

核技术利用建设项目

中国超重元素专用加速器装置项目

环境影响报告书

2021年1月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

中国超重元素专用加速器装置项目

环境影响报告书

建设单位名称： 中国科学院近代物理研究所

建设单位法人代表（签名或签章）： 徐珊珊

通讯地址： 甘肃省兰州市城关区南昌路 509 号

邮政编码： 730030

联系人： 苏有武

电子邮箱： suyouwu@impcas.ac.cn

联系电话： 0931-4969578

编制单位和编制人员情况表

建设项目名称	中国超重元素专用加速器装置项目		
建设项目类别	50_191核技术利用建设项目（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置）		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	中国科学院近代物理研究所		
统一社会信用代码	121000004380021159		
法定代表人（签章）	徐瑚珊		
主要负责人（签字）	徐瑚珊		
直接负责的主管人员（签字）	何源		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	中国原子能科学研究院		
统一社会信用代码	12100000400000309R		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
许慧萍	2014035110350000003512110052	BH009725	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
金潇	审核	BH013175	
严源	审定	BH013174	
许慧萍	第一至第八章	BH009725	

目 录

1	概述.....	1
1.1	项目名称、地点.....	1
1.2	项目概况.....	1
1.2.1	单位概况.....	1
1.2.2	本项目建设目的与意义.....	2
1.2.3	建设规模及内容.....	3
1.2.4	产业政策符合性分析.....	6
1.3	编制依据.....	6
1.3.1	遵循的法律、法规、部门规章和导则.....	6
1.3.2	采用的标准.....	7
1.3.3	其他资料.....	8
1.4	评价标准.....	8
1.4.1	剂量限值.....	8
1.4.2	剂量约束值.....	9
1.4.3	加速器机房屏蔽体外剂量率控制水平.....	9
1.4.4	水污染物排放标准.....	9
1.4.5	放射性固体废物.....	10
1.4.6	电磁辐射.....	10
1.5	评价范围和保护目标.....	11
1.5.1	评价范围.....	11
1.5.2	保护目标.....	11
2	自然环境与社会环境概况.....	14
2.1	地理位置.....	14
2.2	自然环境概况.....	14
2.2.1	地形、地貌特征.....	14
2.2.2	地质构造.....	14
2.2.3	气候气象.....	15
2.2.4	水文概况.....	15
2.3	社会经济状况.....	16
2.3.1	人口情况.....	16
2.3.2	经济状况.....	17
2.4	辐射环境现状.....	17
2.4.1	监测项目.....	17
2.4.2	监测场所.....	17
2.4.3	监测对象及点位布设.....	18
2.4.4	监测仪器及方法.....	20
2.4.5	质量保证.....	20
2.4.6	监测依据.....	21
2.4.7	监测结果.....	22
2.4.8	结论.....	26
2.5	场址适宜性分析.....	27

3	工程分析与源项.....	28
3.1	项目规模与基本参数.....	28
3.2	工程设备与工艺分析.....	29
3.2.1	加速器及其配套辅助系统.....	29
3.2.2	终端.....	31
3.2.3	工艺流程及运行计划.....	35
3.3	污染源项.....	36
3.3.1	正常情况下.....	36
3.3.2	事故情况下.....	43
3.4	废弃物.....	44
3.4.1	废气.....	44
3.4.2	放射性废水.....	44
3.4.3	放射性固体废物.....	44
4	辐射安全与防护.....	46
4.1	场所布局与屏蔽.....	46
4.1.1	场所布局.....	46
4.1.2	辐射工作场所分区.....	46
4.1.3	屏蔽设计.....	49
4.2	辐射安全与防护措施.....	55
4.2.1	辐射安全连锁.....	55
4.2.2	通风系统.....	58
4.2.3	其他防护措施.....	59
4.3	三废的治理.....	59
4.3.1	废气及处理措施.....	59
4.3.2	放射性废液及处理措施.....	59
4.3.3	放射性固体废物及处理措施.....	60
4.4	服务期满后的环境保护措施.....	60
5	环境影响分析.....	61
5.1	建设阶段对环境的影响.....	61
5.2	运行阶段对环境的影响.....	61
5.2.1	辐射源项介绍.....	62
5.2.1	场所辐射水平.....	62
5.2.2	工作人员受照剂量.....	70
5.2.3	公众受照剂量.....	71
5.3	事故分析.....	75
5.3.1	事故分析.....	75
5.3.2	预防措施.....	75
6	辐射安全管理.....	77
6.1	辐射安全与环境保护管理机构.....	77
6.2	辐射工作人员.....	78
6.3	辐射安全管理制度.....	78
6.4	辐射监测.....	79

6.4.1	场所监测.....	79
6.4.2	个人剂量监测.....	80
6.4.3	环境监测.....	80
6.4.4	拟配备的监测设备.....	80
6.5	辐射事故应急.....	81
6.6	环保竣工验收“一览表”.....	82
7	代价-利益简要分析.....	84
7.1	利益分析.....	84
7.2	代价分析.....	84
7.2.1	社会代价.....	84
7.2.2	经济代价.....	84
7.2.3	环境代价.....	85
7.3	正当性分析.....	85
8	结论与建议.....	86
8.1	项目工程概况.....	86
8.2	辐射安全与防护.....	86
8.3	环境影响分析.....	86
8.4	辐射安全管理.....	87
8.5	公众参与情况.....	87
8.6	结论.....	87
8.7	建议与承诺.....	87

表目录

表 1-1 建设单位近几年履行核技术利用项目环保审批情况.....	2
表 1-2 中国超重元素专用加速器基本情况.....	5
表 1-3 本项目环保投资一览表	6
表 1-4 冷却水感生放射性核素排放限值.....	10
表 1-5 放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度.....	10
表 1-6 本项目电场强度控制目标	11
表 1-7 辐射工作场所 100m 范围敏感目标情况	11
表 2-1 厂址地区气象特征	15
表 2-2 监测设备及主要性能指标	20
表 2-3 4 号楼周边建筑外照射剂量率监测结果.....	22
表 2-4 4 号楼墙体外围外照射剂量率监测结果.....	22
表 2-5 4 号楼一层及负一层外照射剂量率监测结果.....	23
表 3-1 CAFE ₂ 装置技术参数.....	28
表 3-2 束流损失分布	37
表 3-3 空气活化情况	40
表 3-4 冷却水活化情况	41
表 4-1 质子直线加速器装置原有屏蔽设计.....	49
表 4-2 改造后的屏蔽设计	50
表 4-3 通风运行工况及工艺工作模式	58
表 5-1 关注点剂量率水平	69
表 5-2 每年排入外环境量	72
表 5-3 计算点处的地面空气浓度计算结果.....	73
表 5-4 空气浸没外照射剂量计算结果	74
表 5-5 吸入内照射剂量计算结果	74
表 6-1 辐射安全管理委员会成员情况	77
表 6-2 本项目工作场所监测计划	80
表 6-3 本项目拟配备的监测设备	80
表 6-4 环保竣工验收一览表	83

图目录

图 1-1 本项目涉及场所现状图	4
图 1-2 本项目改造区域图	5
图 1-3 周围敏感目标分布图	13
图 2-1 4 号楼周边建筑情况监测布点示意图.....	18
图 2-2 4 号楼墙体外围监测布点示意图.....	19
图 2-3 4 号楼一层监测布点示意图	19
图 2-4 4 号楼地下一层监测布点示意图.....	20
图 3-1CAFE2 充气反冲核谱仪终端 (SHANS2)	31
图 3-2 真空差分段内束流 3 倍 rms 包络图.....	32
图 3-3 真空差分段沿线束流损失示意图.....	32
图 3-4 靶室总装图	34
图 3-5 靶室焊接图	34
图 3-6 转靶示意图	35
图 3-7 靶片结构图	35
图 3-8 25MeV 质子轰击不同材料靶产生的中子能谱	38
图 3-9 7MeV/u 铁离子轰击不同材料靶产生的中子能谱	38
图 3-10 40MeV 氦离子轰击不同材料靶产生的中子能谱.....	39
图 3-11 结构部件活化情况剂量率分布图.....	42
图 4-1 地下一层辐射工作场所分区图	47
图 4-2 一层辐射工作场所分区图	48
图 4-3 质子直线加速器机房原屏蔽设计平面图.....	51
图 4-4 改造后屏蔽设计图	52
图 4-5 加速器终端剖面图	53
图 4-6 加速器隧道剖面图	54
图 4-7 固定监测探头、红外探头、急停及清场按钮等位置示意图.....	55
图 4-8 安全联锁逻辑图	55
图 5-1 超重终端迷道总剂量模拟计算结果.....	63
图 5-2 超重终端顶部总剂量模拟计算结果.....	64
图 5-3 单粒子效应实验终端运行时模拟计算结果图.....	65
图 5-4 废束桶水平方向模拟计算结果	66
图 5-5 废束桶垂直方向模拟计算结果	67
图 5-6 束流调试终端水平方向模拟计算.....	68
图 5-7 加速器隧道入口处剂量率模拟计算结果.....	68
图 5-8 辐射工作场所平面关注点示意图.....	69
图 5-9 辐射工作场所剖面关注点示意图.....	69
图 6-1 固定式监测探头布点	79

