贡献者。

3.3.2 缓发辐射

回旋质子加速器产生的缓发辐射主要来自与结构部件、设备冷却水、机房内空气等被主束或次级粒子轰击产生的活化产物，缓发辐射的强度取决于加速粒子的能量、种类、流强、加速器运行时间、被照材料性质等因素。

回旋质子加速器产生的缓发辐射对周围环境的辐射影响较小，主要是对质子加速器停机后，需要进入机房内进行检查、维护维修操作的工作人员造成辐射影响。此次评价主要考虑空气、冷却水、结构部件、土壤和地下水的感生放射性。

3.3.2.1 空气活化

回旋质子加速器运行期间产生的次级中子与空气中的N、O、H等通

过热中子俘获、 (γ, n) 反应和散裂反应等产生 ^3H 、 ^7Be 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 等放射性核素。

根据NCRP.144号报告（P339），对于长半衰期核素 ^3H 和 ^7Be ，其产生率较低，可不必考虑。空气感生放射性计算中主要考虑 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 。

(1) 预测公式

考虑通风的情况下，回旋质子加速器连续运行 t 时间后，停机时刻房间内空气活化产生的感生放射性核素活度浓度可由式 3-1 计算：

$$C_t = \frac{\lambda}{\lambda+r} N \sigma \phi (1 - e^{-\frac{\lambda}{\lambda+r} t}) \quad (3-1)$$

式中： C_t 为加速器运行 t 时间后，房间内空气中感生放射性核素的活度浓度， Bq/cm^3 ；

λ 为放射性核素的衰变常数， s^{-1} ； $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ ；

r 为房间的换气次数， s^{-1} ；

σ 为靶核的活化截面， cm^2 ；

ϕ 为中子注量率， $\text{n}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ；

N 为单位体积空气中靶核的数目， $\text{个}/\text{cm}^3$ ；

$$N = \frac{\rho}{M} \times f \times \theta \times N_A \quad (3-2)$$

式中： ρ 为空气的密度， g/cm^3 ；

M 为靶核的原子质量， g ；

f 为母核在空气中的质量份额；

θ 为母核的同位素丰度；

N_A 为阿伏伽德罗常数， $6.023\text{E}+23$ 。

由于空气中感生放射性核素的半衰期相对于加速器的运行时间较

短，核素的浓度很容易达到饱和，因此，可将上式简化为计算饱和浓度，用饱和浓度评价也是偏安全的，简化成式 3-3：

$$C = \frac{\lambda}{\lambda + r} N \sigma \phi \quad (3-3)$$

加速器连续运行 t 时间后，再停机通风 t_c 时间后，房间内空气感生放射性核素活度浓度可由式 3-4 计算得到：

$$C_{t_c} = C_t \cdot e^{-(\lambda+r)t_c} \quad (3-4)$$

(2) 参数选取及预测结果

利用式 3-3 可计算得出回旋质子加速器运行期间，测试机房内空气感生放射性核素的饱和活度，具体预测参数及结果详见表 3-7 和表 3-8。

表 3-7 单位体积空气中靶核的数目

放射性核素	靶核	ρ (g/cm ³)	M (g)	f	θ (%)	N_A	N (个/cm ³)
¹¹ C	¹² C	1.21E-03	12	1.50E-04	99.759	6.023E+23	9.09E+15
¹³ N	¹⁴ N	1.21E-03	14	7.80E-01	99.625	6.023E+23	4.05E+19
¹⁵ O	¹⁶ O	1.21E-03	16	2.12E-01	99.759	6.023E+23	9.63E+18
⁴¹ Ar	⁴⁰ Ar	1.21E-03	40	4.60E-03	99.60	6.023E+23	8.35E+16

3-8 机房内空气感生放射性核素的饱和活度浓度

放射性核素	$T_{1/2}$ (s)	r (s ⁻¹)	N (个/cm ³)	σ (cm ²)	ϕ (n/cm ² ·s)	C (Bq/cm ³)
¹¹ C	1.22E+03	1.67E-3	9.09E+15	2.00E-26	4.97E+06	2.29E-04
¹³ N	6.00E+02	1.67E-3	4.05E+19	3.00E-26	4.97E+06	2.47E+00
¹⁵ O	1.26E+02	1.67E-3	9.63E+18	6.00E-26	4.97E+06	2.20E+00
⁴¹ Ar	6.48E+03	1.67E-3	8.35E+16	6.10E-25	4.97E+06	1.52E-02

注：1、根据项目建设单位提供的材料，测试机房设计排风为 5.3 次/h。

2、在计算空气感生放射性时，采用距靶点 1m 处时 0°方向的中子注量率作为平均中

子注量率进行计算是一种比较保守的方法。GBZ/T 201.5-2015 附录 D 给出了不同能量的单个质子打不同物质的靶时的总中子产额（详见图 3-14），以总中子产额作为 0° 方向的中子产额保守计算 0° 方向的中子注量率，由此可计算得出中子注量率。

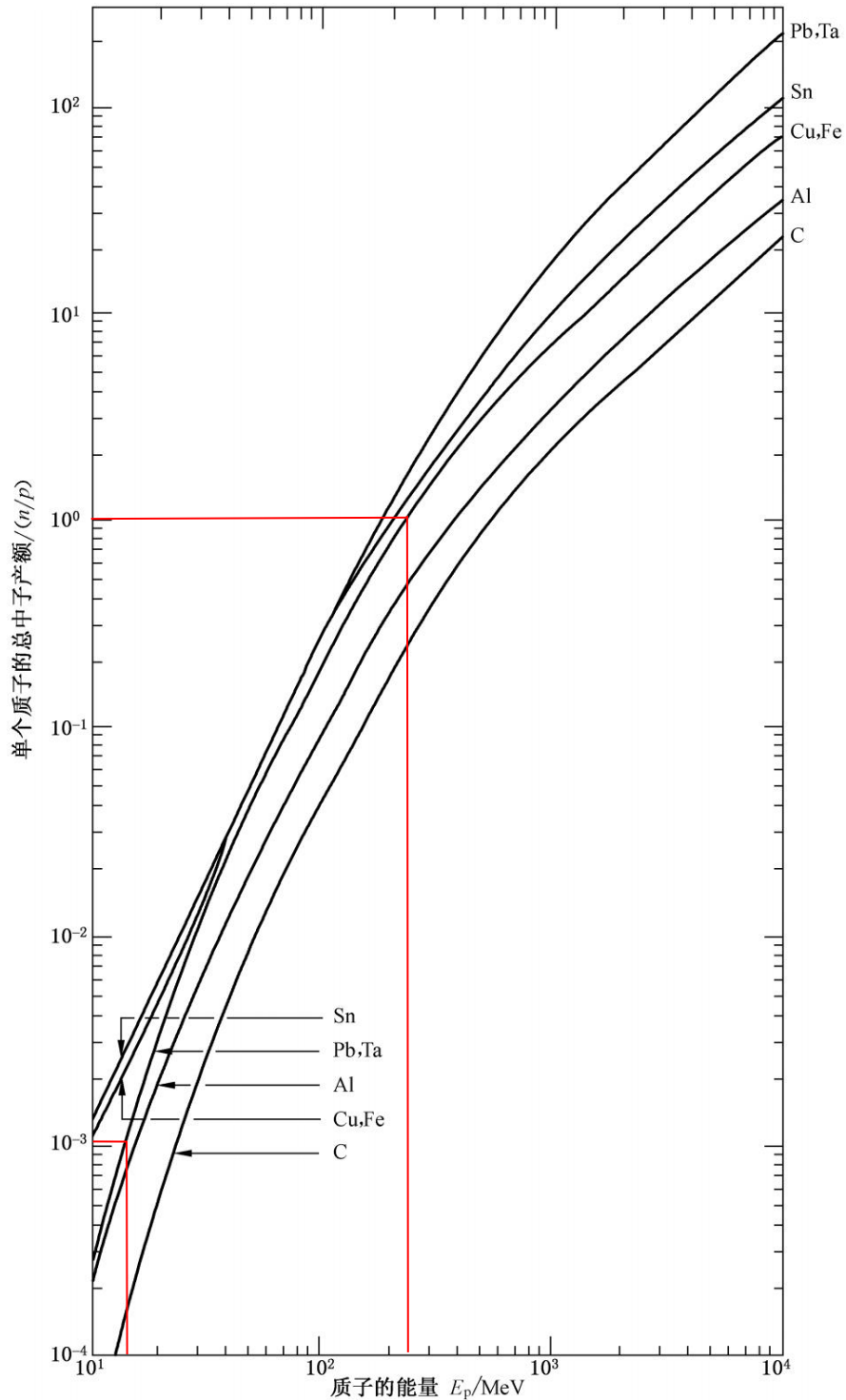


图 3-14 不同能量的单个质子打不同物质的靶时的总中子产额

由图 3-14 可知：SC240 束流损失方向上的中子注量率为 $6.29 \times 10^9 \times 10 \times 10^0 = 6.29 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ ；CIM14-A 束流损失方向上的中子注量率为 $6.29 \times 10^9 \times 100 \times 10^3 \times 10^{-3} = 6.29 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 。中子注量率 CIM14-A 较 SC240 大一个数量级，因此，以 CIM14-A 进行保守预测。

3、 σ 取值来自《加速器保健物理》（H.W.帕特森，R.H.托马斯）P297，表 7.4， σ 取值与中子的能量有关，此次评价采用“总截面”进行保守估算。

考虑到回旋质子加速器停机后，至少通风 0.5h 后工作人员才能进入回旋质子加速器测试机房内部，则由式 3-4 可计算得出，回旋质子加速器停机通风 0.5h 后，回旋质子加速器测试机房内空气感生放射性核素的活度浓度，具体预测参数及结果详见表 3-9。

表 3-9 停机通风 0.5h 后机房内空气感生放射性核素的饱和活度浓度

放射性核素	$T_{1/2}$ (s)	r (s^{-1})	t_c (s)	C (Bq/cm^3)	C_{tc} (Bq/cm^3)	DAC (Bq/cm^3)
^{11}C	1.22E+03	1.67E-3	1800	2.29E-04	4.08E-06	1.00E+01
^{13}N	6.00E+02	1.67E-3	1800	2.47E+00	1.53E-02	7.00E-02
^{15}O	1.26E+02	1.67E-3	1800	2.20E+00	5.45E-06	7.00E-02
^{41}Ar	6.48E+03	1.67E-3	1800	1.52E-02	6.22E-04	2.00E+00

注：DAC 为职业照射导出放射性核素的空气浓度限值。其值取自《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）附录 C 中表 C3，表 C4，表 C5 和表 C10。

由表 3-8 和表 3-9 可知，测试机房内空气感生放射性核素的饱和活度浓度超过导出放射性核素的空气浓度限值，回旋质子加速器停机后连续通风 0.5h 后，测试机房内空气中的 ^{13}N 等的活度浓度满足导出放射性核素的空气浓度限值。

3.3.2.2 冷却水活化

回旋质子加速器运行期间，用于冷却 RF 等器件的冷却水，在由束流

损失产生的中子辐射场的照射下被活化。高能中子与冷却水中的氧发生散裂反应，产生 ^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等放射性核素，各放射性核素的参数见表3-10。

表 3-10 冷却水中产生的主要感生放射性核素及其参数

放射性核素	半衰期 (s)	核反应	反应截面 σ (barns)
^3H	3.88E+08	$^{16}\text{O} (\text{n}, \text{X}) ^3\text{H}$	6.00E-03
^7Be	4.56E+06	$^{16}\text{O} (\text{n}, \text{X}) ^7\text{Be}$	2.00E-03
^{11}C	1.22E+03	$^{16}\text{O} (\text{n}, \text{X}) ^{11}\text{C}$	3.50E-03
^{13}N	6.00E+02	$^{16}\text{O} (\text{n}, \text{X}) ^{13}\text{N}$	7.00E-04
^{15}O	1.26E+02	$^{16}\text{O} (\text{n}, \text{X}) ^{15}\text{O}$	1.40E-02

注：核反应方程中的X代指除重点关注核素以外的其他核素。

(1) 预测公式

回旋质子加速器运行期间，当冷却水经无数次循环，活化产生的放射性核素的饱和活度浓度可由式 3-5 计算：

$$C(i) = N\sigma_i\Phi \frac{1 - e^{-\lambda_i t_v}}{1 - e^{-\lambda_i T}} \quad (3-5)$$

式中： $C(i)$ 为冷却水中第*i*种放射性核素的饱和浓度， Bq/cm^3 ；

N 为冷却水中母核（ ^{16}O ）的原子数密度，取值 $3.34 \times 10^{22} \text{cm}^{-3}$ ；

σ_i 为中子与母核（ ^{16}O ）生成核素*i*的截面， cm^2 ；

ϕ 为中子注量率， $\text{n}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ；

λ_i 为放射性核素的衰变常数， s^{-1} ， $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ ；

t_v 为冷却水循环一周内流经靶室被中子辐照的时间， s ；

T 为冷却水循环一周的时间， s 。

(2) 参数选取及预测结果

利用式 3-5 可计算得出回旋质子加速器运行期间，冷却水中活化产

生的放射性核素的饱和活度浓度，具体预测参数及结果详见表 3-11。

表 3-11 冷却水中活化产生的放射性核素的饱和活度浓度

放射性核素	$T_{1/2}$ (s)	t_v (s)	T (s)	N (cm^{-3})	σ_i (cm^2)	ϕ ($\text{n}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)	$C(i)$ (Bq/cm^3)
^3H	3.88E+08	2.5	53	3.34E+22	6.00E-27	1.62E+08	1.53E+03
^7Be	4.56E+06	2.5	53	3.34E+22	2.00E-27	1.62E+08	5.11E+02
^{11}C	1.22E+03	2.5	53	3.34E+22	3.50E-27	1.62E+08	9.07E+02
^{13}N	6.00E+02	2.5	53	3.34E+22	7.00E-28	1.62E+08	1.84E+02
^{15}O	1.26E+02	2.5	53	3.34E+22	1.40E-26	1.62E+08	4.09E+03
合计							1.20E+04

注：1、SC240 束流损失点与水冷管路的最近距离约 68mm，CIM14-A 束流损失点与水冷管路的最近距离约 175mm，但由于 CIM14-A 束流损失大，离束流损失点最近水冷管路处的中子注量率较 SC240 略大，因此以 CIM14-A 进行保守预测。

2、冷却水流经靶室的时间东、西机房均约为 2.5s，但西机房冷却水循环一周的时间为 53s，东机房冷却水循环一周的时间为 80s，因此，以西机房进行保守预测。

正常运行情况下，设备冷却水闭路循环不排放，只是在设备相关部位检修时才需要排放。根据项目建设单位提供的材料，每个机房使用相同的水冷系统，仅一回路冷却水进入测试机房，西机房 0.4m^3 ，东机房 0.6m^3 ，水冷室 0.5m^3 。所有一回路冷却水均排入 SC200 超导回旋质子治疗系统工程在集成测试厂房西北角已建 5m^3 放射性废水贮存池。SC200 超导回旋质子治疗系统一回路冷却水共 2m^3 ，该项目两机房一回路冷却水共 1.5m^3 ，考虑极限情况下，同时有 3.5m^3 活化冷却水排入放射性废水贮存池，而实际上水冷管路布局高低错落，活化的冷却水不可能全部排入放射性废水贮存池，因此，该项目依托 SC200 超导回旋质子治疗系统工程已建 5m^3 放射性废水贮存池是可行的。

活化冷却水经一定时间暂存后，短半衰期核素 ^{15}O 、 ^{13}N 和 ^{11}C 等将迅速衰变，浓度也很快降低，因此只需考虑半衰期较长的 ^3H 和 ^7Be 。对衰变池中冷却水进行采样，分析 ^3H 和 ^7Be 活度浓度，在活度浓度达标并经生态环境主管部门同意后排入厂区污水管网。

3.3.2.3 结构部件活化

回旋质子加速器结构部件的感生放射性主要是粒子直接与结构材料相互作用产生。质子加速器产生感生放射性的主要部位是束流损失较大的部位，如束流管、偏转磁铁、探针、准直器、负载等，其主要材料为铁、不锈钢、铜、钼、钨等。相关实验研究表明，回旋质子加速器停机后被活化部件中主要是 ^{54}Mn 、 ^{51}Cr 、 ^{52}Mn 和 ^{60}Co 等半衰期较长的核素。

根据刘原中等人发表的《高能质子加速器治疗系统应用中的环境安全问题》（原子能科学技术，第38卷增刊，2004年7月），回旋质子加速器结构部件的放射性比活度在 10^6Bq/kg 量级。超出了豁免水平，需对拆卸下来的部件加强管理，进行辐射水平监测、登记，暂存在专用的贮存装置内。

项目建设单位根据SC200超导回旋质子治疗系统调试及以往工作经验，预计该项目每3~5年更换一次冷却水离子交换树脂，每次更换产生约45kg废弃的冷却水离子交换树脂，其他含感生放射性的结构部件预计每年产生约30kg。

该项目依托在集成测试厂房一层北侧的准备服务区已设置的放射性固体废物暂存间，贮存间容积为 75m^3 。拆除的活化结构部件按国家有关规范包装后，集中存放在暂存间内，最终委托项目所在地城市放射性固废处置中心或其他有资质的单位处置。

3.3.2.3 土壤和地下水活化

该项目回旋质子加速器测试机房混凝土地板厚度1.6m~2.4m，机房混凝土地板外表面的剂量率详见表3-12。由此可知，该项目回旋质子加速器测试机房混凝土地板外表面的剂量率低于5mSv/h，该项目的运行对土壤和地下水的影响可忽略。

表 3-12 机房混凝土地板外表面剂量率预测参数及结果

关注点	束流损失 (nA)	$H_{casc}(\theta)$ (Sv · m ²)	混凝土地板		衰减长度 (g/cm ²)	距离 (m)	剂量率 (μSv/h)
			厚度 (cm)	密度 (g/cm ³)			
机房混凝土地板外表面	10	5.7E-16	160	2.38	63	5.25	11.0
	10	5.7E-16	240	2.38	63	5.25	0.54

3.3.3 电磁辐射

SC240超导回旋质子加速器的射频系统会产生约78MHz的高频电磁场，CIM14-A常导回旋质子加速器的射频系统会产生约71MHz的高频电磁场。质子加速器自身及射频系统设有金属壳体包裹，能有效屏蔽电磁辐射，不会对周边电磁环境造成影响。

3.4 废弃物

3.4.1 放射性废弃物

回旋质子加速器运行期间，会产生放射性废气、放射性废水和放射性固体废物，各种放射性废弃物的来源、种类、活度浓度或比活度、总量、处理或排放方式详见表3-13。

表 3-13 放射性废弃物一览表

废弃物类型	来源	产生浓度或产生量	废弃物分类	处理或排放方式
放射性废气	被活化的测试机房内空气	2.00E+00Bq/cm ³	低放废气	经通风系统直接排入外环境
放射性废水	被活化的冷却水	1.20E+04Bq/cm ³	低放废水	收集贮存定期监测，达标后经主管部门许可后外排
放射性固体废弃物	冷却水交换树脂	每 3~5 年更换一次，每次约 45kg	低放废物	分类收集后存于放射性固体废物暂存间内，达到一定量后委托有资质单位处置
	被活化的回旋质子加速器结构部件和负载	30kg/a	中、低放废物	

回旋质子加速器运行期间产生各类放射性固体废物经分类收集、简易包装后送入放射性固体废物暂存间，在暂存间按照《低、中放水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）相关要求分类收集、包装后，装入带有分类标记的专用容器内暂存。放射性固体废弃物暂存量超过暂存间50%容积（37.5m³）后，委托城市放射性固废处置中心或其他有资质的单位处置。

3.4.1 非放射性废弃物

①废气：项目运行过程中的非放射性废气主要为空气经 γ 射线照射后，发生辐解反应，最后产生臭氧（O₃）和二氧化氮（NO₂）。其浓度详见5.2.4.1章节，非放射性废气经通风系统从厂房屋顶排入外环境。

②噪声：调试机房的通排风系统风机、冷却水泵运行会产生一定的噪声。噪声影响分析详见 5.2.4.2 章节。

③固废：该项目质子加速器运行过程中，在调试、检修等阶段将产

生一定量固体废物，年产生量预计约10kg/a，主要为不含感生放射性的零部件、包装材料、真空清洗安装和线缆安装所产生的废物，经集中收集后，由当地物资公司回收利用。

4 辐射安全与防护

考虑到该项目涉及在厂内调试机房内进行质子加速器的调试以及在用户单位进行质子加速器的整机安装调试、维修维护工作，相应的辐射安全与防护措施不完全相同，因此按照上述两类辐射工作场所的辐射安全与防护措施分别进行论述和分析。

4.1 场所布局与屏蔽

4.1.1 场所布局

（一）辐射工作场所分区

为便于辐射防护管理和职业照射控制，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，应将辐射工作场所分为控制区和监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指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。

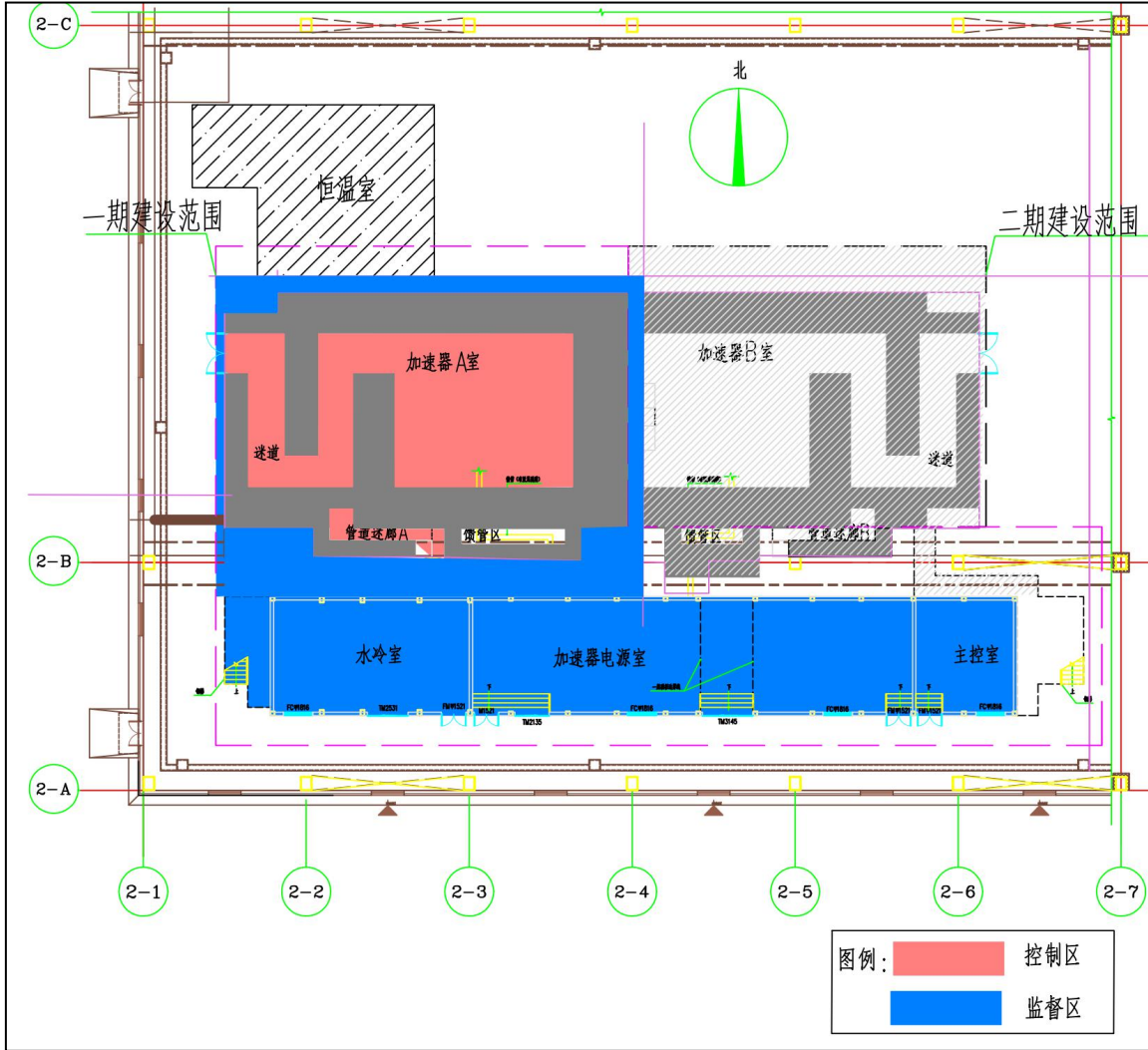
辐射工作场所分区详见图 4-1，具体分区如下：

控制区：2 间测试机房。监督区：水冷室、加速器电源室、主控室等辅助机房及紧邻控制区屏蔽墙体（门）外 1m 的区域。

控制区管理要求：各机房控制区入口处明显位置粘贴电离辐射警告标志，钥匙联锁列入安全联锁系统。加速器带束调试期间禁止进入，仅经授权并解除联锁后才能进入控制区内，进入控制区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；放射性固体废物贮存库设置双人双锁，入口处明显位置粘贴电离辐射警告标志。

监督区管理要求：监督区入口处设标牌表明监督区，监督区地面设置黄色警示线，辅助机房设置门禁，进入监督区的辐射工作人员必须佩

戴个人剂量计。



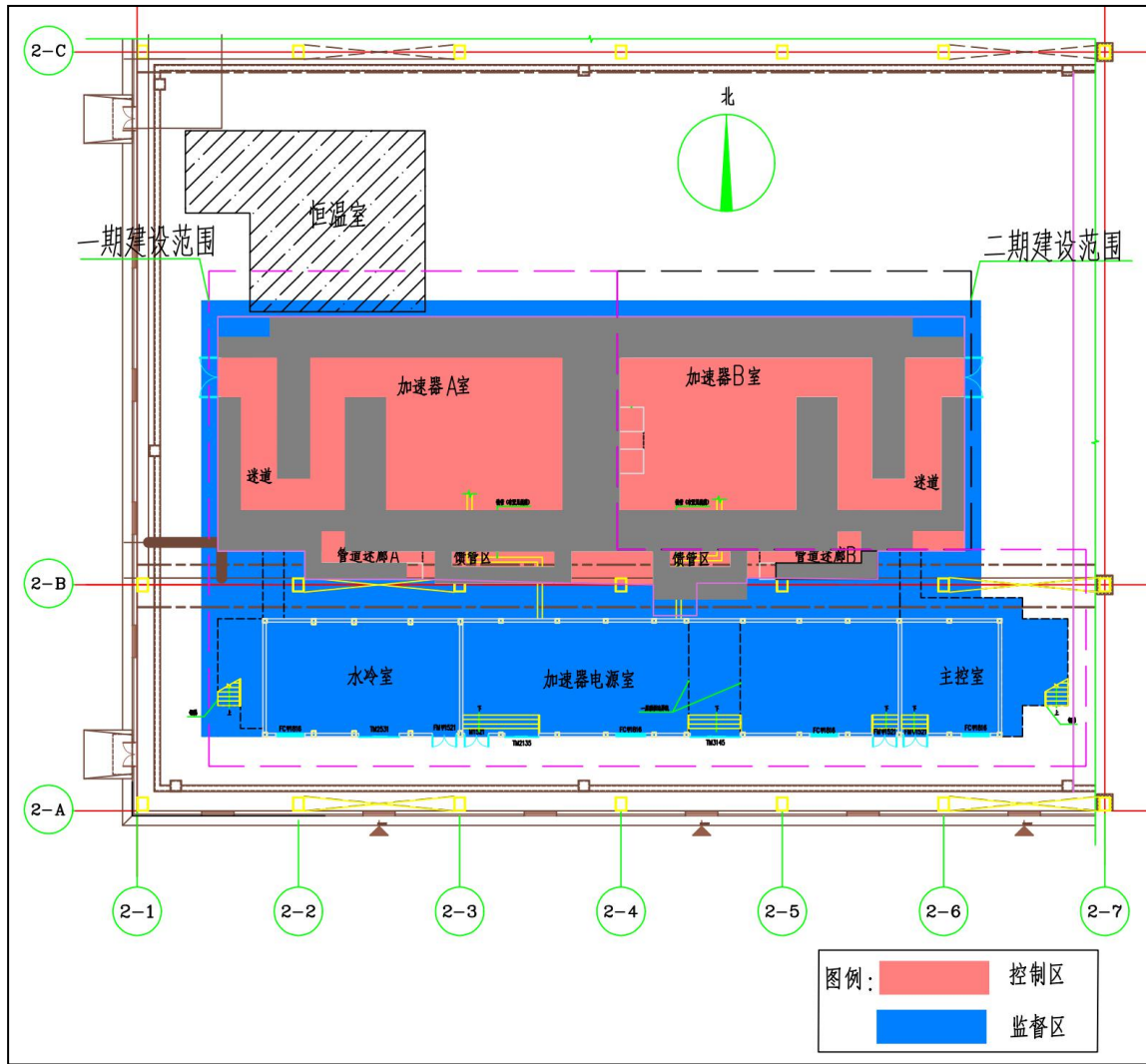


图 4-1 (b) 加速器测试平台辐射工作场所分区
(加速器测试平台二期建成后)

(二) 布局合理性分析

加速器测试平台位于2#厂房西南侧相对独立的区域，必要时设置物理护栏，与其他区域不会相互穿插和干扰。2间加速器测试机房设有迷道，紧邻机房屏蔽墙体、防护门区域无人员长居留场所。辐射工作场所的进出口设置管理措施，非辐射工作人员不允许进入；控制区设置钥匙授权管理，便于场所的防护管理与安全控制。整个辐射工作场所房间功能布局紧凑、辐射屏蔽防护满足相关标准要求。从满足辐射安全防护的

角度来看，该区域的布局是合理的。

4.1.2 场所屏蔽

（一）设计标准

2 间回旋加速器测试机房辐射屏蔽设计主要依据的设计标准如下：

（1）年剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对照射剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求，以职业照射剂量限值的 1/4，即 5mSv/a 作为职业人员的年剂量约束值，以公众照射剂量限值的 1/4 即 0.25mSv/a 作为公众的年剂量约束值。

（2）屏蔽体外剂量率控制水平

参照《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的相关规定，以及建设单位的设备辐射防护设计资料，该项目辐射工作场所屏蔽体外最高剂量率控制水平详见表4-1。

表 4-1 辐射工作场所屏蔽体外最高剂量率控制水平

序号	场所名称	最高剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	人员全居留工作场所（居留因子 $T>1/2$ ）：主控室	2.5
2	人员部分和偶然居留场所（居留因子 $T\leq 1/2$ ）：其他辅助功能用房，测试机房周围	10

（二）屏蔽设计

测试机房辐射工作场所屏蔽设计如图4-2～图4-6所示，具体屏蔽设计参数见表4-2，其中：

1) 测试机房墙体采用预制混凝土构件（ 2.38t/m^3 ）作为屏蔽材料拼装而成，拼接缝控制在2cm以内；

2) 迷道屏蔽门为带联锁装置的普通门;

3) 屏蔽设计时, 根据实际测试工况, 对束流损失正前方均加强了关注, 如SC240在两测试机房准直器至负载均朝向两测试机房中间屏蔽墙, 因此, 两测试机房中间屏蔽墙设计厚为3.5m, 且在靠近负载处设置1m×1m厚为30cm的钢板辅助屏蔽。

4) 2间机房均设计可用于240MeV超导回旋质子加速器和14.2MeV常导回旋质子加速器的测试。2间机房的屏蔽设计基本一致、对称布置, 区别仅为A室馈管区长度8.4m、B室5.8m及B室馈管区局部加厚。

5) 根据建设计划, 加速器A室拟作为加速器测试平台一期工程先行建设, 加速器B室后期根据需求再行建设。屏蔽设计时, 同时考虑到了二期建成运行, 和2间测试机房建成同时运行的情形。