1 概述

1.1 项目名称、地点

项目名称：中国超重元素专用加速器装置项目

建设性质：改建

建设地点：兰州市南昌路 509 号中国科学院近代物理研究所 4 号楼一楼大厅
(半地下室)

1.2 项目概况

1.2.1 单位概况

中国科学院近代物理研究所位于甘肃省兰州市城关区南昌路 509 号，创建于 1957 年，是新中国成立后按照我国原子能科学技术和核工业发展战略布局创建的一所核科学研究机构。近代物理研究所 50 多年来，在重离子物理基础和应用研究的前沿领域完成了国家和省、部委等一系列重大科研项目，在世界上首次合成了 25 种新核素，并承担了国防科研 I、II 号任务，取得了一批具有国际先进水平的科研成果。截至 2019 年底，共有 197 项成果获得省、部级以上奖励，其中国家级奖励 18 项。主要科研成果先后 7 次入选全国十大科技成就、全国十大科技进展、全国十大科技新闻和全国基础科学研究十大新闻；“重（轻）离子合成新核素及衰变性质、核结构和生成机制研究”入选建国 60 周年“创新中国 60 项科技成就”；新核素合成、冷却储存环（CSR）工程、加速器驱动系统（ADS）关键核心技术等成果入选中科院改革开放四十年 40 项标志性重大成果。

中国科学院近代物理研究所创建于 1957 年，多年来一直以重离子核物理基础研究和相关领域的交叉研究为主要学科方向，相应发展加速器物理与技术及核技术。2012 年委托甘肃省核与辐射安全局编制了质子直线加速器及乙级放射化学实验室改造项目的环境影响报告表，2016 年建设单位编制了该项目质子直线加速器升级到 25MeV 的安全分析报告，2018 年 10 月对该报告表中乙级放射化学

实验室改造项目进行了部分建设内容的自主验收，2019年建设单位编制了大科学装置科技创新创业园（一期）检验检测中心新增辐射工作场所项目环境影响报告书。建设单位辐射安全许可证证号：国环辐证 00298，有效期：2023年12月31日。许可的种类和范围是：使用 I、II、III 类射线装置；使用 III、IV、V 类放射源；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。单位地址在兰州市城关区南昌路 509 号，法人代表徐珊瑚，辐射安全与防护室负责人苏有武。目前有七台射线装置，一个乙级非密封放射性物质工作场所（放化实验室），一个放射性废物暂存库（位于兰州市皋兰县），一个密封放射源暂存库。有密封放射源 62 枚，其中 5 类及以上源 33 枚，豁免源 29 枚。

建设单位近几年履行核技术利用项目环保审批情况见表 1-1。

表 1-1 建设单位近几年履行核技术利用项目环保审批情况

序号	项目名称	环评批复文号	验收情况
1	质子直线加速器及乙级放射化学实验室改造项目	甘环核表【2013】72号	2018年10月，建设单位对环评中乙级放射化学实验室改造项目进行自主验收，质子直线加速器由于工况未达到竣工验收条件暂时未进行验收。
2	大科学装置科技创新创业园（一期）检验检测中心新增辐射工作场所项目	甘环核发【2020】22号	项目建设中

1.2.2 本项目建设目的与意义

1.2.2.1 建设目的

开展超重元素合成与核反应新机制研究，依托装置提供的 4~7MeV/u 重离子束流和先进鉴别技术，成为世界领先的超重元素合成研究专用装置，提供的束流强度与国际同类装置相比最强，是目前国际最高水平 2 倍以上，有利于保障我国在超重元素合成国际竞争中的优势地位。

1.2.2.2 必要性

化学元素是具有相同核电荷数的一类原子的总称。92 号元素铀是天然存在的最重元素，超铀元素都是利用核反应人工合成的。通常认为核电荷数大于 103

的原子核为超重核素，对应的元素为超重元素。产生超重元素的前提是合成超重核素。超重元素和超重核素研究统称为超重研究。在超重研究中，合成新元素拓展化学元素周期表、确定超重元素的化学性质、探索超重核稳定岛是核物理前沿焦点研究领域。

经过半个多世纪的不懈努力，合成了第七周期所有元素，已将元素周期表扩展至 118 号元素，取得了巨大成就。目前，超重核研究最大的关切是合成 119 和 120 号新元素、开启周期表第八周期；确定 118 号以上元素的化学性质，检验元素周期律的外推性。

在本世纪初期，依托兰州重离子加速器装置，中国科学院近代物理研究所部署了超重核实验研究。在国家的支持下，中科院近代物理研究所研制了充气反冲分离器和单原子核鉴别测量装置，取得了以合成两种超重新核素和若干缺中子重新核素为代表的研究成果。

依托强流重离子加速器，利用熔合反应是产生新元素的唯一方法。由于超重元素产生截面极低，为了合成新元素并研究超重元素的化学性质，必须建造强流重离子加速器装置。根据先导专项 B “新元素合成与超重核稳定岛探索” 的计划要求，中科院近代物理研究所计划研制超重核研究专用强流重离子加速器，产生能量为 7MeV/u 国际上最强重离子束流，为合成超重新元素、研究超重元素的化学性质、利用多核子转移反应产生丰中子超重核素提供国际先进实验条件。

1.2.3 建设规模及内容

本项目为近物所现有质子直线加速器辐射工作场所改建而成，该场所 10MeV 的质子直线加速器环评于 2013 年 8 月 15 日取得甘肃省生态环境保护厅批复，2016 年建设单位将该场所质子直线加速器进行了升级，质子能量增加到 25MeV，编制了该场所安全分析报告并办理了辐射安全许可证的变更。

本项目主要是将现有 25MeV 的质子直线加速器改造成超重元素专用加速器装置，其加速器离子由原来的质子扩到超重离子，本项目超重元素专用加速器装置位于中科院近代物理研究所 4 号楼一楼大厅(半地下室)内，涉及占地面积约 1200m²。

超重核研究专用强流重离子加速器是在原来 25MeV 超导强流质子直线加速器的基础上，更换常温质子源为超导离子源，拉长了低能传输线（LEBT）的长度，更换了 RFQ，超导加速段中去掉原 CM4，同时将原 CM3 变为 CM4，增加与 CM1 和 CM2 相同的 CM 作为 CM3，增加超重终端和实验终端，增加相应的磁铁、电源、控制等响应设备，增加实验终端区域的屏蔽。其主要改造区域情况见图 1-1。改造后设备与原有设备具体变更情况如下：

（1）将原有常温质子源为超导离子源，其束流由原来的质子流增加到荷质比为 1/3 的束流（如 $^{51}\text{V}^{17+}$ 、 $^{54}\text{Cr}^{18+}$ 、 $^{55}\text{Mn}^{19+}$ 、 $^{58}\text{Fe}^{20+}$ 等）、质子束和氦束；

（2）将原有的低能传输线 LEBT 拉长；

（3）更换了原有的 RFQ；

（4）超导加速段中去掉原有 CM4，同时将原 CM3 变为 CM4，增加与 CM1 和 CM2 相同的 CM 作为 CM3；

（5）将原场所半地下左上角空白地改为超重终端和实验终端，左下角废束桶在原有质子束的基础上增加了氦束。

（6）左下角在原有基础上增加了墙体屏蔽。

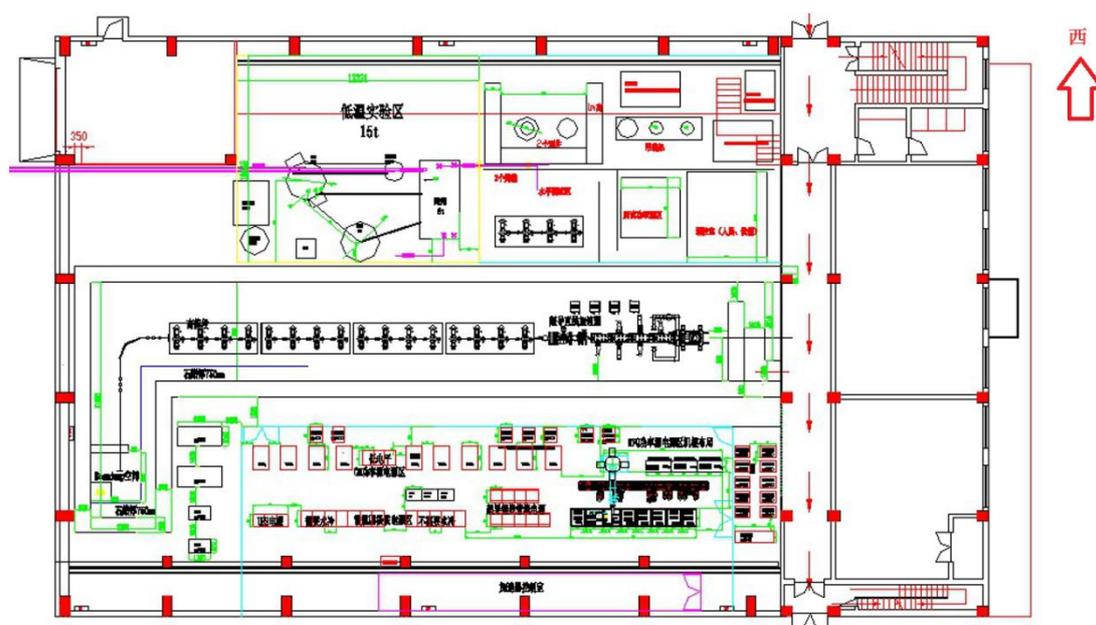


图 1-1 本项目涉及场所现状图

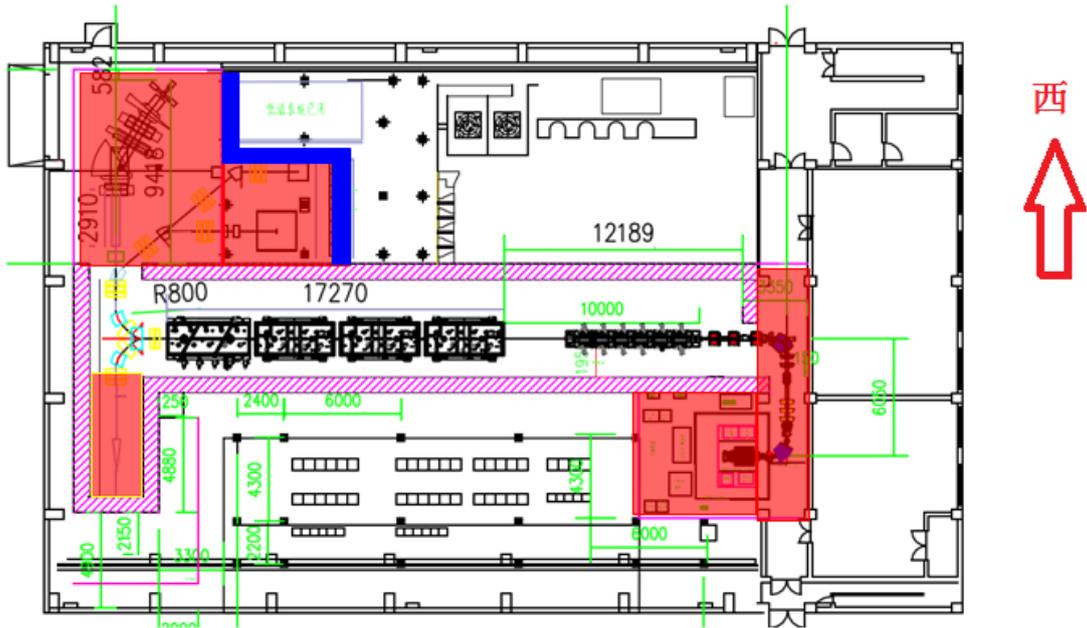


图 1-2 本项目改造区域图

根据项目特点，改造后使用的超重元素专用加速器的参数见表 1-1，根据表 1-1 可知，加速器超重离子单个核子的最大能量为 7MeV/u，以 $^{58}\text{Fe}^{20+}$ 为例，该离子总能量为 406MeV，根据《射线装置分类办法》的规定，本项目属于使用 I 类射线装置项目。根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》等国家法律法规中的相关规定，本项目应进行环境影响评价，编制环境影响报告书。环评单位在现场踏勘、收集有关资料的基础上，按照核技术利用项目环境影响评价技术规范的要求，编制完成了本项目的的环境影响报告书。

表 1-2 中国超重元素专用加速器基本情况

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	流强	用途	工作场所
1	超导直线加速器	I	1 台	自研	^{51}V 、 ^{54}Cr 、 ^{55}Mn 、 ^{58}Fe	406 (7MeV/u)	10pμA	超重元素合成	4 号楼一楼大厅 (半地下室)
					H	25MeV	10mA	科研	
					^4He 、 ^3He	40MeV(10MeV/u)	500pμA		

本项目环保投资情况见表 1-3。

表 1-3 本项目环保投资一览表

序号	辐射防护措施	投资金额 (万元)
1	安全连锁系统、视频监控等	50
2	屏蔽改造	50
3	警示警告标志等	0.5
4	通风设施	20
5	人员培训等安全管理措施	2
6	年度辐射工作场所监测	3
6	环评及竣工验收	40
7	防护门	8
8	固定式监测设备、个人剂量计、个人剂量报警仪、巡检仪等监测设备	70
环保投资合计		243.5
总投资		2000

1.2.4 产业政策符合性分析

根据国家发布的《产业结构调整指导目录(2019 年本)》，本项目符合核能领域鼓励类项目，即“六、核能，第 6 项同位素、加速器及辐照应用技术开发”，本项目建成后将探索合成超重新元素，努力实现中国在新元素合成领域零的突破，并探索超重稳定岛同位素性质和应用的研究，使我国在超重元素探索及超铀同位素应用方面处于国际前列，成为世界知名超重元素研究基地，因此，本项目的建设具有重要的社会意义，符合实践的正当性。

1.3 编制依据

1.3.1 遵循的法律、法规、部门规章和导则

本报告书的编制遵循或参考下述法规文件：

- (1) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年；
- (2) 《中华人民共和国环境保护法》，2014 年；
- (3) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2019 年；
- (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2005 年 9 月 14 日，

国务院令 第 449 号， 2019 年 3 月 2 日第二次修正版；

(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 682 号令，2017 年；

(6) 《甘肃省辐射污染防治条例》，甘肃省人民代表大会常务委员会公告第 19 号，2014 年 11 月；

(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2006 年 1 月 18 日，国家环境保护总局令 第 31 号，2019 年 8 月 22 日第三次修正版；

(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行；

(9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，2018 年 4 月 28 日；

(10) 《放射性废物安全管理条例》，国务院第 183 次常务会议，2011 年 11 月 30 日；

(11) 关于发布《射线装置分类》的公告，国家环境保护部 国家卫生和计划生育委员会 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 06 日；

(12) 《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》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日；

(13) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，2019 年 9 月 20 日；

(14) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，生态环境部国环规环评【2017】4 号，2017 年 11 月 22 日；

(15) 《产业结构调整指导目录》，2019 年本，国家发展和改革委员会令 第 29 号，2020 年 1 月 1 日起施行；

(16) 《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。

1.3.2 采用的标准

本报告书遵循以下主要标准：

- (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- (2) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）；
- (3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）；
- (4) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；
- (5) 《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》（HJ10.1-2016）；
- (6) 《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）；
- (7) 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）。

1.3.3 其他资料

- (1) 项目委托书；
- (2) 设计报告等业主提供的其他资料。

1.4 评价标准

1.4.1 剂量限值

本项目执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定，剂量限值如下：

1.4.1.1 职业照射

应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过以下限值：

- a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv；
- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- c) 四肢或皮肤的当量剂量，500mSv/a。

1.4.1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过以下限值：

- a) 年有效剂量，1mSv；
- b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；
- c) 四肢或皮肤的当量剂量，50mSv/a。