表 4-2 调试机房屏蔽设计及周围环境情况

场所名称	位置	屏蔽材料和厚度	周围环境
加速器A室一层	西侧迷路外墙	长7.0m、厚度为1.4m, 混凝土	车间内过道
	二次迷路内墙	长7.0m、厚度为2.0m, 混凝土	迷路
	一次迷路内墙	长7.0m、厚度为2.5m, 混凝土	机房内
	北墙	厚度为2.5m, 混凝土	恒温室、车间内通道
	南墙(迷路)	厚度为2.5m, 混凝土	通道
	南墙(管道迷廊A北侧墙)	厚度为1.25m, 混凝土	管道迷廊
	管道迷廊A	厚度为1.0m, 混凝土	通道
	调试机房南墙	厚度为2.5m, 混凝土	馈管区及通道
	馈管区	厚度为1.0m, 混凝土	通道
	中间共用墙体	厚度为3.5m, 混凝土	加速器B室
	中间墙体局部补偿屏蔽	长1.5m长×宽1.5m宽×高6.5m, 中间距离1.1m, 混凝土	B室
迷路入口门	普通门(与设备联锁)	通道	

加速器A 室二层	管道迷廊A西墙和北墙	厚度为1.5m, 混凝土	工艺气体室A 辅助电源室A
	管道迷廊A南墙	厚度为1.0m, 混凝土	通道上空
	机房西墙	厚度为2.5m, 混凝土	钢爬梯处
	机房北墙	厚度为2.5m, 混凝土	恒温室上空
	机房南墙	厚度为2.5m, 混凝土	通道上空
	中间共用墙体	厚度为3.5m, 混凝土	加速器B室
加速器B 室一层	东侧迷路外墙	长7.0m、厚度为1.4m, 混凝土	车间内过道
	二次迷路内墙	长7.0m、厚度为2.0m, 混凝土	迷路
	一次迷路内墙	长7.0m、厚度为2.5m, 混凝土	机房内
	北墙	厚度为2.5m, 混凝土	车间内通道
	南墙（迷路）	厚度为2.5m, 混凝土	通道
	南墙 （管道迷廊B北侧墙）	厚度为1.25m, 混凝土	管道迷廊
	管道迷廊B	厚度为1.0m, 混凝土	通道
	调试机房南墙	厚度为2.5m, 混凝土	馈管区及通道
	馈管区	厚度为2.0m, 混凝土	通道
	中间共用墙体	厚度为3.5m, 混凝土	加速器A室
	中间墙体局部补偿屏蔽	长1.5m长×宽1.5m宽×高6.5m, 中 间距离1.1m, 混凝土	A室
迷路入口门	普通门（与设备联锁）	通道	
加速器B 室二层	管道迷廊B东墙和北墙	厚度为1.5m, 混凝土	工艺气体室B 辅助电源室B
	管道迷廊B南墙	厚度为1.0m, 混凝土	通道上空
	机房东墙	厚度为2.5m, 混凝土	钢爬梯处
	机房北墙	厚度为2.5m, 混凝土	车间上空
	机房南墙	厚度为2.5m, 混凝土	通道上空
	中间共用墙体	厚度为3.5m, 混凝土	加速器A室

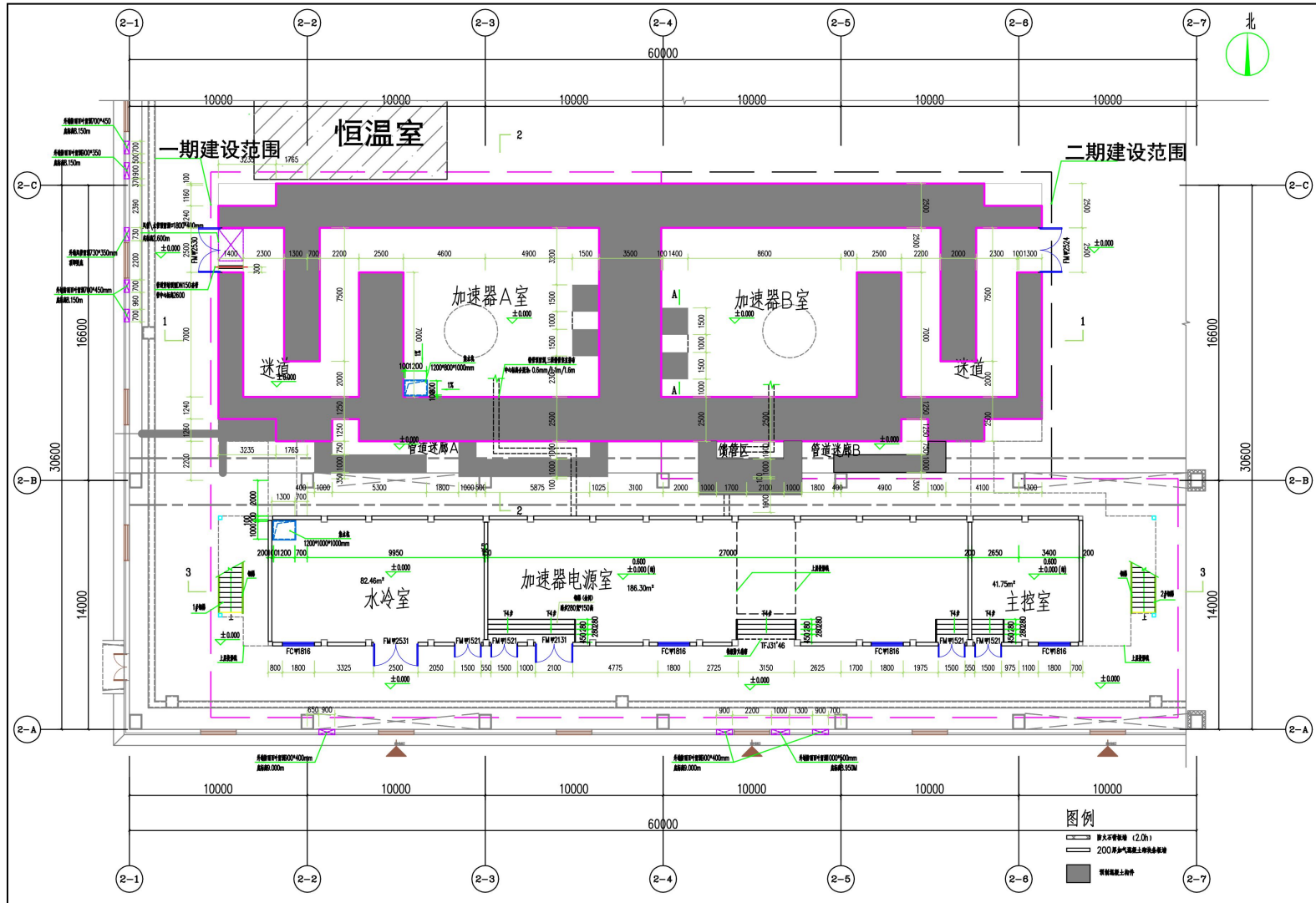


图4-2 测试机房一层平面屏蔽设计图

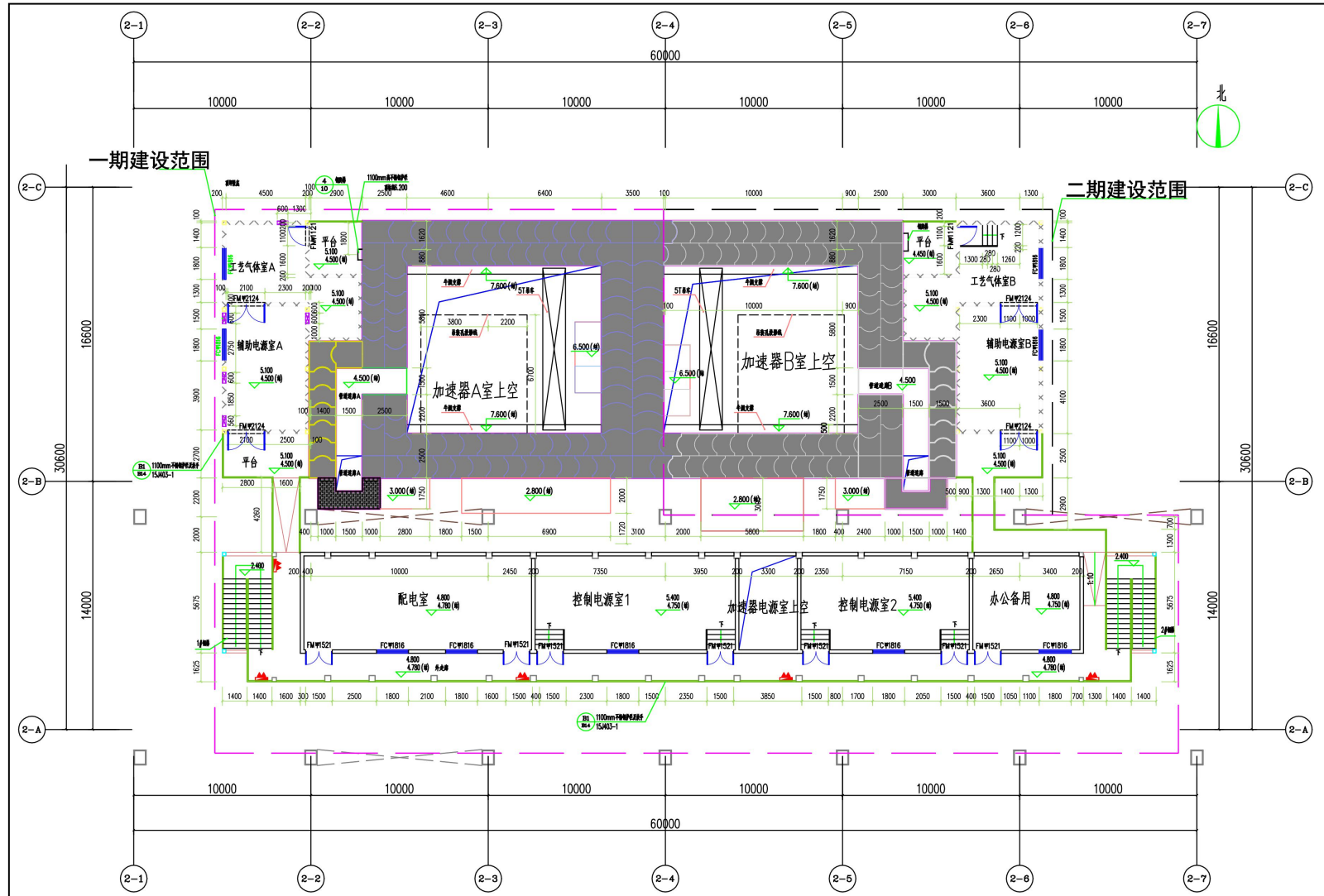


图 4-3 测试机房二层平面屏蔽设计图

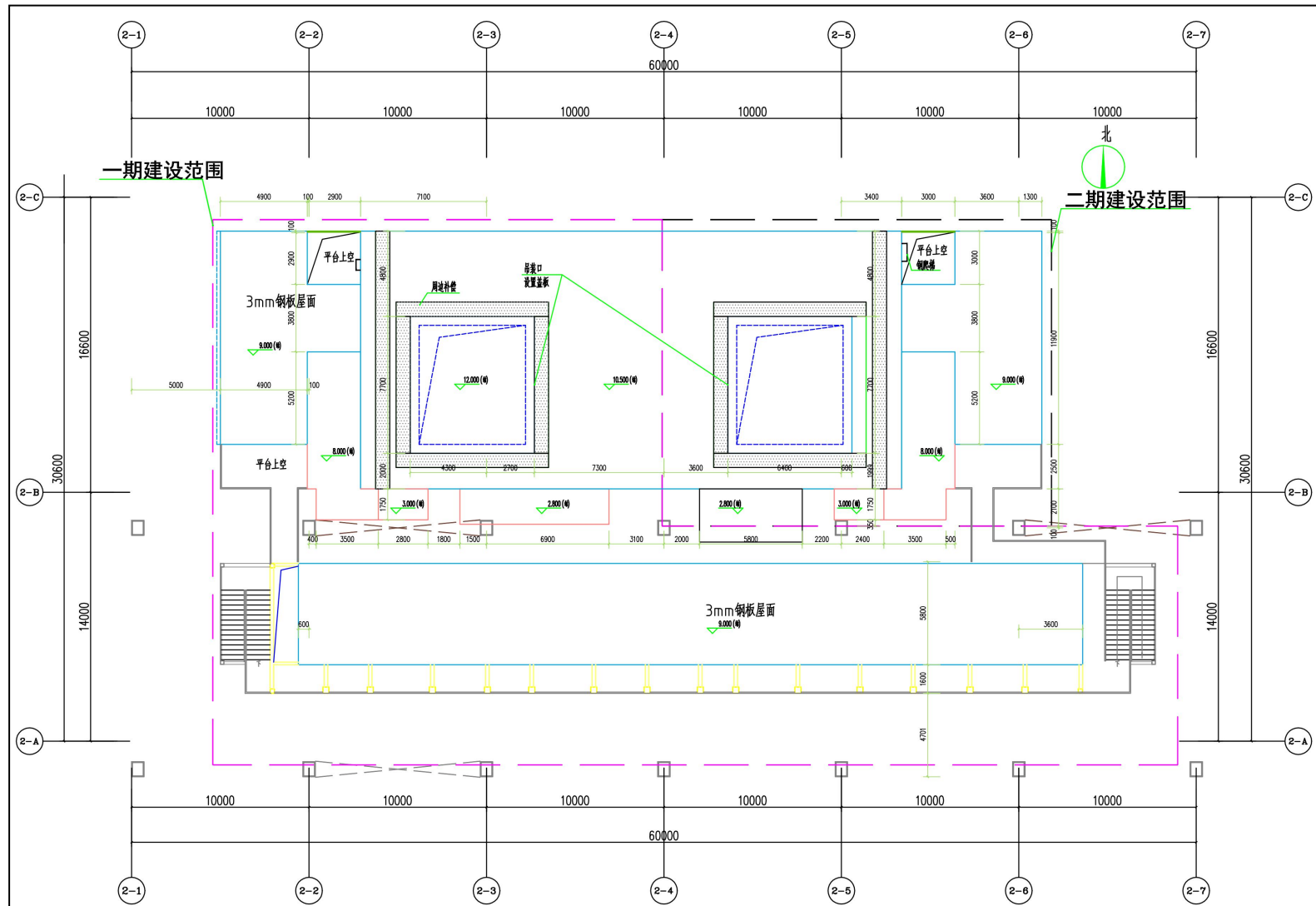


图 4-4 测试机房屋顶平面图

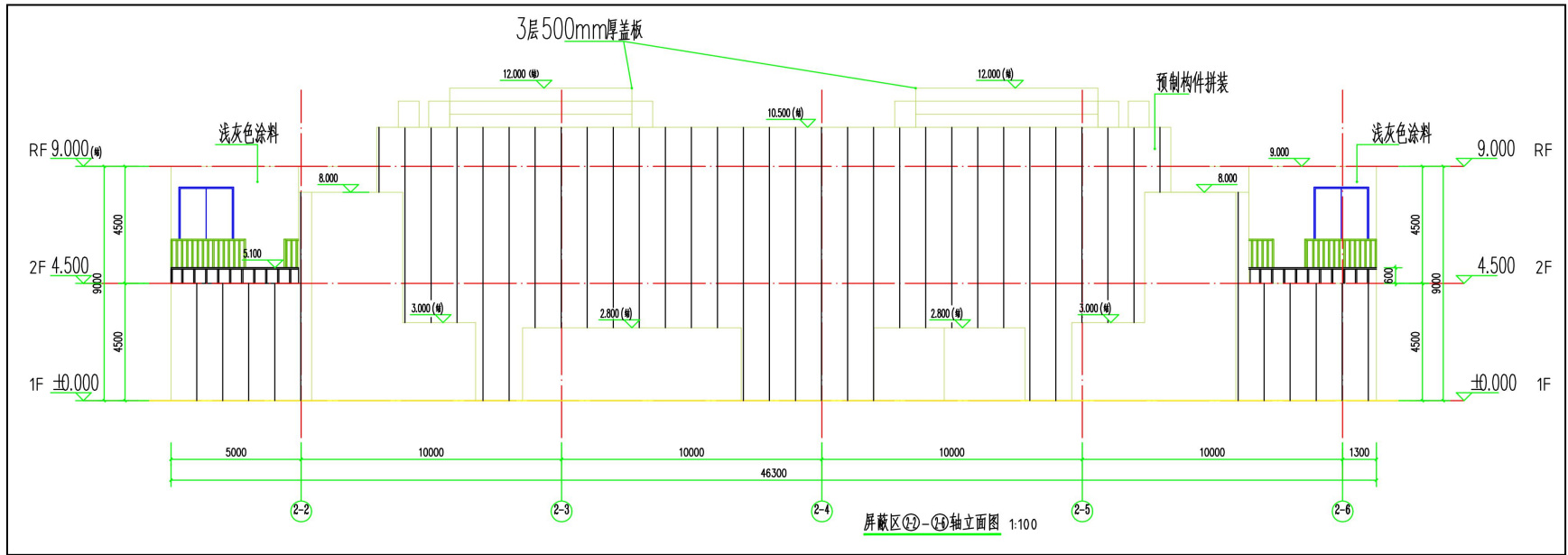


图 4-5 测试机房 2-2~2-6 轴立面图

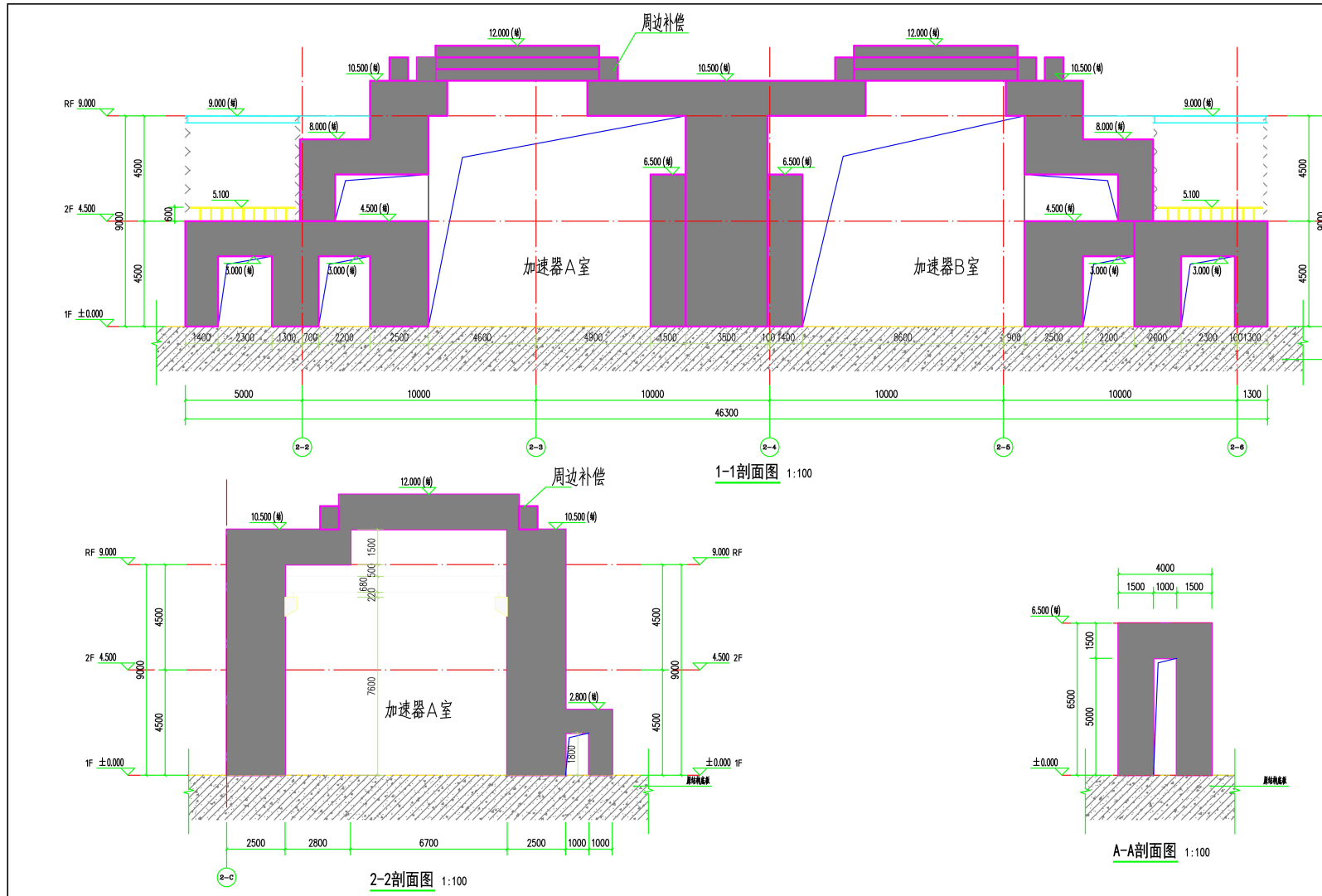


图 4-6 测试机房剖面图

4.2 辐射安全与防护措施

4.2.1 人员安全联锁系统

人员安全联锁系统（简称HSIS）是一个通过联锁急停和安全警示等手段，保障加速器测试区域、辅助房间区域等辐射场所内的工作人员安全，避免发生辐照事故的安全保护系统。质子加速器测试机房辐射安全联锁的设计思路遵循：

- 1) 对设备的保护动作基于束流和设备参数；
- 2) 对人员的保护动作基于区域的状态；
- 3) 分区管理：调试机房A和调试机房B为独立分区，各区域工作状态各自独立互不干涉。

（一）设计准则

- 1) 纵深防御：充分考虑并合理设置联锁设施实现对人身辐射安全的多重冗余保护且各重保护措施之间具有相互独立性；
- 2) 硬件最可靠：重要的位置把最大的信赖寄托在“硬件”上；
- 3) 冗余设计及独立性：是在同一位置、为同一目的而使用若干种联锁手段，采用冗余设计的多套联锁设施相互独立，不会因为一套系统的失效而影响到其他系统的安全性；
- 4) 最优切断：联锁系统应尽可能地切断前级控制或是设备最初始的运行功能（如离子源的高压等），更好的保证区域内的辐射安全；
- 5) 失效保护设计：关键联锁部件及联锁系统失效时，相应联锁控制区域仍处于安全状态；
- 6) 自锁：联锁系统带有自锁功能，即一旦联锁从该处实施切断，辐射安全人员必须到现场检查，确保不安全因素已排除后再手动进行“复位”；
- 7) 对控制区进行剂量监测，且监测数据开放，监测数据可实现提供给

控制系统、安全系统以及其他的远程系统；

8) 对工作人员进行剂量管理和人身保护。

(二) 系统结构

辐射安全联锁系统的主要功能是保护进入控制区的人员免受辐射危害。系统的设计遵循模块化、冗余及独立安全的原则，考虑了整个系统的使用流程、工作流程及操作状态，且由于其与控制系统之间唯一的交互即为接收并发送状态信息，使得人身安全联锁系统独立于其他控制系统运行，能最大限度地降低在各种情况下的风险。

该系统采用可编程控制技术、计算机网络与通讯技术、探测与数据处理技术、设备自诊断与自恢复技术等，对联锁部件进行实时监测，并将信号输入安全联锁系统，只有在联锁条件全部满足的情况下，才允许束流的产生和加速。本项目调试机房人员安全联锁系统构架见下图。

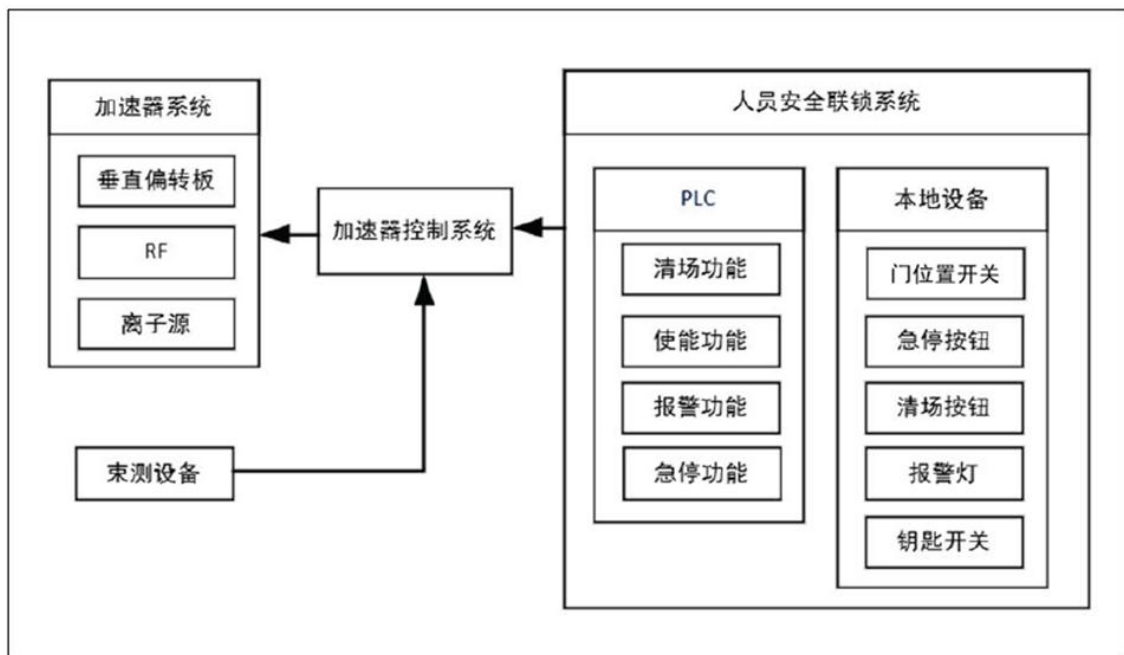


图4-7 (a) SC240安全联锁系统结构图

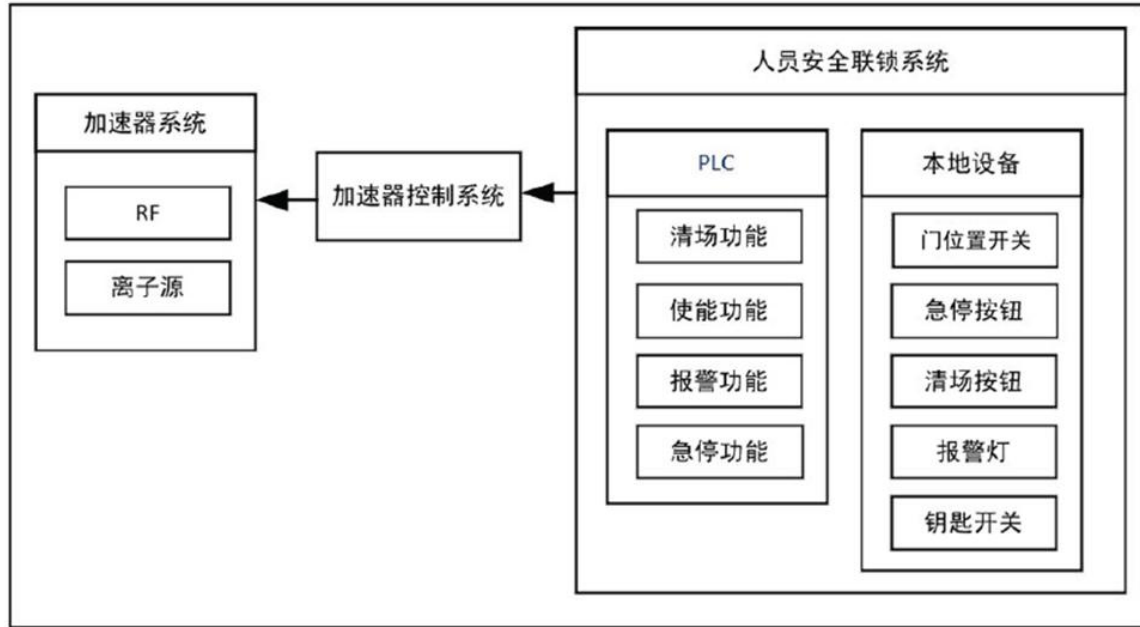


图4-7 (b) CIM14-A安全联锁系统结构图

(三) 联锁功能概述

人员安全联锁系统主要有清场功能、急停功能、使能功能、报警功能这四个功能，具体描述如下：

1) 清场功能

指在加速器开机或束流进入治疗室前执行一套特定的安全搜索程序，确保控制区范围内无人员滞留，完成清场后建立安全联锁。清场完成信号是加速器开机的必要前提条件。

2) 急停功能

在加速器运行过程中一旦检测到有急停信号被触发，将发出联锁信号到终端设备切断束流。

①对于14.2MeV加速器：

急停功能的输入为：①出束过程中清场被破坏；②急停按钮被拍下。

急停功能的输出为：离子源系统，RF系统。

②对于240MeV加速器：

急停功能的输入为：①出束过程中清场被破坏；②急停按钮被拍下；③束流在70cm半径处达到10nA以上。

急停功能的输出为：离子源系统，RF系统，VD电源。

3) 使能功能

主要用于判断当前加速器出束的外部条件是否满足，判断的条件包括：①清场是否完成；②急停按钮是否复位；③联锁系统有无故障；④钥匙开关是否开启。若使能信号不满足，则加速器不允许出束。

4) 报警功能

是为现场人员提供声光报警，在清场时会闪烁报警灯并响蜂鸣，提醒现场人员离场。在出束过程中，现场的报警灯也会进行声光报警提示。

(四) 安全联锁逻辑

机房A和机房B可同时进行测试，安全联锁相对独立。各机房的安全联锁开机逻辑如下：

- 1) 机房内的清场按钮按一定顺序全部按下；
- 2) 机房内急停按钮全部复位；
- 3) 机房出入口的门全部处于关闭状态；
- 4) 机房的加速器联锁钥匙处于授权开机的状态；
- 5) 机房主控制台的调试模式为正常束流调试模式。

当以上条件有一个不满足时，机房内加速器无法出束。在带束调试状态下以上任一条件被破坏时加速器停止供束。各机房的安全联锁停机逻辑如下：

- 1) 加速器控制系统停机；
- 2) 主控钥匙拔出控制面板；
- 3) 机房迷道防护门打开；

4) 机房相关任一急停按钮按下。

以上逻辑条件任一个触发，加速器停机。

人员安全联锁控制逻辑如图 4-8 所示。

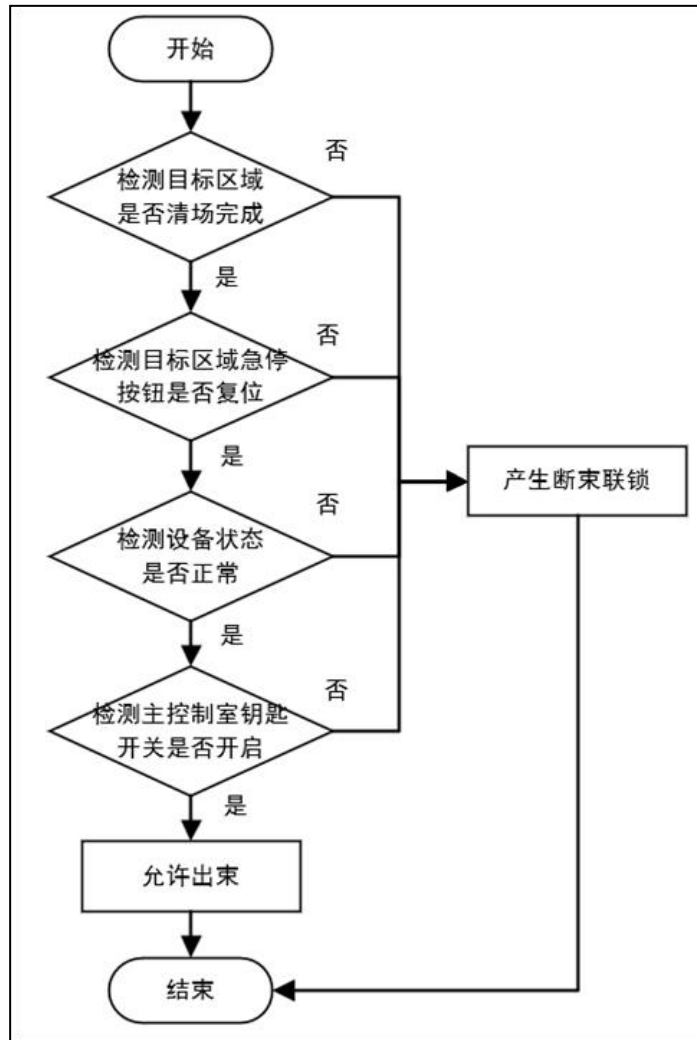


图4-8 辐射安全联锁逻辑关系图

(五) 联锁设备统计

安全联锁设备包括钥匙开关、门位置开关、急停按钮、清场按钮和报警灯。

1) 开关钥匙：在控制室配有开关钥匙。它有开和关两种状态，只有当插上开关钥匙并扭至“开”位置，状态才为“开”，拔出钥匙或者

钥匙处于“关”位置的状态都为“关”。开关钥匙的位置和功能如下表所示。

表 4-3 开关钥匙位置和功能

位置	开关状态	作用
主控制室	关	在停机状态下加速器无法出束 在运行状态下断开会切断束流
	开	加速器允许出束，控制系统可开启加速器各子系统

2) 门位置开关：在进入辐射区域的位置以及辐射区域内部布置有联锁门，门上安装有门位置开关。在加速器出束前，门位置开关参与实现清场功能，清场人员需要依次按下清场按钮并且关闭门；在加速器出束过程中，门位置开关可以实现急停断束功能。