1.4.2 剂量约束值

1.4.2.1 工作人员剂量约束值

本项目工作人员的剂量约束值为 5mSv/a。

1.4.2.2 公众剂量约束值

本项目公众照射的剂量约束值取上述限值的 1/10，为 0.1mSv/a。

1.4.3 加速器机房屏蔽体外剂量率控制水平

根据以上标准及该项目的具体情况，本项目屏蔽体外剂量率控制水平如下：

(1) 超重元素专用加速器装置所在场所地下一层屏蔽体外、机房顶部屏蔽体外剂量率控制水平设为 10 μ Sv/h；

(2) 其他区域屏蔽体外剂量率控制水平设为 2.5 μ Sv/h。

1.4.4 水污染物排放标准

根据本项目特点，本项目放射性废水主要为活化的冷却水，正常情况下该放射性废水不外排，意外情况下外排则必须满足《电离辐射与辐射源安全基本标准》的第 8.6.2 款规定，不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a) 每月排放的总活度不超过 10ALI_{min} (ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者, 其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得);

b) 每一次排放的活度不超过 1ALI_{min}, 并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, 本项目冷却水中放射性核素的单次排放限值 1ALI_{min} 和单月排放限值 10ALI_{min} 见表 1-4。

表 1-4 冷却水感生放射性核素排放限值

序号	核素	一次排放限值, Bq	月排放限值, Bq
1	¹⁴ C	3.45E+07	3.45E+08
2	⁷ B	3.85E+08	3.85E+09
3	¹¹ C	8.33E+08	8.33E+09
4	³ H	1.11E+09	1.11E+10
5	¹⁸ F	2.15E+08	2.15E+09

1.4.5 放射性固体废物

本项目可能产生的放射性固体废物主要为废靶、束流路径上活化部件等。

对于废靶、束流路径上活化部件, 其清洁解控参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录 A 中 A2.1 的规定“任何时间段内在进行实践的场所存在的给定核素的总活度或在实践中使用的给定核素的活度浓度不超过表 A1 所给出的或审管部门所规定的豁免水平”。

《GB18871-2002》附录 A 表 A1 中给出的与本项目活化结构部件相关的放射性核素的豁免活度浓度和活度见表 1-5。

表 1-5 放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度

核素	活度浓度, Bq/g	活度, Bq
⁵⁵ Fe	1E+04	1E+06
⁵⁴ Mn	1E+01	1E+06
⁶⁰ Co	1E+01	1E+05
⁶³ Ni	1E+05	1E+08

1.4.6 电磁辐射

本项目使用的高频设备的频率为 162.5MHz 和 24GHz，根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014），确定本项目电场强度控制目标见表 1-6。

表 1-6 本项目电场强度控制目标

频率范围, MHz	电场强度, V/m
30~3000	12
15000~300000	27

注：f 为频率，MHz

1.5 评价范围和保护目标

1.5.1 评价范围

为确保本项目周围区域内活动的公众和工作人员所受到的辐射低于相应的剂量约束值，根据《辐射环境保护管理导则——技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（2016）的规定和要求，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围），对于 I 类放射源或 I 类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大。本项目评价内容为使用 I 类射线装置场所实体边界外 100m 的区域。

1.5.2 保护目标

保护目标为以 I 类射线装置使用场所实体边界外 100m 区域内的相关人员，通过现场调查，评价范围内保护目标分布情况见图 1-3 和表 1-7。

表 1-7 辐射工作场所 100m 范围敏感目标情况

序号	方位	周围敏感目标场所	人员类别	最近距离, m
1	北	兰州泰基新技术有限责任公司研发中心	公众,约 100 人	32
2	北北东	科化写字楼	公众, 约 50 人	38
3	东北	化物所二区 4 号、7 号和八号居民楼	公众, 约 300 人	45
4	东	兰州分院学生公寓	公众, 约 100 人	20
5	东南	寒旱所南昌路家属楼	公众, 约 300 人	78
6	东南	分院食堂	公众, 约 300 人	23

序号	方位	周围敏感目标场所	人员类别	最近距离, m
7	东南南	蓝楼公寓	公众, 约 200 人	50
8	南	CSR 水泵房	一般无人	5
9	南	9 号楼磁场机械楼	公众, 约 100 人	50
10	南	催化楼	公众, 50 人	80
11	南南西	7 号楼重离子束治疗研究中心	公众, 10 人	60
12	西南	低温科研楼	公众, 20 人	12
13	西南	兰州重离子加速器国家实验室	公众, 约 20 人	34
14	西南	活动中心	公众, 约 25 人	101
15	西	3 号楼电子加速器及应用研究中心	公众, 约 20 人	5
16	西	放射源库	偶有公众, 约 2 人	23
17	西北	8 号楼 (渭源路派出所、商业办公)	公众, 约 50 人	30
18	西北	兰州化物所科化小区一区商业办公楼	公众, 约 50 人	63
19	西北	收发门卫室	公众, 约 2 人	100
20	西北	南昌路 674 号商业办公楼	公众, 约 50 人	100

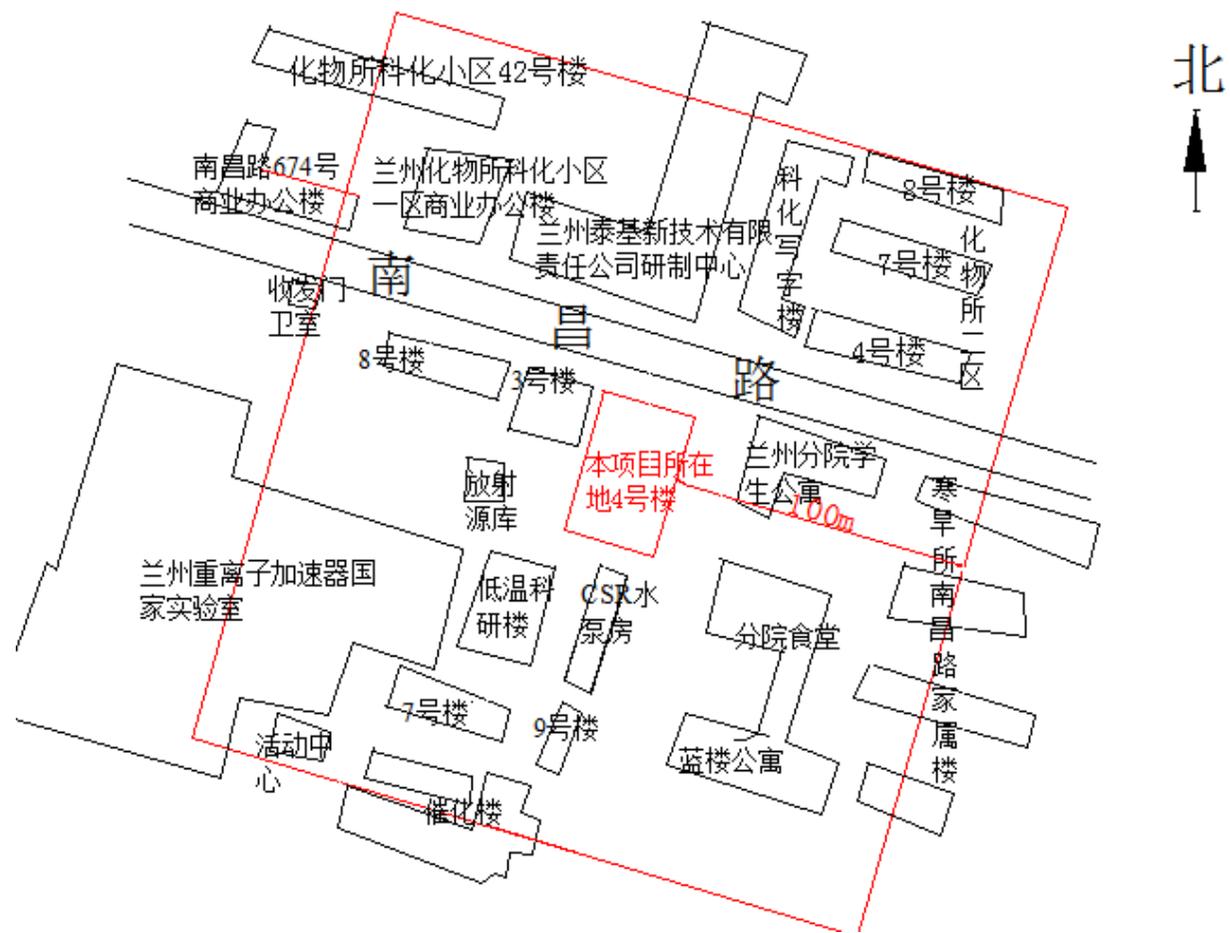


图 1-3 周围敏感目标分布图

2 自然环境与社会环境概况

2.1 地理位置

本项目位于甘肃省兰州市南昌路 509 号近物所院内的甘肃先进加速器技术工程实验室地下一层大厅，其东为化物所道路，北面为南昌路，南面为篮球场，西面为空地及放射源暂存库。

2.2 自然环境概况

2.2.1 地形、地貌特征

兰州市位于黄河中上游黄土高原，是一个东西长(约 50km)，南北窄(约 2~8km)的连续河谷盆地中的沿河带状城市。受地质构造的控制，黄河在兰州段形成三个串珠状阶地型河谷盆地，即新城-河口盆地、西固-七里河盆地和城关-雁滩盆地。黄河自西向东纵贯全市，市区位于西固-七里河盆地和城关-雁滩盆地，分割成城关、盐场、七里河、安宁、西固等五块自然小区。全市地貌可分为石质、高、中、低山地；黄土丘陵峁沟谷地；河谷川台盆地；这三种类型分别占全市面积的 65%、20%、15%。市区海拔 1520m，南有皋兰山，海拔 2159m，北有九州台，海拔 2067m，地形相对高差最大约 600m。

2.2.2 地质构造

兰州市位于北西西向马衔山-兴隆山-通渭断裂带和北北西向庄浪河断裂带的交汇部位。前一断裂带的马衔山-雾宿山断裂在市区以南通过，距市区最近距离约 17km；庄浪河断裂在河口附近进入兰州黄河谷地、距城关区约 20km。城关区内未发现区域性规模较大的断裂，但存在上述两构造方向的次一级断裂，主要为：金城关断层为第四纪早中期断层，长约 25km；雷坛河断层活动时代为第四纪早中期，长度为 13.5km，逆断层；寺儿沟断层活动时代为第四纪早中期，长

度约 10.0km，逆断层；西津村断层活动时代为第四纪早期，长度约 29km；马衔山北缘断层具分段活动性。其中，中东段马衔山段为晚更新世-全新世早期活动，中西段得七道梁段为晚更新世中期活动，而西段的雾宿山段为晚更新世-全新世活动。

2.2.3 气候气象

据兰州市气象台多年资料统计，主要气象要素平均值及极值见下**错误！未找到引用源。**：

表 2-1 厂址地区气象特征

项目	气象特征	特征值
气温	年平均气温	9.3℃
	一月平均气温	-6.8℃
	七月平均气温	22.6℃
	极端最高气温	39.1℃
	极端最低气温	-21.7℃
风向	年主导风向	NE
风速	年平均风速	1.0m/s
	1 月份平均风速	0.6 m/s
	7 月份平均风速	1.4 m/s
静风频率	全年静风频率	62%
	1 月份静风频率	79%
	7 月份静风频率	49%
气压	年平均气压	829hpa
相对湿度	年平均相对湿度	59%
降水	年平均降水量	327.7mm
	平均蒸发量	1482mm
日照	年平均日照时数	2520.3h
积雪	最大积雪厚度	10cm

2.2.4 水文概况

(1) 地表水

本项目所在地的地表水系主要是黄河。黄河是区内最大的过境河流，自西固

达川进入城区，由西向东横贯兰州城区，于城关桑园峡流出城区。城区内流程约45km，河面宽度100~700m，水深多在1.5~3.0m，河道平均比降约1‰，兰州水文站以上流域面积222551km²。

据黄河兰州水文站统计资料，近代黄河水文历史总体可以分为三个阶段：1968年刘家峡水库蓄水以前，黄河水流呈自然状态，据1935~1968年统计资料，多年平均流量1100m³/s，历年最大流量5900m³/s，最小流量60.2m³/s，多年平均含沙量3.56kg/m³；1968年刘家峡水库建成蓄水后，对黄河流量起到了调节作用，据1971~1983年统计资料，多年平均流量997m³/s，多年平均含沙量1.59kg/m³；1986年4月龙羊峡水库建成蓄水后，对黄河流量起到进一步的调节，受人工控制调节，径流的年际和年内分配趋于平稳，黄河上游遇洪水发生几率降低，枯水流量基本保持稳定、变化幅度小。据1987年~2005年统计资料，其间多年平均流量817m³/s。市内主要支流有雷坛河、寺儿沟、西果园沟、黄峪沟等，市区其余小型沟谷均为季节性沟谷，遇暴雨产生洪水或泥石流。

(2) 地下水

黄河从场区北侧流过，为本区主要地表水来源，也是地下水的主要补给来源。河堤普遍存在地下水，属阶地潜水类型，与黄河水直接连通，地下水位主要随黄河水位涨落而有升降，一般春、冬季较低，夏、秋季较高。地下水埋藏于第四系粉细砂及卵石层层中，透水性较好，水位标高变化与1506.55m~1508.08m之间，一般由西南向东北方向流动。场区地下水对混凝土具有弱中等腐蚀性。

2.3 社会经济状况

2.3.1 人口情况

根据《2019年兰州市国民经济和社会发展统计公报》，2019年年末兰州市全市户籍人口为331.92万人，其中，城镇人口235.72万人，乡村人口96.2万人。年末全市常住人口379.09万人，比上年末增加3.73万人。其中，城镇人口307.21万人，占常住人口比重(常住人口城镇化率)为81.04%，比上年末提高0.01个百分点。全年出生人口3.41万人，出生率为9.0‰；死亡人口2.1万人，死

亡率为 5.53%；人口自然增长率为 3.47%。

2.3.2 经济状况

根据《2019 年兰州市国民经济和社会发展统计公报》，2019 年，兰州市全年地区生产总值 2837.36 亿元，比上年增长 6%。其中，第一产业增加值 51.68 亿元，增长 5.5%；第二产业增加值 945.38 亿元，增长 1.9%；第三产业增加值 1840.3 亿元，增长 8.4%。三次产业结构比为 1.82:33.32:64.86。按常住人口计算，人均地区生产总值 71772 元，比上年增长 5.1%。

年末全市就业人员 230.86 万人，其中城镇就业人员 165.46 万人。全年城镇新增就业 9.36 万人，其中失业人员再就业 3.75 万人。年末城镇登记失业率为 3.38%。全年输转城乡富余劳动力 25.94 万人，创劳务收入 64.17 亿元。

全年居民消费价格累计上涨 2.2%。其中，食品烟酒上涨 5.6%，衣着上涨 1.3%，生活用品及服务上涨 1.2%，医疗保健上涨 2.5%，教育文化和娱乐上涨 0.8%，其他用品和服务上涨 2.5%，交通和通信下降 0.4%，居住下降 0.1%。商品零售价格累计上涨 2.0%。

按照每人每年 3800 元(2010 年不变价)的农村贫困标准计算，年末全市农村贫困人口为 0.38 万人，比上年末减少 1.02 万人；农村贫困发生率 0.32%，比上年下降 0.9 个百分点。

2.4 辐射环境现状

中国原子能科学研究院辐射监测与评价实验室于 2020 年 6 月 8 日~6 月 9 日对该场所现有加速器停机后的（以下简称加速器装置）现场及周围环境进行了辐射监测。

2.4.1 监测项目

外照射剂量率（包括 γ 辐射剂量率，中子剂量当量率）。

2.4.2 监测场所

加速器装置所在的近代物理研究所 4 号楼，地处兰州城关区，场址在天水中路以东、南昌路以南、东岗西路路以北、渭源路以西。

测量工况：机房内现有加速器于 2020 年 6 月 1 日 23 点 17 分开始打靶至 6 月 6 日 23:00 结束打靶实验，累计打靶时间为 68 小时 51 分钟，现场及周围环境监测在停机后 38h 进行。