表 4-4 联锁门的位置及断束联锁关系

控制区域	涉及联锁区域	涉及联锁门	联锁设备
设备控制区	加速器 A 室	加速器 A 室联锁门	A 室内的加速器：14.2MeV 加速器的 RF，离子源；240MeV 加速器的 VD 电源，RF，离子源
	加速器 B 室	加速器 B 室联锁门	B 室内的加速器：14.2MeV 加速器的 RF，离子源；240MeV 加速器的 VD 电源，RF，离子源

3) 急停按钮：辐射工作场所的控制区内部必须设置急停按钮。在紧急情况下，控制区、控制室、监督区的人员按下急停按钮可立刻切断加速器的运行状态。

4) 清场按钮：在加速器开机前，未经搜索清场程序的辐射工作场所控制区必须进行搜索清场。搜索清场过程中，搜索人员按照预定路线依次经过搜索点，检查清空控制区人员，在规定的搜索时间内按下搜索清场按钮并且关闭防护门，实现搜索清场。

5) 报警灯：控制区内部设置警灯和声音提示器，用于开机前和搜索清场时的声光报警，及出束状态的报警提示。

联锁设备统计清单如表4-5所示。

表 4-5 安全联锁设备数量统计

区域名称	安全联锁设备	
	名称	数量
加速器 A 室	急停按钮	5
	清场按钮	2
	门位置开关	2
	报警灯	5
加速器 B 室	急停按钮	5
	清场按钮	2
	门位置开关	2
	报警灯	5
主控制室	急停按钮	1
	报警灯	1
	钥匙开关	1
水冷室	急停按钮	1
	报警灯	1
加速器电源室	急停按钮	2
	报警灯	2
工艺气体室 A	急停按钮	1
	报警灯	1
工艺气体室 B	急停按钮	1
	报警灯	1
辅助电源室 A	急停按钮	1
	报警灯	1

辅助电源室 B	急停按钮	1
	报警灯	1
控制电源室 1	急停按钮	1
	报警灯	1
控制电源室 2	急停按钮	1
	报警灯	1
配电室	急停按钮	1
	报警灯	1

（六）清场布局

如图4-9（a）所示，加速器室A的清场路径为路线1：清场按钮1→清场按钮2→关闭A室联锁门。加速器室B的清场路径为路线2：清场按钮3→清场按钮4→关闭B室联锁门。

在清场过程会有声光报警提示，清场前显示为绿灯，清场完成显示红灯。在出束过程会产生蜂鸣报警，红闪闪光灯会闪烁。

（七）急停按钮

加速器A室的急停按钮按下，会触发加速器A的断束急停；加速器B室的急停按钮按下，会触发加速器B的断束急停；辅助区辅助房间的急停按钮按下，会同时触发加速器A及加速器B的断束急停。

断束急停会联锁240MeV加速器的离子源、RF和中心区电源；14.2 MeV加速器的离子源、RF。

急停按钮分布见图4-9（b）、图4-9（c）。

（八）报警灯布局

在人员活动涉及危险的区域需要安装声光报警装置，为在当前区域的活动人员提供视觉和听觉报警信息。

加速器测试区的报警灯主要有3种类型：

1) 红、绿、带红色闪光的三色报警灯主要分布在辐射区域，当未进行清场，人员可以通行时，绿灯亮；清场激活时，绿灯闪亮，蜂鸣器工作；当前区域清场完成后，红灯亮；当开始出束时，闪光灯工作。

2) 绿，红色闪光报警灯主要安装在辅助房间，用于显示当前加速器是否出束。

3) 辐射报警灯，位于加速器室门口用于警示辐射报警。

各报警灯的分布情况如图4-9（d）和图4-9（e）所示。

（九）广播、对讲及监控系统

1) 广播及对讲

在测试区各个区域均布置了广播，用于接收控制室内的广播站发送的信息。其中，在加速器A室和加速器B室还单独布置了固定对讲，可实现与主控制室的双向对话。

各报警灯的分布情况如图4-9（f）和图4-9（g）所示。

各区域的设备统计清单如表4-6所示。

表 4-6 广播、对讲设备数量统计

区域名称	广播和对讲设备	
	名称	数量
加速器 A 室	广播	2
	固定对讲	1
加速器 B 室	广播	2
	固定对讲	1
主控制室	广播站	1
水冷室	广播	1
加速器电源室	广播	1
工艺气体室 A	广播	1
工艺气体室 B	广播	1
辅助电源室 A	广播	1
辅助电源室 B	广播	1
控制电源室 1	广播	1
控制电源室 2	广播	1
配电室	广播	1
备用办公室	广播	1

2) 监控系统

加速器测试区的监控布局见下图所示，每个房间都布置了至少一个摄像头，其中加速器A室和加速器B室内各布置了3个云台监控，操作人员可以在主控制室对摄像头进行控制，选择合适的监控位置。

摄像头的分布情况如图4-9（h）和图4-9（i）所示。

各区域的设备统计清单如表4-7所示。

表 4-7 监控系统设备数量统计

区域名称	监控设备	
	名称	数量
加速器 A 室	云台监控	3
	枪机	2
加速器 B 室	云台监控	3
	枪机	2
主控制室	枪机	1
水冷室	枪机	1
加速器电源室	枪机	2
工艺气体室 A	枪机	1
工艺气体室 B	枪机	1
辅助电源室 A	枪机	1
辅助电源室 B	枪机	1
控制电源室 1	枪机	1
控制电源室 2	枪机	1
配电室	枪机	1
备用办公室	枪机	1

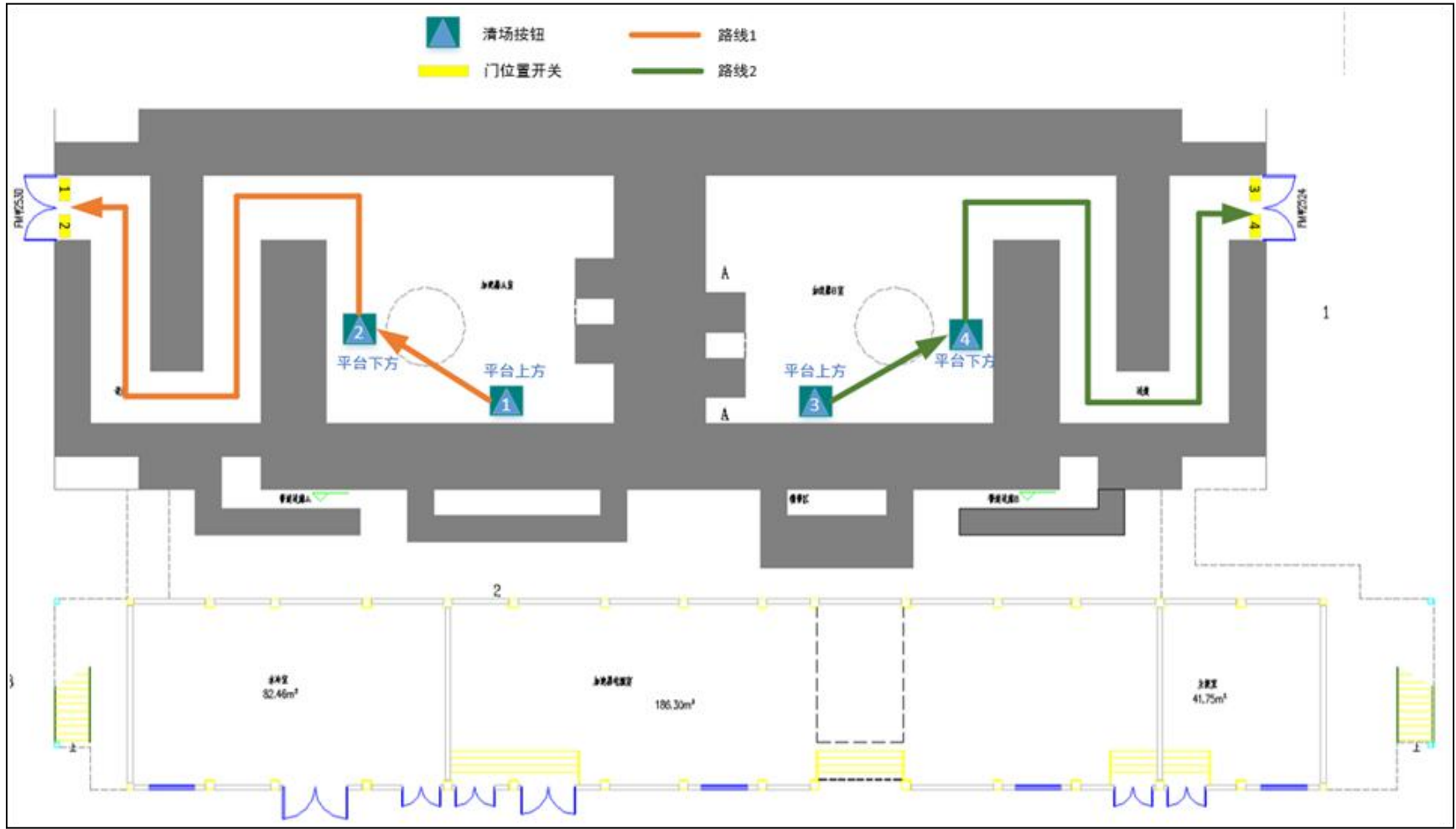


图4-9 (a) 清场路径及门禁分布图



图4-9 (b) 一层急停按钮分布

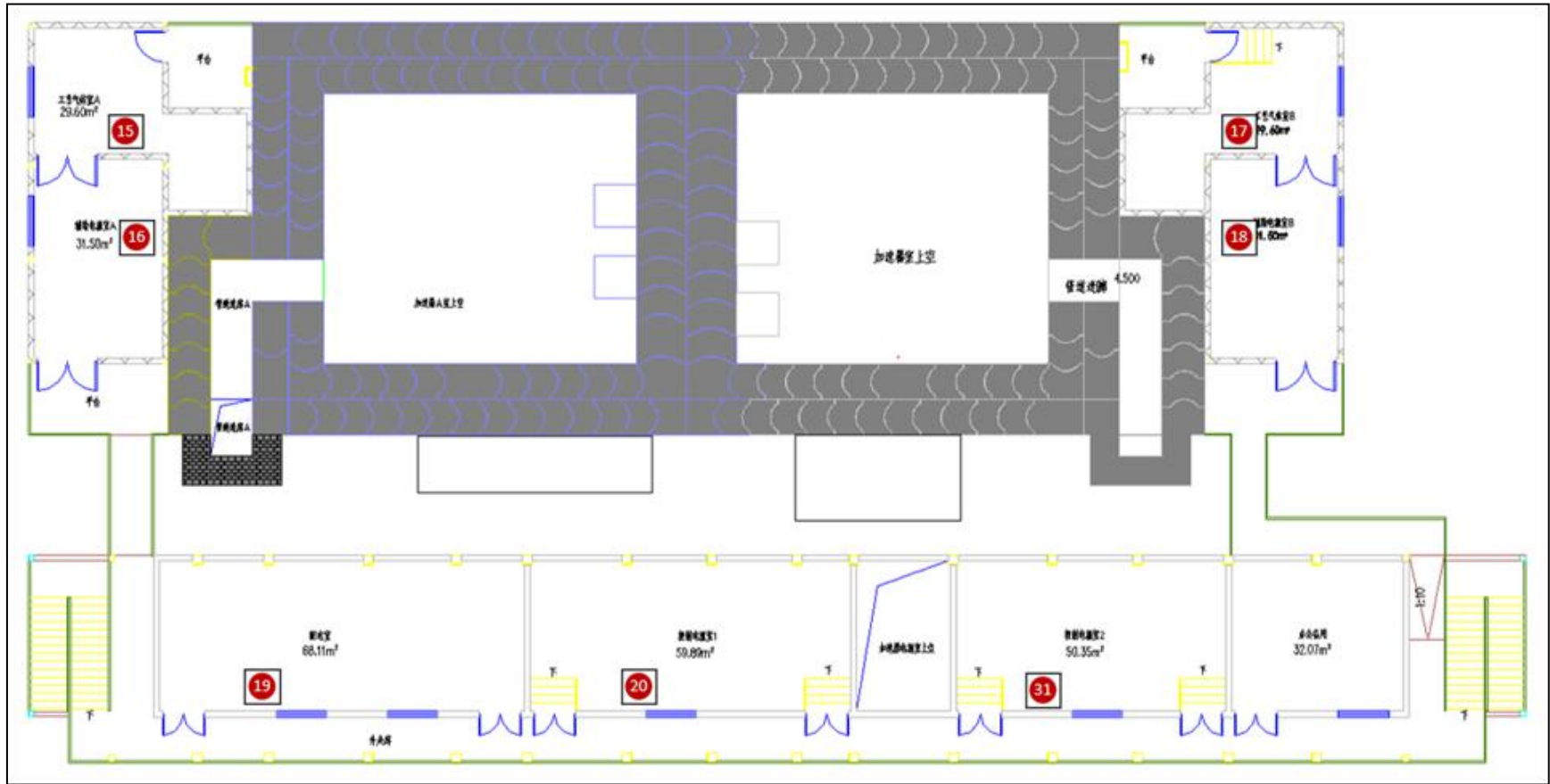
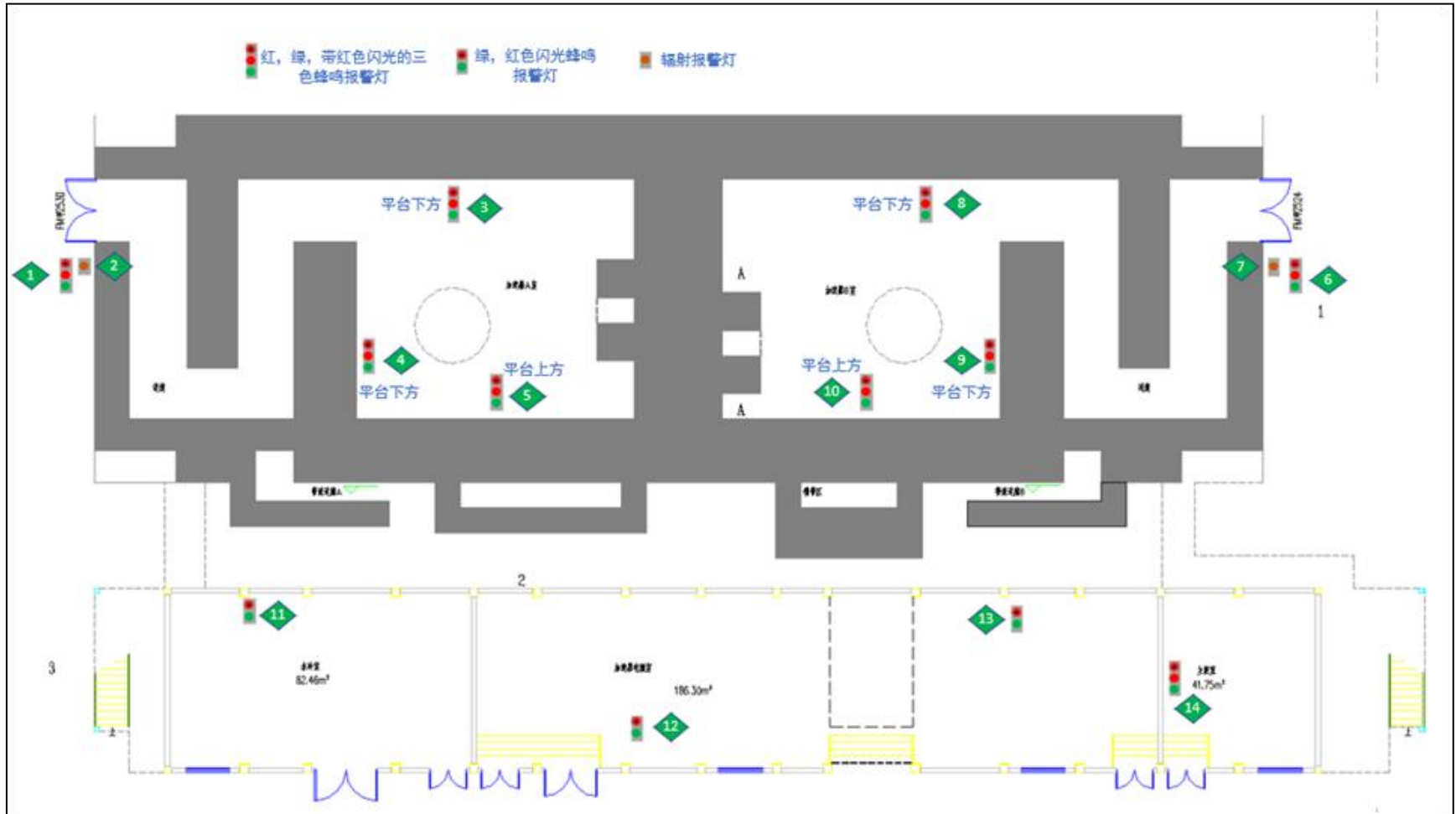


图4-9 (c) 二层急停按钮分布



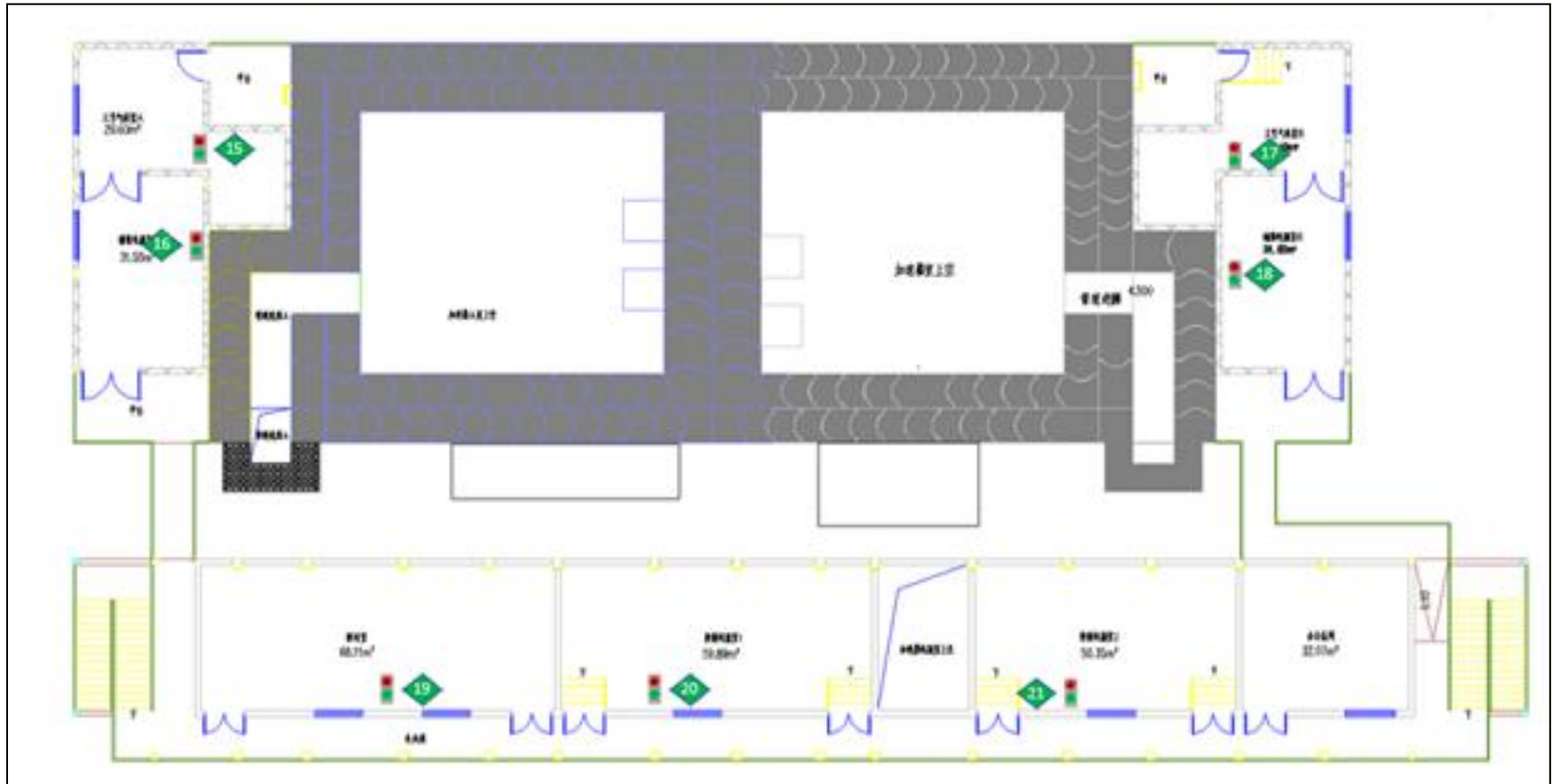


图4-9 (e) 二层报警灯分布

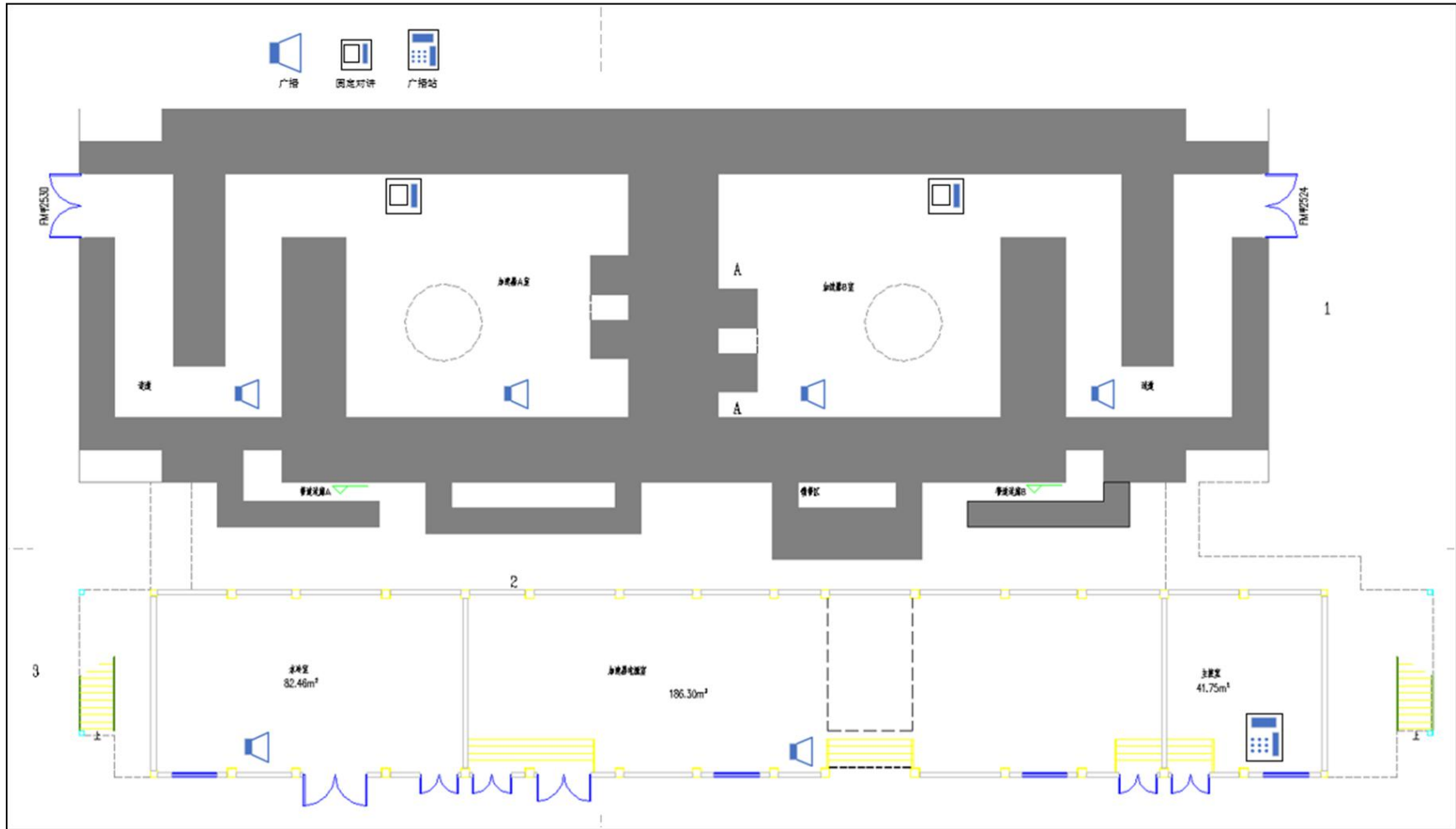


图4-9 (f) 测试区一层广播和对讲布局

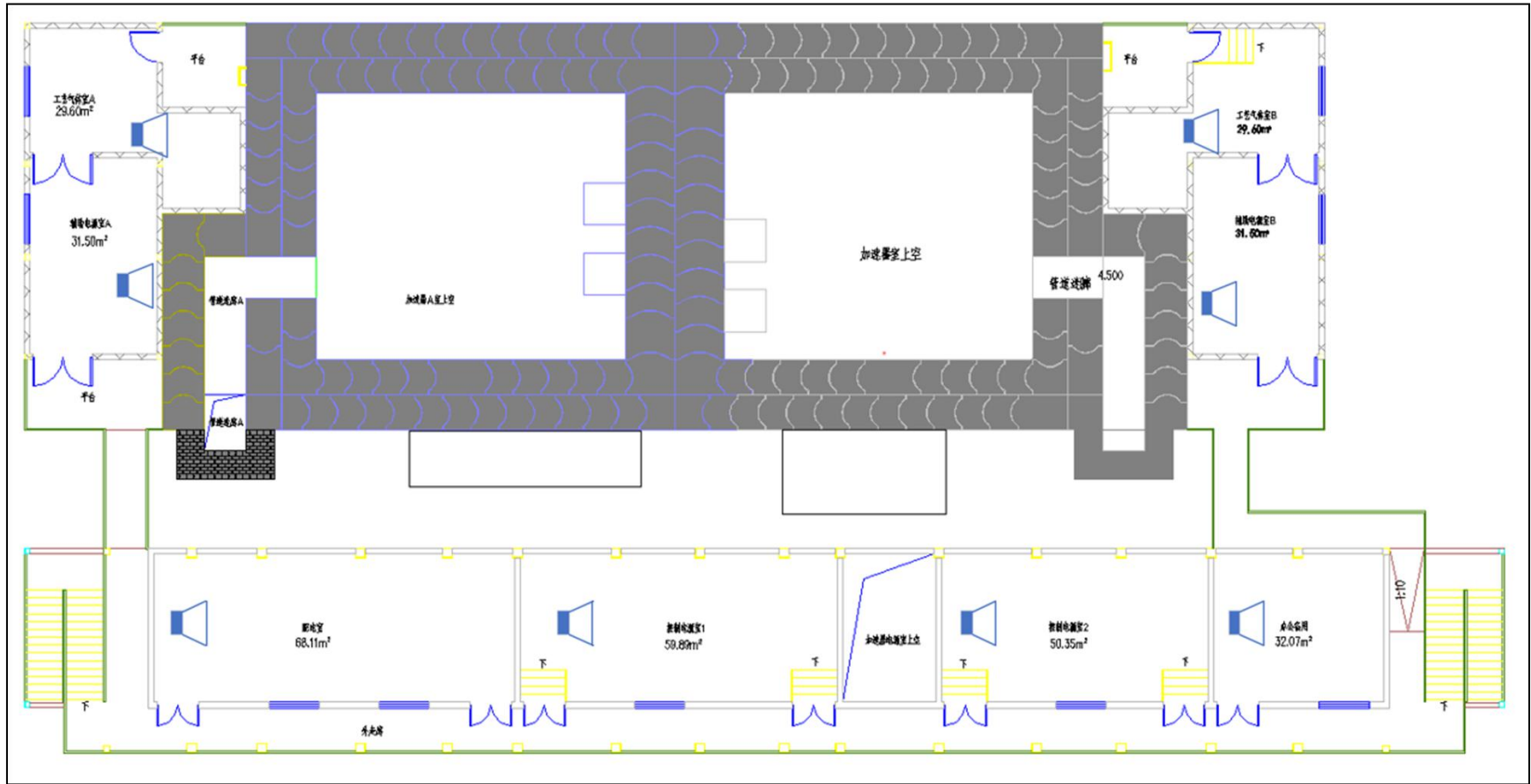
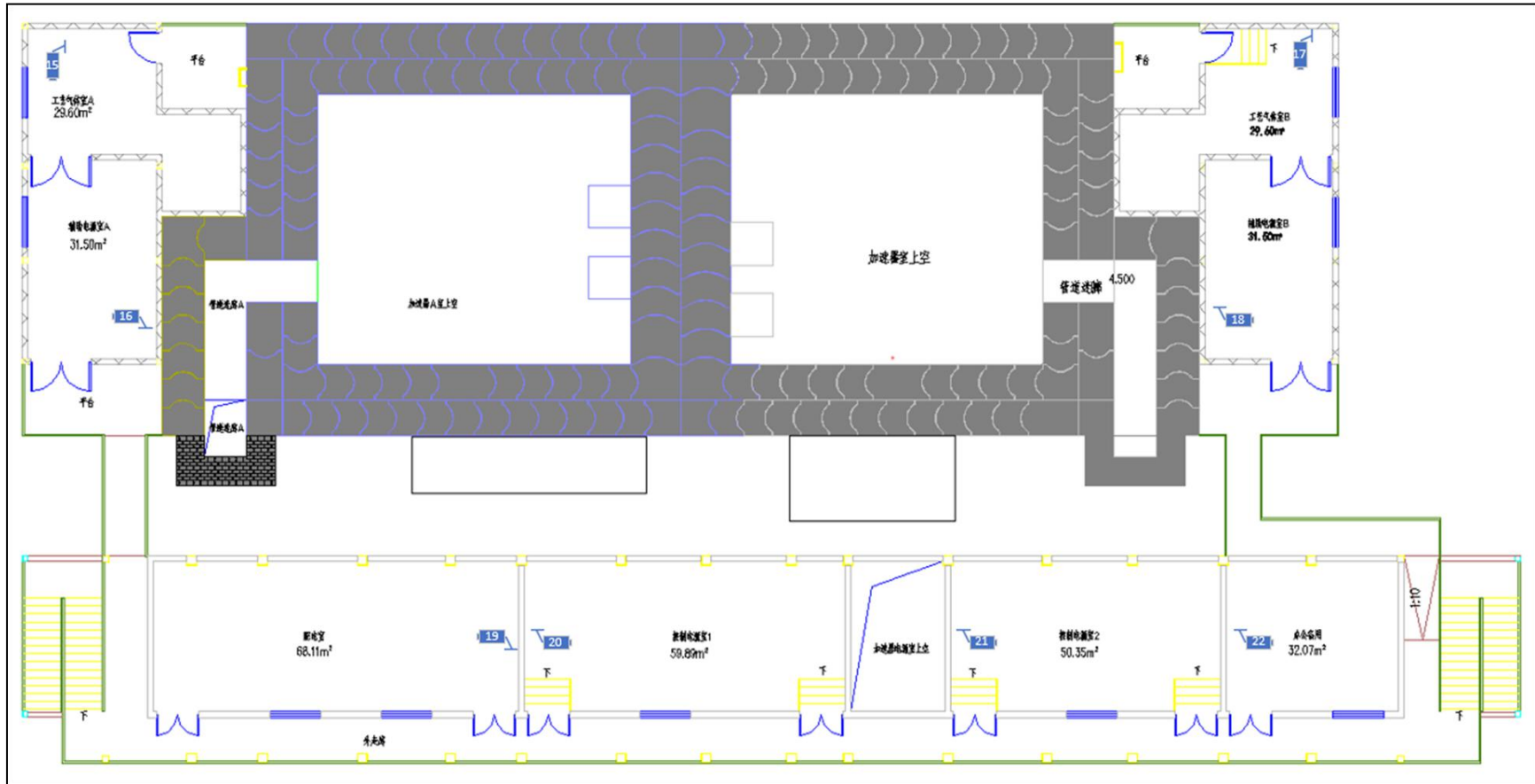