2.4.3 监测对象及点位布设

监测对象：对加速器装置所在场所及周围环境进行布点及测量，包括 4 号楼内部一层和负一层、4 号楼墙体外围及 4 号楼周边建筑，测量 γ 辐射剂量率及中子剂量率。

监测点位布设图分别见图 2-1 至图 2-4。



图 2-1 4 号楼周边建筑情况监测布点示意图

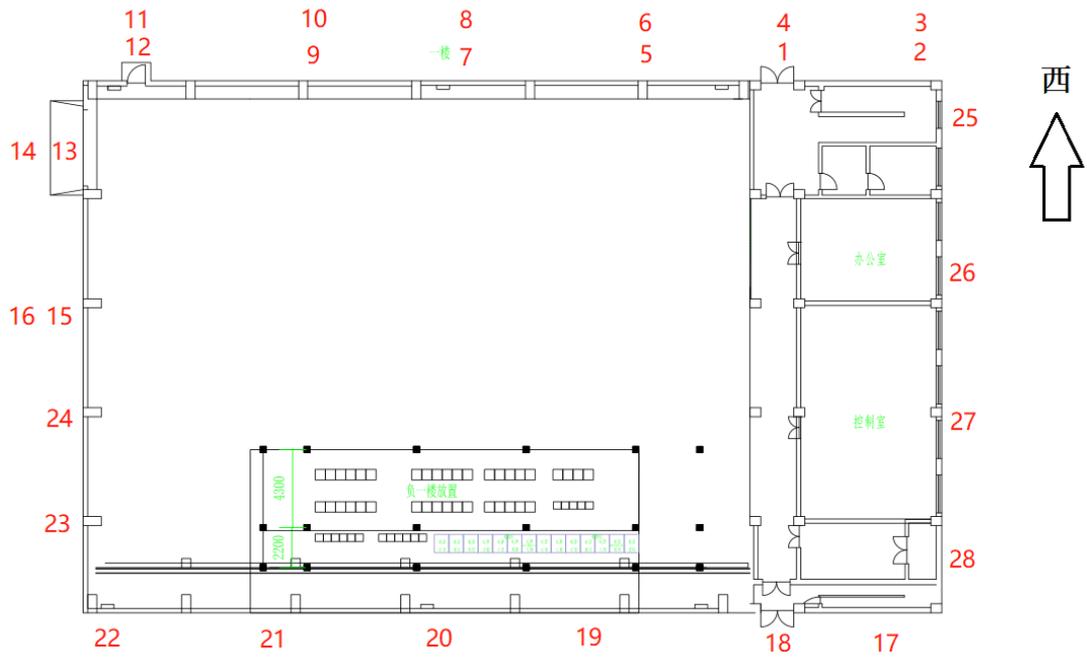


图 2-2 4 号楼墙体外围监测布点示意图

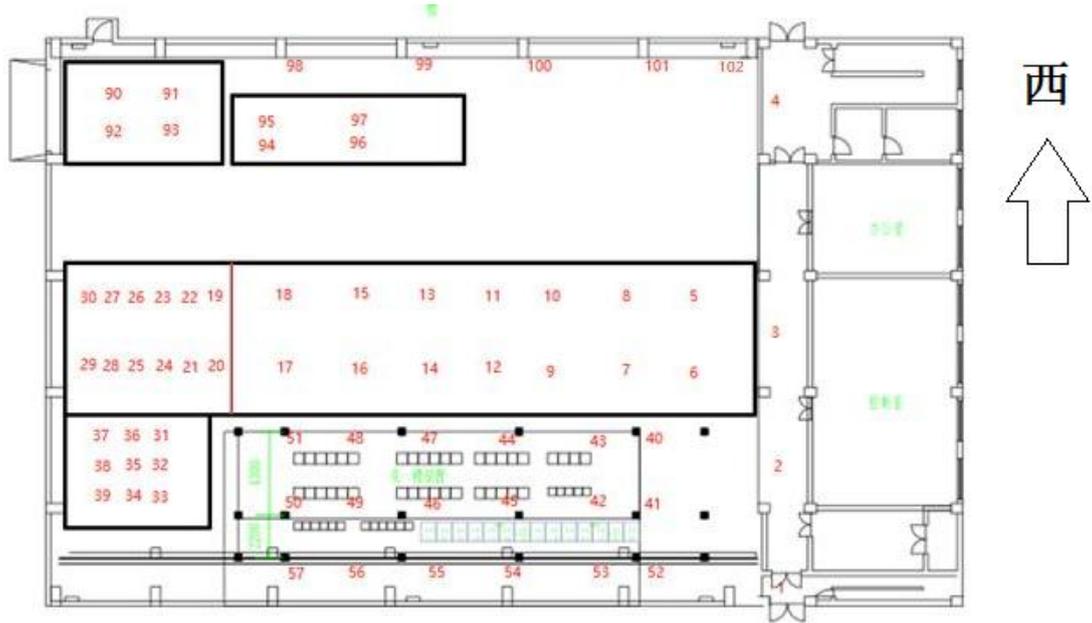


图 2-3 4 号楼一层监测布点示意图

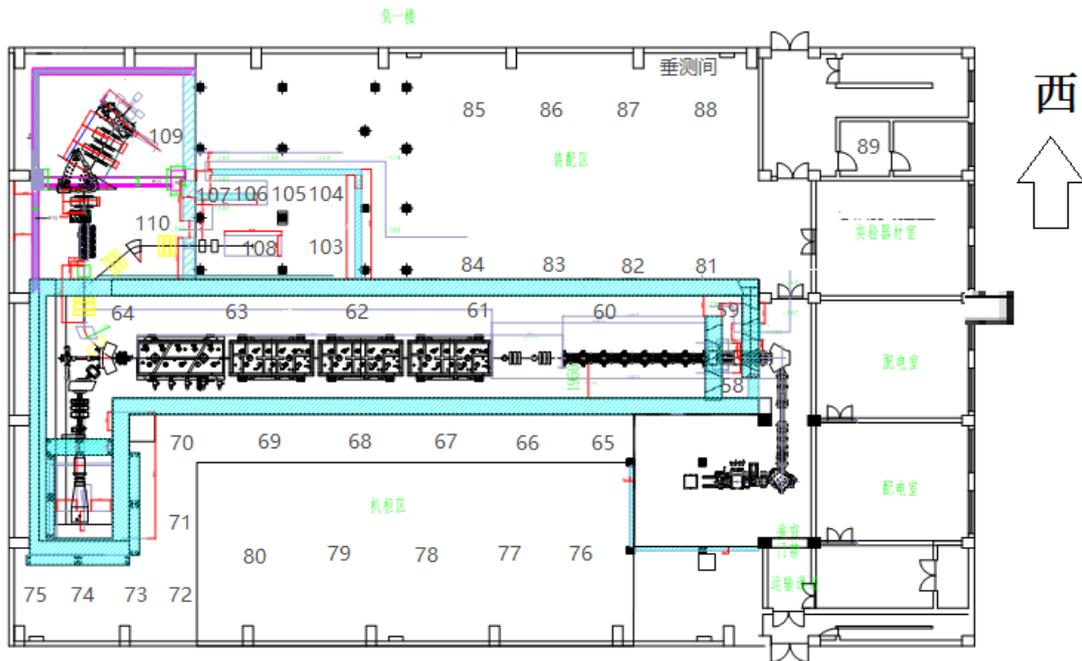


图 2-4-4 号楼地下一层监测布点示意图

2.4.4 监测仪器及方法

2.4.4.1 监测设备

本次监测采用的监测设备及主要性能指标见表 2-2。

表 2-2 监测设备及主要性能指标

仪器名称	型号	出厂编号	主要技术性能指标
辐射测量仪	FH40G-X+ FHZ672 E-10	023290 +0700	测量范围：10nGy/h~100μGy/h； 能量范围：48keV~6MeV； 相对响应之差：<±15%。
中子周围剂量当量率仪	LB123+LB6411	178982-4092/1501	测量范围：50 nSv/h~100 mSv/h； 能量响应：热中子~20 MeV。

2.4.4.2 监测方法

采用便携式监测仪表，以定点的测量方式进行。监测时，便携式监测仪表离地 1m 高，每点测量 10 次，每次间隔 5 秒钟，取平均值。

2.4.5 质量保证

质量保证是使实验室活动结果具有适当的置信度而采取的有计划的系统行

动,其目的是通过对监测过程的全面质量控制,保证测量结果的代表性、可比性、准确性和可靠性。

本次监测任务承担单位中国原子能科学研究院辐射监测与评价实验室严格按照有效的标准、规范、质量管理体系文件等技术和管理规定进行监测工作,确保监测数据准确、有效。

(1) 实验室资质

实验室获得了检验检测机构资质认定和实验室认可。

(2) 监测人员素质要求

本项目监测人员具备辐射防护基本知识,掌握辐射环境监测技术和管理控制程序,参加生态环保部辐射安全与防护培训,取得合格证,同时参加项目培训并考核合格,持证上岗。

(3) 设备检定

本项目使用便携式设备每年在国防科工委放射性计量一级站检定一次,设备管理员制定仪器设备的检定/校准计划,对在用设备严格按照检定/校准周期组织检定,检定后进行检定证书确定,每年定期安排期间核查等工作。

(4) 监测方法的选用

监测方法原则上采用《辐射环境监测技术规范》中推荐的标准分析方法。实验室根据标准方法编制了相应的作业文件,规范了监测方法实施和监测记录。

(5) 现场测量的质量控制

本项目使用便携式设备等离开实验室设备暂存间设备应制定核查的具体标准,在离开、返回实验室时进行核查,合格后方可带离或归还实验室,设备在开始现场实验室活动和实验室活动结束后应进行仪器核查,仪器工作状态正常方可开展后续实验室活动。

2.4.6 监测依据

- (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- (2) 《辐射环境监测技术规范》（HJT 61-2001）；
- (3) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）。

2.4.7 监测结果

外照射剂量率监测结果见表 2-3、表 2-4、表 2-5。

表 2-3 4 号楼周边建筑外照射剂量率监测结果

监测 点位	点位描述	γ 辐射剂量率* (nGy/h)	中子周围剂量当量率 (μ Sv/h)
1	收发室	94.1 \pm 0.5	<LLDn
2	重离子加速器实验室	87.4 \pm 0.5	<LLDn
3	电子加速器应用中心	77.9 \pm 0.4	<LLDn
4	放射源库	84.4 \pm 0.4	<LLDn
5	低温科研楼	87.4 \pm 0.7	<LLDn
6	水泵房	89.7 \pm 0.2	<LLDn
7	磁场机械楼(9#)	89.5 \pm 0.2	<LLDn
8	重离子束治疗研究中心	76.4 \pm 0.3	<LLDn
9	离子源 2 号楼	89.7 \pm 0.3	<LLDn
10	8 号楼	74.3 \pm 0.2	<LLDn
11	南昌路 674 号	72.8 \pm 0.3	<LLDn
12	化物所小区 1 区	75.1 \pm 0.4	<LLDn
13	泰基	73.1 \pm 5.0	<LLDn
14	派出所	73.6 \pm 2.5	<LLDn
15	食堂	60.2 \pm 0.4	<LLDn
16	化物所二期居民楼	61.1 \pm 0.5	<LLDn
17	蓝楼公寓	61.6 \pm 1.0	<LLDn
18	化物所办公楼	62.4 \pm 0.6	<LLDn
19	寒早所家属楼	69.7 \pm 0.3	<LLDn
20	兰州分院学生公寓	65.2 \pm 0.5	<LLDn
21	科化写字楼	57.7 \pm 0.4	<LLDn

注：*监测结果含宇宙射线响应值；
LLDn=0.05 μ Sv/h。

表 2-4 4 号楼墙体外围外照射剂量率监测结果

监测 点位	点位描述	γ 辐射剂量率* (nGy/h)	中子周围剂量当量率 (μ Sv/h)
1	4号楼西侧 1	109.5 \pm 2.5	<LLDn
2	4号楼西侧 2	107.6 \pm 2.9	<LLDn
3	4号楼西侧 3	107.4 \pm 2.7	<LLDn
4	4号楼西侧 4	109.5 \pm 1.6	<LLDn
5	4号楼西侧 5	82.3 \pm 0.3	<LLDn
6	4号楼西侧 6	81.9 \pm 0.2	<LLDn
7	4号楼西侧 7	77.4 \pm 0.1	<LLDn
8	4号楼西侧 8	76.8 \pm 0.2	<LLDn
9	4号楼西侧 9	86.6 \pm 0.4	<LLDn
10	4号楼西侧 10	84.6 \pm 0.4	<LLDn
11	4号楼西侧 11	84.6 \pm 0.6	<LLDn
12	4号楼西侧 12	83.8 \pm 0.6	<LLDn
13	4号楼南侧 1	75.4 \pm 0.1	<LLDn
14	4号楼南侧 2	74.3 \pm 0.1	<LLDn
15	4号楼南侧 3	73.8 \pm 0.4	<LLDn
16	4号楼南侧 4	74.1 \pm 0.5	<LLDn
17	4号楼东侧 1	94.5 \pm 1.0	<LLDn
18	4号楼东侧 2	91.2 \pm 1.4	<LLDn
19	4号楼东侧 3	76.7 \pm 0.2	<LLDn
20	4号楼东侧 4	71.8 \pm 2.7	<LLDn
21	4号楼东侧 5	75.4 \pm 0.2	<LLDn
22	4号楼东侧 6	67.9 \pm 0.7	<LLDn
23	4号楼南侧 5	88.7 \pm 1.6	<LLDn
24	4号楼南侧 6	103.1 \pm 0.5	<LLDn
25	4号楼北侧 1	112.1 \pm 0.8	<LLDn
26	4号楼北侧 2	109.7 \pm 1.2	<LLDn
27	4号楼北侧 3	94.5 \pm 0.7	<LLDn
28	4号楼北侧 4	85.2 \pm 1.1	<LLDn

注：*监测结果含宇宙射线响应值；

LLDn=0.05 μ Sv/h。

表 2-5 4 号楼一层及负一层外照射剂量率监测结果

监测 点位	点位描述	γ 辐射剂量率* (nGy/h)	中子周围剂量当量率 (μ Sv/h)
1	过道 1	72.1 \pm 0.2	<LLDn
2	过道 2	81.6 \pm 1.1	<LLDn
3	过道 3	75.3 \pm 2.1	<LLDn
4	过道 4	80.7 \pm 1.1	<LLDn
5	加速器顶部 1	69.4 \pm 3.6	<LLDn
6	加速器顶部 2	76.2 \pm 1.9	<LLDn
7	加速器顶部 3	72.1 \pm 0.2	<LLDn

监测 点位	点位描述	γ 辐射剂量率* (nGy/h)	中子周围剂量当量率 (μ Sv/h)
8	加速器顶部 4	75.5 \pm 0.5	<LLDn
9	加速器顶部 5	62.6 \pm 0.1	<LLDn
10	加速器顶部 6	64.2 \pm 2.0	<LLDn
11	加速器顶部 7	66.5 \pm 0.4	<LLDn
12	加速器顶部 8	65.4 \pm 0.5	<LLDn
13	加速器顶部 9	61.3 \pm 0.3	<LLDn
14	加速器顶部 10	67.8 \pm 0.4	<LLDn
15	加速器顶部 11	60.3 \pm 4.2	<LLDn
16	加速器顶部 12	61.9 \pm 0.4	<LLDn
17	加速器顶部 13	64.5 \pm 1.1	<LLDn
18	加速器顶部 14	72.1 \pm 0.6	<LLDn
19	加速器顶部 15	74.5 \pm 0.5	<LLDn
20	加速器顶部 16	77.0 \pm 0.5	<LLDn
21	加速器顶部 17	78.1 \pm 0.8	<LLDn
22	加速器顶部 18	72.5 \pm 0.3	<LLDn
23	加速器顶部 19	79.8 \pm 0.2	<LLDn
24	加速器顶部 20	79.9 \pm 0.6	<LLDn
25	加速器顶部 21	79.3 \pm 0.4	<LLDn
26	加速器顶部 22	80.3 \pm 0.6	<LLDn
27	加速器顶部 23	79.7 \pm 0.9	<LLDn
28	加速器顶部 24	77.5 \pm 1.5	<LLDn
29	加速器顶部 25	79.0 \pm 0.3	<LLDn
30	加速器顶部 26	76.8 \pm 0.5	<LLDn
31	加速器顶部 27	77.2 \pm 0.4	<LLDn
32	加速器顶部 28	79.0 \pm 0.3	<LLDn
33	加速器顶部 29	77.5 \pm 0.3	<LLDn
34	加速器顶部 30	76.8 \pm 1.1	<LLDn
35	加速器顶部 31	75.4 \pm 0.8	<LLDn
36	加速器顶部 32	76.2 \pm 0.5	<LLDn
37	加速器顶部 33	77.1 \pm 0.7	<LLDn
38	加速器顶部 34	76.5 \pm 0.3	<LLDn
39	加速器顶部 35	75.5 \pm 0.6	<LLDn
40	高功率机房 1	54.9 \pm 1.1	<LLDn
41	高功率机房 2	55.5 \pm 0.6	<LLDn
42	高功率机房 3	54.6 \pm 0.2	<LLDn
43	高功率机房 4	54.0 \pm 0.6	<LLDn
44	高功率机房 5	54.2 \pm 0.6	<LLDn
45	高功率机房 6	53.7 \pm 0.3	<LLDn
46	高功率机房 7	38.5 \pm 0.3	<LLDn
47	高功率机房 8	40.4 \pm 0.3	<LLDn
48	高功率机房 9	37.5 \pm 0.2	<LLDn