图4-9 (g) 测试区二层广播和对讲布局



图 4-9 (h) 测试区一层摄像头布局



4.2.2 场所辐射监测系统

场所辐射监测系统主要负责测试机房内部和屏蔽体外辐射水平的监测，由固定安装探测器、数据采集单元、内部局域网、监控计算机、中心管理计算机与辐射防护数据库组成，如图4-10所示。

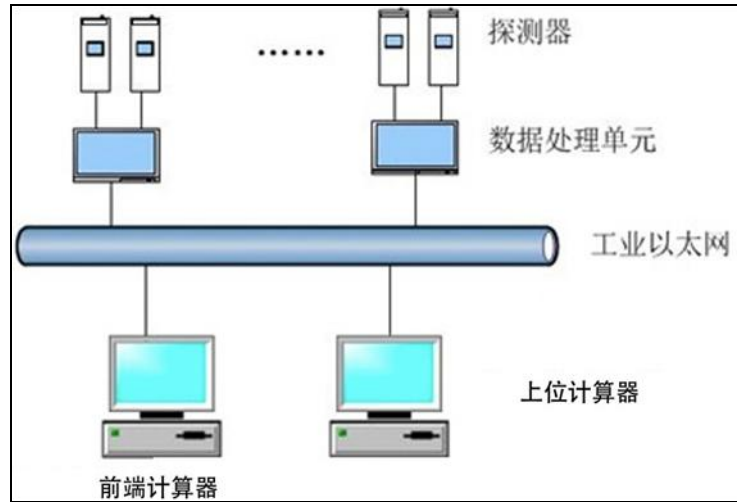


图4-10 质子加速器场所辐射监测系统结构

探测器用于测量辐射水平；数据采集单元用于采集探测器的输出信号和完成信号的加权处理、剂量率显示、本地报警及通讯；内部局域网是探测器和监控计算机进行通讯的媒介；前端计算机用于完成监测数据日常分析与管理；上位计算机用于发布剂量监测数据；辐射防护数据库用于存储剂量数据，存储探测器测得的实时剂量数据，包括剂量率、测量时间、监测点代号、测量辐射类型（ γ /中子）。各调试机房内部场所辐射监测点位如图4-11所示。

2间机房内共布设7个固定监测点位：在加速器机房迷道设置固定监测点位，布置伽玛剂量率监测探头；在各辅助用房，包括加速器机房人员迷道上方的辅助电源室、辅助用房的水冷室、加速器电源室、主控室设置固定监测点位，分别布置中子和伽玛剂量率监测探头。根据各监测

点剂量水平和中子能量选择不同灵敏度的辐射探测器。主要功能是确定参考点的辐射水平，测定工作场所内部和屏蔽体外的辐射水平，验证屏蔽措施的可靠性，保证工作人员和公众的安全。

表4-8 伽玛和中子监测探头的性能要求

序号	参数项	伽玛探测器	中子探测器
1	测量参数	周围当量剂量率, $\mu\text{Sv/h}$	周围当量剂量率, $\mu\text{Sv/h}$
2	测量范围	100nSv/h~0.1Sv/h	10nSv/h~0.1Sv/h
3	测量精度	< $\pm 5\%$	< 10%
4	能量范围	50keV~7MeV	0.03eV~240MeV
5	角度响应	> 120°	全方位

除固定监测外，该项目拟使用移动监测车（现有2台）对现场进行巡测，移动监测车配置中子和伽玛监测探头，与固定监测探头一致。

便携式监测设备包括长杆伽玛剂量率仪（现有1台）、表面污染仪（现有1台）、个人剂量报警仪（现有7台）。

个人剂量监测同时测量伽玛和中子累积剂量，按季度送有资质单位检测。伽玛采用OSL剂量片，中子采用CR39剂量片。

此外，项目建设单位现有的辐射防护装备也可用于该项目，包括铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅手套、铅护臂、铅三角裤、铅护腿、铅护脚、铅帘等。除铅眼镜外，铅当量均为0.5mmPb。

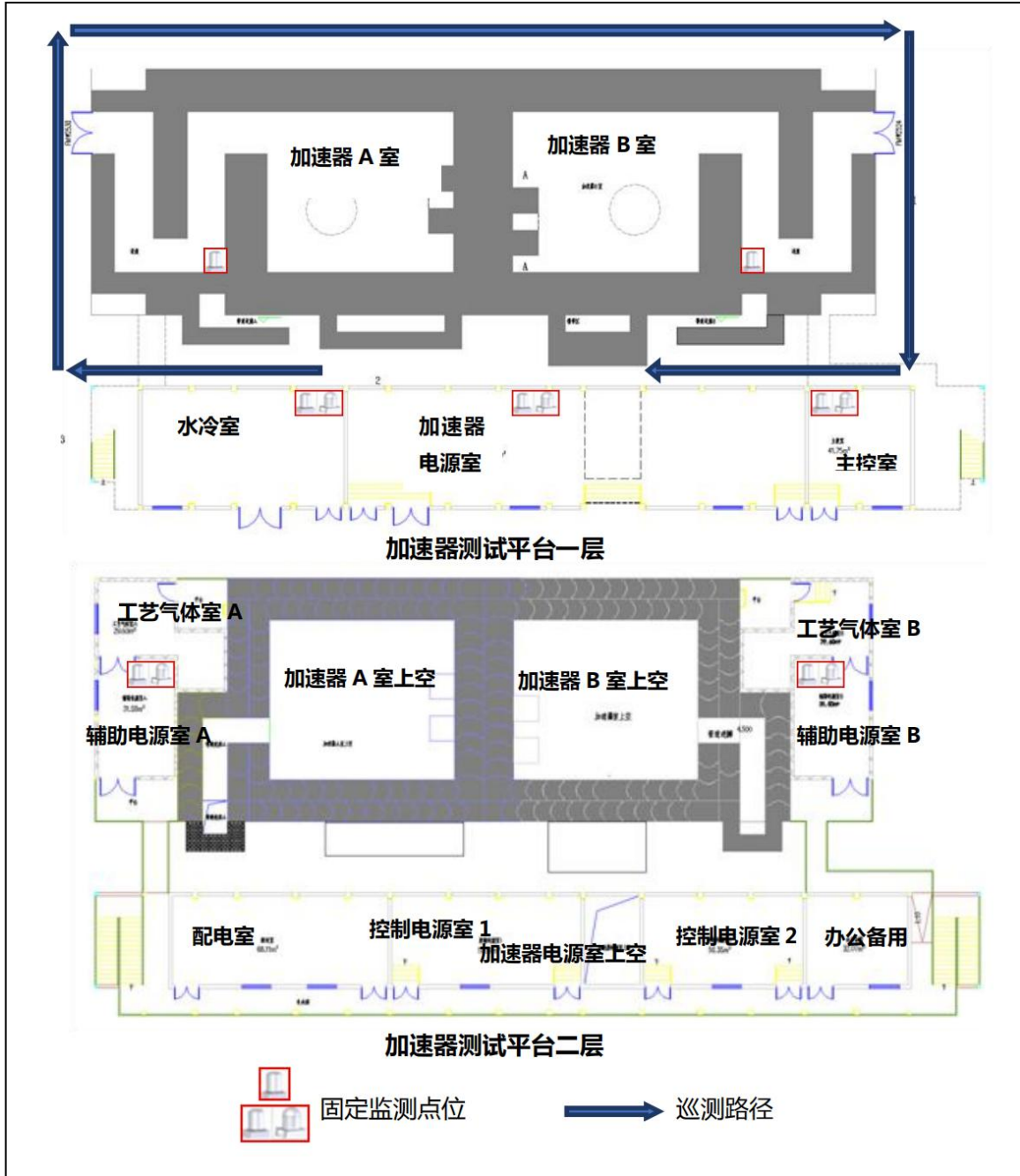


图4-11 加速器测试平台固定式辐射监测点位图

4.2.3 通风系统

2间质子加速器调试机房设置独立的通风系统，以维持各机房内部负压，确保机房内产生的感生放射性气体不会流向机房外部。机房均24小时保持通风，加速器调试期间（调试开始～调试结束后1h）及事故情况

下时排风量5600m³/h、停机状态下按3000m³/h，通风系统的设计参数见表4-9，调试机房的排风管道走向如图4-12和图4-13所示。

表4-9 调试机房工作场所通风系统设计参数

区域名称	排风方式	气流走向	排风量(m ³ /h)	机房体积(m ³)	换气次数(次/小时)
调试机房A/B	机械排风	进风口1个：距地2.58m 排风口3个：分别距地0.3m、2.0m、4.0m 对角排风，屋面排放	3000（停机）～5600（调试期间及事故工况）	1050	2.85（停机）～5.33（调试期间及事故工况）

排风管和新风管从调试机房门上部进入迷道，经迷道进入机房，风管架设高度2.58m，排风管为630mm×320mm矩形方管、新风管为630mm×250mm矩形方管。排风口设置在机房东北、东南角，分3个标高设置各设1个500mm×250mm的单百叶排风口（分别距地面0.3m、2.0m和4.0m）；新风口设置在迷路拐角入口处，为1000mm×250mm的双百叶排风口。2间调试机房通排风管线对称布置。

排风机通过长方管向外抽气，通过风机后端立管引至屋面排放，并设高效微滤过滤器。2间机房共设2个室外排风口，其中A机房排风口位于厂房东侧屋面，B机房排风口位于厂房南侧屋面。每个机房排风风机均设置电动阀与风机联动以防止空气倒灌。

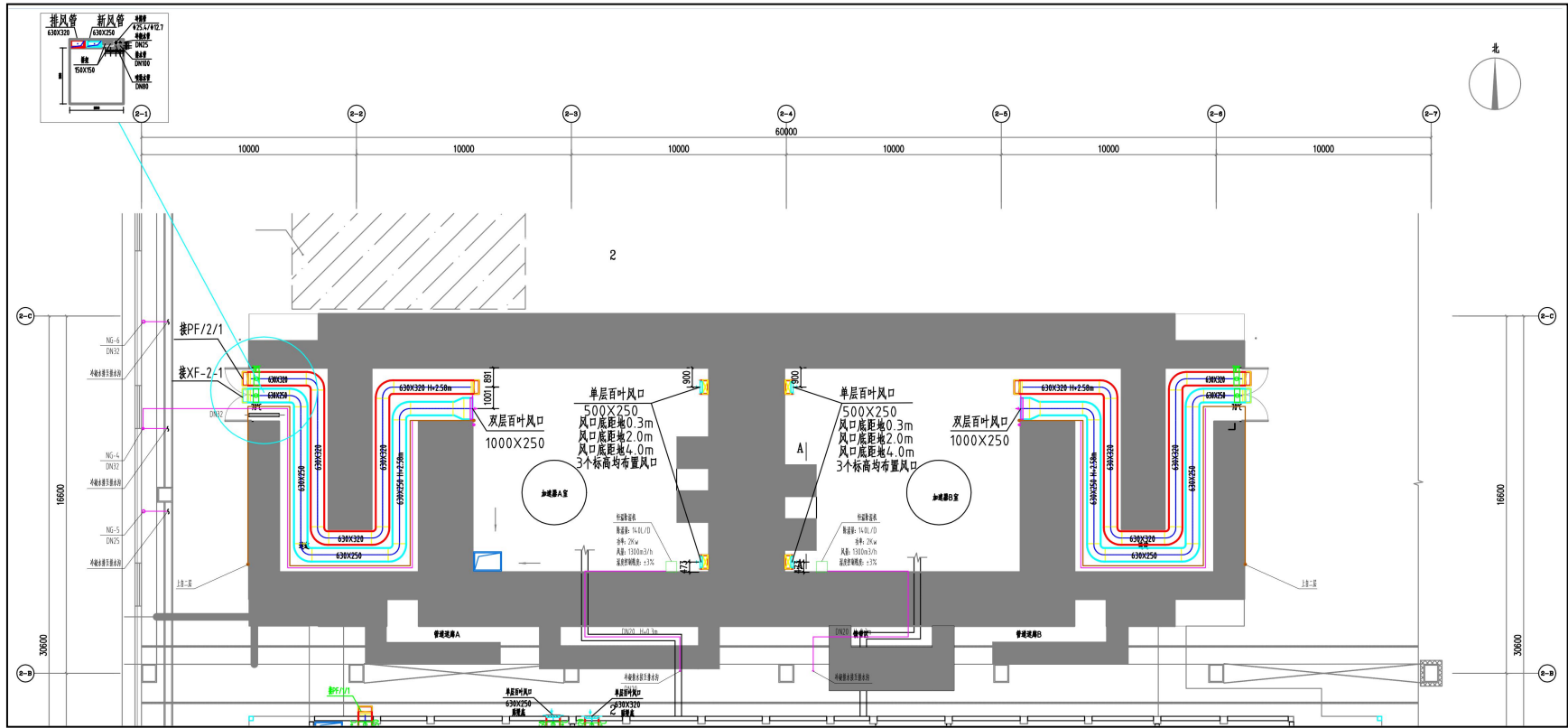


图4-12 调试机房一层通风管道走向图

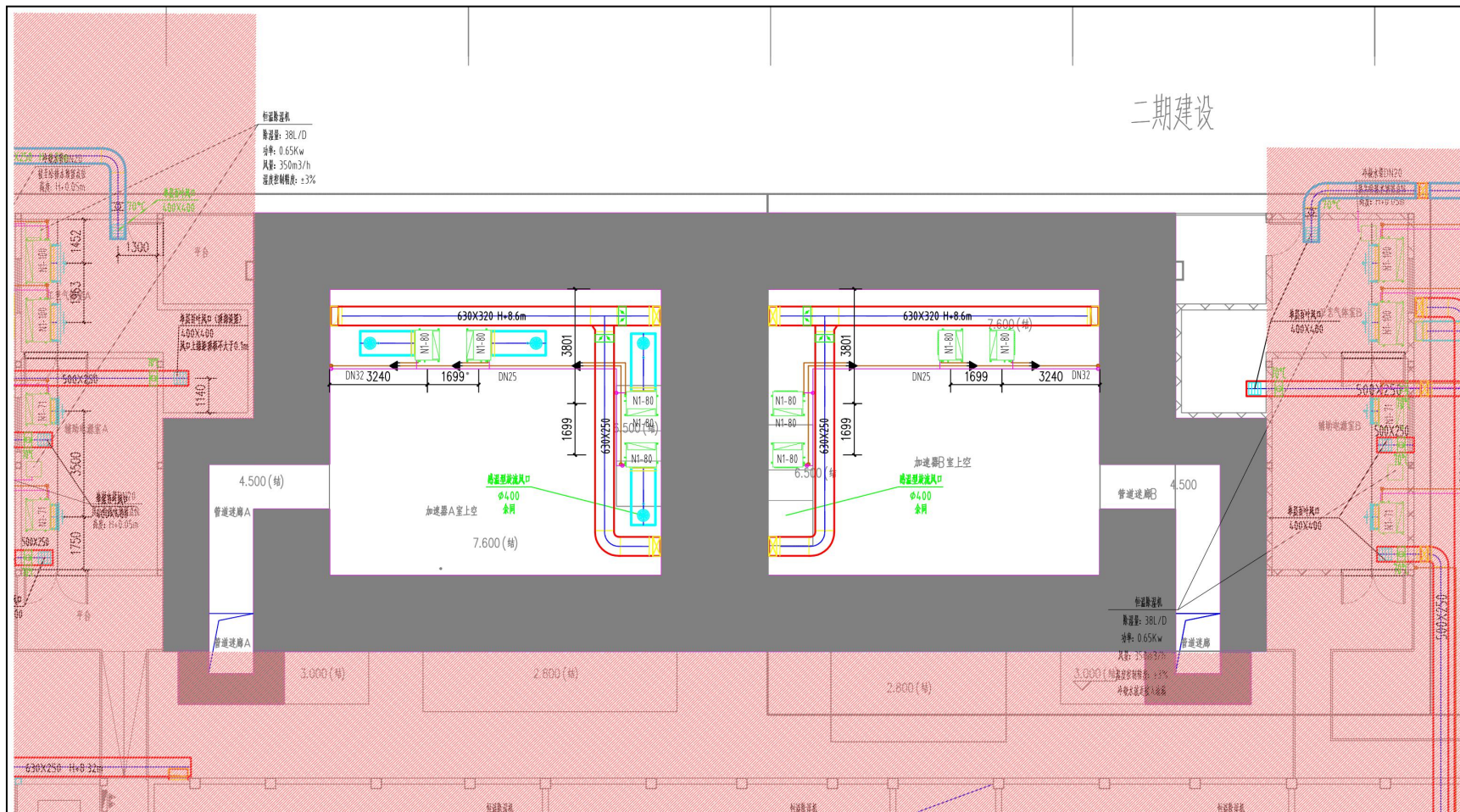


图4-13 调试机房二层通风管道走向图

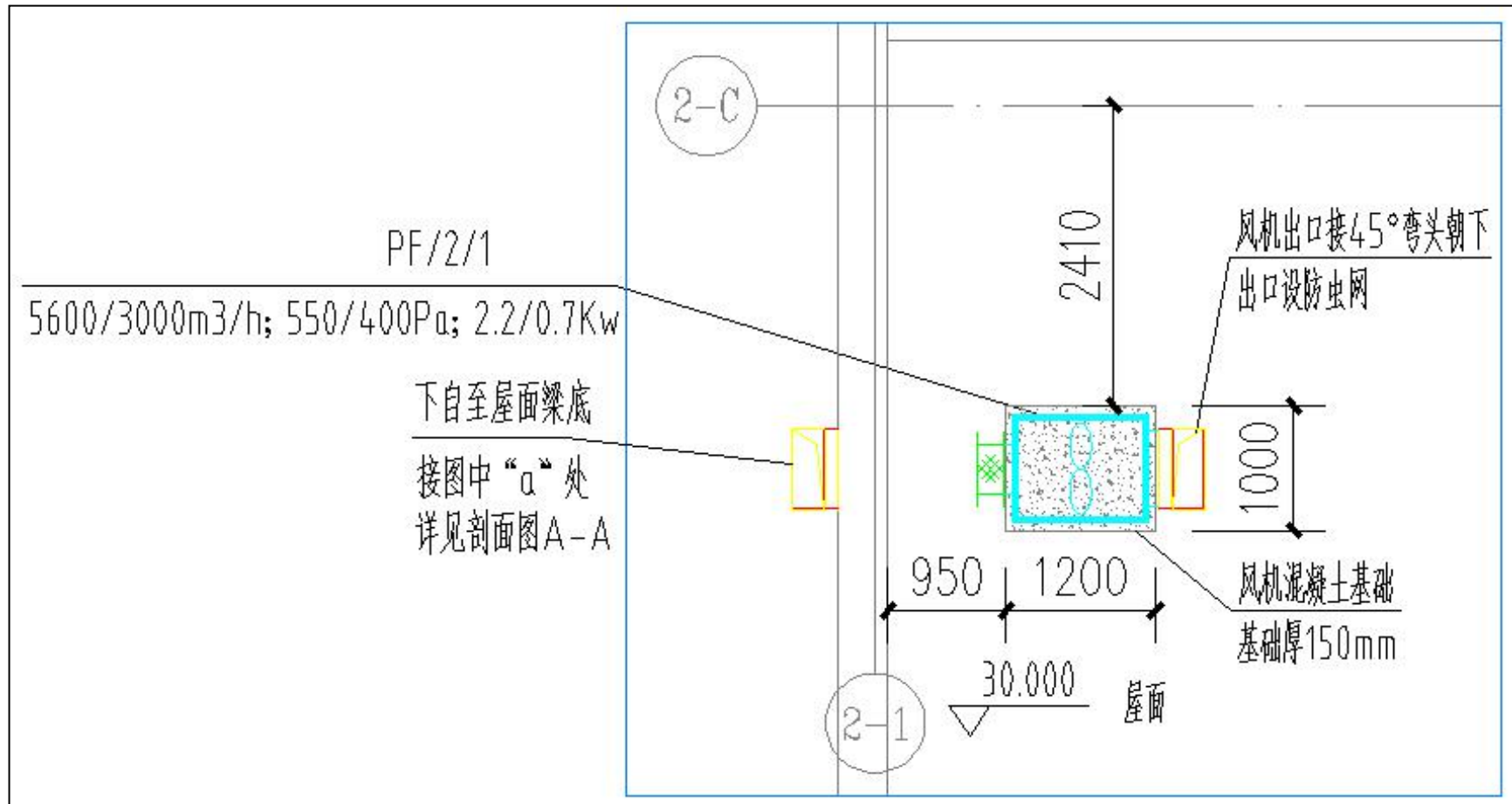


图4-14 (a) 调试机房A室排风口位置

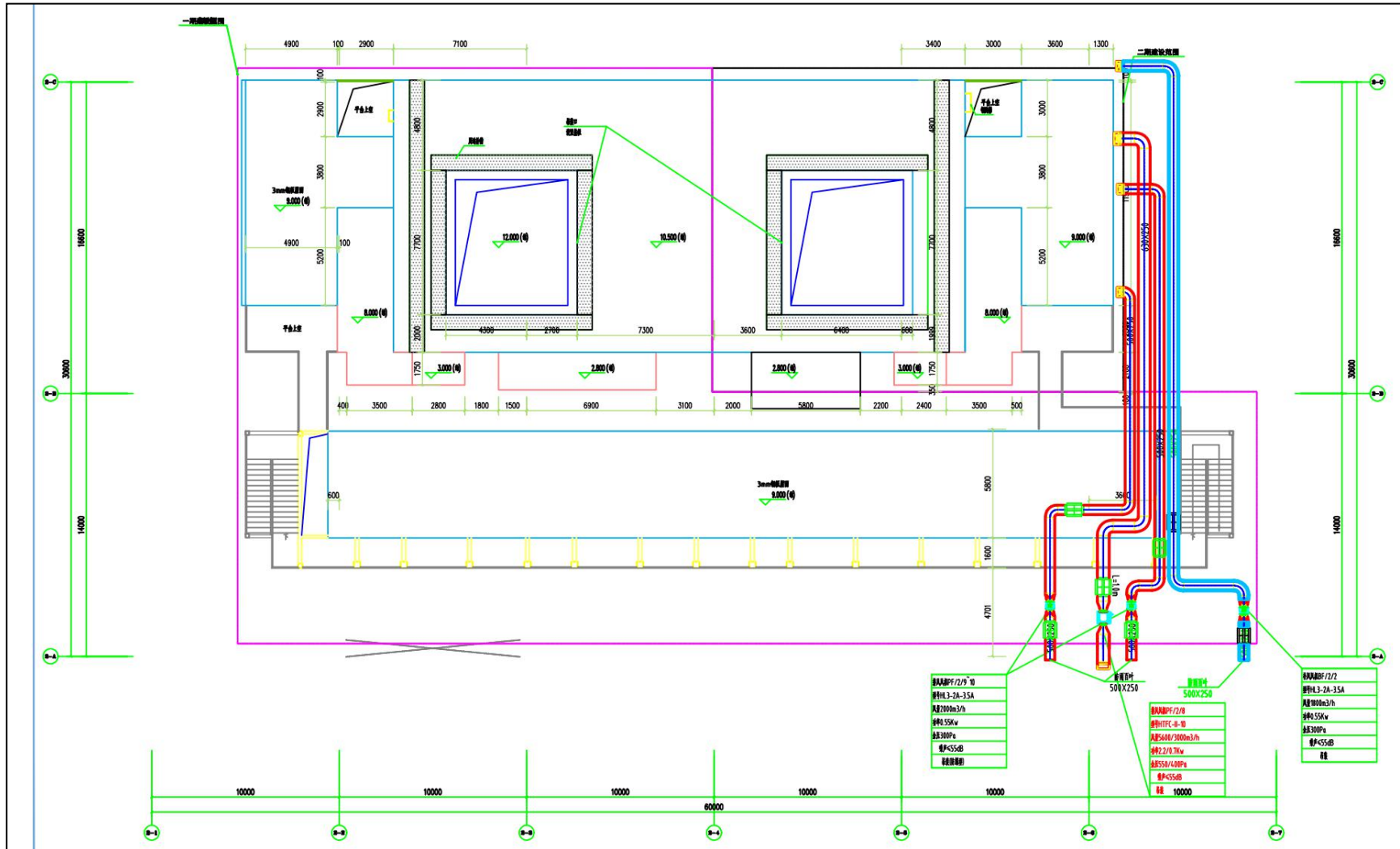


图4-14 (b) 调试机房B室排风口位置 (上至屋面做法同加速器测试平台一期A室)

4.2.4 电离辐射警告标志设置

在回旋加速器调试机房辐射工作场所控制区的进出口设置如下图所示警告标志；在监督区的入口处的适当位置设置表明监督区的标牌。

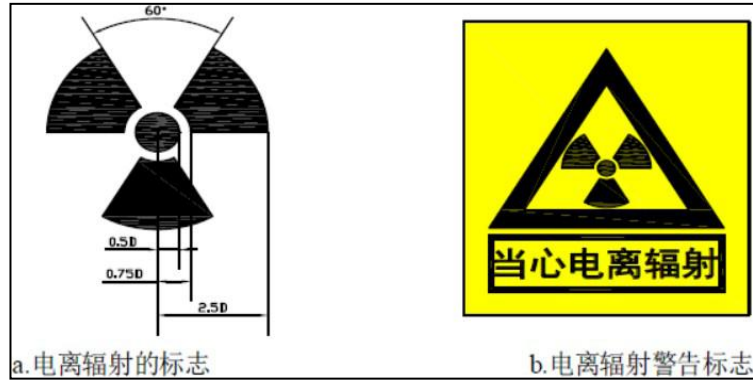


图4-15 警告标志示意图

4.2.5 工作人员剂量控制措施

合肥中科离子医学技术装备有限公司设置了多种剂量控制措施，以确保辐射工作人员的受照剂量得到有效控制。

（一）个人剂量监测

该项目辐射工作人员在工作期间必须佩带个人剂量计和直读式个人剂量报警仪。项目建设单位为辐射工作人员建立个人剂量档案，每次工作结束后，由专门的辐射安全专员负责回收直读式个人剂量报警仪，并记录工作人员的工作时间和该次工作期间的受照剂量，作为下次工作时制定工作方案的依据。

个人剂量计每季度委托有相关资质单位监测一次，并由专门的辐射安全员负责存档；直读式个人剂量报警仪能够实时显示工作人员的在一次工作期间的受照剂量和工作场所的剂量率水平。

回旋质子加速器带束调试期间，利用便携式中子/γ剂量率仪对调试机房屏蔽体外周围场所进行不定期的巡检，确保工作人员的安全。

(二) 剂量率和累积剂量控制

项目建设单位对辐射工作人员实行累积剂量控制方式，其剂量管理目标值为“每年总受照剂量不超过5mSv”。当工作人员年受照剂量接近其剂量管理目标值，该名工作人员立即停止工作，由其他工程师替补。

辐射工作人员在厂内调试机房进行加速器调试期间以及到用户单位进行安装调试和维护期间，进入机房内部工作的许可条件见下表。

表4-10 调试期间进入机房内部进行工作的许可条件

工况	安全联锁系统	剂量率
带束调试	门限位开关、紧急停机按钮、清场搜索按钮、声光报警装置等安全联锁	机房内固定在线监测点位处辐射剂量率应低于10 μ Sv/h；关键零部件表面30cm处的剂量率低于300 μ Sv/h

注：1、机房内固定监测点位辐射剂量率取值源于模拟结果。

2、关键零部件表面剂量率的限值源于国外的实测数据以及模拟结果。

4.3 三废治理

4.3.1 放射性污染防治

(一) 放射性废气及处理措施

根据第三章的分析可知，回旋加速器在调试机房内调试期间产生感生放射性气体中主要放射性核素为 ^{13}N （半衰期9.965min）、 ^{15}O （半衰期2.037min）、 ^{11}C （半衰期20.39min）和 ^{41}Ar （半衰期1.8h）。

上述空气感生放射性核素均为短半衰期核素，经过一段时间后可自行衰变至较低水平。调试机房设有独立的通风系统，回旋加速器调试过程中产生的感生放射性气体最终从屋顶高空排入环境。

经计算，项目排放的活化气体所致公众空气浸没外照射个人剂量为2.57E-4mSv/a，吸入内照射为1.28E-9mSv/a，因此，该项目所排放的活化气体对周边公众影响是极其轻微的。

（二）放射性废液及处理措施

本项目可能产生的放射性废液主要是活化冷却水。质子加速器所用冷却水为去离子水。正常运行情况下，设备冷却水闭路循环不排放，仅在保证水质而进行去离子化或设备相关部位冷却水系统检修时才需要排放。

该项目拟建的2个加速器调试机房，每个机房SC240和CIM14-A使用相同的水冷系统，其一回路冷却水容量西机房 0.4m^3 ，东机房 0.6m^3 ，水冷室 0.5m^3 。所有一回路冷却水均排入集成测试厂房西北角已建 5m^3 放射性废水贮存池。此外，SC200超导回旋质子治疗系统工程的一回路冷却水共 2m^3 。

按最不利情况考虑，同时可能有 3.5m^3 放射性废水产生，因此，该项目依托SC200超导回旋质子治疗系统工程在集成测试厂房西北角已建 5m^3 放射性废水贮存池是可行的。

带有感生放射性的冷却水经一定时间暂存后，冷却水中短半衰期核素 ^{15}O 、 ^{13}N 和 ^{11}C 等将迅速衰变，浓度也很快降低，因此只需关注冷却水中半衰期较长的 ^3H 和 ^7Be 的浓度。建设单位将定时对衰变池中冷却水进行采样，分析监测其中 ^3H 和 ^7Be 的浓度，在浓度达标并经生态环境主管部门同意后，方可排入市政污水管网。

（三）放射性固体废物及其处理措施

回旋质子加速器结构部件的感生放射性主要是粒子直接与结构材料相互作用产生。质子加速器产生感生放射性的主要部位是束流损失较大的部位，如束流管、偏转磁铁、探针、准直器、负载等，其主要材料为铁、不锈钢、铜、钼、钨等。相关实验研究表明，回旋质子加速器停机后被活化部件中主要是 ^{54}Mn 、 ^{51}Cr 、 ^{52}Mn 和 ^{60}Co 等半衰期较长的核素。

根据刘原中等人发表的《高能质子加速器治疗系统应用中的环境安全问题》（原子能科学技术，第38卷增刊，2004年7月），回旋质子加速器结构部件的放射性比活度在 10^6Bq/kg 量级。超出了豁免水平，需对拆卸下来的部件加强管理，进行辐射水平监测、登记，暂存在专用的贮存装置内。

项目建设单位根据SC200超导回旋质子治疗系统调试及以往工作经验，预计该项目每3~5年更换一次冷却水离子交换树脂，每次更换产生约45kg废弃的冷却水离子交换树脂，其他含感生放射性的结构部件预计每年产生约30kg。

项目建设单位辐射工作人员使用特定的废物桶（屏蔽材料：5cm厚的铅桶，废物桶上贴有电离辐射警告标志和标签，标明废物类型和存放日期），将机房内产生的放射性固体废物移送至公司已建的放射性废物库暂存。

已建的放射性废物库位于集成测试厂房一层北侧，暂存间容积为 75m^3 。放射性固废暂存库门上贴有电离辐射警告标志，按规定实行双人双锁管控。该项目产生的放射性固体废物按国家规范包装后，依托该放射性废物库集中暂存，最终将委托项目所在地城市放射性固废处置中心或其他有资质的单位处置。

环评要求：项目建设单位应按照《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）相关要求，产生的放射性固体废物经分类收集、包装后，装入带有分类标记的专用口袋或容器，送入放射性固体废物暂存间暂存。放射性固体废物暂存量超过暂存间50%容积（ 37.5m^3 ）后应及时送交城市放射性固废处置中心或其他有资质单位处理。

4.3.2 非放射性污染防治

(一) 废气治理措施

该项目运行期废气污染源主要为测试机房内空气经辐照产生的臭氧及氮氧化物，经通排风系统，由厂房屋顶高空排入大气。

根据第5章的预测分析内容，加速器调试机房产生的臭氧和二氧化氮的饱和浓度比《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》（GBZ 2.1-2007）中控制值 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 低多个数量级，室内有害气体臭氧不会对工作人员造成危害。有害气体排放到环境中将进一步受到大气的稀释，该项目排放的臭氧造成周围空气中臭氧浓度同样远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及其修改单中的二级浓度限值；排放氮氧化物浓度远低于《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）排放限值。

(二) 废水治理措施

该项目为加速器测试平台项目，每年增加 2 台 240MeV 和 5 台 14.2MeV 的质子加速器。根据与建设单位核实，此次评价涉及的 2 个加速器测试机房分 2 个阶段建设，计划增加约 15 名辐射工作人员，但厂区内的劳动定员不会超过中科离子一期项目确定的 170 人。

因此，该项目建成后，厂区不新增生活污水，目前厂区生活污水经预处理后排入市政污水管网，对周边地表水影响很小。此次不再进一步展开分析。

(三) 噪声治理措施

项目运行过程中的噪声源主要为通排风设备系统、空调系统运行噪声。通排风室内机噪声源强在 $38\text{dB}(\text{A})\sim 45\text{dB}(\text{A})$ 、室外排风机噪声约 $55\sim 60\text{dB}(\text{A})$ 。根据第五章的预测分析可知，通过距离衰减及现状背景

噪声叠加后,各厂界声环境能够满足《声环境质量标准》(GB 3095-2008)中3类标准限值要求。从预测值和现状监测值对比分析可知,该项目投入运行后,对周边声环境贡献很小,不会改变周边声环境现状。

(四) 固体废物治理措施

该项目运行期固体废物主要是工业固体废物。项目回旋质子加速器运行过程中,在调试、检修等阶段将产生一定量不含感生放射性的固体废物,主要为零部件的包装材料、真空清洗安装所产生的废物、安装线缆产生的废物,年产生量预计约10kg/a,经集中收集后,由当地物资公司回收利用,不会对周围环境造成不利影响。

4.4 用户单位进行安装调试期间的辐射安全与防护措施

回旋质子加速器在用户单位使用场所进行安装调试阶段,用户单位质子加速器辐射工作场所的辐射安全和防护措施应按本公司推荐的防护要求实施(与该项目厂内调试机房的措施基本一致),并且用户单位的质子加速器应用项目环境影响评价文件应经生态环境主管部门审批通过,其辐射安全和防护措施已经充分评价论证是可行的。

4.4.1 辐射安全联锁系统

该项目质子加速器安全联锁系统的设计遵循“失效安全”、“纵深防御”和“最优切断”原则,不但重要场所进行多重“冗余”设计,整个系统也为“冗余”。“急停”按钮和巡查“复位”按钮显目、易识别、容易到达。重要部位设置监控装置,辐射区域设置机器运行前警告和语音提示装置,控制台设置电子显示屏,用于显示辐射区域内的联锁装置工作状况。

用户现场质子加速器工作场所安全联锁系统结构核心部件是可编程逻辑控制器(PLC),输入输出模块的信号直接与安全组件和系统联锁硬线连接。输入模块主要负责将急停按钮、门限位开关、钥匙控制等安

全组件的状态发送给控制器。输出模块主要负责将控制器的控制信号发送给相应的加速器安全设备等输出设备。位于控制室的主控计算机通过高级总线与安全联锁系统主控制器通讯，获取安全联锁系统的现场实时状态。安全联锁系统作为质子加速器系统安全运行的重要组成部分，由合肥中科离子医学技术装备有限公司严格按照其操作规程进行安装和调试。

4.4.2 场所辐射监测系统

用户单位场所辐射监测系统应已布设完成，包括中子探测器和伽玛探测器，通过测定工作场所内部和屏蔽体外的辐射水平，验证屏蔽措施的可靠性，保证工作人员和公众的安全。

4.4.3 通风系统

合肥中科离子医学技术装备有限公司针对该项目质子加速器推荐给用户的通风系统设计方案中，建议的换气次数为4~6次/小时，主要用于治疗机房内感生放射性气体的排放。具体的通风量、排风口的设置以及排风高度根据用户单位建筑平面布置、各区域尺寸等因素相关。质子加速器开始安装调试前，需确认用户单位通风系统建设并测试合格。安装调试过程中，各区域通风系统保持运行状态。若工作人员因工作需要进入加速器测试机房等区域内部，加速器停机后通风时间满足辐射工作许可条件后，工作人员方可进入。

4.4 服务期满后的环境保护措施

该项目服务期满后超导回旋加速器拆除下来的如束流装置、靶件等含感生放射性的结构部件、冷却水净化树脂等含放射性的固体废物均按照上述放射性固废处置与转移。

在退役过程中，质子加速器调试区域中的感生放射性核素情况经监

测，待其衰变达到相应核素的清洁解控水平后，经生态环境主管行政部门批准后，方可作退役处理。

5 环境影响分析

5.1 建设阶段环境影响分析

该项目加速器测试机房是采用预制混凝土构件现场拼装而成，构件间拼接缝控制在2cm以内。预制混凝土构件采取定制、委外生产的形式。

因此，该项目施工期环境影响主要为运输车辆产生的扬尘、车辆噪声以及拼接施工机械噪声，其次为拼接施工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。施工期的环境影响都是暂时性的，随着施工期的结束而消失。

5.1.1 大气环境影响分析

该项目在已建厂房内施工，施工期的大气污染源主要为运输车辆产生的扬尘及施工机械、运输车辆尾气。

(1) 运输车辆产生的扬尘

因运输的建筑材料主要为已成型的混凝土构件及紧固件，物料卸载产生的扬尘非常有限。物料运输车辆行驶时会产生扬尘，尤其是重型车辆，产生的扬尘更大，行驶速度越快，产生的扬尘越大，同时，产生的扬尘量与项目区域的气象气候条件、清扫的方式、车流量、道路的路面情况以及清洁程度有关。在完全干燥情况下，可按如下公式计算：

$$Q=0.123(v/5)(W/6.8)^{0.85}(P/0.5)^{0.75} \quad (5-1)$$

式中：Q为汽车行驶的扬尘，kg/km.辆；

v为汽车速度，km/h；

W为汽车载重量，吨；

P为道路表面粉尘量，kg/m²；

表5-1为一辆10吨卡车，通过一段长度为1km的路面时，不同路面清

洁程度、不同行驶速度情况下的扬尘量。

表5-1 在不同车速和地面清洁程度的汽车扬尘单位：kg/辆

车速 \ P	0.1kg/m ³	0.2kg/m ³	0.3kg/m ³	0.4kg/m ³	0.5kg/m ³	1kg/m ³
5km/h	0.051056	0.085865	0.116352	0.144408	0.170715	0.287108
10km/h	0.102112	0.171731	0.232764	0.288815	0.341431	0.574216
15km/h	0.153176	0.252759	0.349146	0.433223	0.512146	0.861323
20km/h	0.255279	0.429326	0.581910	0.722038	0.853577	1.435539

由上表可见，在同样路面清洁程度下，车速越快，扬尘量越大；而在同样车速情况下，路面越脏，则扬尘量越大。因此限速行驶及保持路面的清洁是减少汽车扬尘的有效手段。

为减小运输车辆扬尘对周边环境的影响，建设单位应采取以下的降尘措施：①保持厂内道路清洁、定期洒水降尘；②对进出厂区的运输车辆进行清洗；③控制运输车辆装车量，并实行限速行驶；④选择合理的运输路线和时间，运输扬尘对周边环境的影响控制在可接受范围内。

(2) 施工机械、运输车辆尾气

大型建筑材料运输车辆一般都以柴油为燃料。由柴油燃烧产生的尾气中主要含有颗粒物和碳氢化合物等废气，在常规气象条件下废气污染影响范围最大不超过排气孔下风向几十米远的距离。一般情况下，在施工现场运行的机械及载重卡车的废气污染影响范围仅局限于施工工地范围内，不会影响界外区域。在工程施工期间，使用液体燃料的施工机械及运输车辆的发动机排放的尾气中含有SO₂、NO、CO、烃类等污染物，一般情况下，这些污染物的排放量不大，且项目地区大气扩散条件良好，因此，此类废气对周边大气环境的影响较小。

5.1.2 水环境影响分析

因该项目加速器测试机房在公司已建厂房内建设，不涉及土石方开挖，且机房的预制混凝土构件均委外定制，项目现场仅涉及预制混凝土构件的拼装。因此，施工期不产生施工废水，仅涉及施工人员的生活污水，这部分废水由厂区污水处理设施处理后，经市政排水管网排入合肥西部组团污水处理厂，最终排入派河。由于废水产生量较小，对水环境影响不大。

5.1.3 声环境影响分析

施工期的噪声主要集中于混凝土构件装卸时段，但持续时间短。构件装卸噪声主要为狭带冲击声，多为低频噪声，具有阶段性、临时性和不固定性的特点。

根据目前的机械制造水平和施工条件，施工期间的噪声是有一定影响的，考虑到该项目位于高新技术开发区，周边200m范围内无声环境敏感目标。只要采取一定的措施、合理安排施工作业时间，即可减轻施工噪声对周围环境的影响。

由于施工期噪声影响是短期的，有限的，随着施工期的结束，其影响将随之消失。同时项目在采取相应措施及加强管理的前提下，项目施工对区域声环境影响不大。

5.1.4 固体废弃物影响分析

施工期的固体废物主要包括建筑垃圾和接施工人员产生的生活垃圾。建筑垃圾主要为废旧砖石、废塑料、废金属等，能回收利用的尽量回收利用，不能回收利用的应分类收集后运送至城市管理、住房和城乡建设等相关部门指定地点。

项目建设单位应在施工现场设置专门生活垃圾箱和垃圾筒，分类收

集后由环卫部门统一处置，不允许随意抛弃。固体废物只要做到及时清运处置，施工期不会对周围环境产生明显影响。

5.1.5 生态环境影响分析

因该项目加速器测试机房在公司已建厂区内的已建厂房内建设，不涉及土石方开挖，且机房的预制混凝土构件均委外定制，对周边生态环境无影响。

5.2 生产阶段环境影响分析

5.2.1 场所辐射水平

5.2.1.1 剂量率参考控制水平

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第5部分：质子加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.5-2015）中的相关要求，剂量率参考控制水平 H_c 取导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ 和最高剂量率参考控制水平 H_{cmax} 中的较小者。

导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 计算公式如下：

$$H_{c,d} = H / (t \cdot U \cdot T) \quad (5-2)$$

式中： H 为年剂量控制限制，单位为微希每年 (mSv/a)，职业工作人员 5mSv/a ，公众 0.25mSv/a ；

U 为使用因子，如无特殊说明 $U=1$ ；

T 为人员在相应关注点驻留的居留因子，①全居留 ($T=1$)：管理人员或职员办公室、周边建筑物中的驻留区等；②部分居留 ($1/4$ ： $1/2 \sim 1/5$)：走廊、休息室等；③偶然居留 ($1/16$ ： $1/8 \sim 1/40$)：屏蔽室出入口、公厕、储藏室、设有座椅的户外区域、屋顶、门岗室等。

t 为照射时间，单位为小时每年 (h/a)。根据建设单位提供的项目

资料，质子加速器测试机房投入使用后，预计 SC240 每年的束流损失时间为 900 小时，CIM14-A 每年的束流损失时间为 800 小时，即年照射时间保守取约为 900 小时。

各关注点剂量率参考控制水平计算参数及结果见表 5-2。

表 5-2 关注点剂量率参考控制水平计算参数及结果

关注点	H ($\mu\text{Sv/a}$)	U	T	t (h/a)	$H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	H_{cmax} ($\mu\text{Sv/h}$)	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)
主控室	5000	1	1	900	5.55	2.5	2.5
其他辅助 功能用房	5000	1	1/4	900	22.2	10	10
测试机房 周围	250	1	1/40	900	11.1	10	10

注：1、该项目回旋加速器测试过程中束流损失时间在全年分布不均，因此，按年剂量控制限值计算导出剂量率参考控制水平。

2、其他辅助功能用房由加速器测试人员（辐射工作人员）进行定期巡视，无人员长时间停留，居留因子取 1/4。

3、厂区对外来人员进行管控，2#厂房主要开展的是回旋质子加速器和回旋质子治疗系统测试调试工作，项目建设单位对进入 2#厂房的人员进行更为严格的管控，除加速器测试人员（辐射工作人员），其他非辐射工作人员基本不进入 2#厂房，居留因子取 1/40。

5.2.1.2 建模仿真预测

(1) 建模仿真程序

此次评价建模仿真采用的是蒙特卡罗软件MCNPX。

MCNP全名为Monte Carlo N-Particle Transport Code（蒙特卡罗中子-光子输运程序），是由美国洛斯阿拉莫斯国家实验室（LosAlamos National Laboratory）开发的基于蒙特卡罗方法的用于计算三维复杂几何结构中的中子、光子、电子或者耦合中子/光子/电子输运问题的通用蒙特卡罗

计算程序，具有计算核临界系统（包括次临界和超临界系统）本征值问题的能力，与传统的经验方法相比，能真实地模拟实际物理过程，能得到与实际吻合度非常好的结果。

最新版为MCNPX（Monte Carlo N-Particle eXtended）是由MCNP4B发展而来的，结合了LAHET等程序，是对MCNP的一个扩展。最重要的部分是其中加入了对重带电粒子的输运，最新版为MCNPX 2.7.0，能对高能质子（<1000MeV）进行有效的模拟仿真。

（2）建模仿真输入

建筑模型：根据项目建设单位提供的加速器测试机房屏蔽设计参数，屏蔽体采取装配式搭建，预制块拼装间隙2cm，建筑模型详见图3-1～图3-4。

源定义：回旋质子加速器在测试机房内的安装布局详见图3-8和图3-12。SC240超导回旋质子加速器铁轭上下厚均为480mm，侧壁厚414mm，详见图3-7；CIM14-A常导回旋质子加速器铁轭上下均为249mm，侧壁237mm，详见图3-11。

仿真网格：20cm×20cm×20cm。

仿真工况：机房+加速器能量+束流损失点（材料），详见表 5-3。

表5-3 建模仿真工况条件

序号	西机房	东机房
1	left240p1（Cu）	right240p1（Cu）
2	left240p2（W）	right240p2（W）
3	left240p3p4（W+Cu）	right240p3p4（W+Cu）
4	left14p1（Mo）	right14p1（Mo）
5	left14p2p3（Cu+Cu）	right14p2p3（Cu+Cu）
6	left14p4p5（Cu+Cu）	right14p4p5（Cu+Cu）

(3) 建模仿真结果

建模仿真结果详见建模仿真结果图集。

从建模仿真结果可以看出：SC240超导回旋质子加速器在西机房测试过程中，束流在直杆探针损失时，管廊迷道北侧屏蔽墙和楼顶盖板外存在局部区域超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的可能，但小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ，具体详见图5-1和图5-2；束流在准直器和负载损失时，与东西房隔墙外存在局部区域超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的可能，但小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ，具体详见图5-3；其他工况条件下，西测试机房屏蔽体外，迷道、管廊外入口处辐射剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

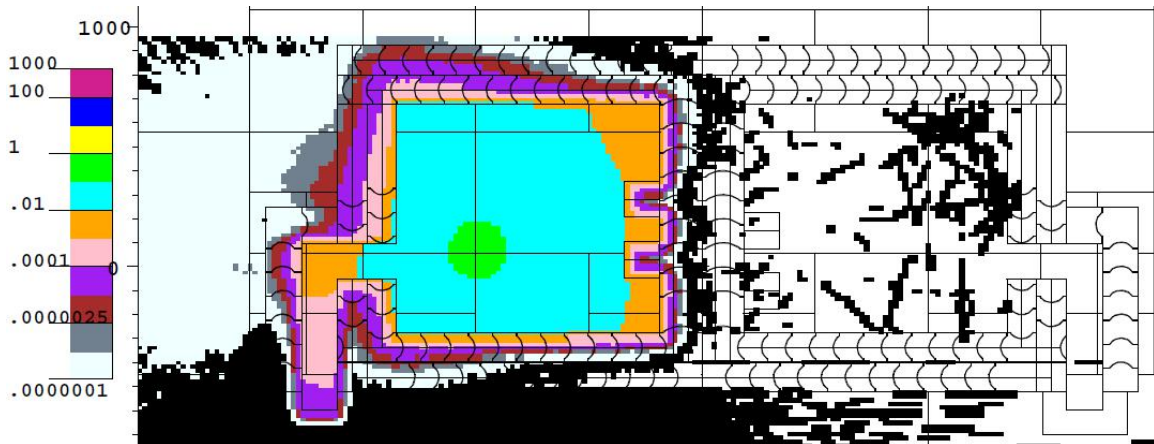


图5-1 left240p1 (Cu) 工况条件下4.8m高的建模仿真结果

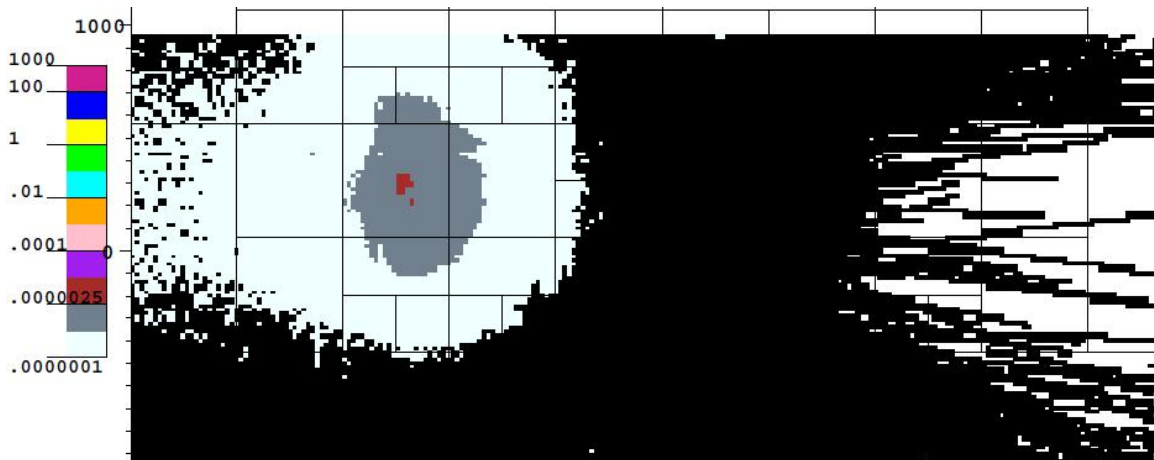


图5-2 left240p1 (Cu) 工况条件下12.1m高的建模仿真结果

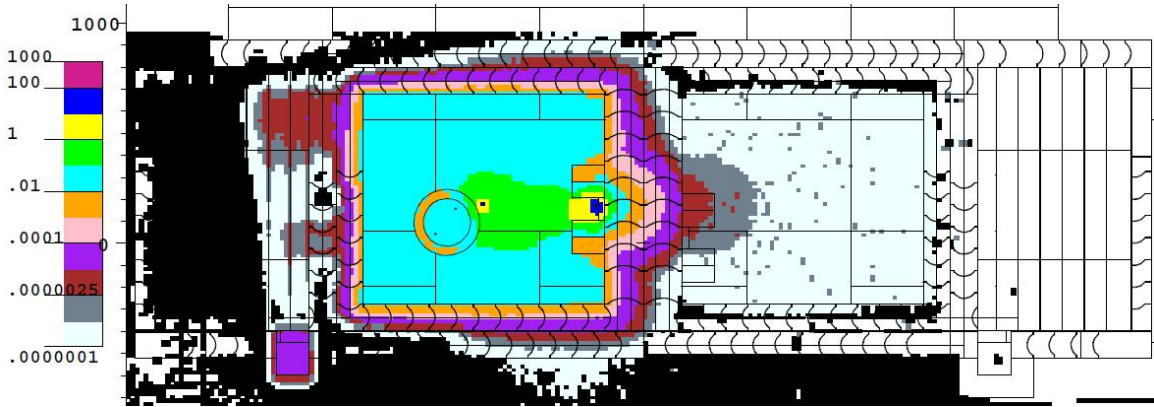


图5-3 left240p3p4 (W+Cu) 工况条件下3.65m高的建模仿真结果

SC240超导回旋质子加速器在东机房测试过程中，束流在直杆探针损失时，管廊迷道屏蔽墙、南侧屏蔽墙（管道迷廊上方）、楼顶盖板外存在局部区域超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的可能，但小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ，具体详见图5-4~图5-6；束流在准直器和负载损失时，与东西房隔墙外存在局部区域超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的可能，但小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ，详见图5-7；其他工况条件下，西测试机房屏蔽体外，迷道、管廊外入口处辐射剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

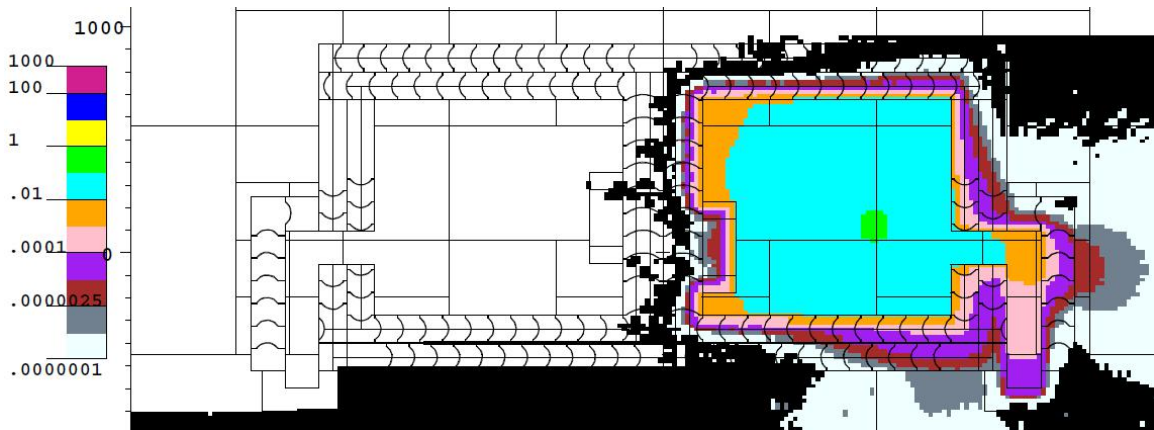


图5-4 right240p1 (Cu) 工况条件下5.7m高的建模仿真结果

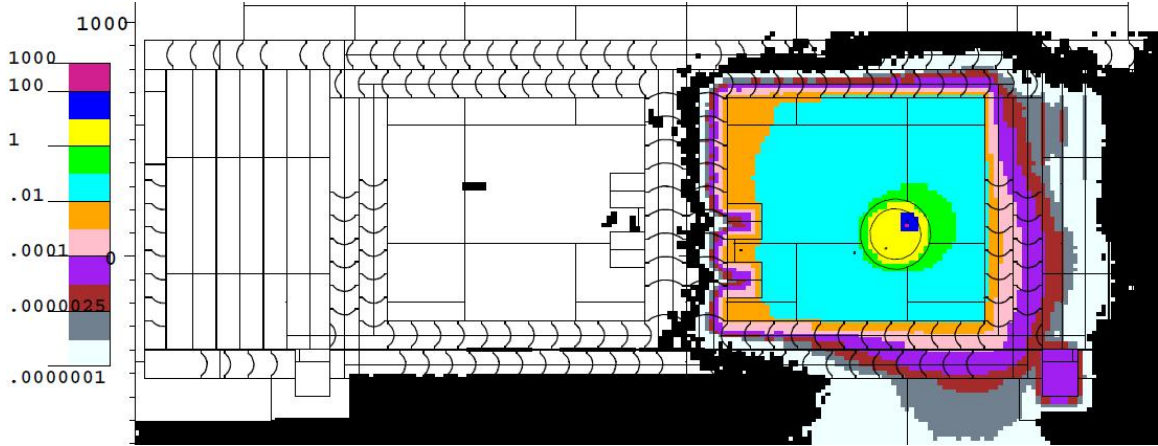


图5-5 right240p1 (Cu) 工况条件下3.65m高的建模仿真结果

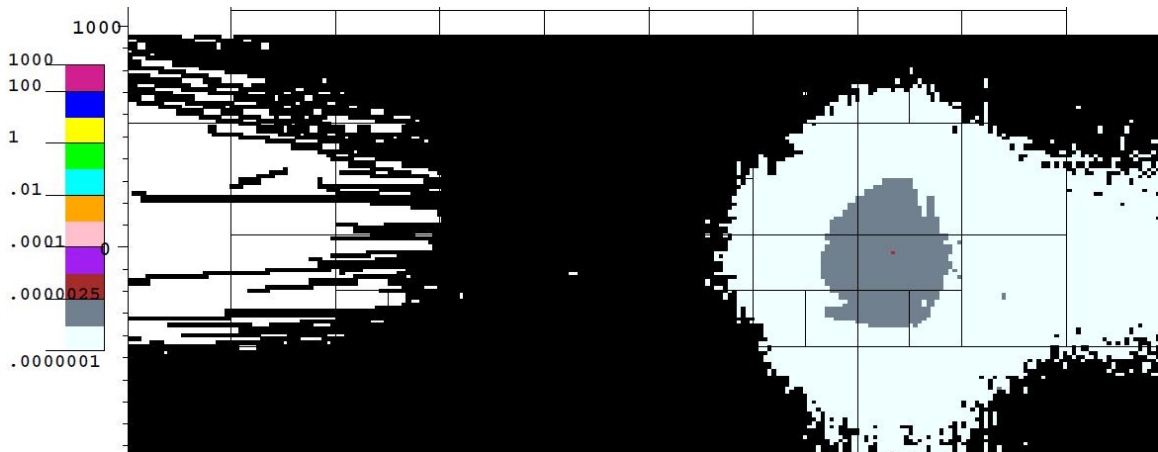


图5-6 right240p1 (Cu) 工况条件下12.1m高的建模仿真结果

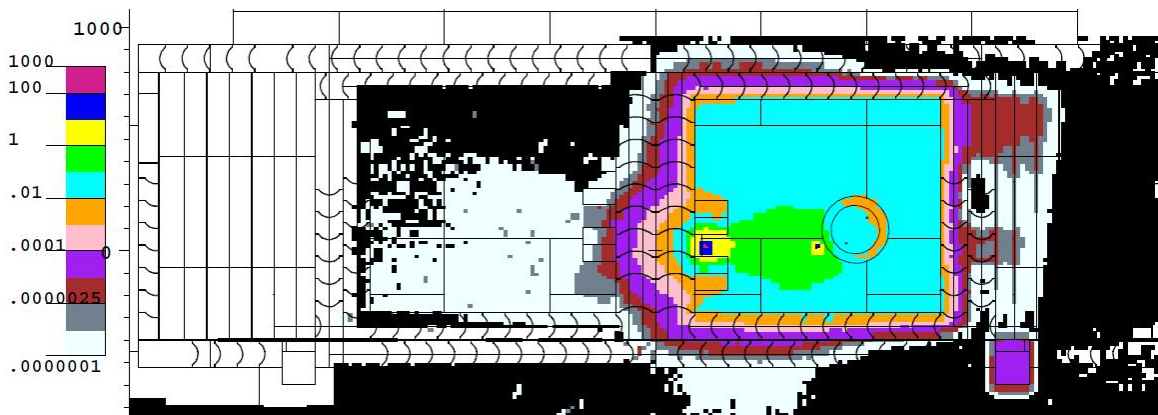


图5-7 right240p3p4 (W+Cu) 工况条件下3.65m高的建模仿真结果

CIM14-A常导回旋质子加速器在测试过程中，两个测试机房屏蔽体

外，迷道、管廊外入口处辐射剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

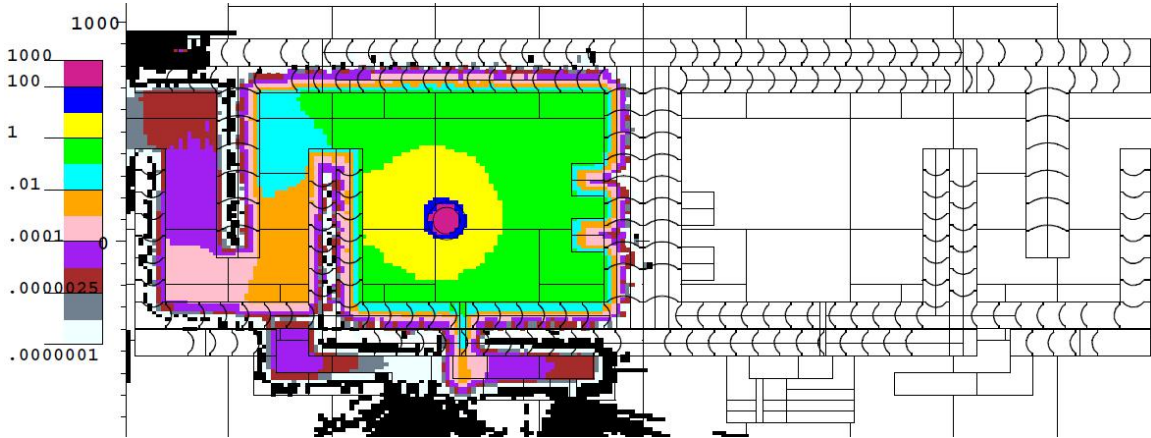


图5-8 left14p1 (Mo) 工况条件下1.6m高的建模仿真结果

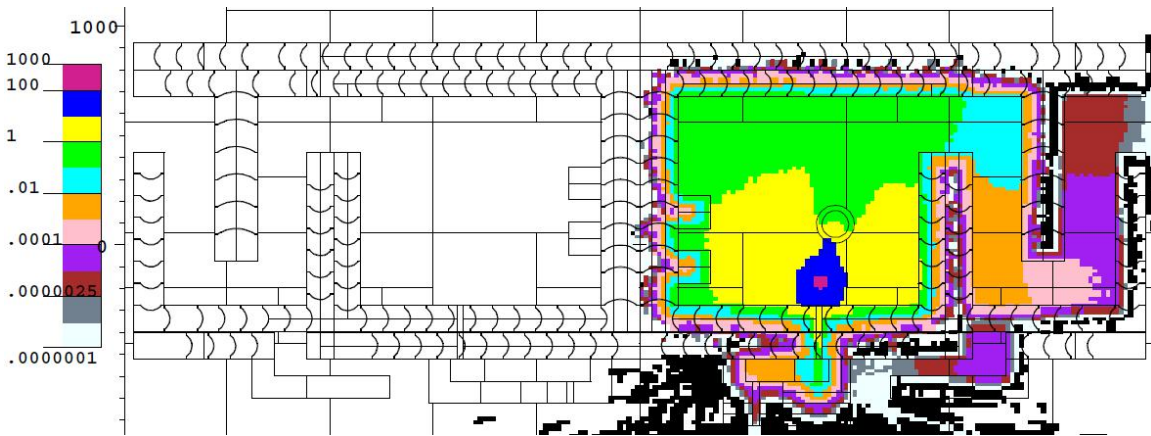


图5-9 right14p4p5 (Cu+Cu) 工况条件下1.6m高的建模仿真结果

从测试机房的建筑设计，以及回旋质子加速器在测试机房内的安装布局 and 束流损失方向分析可知：东、西机房的叠加影响仅在南、北屏蔽墙和楼顶盖板靠近中间隔墙的区域才值得关注，而东、西机房回旋质子加速器束流损失方向未指向同一区域，从建模仿真结果看，东、西机房对屏蔽体外叠加影响很小。

从建模仿真结果分析可知：西机房管廊迷道北侧屏蔽墙外、东机房管廊迷道屏蔽墙外、东机房南侧屏蔽墙（管道迷廊上方）、相邻测试机房内、楼顶盖板外仅加速器测试人员（辐射工作人员）定期巡视时才可

能到达，满足剂量率参考控制水平 $10\mu\text{Sv/h}$ 的要求，其他区域（包括主控室）能满足剂量率参考控制水平 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

考虑到该项目两加速器测试机房分两期建设完成，一期建设西机房、二期建设东机房，在二期东机房尚未建设前，西机房东侧屏蔽墙外存在公众到达的可能，但由于西机房东侧屏蔽墙外满足剂量率参考控制水平 $10\mu\text{Sv/h}$ 的要求，无须采取实体管控措施。

5.2.1.3 经验公式预测

对比SC240超导回旋质子加速器、CIM14-A常导回旋质子加速器建模仿真结果可以看出：对于具有一定屏蔽厚度的区域，SC240超导回旋质子加速器的影响更值得关注，对于迷道、穿墙管孔，CIM14-A常导回旋质子加速器的影响更值得关注。因此，对于以上两情况，此次评价采用经验公式进行预测，与建模仿真结果进行相互校验。

(1) 屏蔽体外

此评价报告对质子加速器测试机房屏蔽效果的评述，依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第5部分：质子加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.5-2015）中的计算模式和相关参数。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第5部分：质子加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.5-2015）：当关注点与束流损失点的距离远大于束流损失点的几何尺寸（大于7倍）时，可将靶视为点源。根据质子加速器和测试机房的尺寸，此项目各束流损失点均可视为点源，机房屏蔽体外的剂量率预测公式如下：

$$H = S_0 \cdot H_{casc}(\theta) \cdot e^{-\frac{d\mu}{\lambda(\theta)}} \cdot r^{-2} \quad (5-3)$$

式中： H 为 r 处的剂量率，单位为 Sv/s ；

S_0 为单位时间损失在部件上的质子数，束流损失为 I (nA) 时，为 $6.29 \times 10^9 I$ ，单位为质子数/s；

$H_{casc}(\theta)$ 为单个质子产生的级联中子在距束流损失点 1m 处的辐射剂量，单位为 $(Sv \cdot m^2)$ / 单个质子；

d 为屏蔽层厚度，单位为 cm；

ρ 为屏蔽层密度，单位为 g/cm^3 ；

$\lambda(\theta)$ 为在 θ 方向的级联中子在屏蔽层中的衰减长度，单位为 g/cm^2 ；

r 为关注点与束流损失点的距离，单位为 m。

测试机房屏蔽外辐射剂量预测参数及结果详见表 5-6。各预测参数的选取进行说明如下：

S_0 为由公式可直接计算得到，即 $6.29 \times 10^9 \times 10 = 6.29 \times 10^9$ 质子数/s。

$H_{casc}(\theta)$ 和 $\lambda(\theta)$ 由 GBZ/T 201.5-2015 附录 E 中的表 E.1 (详见表 5-4) 可查得。由表 5-4 可知， $H_{casc}(\theta)$ 和 $\lambda(\theta)$ 与质子束流能量、束流损失点→关注点与质子入射方向的夹角有关，工程分析可知：SC240 在直杆探针损失的质子束流能量为 3~240MeV，此次经验公式预测选取 250MeV 对应的参数进行保守预测，质子入射方向也可根据加速器在测试机房内的安装定位获得，因此，关注点的确定显得尤为重要。

d 和 r 在确定关注点位置时，束流损失点→关注点直线路径便同时确定。

关注点在小范围的变化时，束流损失点→关注点的距离 r 不会有明确变化，束流损失点→关注点与质子入射方向的夹角也不会有明确变化，但由于该项目测试机房屏蔽体采取装配式搭建，预制块拼装间隙 2cm，关注点在小范围时，束流损失点→关注点路径可能穿过最长的拼

接弯缝，将关注点设在此处进行保守预测。具体示意见图 5-10。

表 5-4 $H_{casc}(\theta)$ 和 $\lambda(\theta)$ 与 θ 和靶材料的关系

与质子入射方向的夹角 θ ($^{\circ}$)	级联中子的当量剂量转换因子 $H_{casc}(\theta)$ $Sv \cdot m^2$			级联中子在混凝土中的衰减长度 $\lambda(\theta)$ g/cm^2		
	Fe	Cu	人体组织	Fe	Cu	人体组织
0~10	8.1E-15	7.0E-15	3.9E-15	108	110	95
10~20	6.9E-15	5.6E-15	3.6E-15	107	108	93
20~30	6.2E-15	4.7E-15	2.5E-15	101	106	92
30~40	4.0E-15	3.5E-15	1.8E-15	98	100	83
40~50	2.9E-15	2.5E-15	9.3E-16	96	97	80
50~60	2.0E-15	1.8E-15	7.1E-16	92	91	75
60~70	1.2E-15	1.1E-16	6.0E-16	85	82	67
70~80	7.6E-16	7.1E-16	5.1E-16	74	72	59
80~90	6.0E-16	5.7E-16	3.0E-16	64	63	52

注：本表的数据源于 250 MeV 质子打 Cu、Fe 厚靶和人体组织。采用数据时，注意条件。

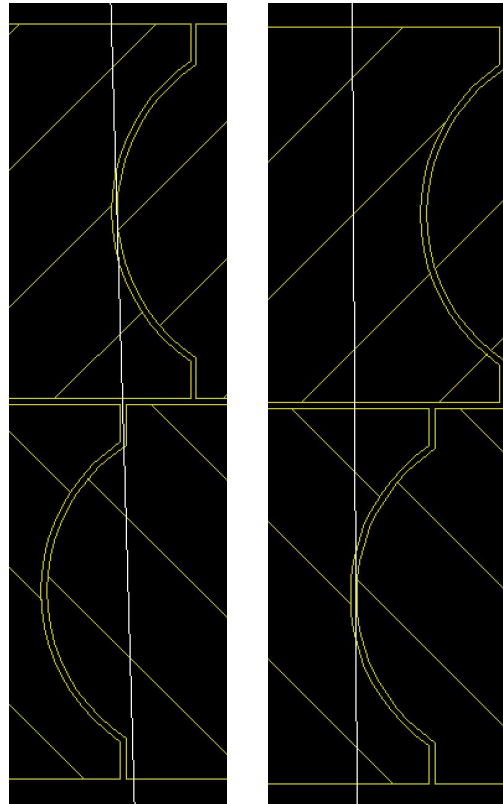


图 5-10 束流损失点→关注点路径可能穿过最长的拼接弯缝示意图

直杆探针位于回旋质子加速结构内部，需考虑铁轭屏蔽效果，铁轭上下均为480mm厚，侧壁414mm厚。预测屏蔽墙、迷道时，采用414mm考虑铁轭屏蔽效果，预测楼顶时，采用480mm考虑铁轭屏蔽效果。

铁轭和钢板衰减长度选自《Shielding Analysis of Proton Therapy Accelerators: A Demonstration Using Monte Carlo-Generated Source Terms and Attenuation Lengths》中铁(Fe)对应的值，250MeV质子与铜靶作用产生的中子在铁屏蔽体中的衰减长度详见表5-5。

表5-5 250MeV质子与铜靶作产生的中子在铁屏蔽体中的衰减长度

出射中子与入射质子之间的夹角 θ	$\lambda_{\text{铁}}(\theta)$, g/cm ²
0~10	177
10~20	172
20~30	168
30~40	160
40~50	153
50~60	150
60~70	145
70~80	141
80~90	139
90~100	141.1
100~110	139.0
110~120	137.0
120~130	134.9
130~140	132.8
140~150	130.7
150~160	128.7
160~170	126.6
170~180	124.6

表 5-6 测试机房屏蔽体外辐射剂量预测预测参数及结果

测试 机房	工况条件	关注点	束流 损失 (nA)	$H_{\text{casc}}(\theta)$ (Sv · m ²)	混凝土地板		衰减 长度 (g/cm ²)	距离 (m)	剂量率 (μSv/h)	入射角和 出身角 (°)	备注
					厚度 (cm)	密度 (g/cm ³)					
西 机 房	直杆探针	北屏蔽墙外 30cm 处	10	3.5E-15	215	2.38	100	9.29	7.16E+00	入 324 出 357	
		楼顶盖板上方 30cm 处	10	5.7E-16	150	2.38	63	7.15	6.00E-01	夹角 90	
		一楼迷道墙外 30cm 处	10	1.1E-16	361	2.38	82	14.0	3.75E-04	入 324 出 260	
		二楼管道迷廊屏蔽墙外 30cm 处	10	1.8E-15	185	2.38	91	8.93	4.01E+00	入 324 出 268	
	曲轨探针	北屏蔽墙外 30cm 处	10	1.1E-16	215	2.38	82	7.72	8.59E-02	入 60 出 359	
		中间屏蔽墙外 30cm 处	10	3.5E-15	308	2.38	100	10.3	6.36E-01	入 60 出 96	
		楼顶盖板上方 30cm 处	10	5.7E-16	150	2.38	63	7.15	6.00E-01	夹角 90	
	准直器+束 流负载	北屏蔽墙外 30cm 处	0.5	5.7E-16	215	2.38	63	7.73	6.03E-01	入 91 出 0	准直器
			9.5	5.7E-16	215	2.38	63	7.95		入 91 出 0	束流负载
		南屏蔽墙外 30cm 处	0.5	5.7E-16	215	2.38	63	7.37	6.86E-01	入 91 出 180	准直器
			9.5	5.7E-16	215	2.38	63	7.45		入 91 出 180	束流负载
		中间屏蔽墙外 30cm 处	0.5	7.0E-15	309	2.38	110	9.34	1.18E+01	入 91 出 97	准直器
			9.5	7.0E-15	混 350 +钢 30	混 2.38 钢 7.85	混 110 钢 177	4.37		入 91 出 78	束流负载
		楼顶盖板上方 30cm 处	0.5	5.7E-16	150	2.38	63	7.15	7.82E+00	夹角 90	准直器
9.5			5.7E-16	150	2.38	63	7.55	夹角 90		束流负载	

东 机 房	直杆探针	南屏蔽墙外 30cm 处	10	3.5E-15	215	2.38	100	7.16	1.21E+01	入 144 出 182	
		中间屏蔽墙外 30cm 处	10	5.7E-16	307	2.38	63	11.9	7.76E-04	入 144 出 259	
		楼顶盖板上方 30cm 处	10	5.7E-16	150	2.38	63	7.15	6.00E-01	夹角 90	
		一楼迷道墙外 30cm 处	10	3.5E-15	363	2.38	100	14.6	8.51E-02	入 144 出 110	
		二楼管道迷廊屏蔽墙外 30cm 处	10	2.5E-15	185	2.38	97	9.36	8.19E+00	入 144 出 103	
	曲轨探针	北屏蔽墙外 30cm 处	10	5.7E-16	215	2.38	63	9.32	4.08E-02	入 240 出 359	
		南屏蔽墙外 30cm 处	10	1.1E-16	215	2.38	82	5.63	1.62E-01	入 240 出 179	
		中间屏蔽墙外 30cm 处	10	3.5E-15	306	2.38	100	10.3	6.75E-01	入 240 出 276	
		楼顶盖板上方 30cm 处	10	5.7E-16	150	2.38	63	7.15	6.00E-01	夹角 90	
	准直器+束流负载	北屏蔽墙外 30cm 处	0.5	5.7E-16	215	2.38	63	9.38	2.22E-02	入 271 出 0	准直器
			9.5	5.7E-16	215	2.38	63	9.35		入 271 出 359	束流负载
		南屏蔽墙外 30cm 处	0.5	5.7E-16	215	2.38	63	5.68	6.27E-02	入 271 出 180	准直器
			9.5	5.7E-16	215	2.38	63	5.85		入 271 出 178	束流负载
		中间屏蔽墙外 30cm 处	0.5	7.0E-15	309	2.38	110	9.32	1.12E+01	入 271 出 276	准直器
			9.5	7.0E-15	混 350 +钢 30	混 2.38 钢 7.85	混 110 钢 177	4.50		入 271 出 260	束流负载
		楼顶盖板上方 30cm 处	0.5	5.7E-16	150	2.38	63	7.15	7.82E-00	夹角 90	准直器
9.5			5.7E-16	150	2.38	63	7.55	夹角 90		束流负载	

注：1、直杆探针和曲轨探针考虑铁轭屏蔽效果。

2、质子入射和中子出射角度，均以正北方向计为 0°，顺时针与正北方向的夹角计为入射或出射角度。

(2) 迷道外入口

迷道剂量衰减采用 NCRP REPORT No.144 号报告推荐的 Tesch 在 1982 年给出的预测公式：

$$H(r_i) = \left(\frac{e^{-r_i/0.45} + 0.022A_i^{1.3} e^{-r_i/2.35}}{1 + 0.022A_i^{1.3}} \right) \cdot H_{0i} \quad (5-4)$$

式中： $H(r_i)$ 为第 i 阶迷道拐角处的剂量率，单位为 Sv/h；

H_{0i} 为第 i 阶迷道入口处（第 $i-1$ 阶拐角处）的剂量率，单位为 Sv/h；

r_i 为源到第 i 阶迷道拐角处（第 $i+1$ 阶迷道入口处）距离，单位为 m；

A_i 为源到第 i 阶迷道的截面积，单位为 m^2 。

第1阶迷道入口处的剂量率预测公式结合了《辐射防护导论》（原子能出版社，方杰主编）中式5.23和《基于FLUKA的质子加速器室屏蔽设计》（科技创新与应用，闫学文、武钊、方兴）中式（1），并采用了《辐射防护导论》（原子能出版社，方杰主编）中“附图33 热中子~100MeV单能中子垂直入射穿过混凝土后的透射系数 ξ ”和《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第5部分：质子加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.5-2015）中附录D中“图D.1 不同能量的单个质子打不同物质靶时的总中子产额”。第1阶迷道入口处的剂量率预测公式如下：

$$H(d) = \frac{\varphi_0 \xi_a q}{2.8 \times 10^{-4} r^2} \quad (5-5)$$

式中： $H(d)$ 为中子束流穿过屏蔽层后的辐射剂量，单位为 Sv/h；

φ_0 为中子注量率，单位为 $n/cm^2 \cdot s$ ；

ξ 屏蔽层透射系数，单位为 $Sv \cdot cm^2$ ，查图可得，对于 14.2MeV 中子为 $7.0E-10 Sv \cdot cm^2$ ；

q 为居留因子，取 1；

r 为源到第 1 阶迷道内口的距离，单位为 m。

回旋质子加速器测试机房第1阶迷道内入口处剂量率预测参数及结果详见表5-7和表5-8。回旋质子加速器测试机房迷道外入口处剂量率预测参数及结果详见表5-9和表5-10。

表 5-7 西机房第 1 阶迷道内入口处剂量率预测参数及结果

关注点	束流损失 (nA)	中子注 量率 (n/cm ² ·s)	混凝土地板		透射 系数 (Sv·cm ²)	距离 (m)	剂量率 (μSv/h)	备注
			厚度 (cm)	密度 (g/cm ³)				
一楼迷 道内 入口	5	2.48E+08	0	/	7.0E-10	6.40	2.55E+08	准直器 1
	95	4.72E+09	0	/	7.0E-10	7.04		束流负载 1
二楼管 廊迷道 内入口	5	2.48E+08	0	/	7.0E-10	5.01	4.84E+08	准直器 2
	95	4.72E+09	0	/	7.0E-10	5.09		束流负载 2

表 5-8 东机房第 1 阶迷道内入口处剂量率预测参数及结果

关注点	束流损失 (nA)	中子注 量率 (n/cm ² ·s)	混凝土地板		透射 系数 (Sv·cm ²)	距离 (m)	剂量率 (μSv/h)	备注
			厚度 (cm)	密度 (g/cm ³)				
一楼迷 道内 入口	5	2.48E+08	0	/	7.0E-10	6.20	2.65E+08	准直器 1
	95	4.72E+09	0	/	7.0E-10	6.91		束流负载 1
二楼管 廊迷道 内入口	5	2.48E+08	0	/	7.0E-10	5.46	3.53E+08	准直器 2
	95	4.72E+09	0	/	7.0E-10	5.98		束流负载 2

表 5-9 西机房迷道外入口处剂量率预测参数及结果

	一楼迷道外入口			二楼管道迷廊外入口		
	r (m)	A (m ²)	外入口剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	r (m)	A (m ²)	外入口剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
第一道弯	3.60	7.50	1.29E+07	3.25	3.00	1.05E+07
第二道弯	7.25	6.60	1.20E+05	4.89	3.00	1.11E+05
第三道弯	4.30	6.00	3.55E+03	4.50	3.00	1.37E+03
第四道弯	7.25	6.60	3.30E+01	5.55	1.13	3.26E+00
第五道弯	2.8	7.50	2.38E+00			

表 5-10 西机房迷道外入口处剂量率预测参数及结果

	一楼迷道外入口			二楼管道迷廊外入口		
	r (m)	A (m ²)	外入口剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	r (m)	A (m ²)	外入口剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
第一道弯	3.60	7.50	1.34E+07	3.25	3.00	7.69E+06
第二道弯	7.25	6.60	1.24E+05	4.89	3.00	8.08E+04
第三道弯	4.30	6.00	3.69E+03	4.50	3.00	1.00E+03
第四道弯	7.25	6.60	3.43E+01	5.55	1.13	2.38E+00
第五道弯	2.80	7.50	2.47E+00			

5.2.1.4 建模仿真与经验公式预测结果校验分析

从建模仿真与经验公式预测结果对比分析可知：迷道外入口处的剂量率，建模仿真与经验公式预测结果相当，均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

测试机房屏蔽体外辐射剂量率，经验公式预测结果较建模仿真结果偏大，主要表现在：西机房束流在直杆探针损失时，北屏蔽墙外剂量率

为 $7.16\mu\text{Sv/h}$ （超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）；西机房束流在准直器和负载损失时，中间屏蔽墙外剂量率为 $11.8\mu\text{Sv/h}$ （超过 $10\mu\text{Sv/h}$ ）；东机房束流在直杆探针损失时，南屏蔽墙外剂量率为 $12.1\mu\text{Sv/h}$ （超过 $10\mu\text{Sv/h}$ ）；西机房束流在准直器和负载损失时，中间屏蔽墙外剂量率为 $11.2\mu\text{Sv/h}$ （超过 $10\mu\text{Sv/h}$ ）。主要原因是：由于采用经验公式预测时，很难找到与 240MeV 质子加速器完全对应的参数取值，保守采用了 250MeV 质子加速器对应的参数取值，导致经验公式预测果较建模仿真结果偏大，但不存在数量级上的差别。从而说明建模仿真结果更能反映该项目投入使用后的实际辐射影响情况，测试机房周边各关注点的剂量率能够满足该项目相应剂量率参考控制水平的要求，结果详见表5-11。

结合上述对比校验分析结果，此评价报告将依据建模仿真结果对人员受照剂量进行估算。

表5-11 回旋质子加速器测试机房周围剂量率预测结果

测试机房	关注点	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	测试机房	关注点	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
西 机 房	北屏蔽墙外 30cm 处	<2.5	东 机 房	北屏蔽墙外 30cm 处	<2.5
	南屏蔽墙外 30cm 处	<2.5		南屏蔽墙外 30cm 处	<10
	中间屏蔽墙外 30cm 处	<10		中间屏蔽墙外 30cm 处	<10
	楼顶盖板上方 30cm 处	<10		楼顶盖板上方 30cm 处	<10
	一楼迷道墙外 30cm 处	<2.5		一楼迷道墙外 30cm 处	<2.5
	二楼管道迷廊屏蔽墙外 30cm 处	<10		二楼管道迷廊屏蔽墙外 30cm 处	<10
	一楼迷道外入口处	<2.5		一楼迷道外入口处	<2.5
	管廊迷道入口外	<2.5		管廊迷道入口外	<2.5

5.2.2 人员受照剂量

5.2.2.1 工作人员受照剂量估算

(1) 瞬发辐射剂量估算

该项目回旋质子加速器在测试阶段，测试机房处于封闭状态，任何人不能进入。工作人员所受瞬发辐射剂量可由下式计算：

$$H=D \times T \times t \quad (5-6)$$

式中：H为工作人员年所受附加剂量， $\mu\text{Sv/a}$ ；

D为工作人员所在区域剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T为工作人员的居留因子；

t为回旋质子加速器年束流损失时间，h/a。

该项目回旋质子加速器测试工作人员（辐射工作人员）年所受附加剂量估算结果详见表5-12。

表5-12 回旋质子加速器测试工作人员年所受附加剂量

工作区域	最高剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年束流损失时间 (h/a)	居留因子	年所受附加剂量 (mSv/a)
主控室	2.5	900	1	2.25
其他辅助功能用房	10	900	1/4	2.25

注：SC240 每年的束流损失时间为 900 小时，CIM14-A 每年的束流损失时间为 800 小时，两个机房同步测试，一期建设西机房，则 SC240 和 CIM14-A 的测试工作量减半，因此，年束流损失时间保守取 900 小时。

由计算结果可知，该项目回旋质子加速器测试工作人员（辐射工作人员）年所受附加剂量约为2.25mSv，项目建成后，计划增加约15名辐射工作人员。项目建设单位正处于调试阶段的超导回旋质子治疗系统工程项，查阅项目环评报告可知，项目配置15名辐射工作人员和5名辐射安全管理人，辐射工作人员年所受所附加剂量最大为2.15mSv。该

项目建成后，两项目辐射工作人员不会完全分开，但总体上每位辐射工作人员的工作负荷不会有明显增加。因此，该项目建成后，项目建设单位的辐射工作人员年所受附加剂量约为2.25mSv。

(2) 缓发辐射剂量分析

回旋加速器测试工作期间，测试机房保持大于5.3次/h通风频率，确保活化空气不会泄漏到工作场所，停机检修时，工作人员在停机0.5小时后再进行测试机房，活化空气已基本排空，活化空气对辐射工作人员的剂量贡献很小。活化冷却水管流经的场所，无人员长时间驻留，对辐射工作人员的剂量贡献也很小。感生放射性主要来自回旋加速器的活化部件，能过控制时间和距离，增加个人防护措施等技术手段，结合个人剂量计定期检测等管理措施，可确保辐射工作人员受到的年附加剂量低于管理目标值5mSv/a。

5.2.2.2 公众的受照剂量估算

回旋质子加速器测试期间，对公众的辐射影响主要来自回旋质子加速器束流损失产生的瞬发辐射，以及感生放射性气体的排放造成的空气浸没内、外照射。

(1) 瞬发辐射剂量分析

公众所受瞬发辐射剂量由式5-6计算，该项目回旋质子加速器测试机房周边公众年所受附加剂量估算结果详见表5-13。

表5-13 回旋质子加速器测试公众所受附加剂量

公众区域	最高剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年束流损失时间 (h/a)	居留因子	年所受附加剂量 (mSv/a)
测试机房周围	2.5	900	1/40	0.056

由计算结果可知，该项目回旋质子加速器测试机房周边(2#厂房内)

公众年所受瞬发辐射附加剂量约为0.056mSv。

(2) 空气浸没照射剂量估算

此次评价使用李红等人在《核设施正常工况气载放射性排出物后果评价推荐模式的参数》中推荐的简单稀释模式估算回旋质子加速器正常运行工况下放射性气态流出物对环境的影响。放射性气体对公众的照射途径主要考虑空气浸没外照射和吸入内照射。

质子加速器测试机房放射性气体排放口高度H约34m，临近最高建筑物高度H_b约45m，H<2.5H_b，且计算点与排放口的距离x>2.5A_b^{0.5}（A_b为最靠近接收点的建筑物的最大截面积，取400m²）。则地面空气浓度可由式5-7计算：

$$c_{a,i} = \frac{P_p B Q_i}{u_a} \quad (5-7)$$

式中：C_{a,i}为下风向x（m）距离处的核素i的地面空气浓度，Bq/m³；

P_p为一年中风吹向接收点所在扇形方位p的时间份额，保守取0.25；

Q_i为放射性核素i的年均排放率，Bq/s；

u_a为释放高度上年平均风速，m/s，取值2m/s；

B为在下风距离x处的高斯扩散因子，1/m²；由式5-8计算；

σ_z为垂直扩散参数，m。

$$B = \frac{16}{\sqrt{2\pi^3}} \frac{1}{x \sum z}, \quad \sum z = (\sigma_z^2 + A_b / \pi)^{0.5}, \quad \sigma_z = \frac{0.06x}{\sqrt{1+0.0015x}} \quad (5-8)$$

距离辐射源最近边界处（60m）的公众所处位置处地面空气浓度计算结果见表5-14。

表5-14 计算点处的地面空气浓度计算结果

放射性核素	P_p	Q_i (Bq/s)	U_a (m/s)	B (1/m ²)	$C_{a,i}$ (Bq/m ³)
¹¹ C	0.25	3.01E+02	2	3.00E-03	1.13E-01
¹³ N	0.25	3.25E+06	2	3.00E-03	1.22E+03
¹⁵ O	0.25	2.89E+06	2	3.00E-03	1.08E+03
⁴¹ Ar	0.25	2.00E+04	2	3.00E-03	7.49E+00

空气浸没外照射剂量可由式 5-9 计算，吸入内照射剂量可由式 5-10 计算：

$$H_A = t \cdot S_f \cdot C_{a,i} \cdot G_A \quad (5-9)$$

$$H_{h,i} = T \cdot C_{a,i} \cdot u \cdot g_{h,i} \quad (5-10)$$

式中： H_A 为空气浸没照射所致年受照剂量，Sv/a；

t 为年受照时间，s/a；

S_f 为建筑物屏蔽因子，对个人取0.7；

G_A 为各放射性核素的空气浸没外照射剂量转换因子，见表5-15，取值来自IAEA NO.19；

$H_{h,i}$ 为年吸入内照射待积有效剂量，Sv/a；

T 为受照时间，h/a；

u 为公众个人正常情况下的呼吸率，m³/h，成人取0.96m³/h；

$C_{a,i}$ 为评价点的核素的地面空气浓度，Bq/m³；

$g_{h,i}$ 为吸入放射性核素*i*产生的待积有效剂量转换因子，Sv/Bq。

表5-15 剂量转换因子

放射性核素	剂量转换因子	
	空气浸没 ((Sv/s)/(Bq/m ³))	吸入 (Sv/Bq)
¹¹ C	4.89E-14	1.80E-11
¹³ N	4.90E-14	/
¹⁵ O	4.91E-14	/
⁴¹ Ar	6.50E-14	/

空气浸没外照射剂量计算结果详见表 5-16，吸入内照射剂量计算结果详见表 5-17。

表5-16 空气浸没外照射剂量计算结果

放射性核素	S_f	$C_{a,i}$ (Bq/m ³)	t (s/a)	G_A ((Sv/s)/(Bq/m ³))	H_A (Sv/a)
¹³ N	0.7	1.13E-01	3.24E+05	4.90E-14	1.28E-08
¹⁵ O	0.7	1.22E+03	3.24E+05	4.91E-14	1.35E-04
¹¹ C	0.7	1.08E+03	3.24E+05	4.89E-14	1.21E-04
⁴¹ Ar	0.7	7.49E+00	3.24E+05	6.50E-14	1.10E-06
总计					2.57E-04

表5-17 吸入内照射剂量计算结果

放射性核素	$C_{a,i}$ (Bq/m ³)	T (h/a)	u (m ³ /h)	$g_{h \cdot i}$ (Sv/Bq)	$H_{h \cdot i}$ (Sv/a)
¹³ N	1.57E-03	900	0.96	1.80E-11	1.28E-9
¹⁵ O	1.84E+00	900	0.96	/	/
¹¹ C	2.27E-07	900	0.96	/	/
⁴¹ Ar	6.17E-01	900	0.96	/	/
总计					1.28E-9

(3) 公众受照剂量汇总

保守假设瞬发辐射、放射性气体排放对公众造成的最大剂量在同一处，则该处的公众可能受到的最大个人剂量计算结果见表5-18。

表5-18 公众受照剂量汇总

瞬时辐射照射 (mSv/a)	放射性气体排放 (mSv/a)		总计 (mSv/a)
	空气浸没外照射	吸入内照射	
0.056	2.57E-04	1.28E-09	0.056

由此可见，回旋质子加速器测试工作期间，公众可能受到的最大个人剂量为0.056mSv/a，低于公众剂量约束值0.25mSv/a。

5.2.3 非放射性环境影响分析

5.2.3.1 运行期环境空气影响分析

考虑到质子在真空管内加速，不会与空气中的分子作用。中子为不带电粒子，不能直接引起物质原子的电离或激发，由于不受核外电子库伦场的影响，即使很低能量的中子也可深入原子核内部发生核反应。因此，在加速器辐射区，仅考虑 γ 射线与空气中的氧气、二氧化氮 (NO_2) 和氮气 (N_2) 相互作用，发生辐射分解反应，生成氧原子 (O) 和一氧化氮 (NO)。其中产生的氧原子 (O) 与空气中的氧气 (O_2) 结合生成臭氧 (O_3)，产生的一氧化氮 (NO) 与氧气 (O_2) 或臭氧 (O_3) 反应生成二氧化氮 (NO_2)，二氧化氮 (NO_2) 与空气中的水分子反应生成硝酸 (HNO_3)。其中，产生出的臭氧对人体健康有害，产生的硝酸可腐蚀加速器设备。

参照NCRP144号报告，照射期间，臭氧和二氧化氮的浓度满足下面的平衡方程：

$$\frac{dN}{dt} = gI - \alpha N - \kappa N - \frac{QN}{V} \quad (5-11)$$

式中： $\frac{dN}{dt}$ 为单位体积单位时间臭氧形成的速率， $\text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

N 为辐照 t 时间后单位体积的气体分子个数， $\text{个}/\text{m}^3$ ；

I 为空气中单位体积单位时间的光子能量沉积， $\text{eV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

g 为空气中单位光子能量沉积形成的臭氧分子数目， eV^{-1} ；

α 为臭氧分子的化学分解速率， s^{-1} ；

κ 为单位光子能量沉积的臭氧分子的辐照离解速率， $\text{eV}^{-1} \cdot \text{m}^3$ ；

Q 为通风速率， $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ；

V 为被辐照空气的体积， m^3 。

方程 (5-11) 的解为式 (5-12)：

$$N(t) = \frac{gI}{\alpha + \kappa I + \frac{Q}{V}} \left[1 - e^{-(\alpha + \kappa I + \frac{Q}{V})t} \right] \quad (5-12)$$

在长时间照射条件下，即上式 t 趋于无穷，得到臭氧和二氧化氮的饱和浓度按式 (5-13)、(5-14) 计算：

$$N_{sat} = \frac{gI}{\alpha + \kappa I + \frac{Q}{V}} \quad (5-13)$$

$$C = N_{sat} \frac{M}{N_A} \quad (5-14)$$

各预测参数取值详见表5-19，预测结果详见表5-20。

表 5-19 各预测参数取值

参数	取值	来源
g	O ₃ : 0.103eV ⁻¹ NO ₂ : 0.048eV ⁻¹	引自NCRP NO.144报告P358
α	2.3×10 ⁻⁴ s ⁻¹	引自NCRP NO.144报告P359
I	1.27×10 ¹⁰ eV·m ⁻³ ·s ⁻¹	引用《新瑞阳光粒子医疗装备（无锡）有限公司销售（含建造）和使用质子治疗系统项目》FLUKA 建模仿真结果
κ	O ₃ : 5.0×10 ⁻²⁴ eV ⁻¹ ·m ³ NO ₂ : 1.4×10 ⁻²² eV ⁻¹ ·m ³	引自《Advanced Photon Source: Radiological Design Considerations》（APS-LS-141 Revised, H.J.MoE, July 1991）P54
Q	0.83m ³ ·s ⁻¹	根据设计资料, 3000m ³ /h（停机）~5600 m ³ /h（调试期间及事故工况），即0.83~1.56m ³ ·s ⁻¹ ，保守取停机状态下通风量0.83 m ³ ·s ⁻¹
V	机房A: 1050m ³ 机房B: 1050m ³	
M	M (O ₃) =48g/mol M (NO ₂) =46g/mol	
N_A	6.022×10 ²³ 1/mol	

表 5-20 调试期间机房内 O₃ 和 NO₂ 饱和浓度

场所名称	饱和浓度, mg/m ³	
	O ₃	NO ₂
机房A/B	1.02E-7	4.56E-8

由预测结果可知，机房内臭氧和二氧化氮的饱和浓度比《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中控制值0.3mg/m³和5mg/m³低多个数量级。其排放到环境中将进一步受到大气的稀释，该项目排放臭氧造成周围空气中臭氧浓度同样远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级浓度限值；排放氮氧化物浓度远低于《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）排放限值。

综上所述，臭氧及氮氧化物等的产生和排放对工作场所和周边环境的影响均很微小，其饱和浓度、排放速率及在环境空气中造成的浓度都远低于相应标准的控制限值。

5.2.3.2 运行期声环境影响分析

项目运行过程中的噪声源主要为整个工作场所及辅助区通风系统及空调系统噪声。噪声源强约为38dB(A)~60dB(A)。经类比，其主要噪声源强及控制措施情况见下表。

表 5-21 噪声源强及控制措施表

序号	设备	噪声性质	数量	声压级范围 (dB(A))	噪声控制措施	降噪效果 (dB(A))
1	排风机	机械噪声	12	55~60	选用低噪声设备, 机组消声、降噪、减振措施, 管道软连接, 墙体隔声	10~15
2	新风处理机	机械噪声	2	≤45	选用低噪声设备, 机组消声、降噪、减振措施, 管道软连接, 墙体隔声	10~15
3	空调系统风管室内机	机械噪声	14	≤45	选用低噪声设备 墙体隔声	5~10
			18	≤42		5~10
			4	≤38		5~10

从噪声源到受声点的噪声衰减量，是由噪声源到受声点的距离、墙体隔声量、空气吸收及建筑屏障的衰减综合而成，此次只考虑距离的衰减和控制措施的最小降噪量进行保守预测。考虑到各噪声源距离厂界预测点的距离相对较远，将噪声源简化为点声源处理，总的等效声压级为62dB(A)。

由于该项目对于厂区而言属于改扩建项目，应将该项目对厂界的贡献值与现状监测值进行叠加得到预测值作为噪声评价量，具体预测参数和结果详见表5-22。

表 5-22 厂界噪声预测预测参数及结果

	西厂界		南厂界		东厂界		北厂界	
	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间
距离 (m)	19		30		192		87	
贡献值 (dB(A))	36.4	36.4	32.5	32.5	16.3	16.3	23.2	23.2
现状监测值 (dB(A))	57	45	57	46	58	46	59	47
预测值 (dB(A))	57	45	57	46	58	46	59	47
标准限值 (dB(A))	65	55	65	55	65	55	65	55

由预测可知，该项目投入运行后，项目厂区的厂界声环境满足《声环境质量标准》（GB3095-2008）中3类标准限值要求。从预测值和现状监测值对比分析可知，该项目投入运行后，对周边声环境贡献很小，不会改变周边声环境现状。

5.2.3.3 运行期固体废弃物影响分析

该项目运行期固体废物主要是工业固体废物。项目回旋质子加速器运行过程中，在调试、检修等阶段将产生一定量固体废物，主要为零部件的包装材料、真空清洗安装所产生的废物、安装线缆产生的废物，年产生量预计约10kg/a，经集中收集后，由当地物资公司回收利用，不会对周围环境造成不利影响。

5.3 销售阶段环境影响分析

建设单位在接到用户委托及询价后，将提前确认用户资质，是否具有辐射安全许可证，判定是否满足使用需采购类别射线装置的要求。在射线装置。在满足相应资质要求的前提下，与客户方签订销售协议。在

用户单位安装、调试条件满足许可要求后，建设单位才委派安装调试工作人员到用户现场开展安装、调试工作。

回旋质子加速器销售业务过程中，对环境造成影响的主要是在该项目测试机房调试后，含有一定感生放射性的加速器部件。建设单位将委托有资质的运输单位，按照国家规范要求，对相应部件进行监测、打包、标识后，运往客户方所在地开展后续工作。

针对销售过程的环境影响，环评提出以下要求：

1、开展销售运输业务前，建设单位应自行或委托有资质单位对运输部件进行监测，并根据监测结果采取不同的包装、运输方式，监测结果应存档备查。

2、根据用户单位质子加速器部件活度的不同，可能涉及 IP 型（工业货包）、A 型、B（U）型、B（M）型、C型等货包。在货包包装方面，各型货包均不得装有：1）超过货包设计所允许的内容物；2）不同于货包设计所允许的内容物；3）在形状、物理和化学形态方面不同于货包设计所允许的内容物。B（U）型、B（M）型、C型货包及易裂变材料货包在确保屏蔽和包容系统有效性外，还应确保其传热特性和约束系统的有效性。

3、各类货包的运输指数（英文缩写TI，数值等于货包外表面1m处最高辐射水平乘以100）均不超过10mSv/h，临界安全指数（应为缩写CSI）不超过50mSv/h。

4、在常规运输条件下，货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过2mSv/h。若货包外表面上任一点的最高辐射水平超过2mSv/h，则应依据规范要求按独家使用方式运输，独家使用方式运输条件下，货包外表面上任一点的最高辐射水平不得超过10mSv/h。

5、任何货包外表面的非固定污染不得超过以下限值：1)对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体为 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；2)对其他所有 α 发射体为 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

建设单位在委托有资质单位按照国家规范开展销售运输业务、并满足上述环评要求的情况下，该项目回旋质子加速器销售业务对环境的影响是可接受的。

5.4 事故影响分析

5.4.1 事故识别

针对该项目回旋质子加速器测试操作进行分析，得出项目运行期间可能发生的各类辐射事故见表5-23，同时简要描述了事故的原因、可能导致的后果以及事故的预防减缓措施。

表 5-23 项目运行期间潜在事故（事件）一览表

序号	事故（事件）描述	可能原因	后果	主要预防措施
1	人员误入调试机房	①分区管理失效； ②安全连锁装置失效； ③工作人员误操作。	误入人员受到超过年剂量照射，导致急性放射病或死亡发生（重大事故）	①加强分区管理和巡察力度； ②定期对安全连锁的有效性进行检查； ③加强工作人员的技能培训与考核； ④严格按照安全操作规程进行操作。
2	工作人员在机房内工作期间质子系统误出束	①安全连锁装置失效； ②工作人员误操作。	工作人员受到超过年剂量照射，导致急性放射病或死亡发生（重大事故）	①定期对安全连锁的有效性进行检查； ②加强工作人员的技能培训与考核； ③严格按照安全操作规程进行操作。
3	测试机房通风系统故障	①断电； ②风机故障； ③工作人员误操作导致停机。	增加工作人员和公众照射（一般事故）	①加强检查和监测； ②定期对风机进行检查； ③设置备用风机和电源； ④加强管理和培训。
4	冷却水泄漏事故	①设备老化破损； ②自然灾害（地震）； ③工作人员误操作导致破坏。	增加工作人员和公众照射（一般事故）	①加强检查和监测； ②定期对冷却水系统、地面排水系统进行检查； ③加强管理和培训。

5.4.2 最大可信事故影响分析

对表5-23所列事故进行分析，综合考虑装置类别、事故类型、事故所致辐射影响后果等因素，此次评价认为人员误入测试机房的事故后果较为严重，发生概率较高，是该项目的最大可信事故。

评价通过对误入事故的辐射影响后果预测计算与分析评价，来反映该项目的最大辐射事故影响。

(1) 事故情景假设

由于回旋质子加速器的门机联锁安全装置失效，有人员在加速器运行期间误入测试机房。

(2) 事故后果计算

误入测试机房的人员处于质子束流损失产生的次级中子辐射场当中，全身将受到照射，根据MCNP建模仿真结果，机房内最大剂量在100Gy/h量级，保守取单次调试时间2min为工作人员在该事故发生期间的受照时间，则误入人员身体局部或某器官受到的辐射剂量为3.3Gy。

(3) 事故后果评价

电离辐射引起的生物效应包括随机效应和确定性效应。随机效应的发生不存在剂量的阈值，其发生几率与受照剂量的大小有关，如遗传效应和某些躯体效应（即癌症）。确定性效应的发生存在阈值效应，其效应的严重程度随受照剂量的大小而异，剂量愈高则效应的严重程度愈大。根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）和《辐射防护导论》，成人全身受到不同照射剂量的损伤估计情况列于下表。

表 5-24 不同照射剂量量对人体损伤的估计

剂量 (Gy)	类型		初期症状和损伤程度
<0.25	—		不明显和不易察觉的病变
0.25~0.5			可恢复的机能变化, 可能有血液学的变化
0.5~1			机能变化、血液变化, 但不伴有临床迹象
1~2	骨髓型急性放射病	轻度	乏力、不适、食欲减退
2~4		中度	头昏、乏力、食欲减退、恶心、呕吐、白细胞短暂上升后下降
4~6		重度	多次呕吐、可有腹泻、白细胞明显下降
6~10		极重度	多次呕吐、腹泻、休克、白细胞急剧下降
10~50	肠型急性放射病		频繁呕吐、腹泻严重、腹痛、血红蛋白升高
>50	脑型急性放射病		频繁呕吐、腹泻、休克、共济失调、肌张力增高、震颤、抽搐、昏睡、定向和判断力减退

由此可知, 发生人员误照射事故时, 考虑最不利的情况下, 将导致受照人员受到严重放射性损伤, 甚至导致死亡。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中的相关规定, 该类事故属于重大辐射事故。

5.4.3 预防与应急措施

(1) 事故预防措施

1) 质子加速器设计有功能齐全、具有安全冗余的高安全等级的安全联锁系统, 采用清场搜索、紧急停机、声光报警器、视频监控等安全设备和措施, 确保当质子加速器出束时, 人员无法进入测试机房; 当控制区内某区域有人时, 回旋质子加速器无法出束, 能够有效防止误入事故的发生。为防止各项安全联锁硬件设施失效, 应定期检查并确认安全联锁设施的有效性。

2) 开机出束前, 撤离控制区时应清点人数, 必须按照既定的清场

搜索路线和程序对各区域进行清场。出束期间一旦发现有人滞留在控制区内，就近按下急停按钮。该项目各类工作人员进入测试机房内部工作时应随身佩戴有效的剂量报警仪，以便随时了解区域内的辐射水平并在辐射水平超出阈值时发出报警信号。

3) 辐射工作人员需加强专业知识学习，加强辐射安全与防护知识培训，严格遵守操作规程和规章制度。管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

4) 做好设备稳定性和状态检测，使设备始终保持在最佳状态。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，项目单位应根据可能发生的辐射事故风险，进一步完善辐射事故应急预案，主要内容应包括：应急处理机构职责、具体应急措施、应急救援条件保障、事故分级、应急响应、应急能力保持、应急工作人员的防护等。

5) 定期检查通风和冷却水系统运行情况，确认风量、水压传感器的有效性。制定检修操作程序，加强辐射安全文化教育，严格遵守操作程序，防止误操作造成的导致风机停机和冷却水泄漏事故。

(2) 应急措施

在完善上述辐射事故应急预案的基础上，环评要求：

1) 项目建成后应立即确认完善应急处理领导小组人员名单及联系方式；

2) 补充对参与实施应急的人员的培训计划；

3) 针对可能发生的每一种辐射事故，补充细化事故的应急处理措施，并将事故应急措施操作要点设置在相应工作场所的醒目位置（措施

上墙），方便工作人员及时采取正确的应对措施；

4) 细化辐射事故的调查、报告与处理程序，特别是与消防、公安等部门联系获取支援的程序；

5) 补充发生辐射事故的信息公开、公众宣传方案。

6 辐射安全管理

6.1 机构与人员

6.1.1 机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，辐射工作单位应当设置专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少安排1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。同时，根据国家核安全局文件《关于规范核技术利用领域辐射安全关键岗位从业人员管理的通知》（国核安发[2015]40号），结合该项目申请的核技术应用类型（申请生产、销售（含建造）I类射线装置），辐射安全关键岗位一个，为辐射防护负责人，最少在岗人数1名。辐射安全关键岗位由注册核安全工程师担任。

合肥中科离子医学技术装备有限公司目前已成立专门的辐射安全与防护管理委员会（以下简称“管理委员会”），管理委员会组长由合肥中科离子医学技术装备有限公司首席科学家宋云涛担任，全面负责单位辐射防护和安全管理的工作；小组成员由总经理、副总经理、技术部、安环部、研发部、供应链管理、人力资源部和财务部等职能部门负责人组成，具体承担辐射防护和安全的日常工作。具体见表6-1。

表6-1 辐射安全与防护管理委员会管理小组人员

机构名称	辐射安全与防护管理委员会				
成员	姓名	性别	职务或职称	工作部门	专/兼职
组长	宋云涛	男	首席科学家	专家工作室	兼职
副组长	刘璐	女	副总经理/综合部部长	综合部	兼职
成员	冯汉升	男	专家	专家工作室	兼职
	陈永华	男	副总经理	副总经理室	兼职
	丁开忠	男	副总经理/物理部部长	物理部	兼职
	陈根	男	加速器部部长	加速器部	兼职
	郑金星	男	束流输运系统部部长	束流输运系统部	兼职
	李俊	男	质量保证部部长	质量保证部	兼职
	邢以翔	男	项目管理部部长	项目管理部	兼职
	李实	男	控制系统部部长	控制系统部	兼职
	魏江华	男	装备集成部副部长	装备集成部	兼职
	雷明准	男	装备集成部副部长	装备集成部	兼职
	吴昱城	男	安环部副部长/辐射防护组组长	安环部	专职
	韩务林	男	质量保证部安全员	质量保证部	兼职
	张鑫	男	加速器部安全员	加速器部	兼职
	张瑒	男	安环部辐射安全管理	安环部	专职
	姚辰	男	物理部安全员	物理部	兼职
黄迪西	男	束流输运系统部安全员	束流输运系统部	兼职	

辐射安全与防护管理委员会岗位职责：

一、组长

- 1) 总体负责公司辐射安全与防护管理；
- 2) 组织制定公司辐射安全与防护管理制度；

3) 确保公司辐射安全与防护所需的人力资源、基础设施和工作环境等;

4) 总体负责辐射事故应急工作。

二、副组长

1) 协助组长, 参与公司辐射安全与防护管理与决策;

2) 参与制定公司辐射安全与防护管理制度;

3) 领导辐射安全管理事务;

4) 组织、协调辐射事故应急工作。

三、成员

1) 参与公司辐射安全与防护管理与决策;

2) 参与制定公司辐射安全与防护管理制度;

3) 组织、监督部门内辐射安全与防护管理制度的实施;

4) 参与、协调辐射事故应急工作。

为加强公司生产安全和辐射安全与防护工作, 经公司研究决定, 组建安环部, 全面负责公司有关安全生产、环境保护、辐射防护、职业健康管理方面的工作。安环部下设辐射防护组, 负责公司辐射安全管理工作, 任命吴昱城(注册核安全工程师)为辐射防护组组长。

6.1.2 人员

(1) 辐射安全与防护考核

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第449号)、《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20号修订, 2021年1月4日起施行)及生态环境部发布的《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(公告2019年 第57号), 申请者应组织从事辐射工作的人员进行辐射安全与防护知识的学

习并通过考核，考核不合格的不得上岗。

根据规定，自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

合肥中科离子医学技术装备有限公司现有参与辐射工作的人员共42名，其中1名注册核安全工程师作为辐射防护负责人，同时作为辐射安全专职管理人员。上述42名辐射工作人员均于2020年1月1日前参加生态环境部认可机构组织的中级辐射安全与防护培训且其已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效，或在2020年1月1日后通过了生态环境部核技术利用辐射安全与防护考核。

（2）个人剂量检测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，合肥中科离子医学技术装备有限公司委托了天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司进行个人剂量定期检测。

公司现有42名辐射工作人员（另有6人已配备了个人剂量计但未参与辐射工作，个人剂量计实际未使用但仍然送检）。从个人剂量检测报告看，2020年9月~2021年6月，3个季度辐射工作人员所受光子辐射和中子辐射个人剂量当量总计在0.155~1.45mSv范围内，可以推算在正常操作前提下，辐射工作人员全年个人剂量当量能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求（连续5年的年平均有效剂量不超过20mSv，任何一年的有效剂量不超过50mSv），也满足公司设定的目标管理限值要求（辐射工作人员年有效

剂量不超过 5mSv)。

个人剂量统计结果及检测报告详见附件 6。

(3) 职业健康体检

根据《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 20 号修订，2021 年 1 月 4 日起施行）和《放射工作人员职业健康管理辦法》（卫生部第 55 号令）的要求，规定对辐射工作人员定期进行职业健康检查，建立职业健康体检档案。

公司已于 2019 年 5 月~6 月、2020 年 4 月~8 月、2021 年 4~6 月分批组织辐射工作人员进行了职业健康体检。现有 42 名辐射工作人员中，罗昌建、李柱、许继伟 3 人上次体检时间为 2019 年 5 月~6 月，已超过了规定的“在岗期间至少应 2 年一次进行职业健康体检”的要求，公司应组织相关人员尽快重新参加职业健康体检；其余人员均已按规定进行了职业健康体检，体检结果均表明可（继续）从事辐射工作。职业健康体检报告详见附件 6。

对于上述未及时进行体检的人员，公司应安排其暂时脱离辐射工作岗位，督促其尽快参加职业健康体检，并视体检结果妥善安排工作岗位。

公司另有 19 名工作人员预备从事辐射工作，均已安排参加了职业健康体检；上述 19 人中有 10 人已取得了中级辐射安全与防护培训合格证书或通过了考核，另 9 人也在积极准备参加考核，待通过考核后为其配备个人剂量计后方可安排参与辐射工作。

此次评价涉及的 2 个加速器测试机房分 2 个阶段建设，预计新增 15 名辐射工作人员，同样应按要求进行考核、体检，符合要求后为其配备个人剂量计方可安排参与辐射工作。主要分工如下：

表6-2 辐射工作人员分工

工种	人数	说明
设备研发	6	离子源、中心区、射频、磁铁、束测、引出等子系统研发及调束运行人员
质量保证与测量	3	现场装配等过程的测量和确认
技工	4	设备安装、调整、检修等
辐射安全管理	2	辐射安全管理

6.2 辐射安全管理规章制度

辐射工作单位应有健全的设备操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用台账、工作场所辐射监测方案、人员培训计划、工作人员个人剂量监测与管理等。

项目单位应按此要求，为每一类型的回旋质子加速器或其使用场所，制订相应的设备操作规程、岗位职责和设备检修维护制度；制订全单位的辐射防护和安全保卫制度、人员培训计划以及工作人员个人剂量监测与管理；制订合理有效的工作场所辐射监测方案等。在此基础上，项目单位的各项操作规程与管理制度的满足要求的。

为加强辐射安全管理，合肥中科离子医学技术装备有限公司已建立以下辐射安全管理制度，主要包括：《辐射安全与防护管理委员会岗位职责》、《安环部部门职责》、《辐射防护组职责》、《合肥中科离子医学技术装备有限公司辐射防护和安全保卫制度》、《合肥中科离子医学技术装备有限公司辐射安全人员培训计划》、《个人剂量监测和职业健康监护制度》、《放射性废物处置制度》、《合肥中科离子医学技术装备有限公司设备检修维护制度》、《质子治疗系统日常检查维护基本事项》、《加速器日常检查维护基本事项》、《合肥中科离子医学技术

装备有限公司辐射事故应急预案》。

针对该项目，拟新增《SC240质子加速器调试操作规程》和《CIM14-A质子加速器调试操作规程》，该制度主要包括调试机房内回旋加速器的调试操作各项规程，同时在现有辐射安全相关管理制度中补充该项目相关内容。

6.3 生态环境部门检查情况

2021年4月27日，生态环境部华东核与辐射安全监督站对合肥中科离子医学技术装备有限公司辐射安全进行了例行监督检查，检查发现以下问题：

表 6-3 检查发现问题及整改情况

序号	检查发现的问题	整改情况
1	辐射事故应急预案中华东监督站应急电话错误	已修订辐射事故应急预案
2	辐射环境委托监测点位不足，未在辐射工作场所东侧和南侧设置监测点位	已更新了《辐射监测方案》，新增月度、年度监测点位，包含了加速器东侧过道、南侧过道等八个点位
3	辐射工作人员个人剂量监测档案未建立一人一档	已按要求为每位工作人员建立个人剂量档案

针对上述问题，公司下一步的工作中应更加重视和加强辐射安全管理，严格落实个人剂量监测档案一人一档制度，确保辐射工作场所及人员安全。

6.4 辐射监测

6.4.1 年度辐射监测监测情况回顾

合肥中科离子医学技术装备有限公司已上报了2020年度辐射安全年度评估报告。

2021年1月，合肥中科离子医学技术装备有限公司委托中国辐射防

护研究院核工业太原环境分析测试中心对已建超导回旋质子治疗系统工作场所周围 γ 辐射剂量率和中子剂量率进行了监测，监测结果表明加速器场所周围 γ 辐射剂量率在 $5.0E-8\sim 8.5E-8Gy/h$ ，中子剂量率为0，符合《超导回旋质子治疗系统工程（二期）项目环境影响报告书》中的剂量率控制限值要求；气流载出物中 7Be 浓度活度为 $0.011Bq/m^3$ 、 3H 未检出；院内土壤中总 α 活度浓度为 $709Bq/kg$ 、总 β 活度浓度为 $750Bq/kg$ 、 ^{238}U 活度浓度为 $39.2Bq/kg$ 、 ^{226}Ra 活度浓度为 $29.9Bq/kg$ 、 ^{232}Th 活度浓度为 $47.9Bq/kg$ 、 ^{40}K 活度浓度为 $545Bq/kg$ 、 7Be 活度浓度小于 $6.3Bq/kg$ 、 ^{60}Co 活度浓度为小于 $0.96Bq/kg$ 、 ^{137}Cs 小于 $0.94Bq/kg$ ；院外土壤中总 α 活度浓度为 $810Bq/kg$ 、总 β 活度浓度为 $769Bq/kg$ 、 ^{238}U 活度浓度为 $45.2Bq/kg$ 、 ^{226}Ra 活度浓度为 $32.5Bq/kg$ 、 ^{232}Th 活度浓度为 $52.9Bq/kg$ 、 ^{40}K 活度浓度为 $557Bq/kg$ 、 7Be 活度浓度小于 $6.4Bq/kg$ 、 ^{60}Co 活度浓度为小于 $0.97Bq/kg$ 、 ^{137}Cs 小于 $0.92Bq/kg$ ；可以看出，场内外土壤中放射性核素活度浓度无明显差异。检测报告详见附件7。

合肥中科离子医学技术装备有限公司已制定了较为完善的监测方案，对于已建超导回旋质子治疗系统工作场所日常监测包含了固定点位监测（加速器室迷道入口、输运线段迷道入口、主控室、电源室、水冷室、加速器室正北侧墙外）、临时性重点监测和辐射巡测3方面的内容；在道路旁和组装测试厂房屋顶各设1个固定式辐射监测系统来实时监测环境剂量率；并配备了以下防护用品和监测仪器，详见下表。

表 6-4 已配备的防护用品和监测仪器

监测仪器					
仪器名称	型号	购置日期	仪器状态	数量	备注
多功能辐射检测仪	RAM-1	20170522	正常	1	
个人剂量报警仪	FJ3200	20170522	正常	2	
个人剂量报警仪	DMC 3000	20191229	正常	2	应急装备 2 台
个人剂量报警仪	DMC 2000GN	20191229	正常	5	应急装备 5 台
表面污染监测仪	CoMo 170	20191229	正常	1	应急装备 1 台
便携式长杆 Y 剂量率仪	FH40TG	20191229	正常	1	应急装备 1 台
场所中子监测器	FHT761	20190828	正常	7	4 台已检定到货 3 台采购中
场所伽玛检测器	FHT192-10	20190828	正常	12	10 台已检定到货 2 台采购中
移动式辐射监测系统	FHT761 FHT192-10	20190828	正常	2	应急装备 2 台
防护用品					
名称	数量	名称	数量		
铅衣	4	铅帽	4		
铅手套	2	铅眼镜	4		
铅围裙	2	铅围脖	4		
铅屏风	2	防护三角内裤	2		
护臂	2	护腿	2		
护脚	2	个人剂量计	37		

6.4.2 辐射环境监测计划

该项目辐射监测主要针对加速器测试平台调试机房进行，监测内容包括环境监测、工作场所监测和个人剂量监测。

公司拟配备中子巡检仪和 γ 剂量巡检仪，定期对周围环境进行巡测。

该项目环境监测包括自行监测和委托有资质单位监测两种类型，监测数据记录存档，具体环境监测计划列于表6-5。

在调试机房附近设环境固定式监测点位，如图4-9所示。在加速器机房迷道设置固定监测点位，布置中子剂量率和伽玛剂量率监测探头；在各辅助用房，包括加速器机房人员迷道上方的辅助电源室、辅助用房的水冷室、加速器电源室、主控室设置固定监测点位，布置中子剂量率和伽玛剂量率监测探头，用于对环境 neutron、 γ 辐射水平进行实时监测。

监测数据通过有线或无线通讯设备实时传输至终端数据处理中心。

表 6-5 项目环境监测计划

监测方式	检测对象		检测项目	监测点位	监测频次
自行监测	调试机房	移动监测车、便携式仪表巡测	γ 辐射剂量率和中子剂量率	加速器机房迷道和各辅助用房	加速器开机至关机后 1h
		固定式仪表监测			实时
委托监测	贯穿辐射		γ 辐射剂量率和中子剂量率	辐射工作场所周围及敏感点处	1次/年
	环境介质	气	感生放射性气体	排风通道口	1次/年
		冷却水	放射性浓度监测、必要时增加监测 ^3H 、 ^7Be 和总 β	衰变池	1次/年
		土壤	^7Be 、 ^{22}Na 、 ^{54}Mn 、总 α 、总 β	院区内、外的土壤	1次/年

6.4.3 监测设备配置

该项目配备的主要监测设备包括：固定式 γ 探测器、固定式中子探测器、便携式 γ 巡检仪、便携式中子巡检仪、个人剂量计和直读式个人

剂量报警仪，具体见下表。

表 6-6 项目配备的辐射监测设备清单

序号	仪器名称	拟购数量
1	固定式 γ 探测器	7 台
2	固定式中子探测器	5 台
3	便携式 γ 巡检仪	2 台（依托现有便携式 γ 巡检仪）
4	便携式中子巡检仪	2 台（依托现有便携式中子巡检仪）
5	直读式个人剂量报警仪	1 支/进入测试机房人员
6	个人剂量计	1 支/人

拟配备的辐射监测仪器设备的相关要求如下：

- 1) 仪表应能适应脉冲辐射剂量场测量；
- 2) 中子及 γ 射线检测仪表的能量响应应分别适合加速器调试机房外的中子及 γ 射线的辐射场；
- 3) 仪表最低可测度数值应不大于 $0.1\mu\text{Sv/h}$ ；
- 4) 仪表宜能够测量辐射剂量率和累积剂量；
- 5) 尽可能选用对中子响应低的 γ 射线剂量仪和对 γ 射线响应低的中子剂量仪；
- 6) 仪表需经剂量鉴定并在鉴定有效期内使用。

6.4.4 个人剂量监测

(1) 个人剂量计

工作人员上岗时均应佩戴个人剂量计（包括X- γ 累计剂量和全能谱中子累计剂量）。定期（不超过3个月）委托有资质单位对工作人员的个人剂量计进行测量、读数与统计，测量结果在每个监测周期结束后1个月内汇总完毕，同时报告当地行政主管部门。个人剂量监测结果异常

的，立即核实和调查，并将有关情况及时报告行政主管部门。

(2) 个人剂量报警仪

在工作中或停机后，要求到控制区内进行工作的人员必须佩戴可监测中子和伽玛剂量率的辐射剂量报警设备。当瞬时辐射剂量率水平至超出设定阈值时报警提示工作人员迅速撤离现场。对评价工作人员在控制区内工作所受到的辐射剂量非常重要。个人剂量报警仪和个人剂量计配合使用，不仅能准确评价工作人员所受辐射情况，更主要的是可以预先估计工作人员受到的照射水平，及时采取措施，以达到保护辐射工作人员的目的。

6.4.5 职业健康体检

辐射工作人员上岗前需进行职业健康体检，工作过程中，每2年进行一次职业健康体检，身体条件无法满足辐射工作岗位的要求，及时予以调离。离岗前需进行离岗职业健康体检。

6.4.6 竣工环保验收监测

本项目竣工后，建设单位自行组织开展环境保护竣工验收，验收监测时应对2间加速器调试机房区域进行全面的辐射水平巡测，做出辐射安全状况的评价；监测因子为 γ 辐射剂量率、中子剂量率、可能进入各环境介质的活化放射性核素、噪声等。

6.5 辐射事故应急

根据GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》、环保部令第3号《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和环保部令第18号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》相关规定，辐射工作单位应根据可能发生的辐射事故风险，完善的辐射事故应急预案，辐射事故应急预案主要内容应包括：应急处理机构职责、具体应急

措施、应急救援条件保障、事故分级、应急响应、应急能力保持、应急工作人员的防护、事故应急响应及终止程序等。

在完善上述辐射事故应急预案的基础上，环评要求：

- 1) 制定对参与实施应急的人员培训计划，并定期组织培训；
- 2) 针对可能发生的每一种辐射事故，给出事故应急处理措施，并将事故应急措施操作要点设置在相应工作场所的醒目位置（制度措施张贴上墙），方便工作人员及时采取正确的应对措施；
- 3) 定期组织辐射事故应急演练；
- 4) 配备发生辐射事故的信息公开、公众宣传方案。

6.6 从事辐射活动技术能力综合性评价

对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第3号）第二章第十六条之规定，针对合肥中科离子医学技术装备有限公司从事申请活动种类的能力进行综合分析评价，结果见下表。

表 6-7 辐射安全工作条件与项目评价结果对照一览表

序号	环境保护部令第3号要求	评价结果
1	使用I类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作	项目单位已按要求成立了辐射安全与环境保护管理机构，配备了相应资质的专业技术人员，满足要求
	依据辐射安全关键岗位名录，应当设立辐射安全关键岗位的，该岗位应当由注册核安全工程师担任	项目单位已配备了1名注册核安全工程师，满足要求
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核	项目单位拟从事辐射工作的人员需通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，方可满足要求
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备	无此条

4	辐射工作场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施	设计满足要求
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器	设计满足要求
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等	制订完善后满足要求
7	有完善的辐射事故应急措施	制定完善后满足要求
8	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案	设计满足要求
9	使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有 1 名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作	不开展诊断治疗

6.7 小结

依据本章节分析，通过完善环评要求的各项措施后，建设单位合肥中科离子医学技术装备有限公司具备从事使用、销售（含建造）I类射线装置的能力，辐射安全和防护措施有效可行。

7 利益-代价分析

7.1 利益分析

7.1.1 社会效益

质子治疗装置是当前国际上肿瘤放射治疗最现实最先进的主流装备，并已形成产业。临床结果显示相对于其他放射治疗方法，尤其对于有重要组织包绕的肿瘤，质子治疗显示出较大的优越性：精确度高，实现精准治疗；治愈率高，五年内存活率高达80%；副作用小，正常组织遭受的辐射剂量减少达60%，降低健康组织受到辐射伤害的风险。

目前国际上仅有少数国家具有研发与生产质子治疗装置能力，建成的质子肿瘤治疗机构主要分布在欧美等发达国家，亚洲地区主要在日本、韩国和台湾等地。随着我国国民经济的飞速成长，人们对保健医疗要求的不断提高，“大健康”产业蒸蒸日上，随着十八五将“健康中国”上升为国家战略，国家各级政府对质子治疗系统等高新医疗装备的研发十分重视，国家发改委2017年发布《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》、2018年发布《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》、国家35项“卡脖子”技术和中国尚未掌控的60余项核心技术清单、《中国制造2025》十大重点领域、中科院2023年20项有望实现重大科技突破等。目前上海、北京、广州、合肥等地一些有条件的大医院均在积极引进建造质子治疗中心，各省市也在积极规划布局，希望能早日将此高端技术造福民生。

该项目的SC240超导回旋质子加速器是对此前SC200超导质子治疗系统加速器的升级，在引进国外成熟的质子加速器的基础上，配合本地优势技术支撑，吸收消化装置设计的关键技术，实现更广的适应治疗范

围。它有利于安徽产业结构的调整和医疗水平的提高，也有利我国高端医疗器械乃至高端制造产业的发展。项目建成后，将进一步提升合肥市乃至安徽省的医疗水平，对促进社会基础设施建设有着重要而深远的意义，对安徽省的医疗卫生事业发展也将起到极大的推动作用，从而提高社会效益。

同时，经测算，国产质子治疗设备实现产业化后，其生产成本将比国外进口设备减少约35%，若将进口质子设备发生的进口税费、国际运费等进行综合考虑，国内医疗机构使用国产质子设备的综合成本将减少约50%。为此，随着国产质子设备的本地化和产业化，患者的质子治疗费用也将大幅减低，将切实的减少肿瘤患者治疗费用，服务“健康中国”建设。

超导回旋质子治疗系统是国内首次将质子医疗设备制造本地化的科创研发项目。作为国际公认的前沿医学领域，不仅当地科研机构有机会打破国外相关企业的垄断和壁垒，质子/重离子设备的开发和肿瘤治疗手段方面研究上的突破，都将极大地推动我国在肿瘤放射治疗领域科研和学术地位的提升。因此，该项目不仅仅是一项单纯的民生工程，而且更在于其深远的科研前景，该项目的最终运行，将有利于推进安徽省科技发展规划指导思想的落地，为安徽省的科技发展和进步做出卓越贡献。

另一方面，利用医用同位素的独特优势，核医学诊断和治疗是应对心脑血管病、癌症、神经衰退性疾病，提高人民健康水平不可或缺的重要手段。诊断方面，医用同位素可提供人体分子水平血流、功能和代谢等信息，对尚未出现形态结构改变的病变进行早期诊断；治疗方面，医用同位素可利用其放射性杀伤病变组织，实现微小病灶的精准清除，达

到较好的治疗效果。《“健康中国2030”规划纲要》、《医用同位素中长期发展规划（2021年-2035年）》等一系列文件为国家相关产业的发展明确了指导思想、主要原则、发展目标、重点任务以及保障措施。该项目的CIM14-A质子回旋加速器的研制，作为诊断制药的关键设备，有助于推动国产医用同位素制药技术和产业的发展，有利于安徽省乃至全国核医学科的发展，对于推动健康中国建设有着重要意义。

该项目的实施，对于落实《安徽省核产业链发展规划》是十分必要的，它有利于安徽产业结构的调整和医疗水平的提高，也有利我国高端制造业的发展。

该项目建成后，将有力的提升合肥市乃至安徽省的医疗水平，可满足合肥市及周边乃至全国人民群众的就医需求，对促进社会基础设施建设有着重要而深远的意义，对安徽省的医疗卫生事业发展也将起到极大的推动作用，从而提高社会效益。

7.1.2 经济效益

目前，欧美、日本质子治疗加速器销售价格在4000~5000万美元之间，制药加速器销售价格约1200万元。该项目建成后预计每年可以实现销售收入20000万元，实现利润约4000万元。表明该项目具有较好的经济效益。

7.1.3 环境效益

该项目在公司已建厂房内建设，不会影响周围景观环境。合肥中科离子医学技术装备有限公司绿化良好，形成安静优美的环境，并达到建筑与绿化的和谐统一，是一座花园式的绿色研发工程，极大地改善了区域景观及生态环境。

7.2 代价分析

7.2.1 社会代价

社会代价主要考虑两个方面，一是资源，二是能源。

资源方面，该项目在已建厂房内建设2间质子加速器屏蔽室、迷路及辅助区，总占地面积约900m²，建成后具备两台加速器同时安装、测调试的环境。建设期屏蔽室及迷路需消耗一定量的预制混凝土构件。

能源方面，项目建设单位运行期间依托超导回旋质子治疗系统项目集成测试厂房内给排水、电等能源，年耗量见表7-1。

表 7-1 项目运行期间能源消耗情况一览表

名称	年耗量	来源	主要化学成分
电能	288 万 kWh	城市供电系统	/
水	冷却塔（二回路）补水 4100t	城市给水管网	H ₂ O

7.2.2 经济代价

经济代价主要包括以下两个方面的成本：建筑安装工程费用及其他费用，预计总投资5776万元，其中环保投资约3900万元，占总投资额的67.5%，主要包含场所屏蔽、环保设施、环境管理、环境监测、环境影响评价及事故防范措施等费用。

7.2.3 环境代价

该项目建成之后，主要的环境代价有：极少量的辐射穿过屏蔽层进入周围环境，对工作人员和周围公众受到少量的辐射照射；少量的放射性物质和有害气体进入大气环境和水环境；每年将有少量的放射性固体废物产生等。

根据前面章节的分析，给环境带来的这些影响均低于国家标准中规

定的限值，其影响都是可以接受的。此外，项目运营期间产生的放射性固体废物交由有资质单位处理，不外排进入环境，不会对项目所在区域环境造成影响，但最终的永久处理会付出一定的经济代价，消耗一定的土地资源。

综上所述，该项目有很好的经济效益和社会效益，扣除一定的环境负面影响成本后，项目综合效益为正。因此，该项目的实施在效益上是可行的。

7.3 正当性分析

质子肿瘤治疗临床研究表明，质子能量集中沉积在射程末端区，对照射路径沿途健康组织损伤小；射束定位精度高，可对深部肿瘤实施精确治疗；可有效杀死乏氧肿瘤细胞，不存留肿瘤核，治愈率高。与常规射线放疗相比，质子治疗肿瘤具有独特的深度剂量分布和高相对生物学效应等优势，被认为是当代最理想的放疗用射线。

该项目拟建回旋质子加速器测试平台，为加速器的安装、测调试提供作业环境。加速器屏蔽室设计合理、辐射防护与安全设施完善，以最大限度降低对工作人员和公众的辐射影响。经分析评价，该项目对工作人员和公众的辐射影响满足国家相关标准要求，该项目对社会所带来的利益（主要是对于广大肿瘤患者患者的健康有利）是大于可能引起的辐射危害的。因此，该项目的实施是正当的。

8 公众参与

8.1 公众参与方案

8.1.1 公众参与目的

根据《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第4号，自2019年1月1日起施行）的有关规定：依法应当编制环境影响报告书的建设项目应进行环境影响评价公众参与；环境影响评价公众参与遵循依法、有序、公开、便利的原则；建设单位应当依法听取环境影响评价范围内的公民、法人和其他组织的意见，鼓励建设单位听取环境影响评价范围之外的公民、法人和其他组织的意见；建设单位负责组织环境影响报告书编制过程的公众参与，对公众参与的真实性和结果负责。

通过在项目环境影响过程中开展公众参与调查，以收集相关区域公众对项目建设的认识、态度和要求，从而在环境影响评价中能够全面综合考虑公众的意见，吸收有益的建议，使项目的规划设计更趋完善与合理，制定的环保措施更符合环境保护和经济协调发展的要求，提高项目的环境效益和社会效益，从而达到可持续发展的目的。

8.1.2 主要调查内容

调查该项目建设对环境的主要有利影响和不利影响，以及附近居民及企事业单位对建设项目的意见和建议。调查内容主要包括：

- 1) 调查对象对建设项目的态度、所关心或者担心的问题。
- 2) 对建设项目可能引起的环境问题的看法。
- 3) 对建设项目建设与环境管理的建议等。

8.1.3 调查范围和对象

根据该项目所在的地理位置和环境影响特点，确定调查范围和调查

对象为建设项目周围5km范围内的居民、职工和企事业单位。

8.2 信息公开

根据《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第4号），建设单位采取在厂址附近张贴公示、网上发布环境影响公众参与调查公告等方式向公众公开建设项目的环评信息，并公开征求有关建设项目的环评方面的意见和建议。

8.2.1 发布建设项目环评公众参与调查公示

①建设单位在确定项目环评单位后，在合肥中科离子医学技术装备有限公司网站（<http://www.hfcim.com/index/info/342>）上进行了第一次公示，公布有关内容，相关图片见图8-1，公众可以在该网站上查看信息公告，并通过电话、传真、电子邮件与建设单位或环评单位取得联系，发表意见，公示时间为2021年5月21日至2018年6月4日。

②在项目环境影响报告书初稿编制完成后，建设单位在合肥中科离子医学技术装备有限公司网站（<http://www.hfcim.com/index/info/350>）上进行了第二次全文公示，公布了环评报告书的主要内容、对环境可能造成的影响、预防和减缓不良影响的措施要点以及环境影响报告提出的环境影响评价结论的要点。相关图片见图8-2。公示时间：2021年8月11日至2021年8月24日。



图8-1 第一次网上公示截图



合肥中科离子医学技术装备有限公司加速器测试平台项目环境影响评价第二次公示

发布时间: 2021/08/11 发布来源: 中科离子

合肥中科离子医学技术装备有限公司加速器测试平台项目环境影响评价第二次公示
(征求意见稿公示)

一、建设项目情况简述

建设项目名称: 合肥中科离子医学技术装备有限公司加速器测试平台项目;
建设地点: 合肥高新区柏堰湾路与火龙地路交口西南, 公司已建的2#厂房(2-A轴)-(2-C轴)间;
建设内容: 新建2间屏蔽室、迷道和辅助配套区, 屏蔽体采取装配式搭建。新建的加速器测试平台总占地面积约900m², 位于2#厂房西南侧。2间屏蔽室东西侧相邻布置, 计划一期完成西侧屏蔽室、其迷道、辅助区建设及相应公、专配套设施配套, 东侧屏蔽室、迷道及公配待未来发展需要时二期建设。项目工程估算总投资约为5776万元人民币, 其中环保投资约3900万元, 占总投资的67.5%。

本项目建成后, 开展SC240超导回旋质子加速器(质子最高能量为240MeV)和CIM14-A常导回旋质子加速器(质子最高能量为14MeV)两种类型的加速器测试, 并最终形成年产3台SC240超导回旋质子加速器和年产5台CIM14-A常导回旋质子加速器的能力。

二、建设项目对环境可能造成影响的概述

本项目施工期将产生废水、废气、噪声、固体废物等污染。
运行期: 测试机房内回旋加速器的调试环节, 设备开机出来产生的瞬发辐射和感生放射性为本项目主要的污染源。

三、预防或者减轻不良环境影响的对策和措施的要

(1) 由于本项目屏蔽体采取预制混凝土构件装配式搭建, 且施工期时间有限, 影响范围以院内局部污染为主, 施工期的影响将随着施工期的结束而结束。故施工期对外环境的影响是非常小的。

(2) 本项目所建设的加速器机房屏蔽体的效能符合国家标准规范及本评价提出的限值要求。

经过理论预测, 本项目质子加速器调试运行所致工作人员职业照射剂量及公众附加有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的20mSv/a的职业照射有效剂量基本限值和1mSv/a的公众照射有效剂量基本限值, 也低于本次评价确定的5mSv/a的职业照射剂量约束值和0.25mSv/a的公众照射剂量约束值。经过理论预测, 本项目所排放的活化气体对周边公众影响极其轻微。

(3) 本项目产生的放射性固体废物主要包括冷却水交树脂(来自冷却水去离子系统, 约15kg/a), 以及其他含感生放射性结构部件(来自回旋质子加速器, 约30kg/a), 拟依托公司已建的放射性固体废物暂存间暂存, 暂存间容积为75m³。拆除的活化结构部件按国家有关规范包装后, 集中存放在暂存间内, 最终委托项目所在地城市放射性固废处置中心或其他有资质的单位处置。

(4) 非放射性污染物: 空气经γ射线的辐射能量, 发生辐射分解, 最后反应产生的臭氧和二氧化氮, 经计算, 调试机房内射线电离空气产生的臭氧和二氧化氮的室内浓度及排放浓度均满足执行标准限值; 生活废水排入市政污水管网, 不会直接排入当地水体; 本项目运行期噪声源主要为通排风机组噪声, 经预测其厂界噪声排放达标; 一般工业固体废物由物资公司回收利用, 生活垃圾由环卫部门收集处置。

四、环境影响报告书提出的环境影响评价结论的要点

合肥中科离子医学技术装备有限公司加速器测试平台项目在严格按照环评中的要求进行建设后, 项目运行期间对工作人员和周围环境的辐射影响符合环境保护的要求, 该项目对环境的辐射影响是可以接受的。

合肥中科离子医学技术装备有限公司在落实本报告书中的各项污染防治措施和管理措施后, 将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护能力, 故从辐射防护和环境保护的角度考虑, 本项目的建设是可行的。

五、环境影响报告书征求意见稿全文网络链接及纸质报告书的查阅方式和途径

报告书征求意见稿电子版见本网页附件1;
报告书征求意见稿纸质版: 公众可通过电话、传真和电子邮件等方式与项目建设单位或承担环评的单位进行联系, 联系方式如下:

- (一) 建设单位名称和联系方式附件1附件2
建设单位: 合肥中科离子医学技术装备有限公司
单位地址: 合肥高新区柏堰湾路与火龙地路交口西南
联系人: 翁总
联系电话: 0551-65668236
电子邮箱: 252129311@qq.com
- (二) 环境影响报告书编制单位名称和联系方式
环评单位: 核工业二七〇研究所

联系人: 冯工
联系电话: 0791-85996398

六、征求公众意见的范围及公众意见表的网络链接

本次环境影响评价征求意见的范围主要是: 建设项目环境影响评价范围内的公民、法人、其他组织或者相关公众; 公众意见表详见附件2。

七、公众提出意见的方式和途径

在公告时间内, 公众可向建设单位或环评单位通过e-mail、传真、信函或其他便利的形式提交书面意见。

八、公众提出意见的起止时间

参与起止时间: 自本公示发布之日起10个工作日。

合肥中科离子医学技术装备有限公司
2021年 8月11日

附件1: 加速器测试平台项目环境影响报告书-征求意见稿
附件2: 公众意见表

图8-2 第二次(征求意见稿)网上公示截图

8.2.2 报纸媒体公示、张贴公告

建设单位在项目所在地附近公开张贴《合肥中科离子医学技术装备有限公司加速器测试平台项目环境影响报告书》第二次公示。公示张贴现场照片详见图8-3。

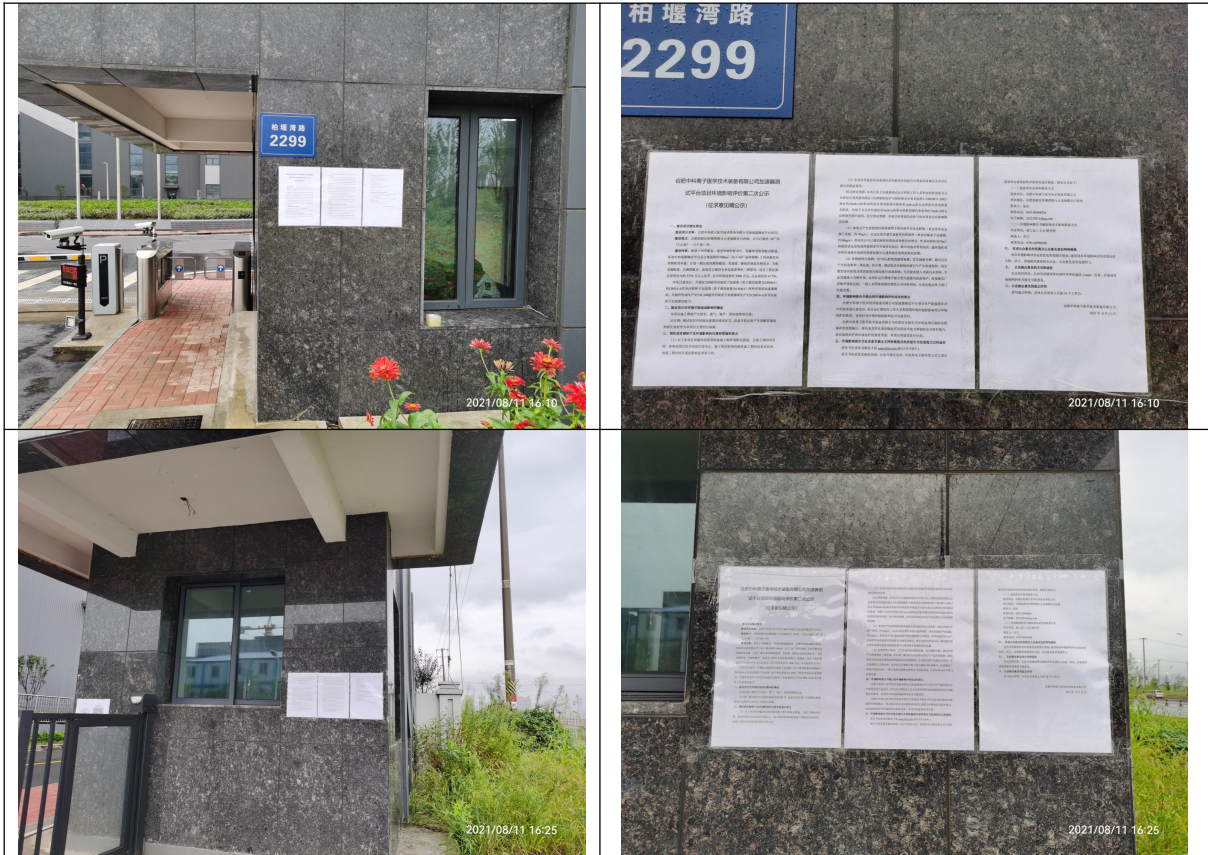


图8-3 公示张贴现场照片

在征求意见的10个工作日内，建设单位分别于2021年8月13日和2021年8月16日在安徽主流纸质媒体《安徽日报》上2次公开项目有关信息，报纸公示照片详见图8-4。



图8-4 (a) 征求意见稿首次登报公示照片



图 8-4 (b) 征求意见稿二次登报公示照片

8.2.3 公众意见调查

建设单位在合肥中科离子医学技术装备有限公司网站（<http://www.hfcim.com/index/info/342>）上进行第一次公示及第二次公示时，同步给出了公众意见表的网络链接及提交公众意见的方式、途径，公众意见表内容见下表。

建设项目环境影响评价公众意见表

填表日期 _____ 年 ____ 月 ____ 日

项目名称	合肥中科离子医学技术装备有限公司加速器测试平台建设项目
一、本页为公众意见	
<p>与本项目环境影响和环境保护措施有关的建议和意见（注：根据《环境影响评价公众参与办法》规定，涉及征地拆迁、财产、就业等与项目环评无关的意见或者诉求不属于项目环评公参内容）</p>	<p>（填写该项内容时请勿涉及国家秘密、商业秘密、个人隐私等内容，若本页不够可另附页）</p>

二、本页为公众信息	
(一) 公众为公民的请填写以下信息	
姓 名	
身份证号	
有效联系方式 (电话号码或邮箱)	
经常居住地址	xx省xx市xx县(区、市)xx乡(镇、街道) xx村(居委会)xx村民组(小区)
是否同意公开个人信息 (填同意或不同意)	(若不填则默认为不同意公开)
(二) 公众为法人或其他组织的请填写以下信息	
单位名称	
工商注册号或统一社会信用代码	
有效联系方式 (电话号码或邮箱)	
地 址	xx省xx市xx县(区、市)xx乡(镇、街道) xx路xx号
注：法人或其他组织信息原则上可以公开，若涉及不能公开的信息请在此栏中注明法律依据和不能公开的具体信息。	

8.3 公众参与结果

从公示及公告发布至公众提出意见的截止日期，均未收到公众以电话、信件或电子邮件等任何形式发回的反馈意见。

9 结论与建议

9.1 项目工程概况

合肥中科离子医学技术装备有限公司位于合肥高新区柏堰湾路与火龙地路交口西南，该项目拟在已建2#厂房（2-A轴）-（2-C轴）间建设加速器测试平台项目。建设内容主要包括2间屏蔽室、迷道和辅助配套区，屏蔽体采取装配式搭建。建成后，具备2台加速器同时安装、测试的条件。

拟建加速器测试平台总占地面积约900m²，位于2#厂房西南侧。2间屏蔽室东西侧相邻布置，计划加速器测试平台一期完成西侧屏蔽室、其迷道、辅助区建造及相应公、专配设施配套，加速器测试平台二期建设东侧屏蔽室、迷道及公配设施。项目工程估算总投资约为约5776万元人民币，其中环保投资约3900万元，占总投资的67.5%。

该项目建成后，用于开展SC240超导回旋质子加速器（质子最高能量为240MeV）和CIM14-A常导回旋质子加速器（质子最高能量为14.2MeV）两种类型的加速器测试，并最终形成年产3台SC240超导回旋质子加速器和年产5台CIM14-A常导回旋质子加速器的能力。

测试机房内回旋质子加速器的调试环节，设备开机出束产生的瞬发辐射和感生放射性为该项目主要的污染源。

9.2 辐射安全与防护

（1）辐射工作场所分区：按照控制区和监督区对辐射工作场所进行划分，采取安全控制措施严防人员进入控制区内。

（2）辐射安全联锁系统：加速器调试机房设计了安全、冗余的辐射安全联锁系统，包括钥匙控制、清场搜索、急停按钮、声光报警器，以

及状态指示信号、视频监控以及放射性警告标志和中文警示说明，可有效防止工作人员和公众受到意外照射。

(3) 辐射屏蔽：根据我国法规标准要求确定各辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平，屏蔽体采取装配式搭建经计算各辐射工作场所屏蔽体外瞬时剂量率均低于其剂量率控制水平。

(4) 通风系统：调试机房设有独立的通风系统，其排风量、换气次数等的设计均能满足相关标准要求，确保排入环境中的放射性废气对环境的影响能够满足相关标准要求。

(5) 工作场所辐射监测系统：调试机房迷道内及机房外重点关注点均设有固定式辐射监测仪，对场所剂量率水平进行实时监测和显示，确保工作人员和公众的安全。

通过理论预测，该项目正常运行期间，辐射工作人员和公众年受照剂量均低于此次评价确定的 5mSv/a 的职业照射剂量约束值和 0.25mSv/a 的公众照射剂量约束值。

9.3 环境影响分析

该项目施工期将产生废水、废气、噪声、固体废物等污染。由于施工期时间有限，影响范围以局部污染为主，施工期的影响将随着施工期的结束而消失。施工期针对各污染物采取的措施经济技术基本可行且有效，施工期对外环境的影响是可接受的。

经过理论预测，该项目质子加速器调试运行所致工作人员职业照射剂量及公众附加有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的 20mSv/a 的职业照射有效剂量基本限值和 1mSv/a 的公众照射有效剂量基本限值，也低于此次评价确定的 5mSv/a 的职业照射剂量约束值和 0.25mSv/a 的公众照射剂量约束值。该项目所建

设的加速器机房屏蔽符合国家标准规范及此次评价提出的限值要求。

经过理论预测，该项目所排放的活化气体对公众影响极其轻微。

该项目产生的放射性固体废物主要包括冷却水交换树脂（每3~5年更换一次冷却水离子交换树脂，每次更换产生约45kg废弃的冷却水离子交换树脂），以及其他含感生放射性结构部件预计每年产生约30kg，拟依托公司已建的放射性固体废物暂存间暂存，贮存间容积为75m³。拆除的活化结构部件按国家有关规范包装后，集中存放在暂存间内，最终委托项目所在地城市放射性固废处置中心或其他有资质的单位处置。

臭氧和二氧化氮的室内浓度及排放浓度均满足标准限值要求；生活废水排入市政污水管网，不会直接排入当地水体；该项目运行期噪声源主要为通排风机组噪声，经预测厂界声环境能达到3类功能区的标准要求；一般工业固体废物由物资公司回收利用，生活垃圾由环卫部门收集处置。非放射性污染物均得到了有效治理与处置，对环境影响轻微。

9.4 辐射安全管理

合肥中科离子医学技术装备有限公司已成立了专门的辐射安全与防护管理委员会，并建立了一系列辐射安全管理制度，内容涵盖人员岗位职责、辐射防护、设备检修、人员培训、辐射监测等；制定了辐射工作人员培训制度，确保辐射工作人员在上岗前参加辐射安全与防护考核，并考核合格后方可上岗；目前制定的辐射环境监测方案能够满足现有项目运行的要求，经补充完善后能满足该项目运行要求。

9.5 结论

综上所述，合肥中科离子医学技术装备有限公司加速器测试平台项目在严格按照环评中的要求进行建设后，项目运行期间对工作人员和周围环境的辐射影响符合环境保护的要求，该项目对环境的影响是可以接

受的。

合肥中科离子医学技术装备有限公司在落实此报告书的各项污染防治措施和管理措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护能力，故从辐射防护和环境保护的角度考虑，该项目的建设是可行的。

9.6 建议和承诺

(1) 建议

①施工建设时，穿过机房屏蔽体的各种管道和电缆线禁止直线穿越屏蔽体，应成弯成S形或U形，机房尽量避开束流损失方向，机房外避开工作人员经常停留的地点。

②严格落实分区管理制度。

③应为辐射工作人员配备铅衣、铅围裙、铅手套、铅眼镜等防护用具，测试时佩戴个人防护用具，以尽量减少工作人员的职业照射剂量。

④室内应保障通风措施有效，降低空气中放射性物质浓度。

⑤如发生污染，应妥善处置放射性污染物和废弃物。

⑥辐射事故应急要求：项目建设单位应根据可能发生的辐射事故风险，制订完善的辐射事故应急预案，并定期演练。

⑦项目建成后，如因科研或销售需求，调整现有建设区域布局或扩大建设区域的情况，应按照国家法规制度，根据项目变动情况，开展环境影响后评价或重新进行环境影响评价。

(2) 承诺

为了保证人员和环境安全，合肥中科离子医学技术装备有限公司做出如下承诺：

①项目建设完成后，将按要求完善健全辐射安全与环境保护管理机

构，配备齐相应资质的专业人员；按要求对拟从事辐射的工作人员进行辐射安全与防护方面的专业培训，通过考核后持证上岗。

②严格遵守国家相关规定，在取得《辐射安全许可证》后方开展回旋质子加速器的测试工作。

③按照《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》(GB11928-1989)的要求，做好放射性固体废物的分类收集、包装和暂存工作。

④按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(环境保护部令第3号)第四十二条之规定编写放射性同位素安全与防护状况年度评估报告，于每年1月31日前报送辐射安全许可证发证机关。

9.7 “三同时”竣工环保验收一览表

表 9-1 “三同时”验收一览表

项目		“三同时”验收内容	验收要求
管理措施	管理机构	成立以公司领导为第一责任人的辐射安全管理领导小组，辐射安全负责人通过核技术应用辐射安全与防护知识考核。本项目申请的核技术应用类型（有申请生产、销售、使用 I 类射线装置），辐射安全关键岗位一个，为辐射防护负责人，最少在岗人数 1 名，辐射安全关键岗位应由注册核安全工程师担任	辐射安全负责人须学习辐射安全与防护知识并通过考核，并执有注册核安全工程师证书
	管理措施	应有健全的设备操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用台账、人员培训计划、工作人员个人剂量监测与管理、工作场所辐射监测方案等	根据要求制定
调试机房屏蔽措施		屏蔽措施详见表 4-2	居留因子 $T > 1/2$ ，瞬时剂量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 居留因子 $T \leq 1/2$ ，瞬时剂量率不超过 $10\mu\text{Sv/h}$
安全措施		设置人员安全连锁系统（包含清场功能、急停功能、使能功能、报警功能），安全连锁设备设置位置及数量详见表 4-5 设置场所辐射监测系统（2 间机房内共布设 7 个固定监测点位：在加速器机房迷道设置固定监测点位，布置伽玛剂量率监测探头；在各辅助用房，包括加速器机房人员迷道上方的辅助电源室、辅助用房的水冷室、加速器电源室、主控室设置固定监测点位，分别布置中子和伽玛剂量率监测探头） 设置视频监控、双向对讲系统，设置通风系统	按要求设置
		控制区入口处明显位置张贴电离辐射警告标志，监督区地面设置黄色警示线； 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作指示灯	按要求设置
		岗位职责和操作规程等工作制度在合适张贴上墙	按要求张贴

个人防护	辐射工作人员上岗前应学习辐射安全与防护知识并通过考核	按要求落实
	辐射工作人员均佩戴 γ 射线和中子个人剂量计，开展个人剂量监测 送检周期不大于3个月	按要求佩戴、送检
	辐射工作人员开展岗前体检、岗中（周期不大于2年/次）及离岗职业健康体检	按要求落实
	配置便携式 γ 巡检仪2台、便携式中子巡检仪2台、直读式个人剂量报警仪（1支/进入机房人员），已配置的确保仪表可正常使用	按要求配置

表 9-2 环保投资一览表

项目	污染物及其防治（辐射防护）措施		投资 (万元)	备注
废水治理	非放射性废水	工作人员生活污水，预处理后排入市政污水管网	5	/
	放射性液态流出物	感生放射性冷却水暂存于废水收集池衰变，监测达标后，经有关监管部门同意方可外排。	15	利用项目原有衰变池及设施
废气治理	非放射性废气	通过辐射工作场所通风系统，外排大气环境	53	/
	放射性气态流出物			
噪声治理	噪声	基础减震、建筑墙体隔声和距离衰减	/	纳入工程费用
固体废物处置	非放射性固体废物	工业固体废物收集后由物资公司回收利用；生活垃圾由环卫部门统一集中收集后处理	/	垃圾清运费纳入年度支出
	放射性固体废物	分类包装后暂存于放射性固废暂存间，定期送交有资质单位处置	/	利用项目原有暂存间及设施
其他辐射防护措施	工程屏蔽措施：机房墙体及屋顶严格按照设计要求的厚度进行建设		3502	纳入工程费用
	辐射工作人员培训及考核、辐射工作场所管理及公司辐射安全与管理制度的修订完善等管理措施		65	其中智能化综合布线、视频监控、门禁、公共广播系统类 45 万元，安全联锁类 20 万元
	辐射工作场所辐射防护分区			
	放射性标志			
	监控摄像头			
	语音提示装置			
	搜索清场按钮			
	紧急停机按钮			
	联锁门禁系统			
有自锁的复位按钮				

	按钮处醒目的标识		
	搜索清场完成显示		
	门磁与束流开关联锁		
	门卡		
	设备门外出束状态显示		
	束流钥匙开关		
	摄像监控图像显示屏		
	控制区内有对讲机和电话通讯设备		
	PLC 机柜		
	报警灯		
	固定的剂量监测探头 (γ 、 n)		
	独立的通风设施		
	部件活化较高剂量率区的放射警示标志		
	火灾报警系统		
	门外加速器工作状态显示		
	门外电离辐射警示标志		
	门外显著位置电离辐射警示标志		
	不间断电源配置		
	更换下来的活化部件专门处存放		
	已存有活化部件局部屏蔽		
	冷却水废水收集池		
	用过的去离子树脂专设存放		

辐射监测	个人剂量报警仪	190	1支/人
	γ 射线和中子个人剂量计		1支/人
	便携式 γ 射线和中子剂量监测仪		2台 (依托现有)
	控制区固定式辐射剂量监测仪		2
	环境 γ 或中子固定式辐射剂量监测仪		5
	通风系统与火灾报警系统联锁		/
	特种气体和易燃易爆气体探测器		/
	辐射监测仪器：高辐射水平中子监测器， γ 探测器等		/
	辐射工作场所常规监测		纳入年度支出
	辐射环境监测委托		纳入年度支出
风险防范措施	辐射工作场所应急物品：包括应急监测仪器，应急器材，应急警戒、公告用品，应急救援用品和应急通讯工具等		/
环境影响评价及环保验收	/	70	/
合计	/	3900	/