监测 点位	点位描述	γ 辐射剂量率* (nGy/h)	中子周围剂量当量率 (μ Sv/h)
49	高功率机房 10	38.1 \pm 0.5	<LLDn
50	高功率机房 11	38.6 \pm 0.1	<LLDn
51	高功率机房 12	39.5 \pm 0.3	<LLDn
52	高功率机房 13	57.5 \pm 0.3	<LLDn
53	高功率机房 14	58.2 \pm 0.7	<LLDn
54	高功率机房 15	57.8 \pm 0.6	<LLDn
55	高功率机房 16	58.2 \pm 0.4	<LLDn
56	高功率机房 17	57.5 \pm 0.2	<LLDn
57	高功率机房 18	57.4 \pm 0.3	<LLDn
58	地下一层迷道 1	83.5 \pm 0.7	<LLDn
59	地下一层迷道 2	86.6 \pm 0.5	<LLDn
60	地下一层加速器隧道 1*	248.4 \pm 1.2	<LLDn
61	地下一层加速器隧道 2*	96.9 \pm 2.5	<LLDn
62	地下一层加速器隧道 3*	200.0 \pm 3.2	<LLDn
63	地下一层加速器隧道 4*	1009.4 \pm 32.3	<LLDn
64	地下一层加速器隧道 5*	9329.0 \pm 35.5	<LLDn
65	地下一层数控机房旁过道 1	55.6 \pm 0.4	<LLDn
66	地下一层数控机房旁过道 2	56.3 \pm 0.4	<LLDn
67	地下一层数控机房旁过道 3	44.3 \pm 0.1	<LLDn
68	地下一层数控机房旁过道 4	45.5 \pm 0.5	<LLDn
69	地下一层数控机房旁过道 5	77.2 \pm 0.2	<LLDn
70	地下一层数控机房旁过道 6	76.5 \pm 0.2	<LLDn
71	地下一层数控机房旁过道 7	77.4 \pm 0.2	<LLDn
72	地下一层数控机房旁过道 8	78.3 \pm 0.2	<LLDn
73	地下一层数控机房旁过道 9	79.8 \pm 0.3	<LLDn
74	地下一层数控机房旁过道 10	79.5 \pm 0.4	<LLDn
75	地下一层数控机房旁过道 11	75.1 \pm 0.5	<LLDn
76	地下一层数控机房 1	77.8 \pm 0.7	<LLDn
77	地下一层数控机房 2	78.1 \pm 0.3	<LLDn
78	地下一层数控机房 3	79.1 \pm 0.2	<LLDn
79	地下一层数控机房 4	77.4 \pm 0.3	<LLDn
80	地下一层数控机房 5	76.7 \pm 0.6	<LLDn
81	地下一层装配区 1	90.0 \pm 0.3	<LLDn
82	地下一层装配区 2	89.4 \pm 0.5	<LLDn
83	地下一层装配区 3	89.1 \pm 0.6	<LLDn
84	地下一层装配区 4	88.4 \pm 0.4	<LLDn
85	地下一层装配区 5	86.9 \pm 0.2	<LLDn
86	地下一层装配区 6	87.6 \pm 0.5	<LLDn
87	地下一层装配区 7	87.8 \pm 0.4	<LLDn
88	地下一层装配区 8	88.5 \pm 0.5	<LLDn
89	地下一层外网机房	90.5 \pm 0.3	<LLDn

监测 点位	点位描述	γ 辐射剂量率* (nGy/h)	中子周围剂量当量率 (μ Sv/h)
90	西南门入口处 1	93.6 \pm 0.3	<LLDn
91	西南门入口处 2	92.8 \pm 0.2	<LLDn
92	西南门入口处 3	89.5 \pm 0.2	<LLDn
93	西南门入口处 4	87.8 \pm 0.3	<LLDn
94	低温实验区 1	76.0 \pm 5.3	<LLDn
95	低温实验区 2	72.4 \pm 3.0	<LLDn
96	低温实验区 3	67.6 \pm 0.7	<LLDn
97	低温实验区 4	60.3 \pm 0.2	<LLDn
98	西侧过道 1	68.3 \pm 0.3	<LLDn
99	西侧过道 2	68.0 \pm 0.3	<LLDn
100	西侧过道 3	68.0 \pm 0.6	<LLDn
101	西侧过道 4	67.9 \pm 0.3	<LLDn
102	西侧过道 5	52.5 \pm 0.1	<LLDn
103	地下一层西南角 1	66.7 \pm 0.2	<LLDn
104	地下一层西南角 2	71.5 \pm 0.1	<LLDn
105	地下一层西南角 3	61.9 \pm 0.6	<LLDn
106	地下一层西南角 4	60.8 \pm 0.4	<LLDn
107	地下一层西南角 5	60.3 \pm 0.3	<LLDn
108	地下一层西南角 6	74.7 \pm 0.5	<LLDn
109	地下一层西南角 7	84.8 \pm 0.3	<LLDn
110	地下一层西南角 8	126.8 \pm 2.3	<LLDn
111	4 楼配电室	78.2 \pm 1.1	<LLDn
112	气体保护区	57.5 \pm 2.9	<LLDn
113	公共实验室 1	66.9 \pm 2.8	<LLDn
114	公共实验室 2	72.0 \pm 1.2	<LLDn
115	垂测间	65.7 \pm 0.9	<LLDn

注：*监测结果含宇宙射线响应值；LLDn=0.05 μ Sv/h。

*60~64 受加速器活化产物影响剂量率水平较高。

2.4.8 结论

通过本次监测,可以得出以下结论:4 号楼周边建筑 γ 辐射剂量率在(57.7~94.1) nGy/h 范围内,中子周围剂量当量率均小于仪表探测限;4 号楼墙体外围 γ 辐射剂量率在(67.9~112.1) nGy/h 范围内,中子周围剂量当量率均小于仪表探测限;4 号楼地下一层及一层加速器机房外 γ 辐射剂量率在(37.5~126.8) nGy/h 范围内,中子周围剂量当量率均小于仪表探测限。根据《甘肃省环境天然贯穿辐射水平调查研究》(刘纯亭等,《辐射防护》第 16 卷第 2 期,1996 年 3

月)，兰州市室内 γ 辐射剂量率在（48.7~132.3）nGy/h 范围内，本次改建项目机房外及周围环境 γ 辐射剂量率在兰州市室内 γ 辐射剂量率本底范围内。

2.5 场址适宜性分析

本项目位于兰州市南昌路 509 号中国科学院近代物理研究所 4 号楼一楼大厅（半地下室），为改造项目，现有项目运行期间未发生辐射事故，本评价认为其选址合理。

本项目的布局以有利于辐射安全管理、方便工作为原则对超重装置加速器及防护设施进行布置，各组成部分功能分区明确，既能有机联系，又不相互干扰，通过采取相应有效治理和屏蔽措施后对周围环境影响较小，故本项目的总平面布置是合理的。

3 工程分析与源项

3.1 项目规模与基本参数

超重核研究专用强流重离子加速器由中科院近代物理研究所研制，在之前25MeV 超导强流质子直线加速器的基础上更新更换部分元件及增加超重终端和实验终端。改造后的装置可加速束流包括荷质比为 1/3 的束流（如 $^{51}\text{V}^{17+}$ 、 $^{54}\text{Cr}^{18+}$ 、 $^{55}\text{Mn}^{19+}$ 、 $^{58}\text{Fe}^{20+}$ 等）、质子束和氦束，可将荷质比为 1/3 的束流（如 $^{51}\text{V}^{17+}$ 、 $^{54}\text{Cr}^{18+}$ 、 $^{55}\text{Mn}^{19+}$ 、 $^{58}\text{Fe}^{20+}$ 等）加速至 7MeV/u，开展超重新核素合成、超重元素化学性质、超重核结构和性质等方面的研究。该 CAFe2 的技术荷质比为 1/3 的束流参数情况见表 3-1，单个核子的最大能量为 7MeV/u，以 $^{58}\text{Fe}^{20+}$ 为例，离子的最大能量为 406MeV，属于 I 类射线装置。

表 3-1CAFe2 装置技术参数

参数		指标
离子		质子束， ^4He 、 ^{51}V 、 ^{54}Cr 、 ^{55}Mn 、 ^{58}Fe 等
最大能量		质子束：25MeV 氦离子：10MeV/u 重离子束：7 MeV/u
最大流强		质子：10mA 氦离子：500 μA 重离子：10 μA
最大束流功率		4.9kW
射频频率		162.5 MHz
运行模式		连续波
终端	超重终端	^{51}V 、 ^{54}Cr 、 ^{55}Mn 、 ^{58}Fe 等超重离子，最大能量为 7 MeV/u， 最大流强为 10 μA
	单粒子效应终端	质子：最大能量 20MeV，最大流强 1 μA 超重离子：最大能量 7 MeV/u，最大流强 1 μA
	束流调试终端	质子：最大 25MeV，最大流强 20 μA
	废束桶	质子：最大 25MeV，最大流强 10mA 氦离子：最大能量 10MeV/u，最大流强 500 μA

3.2 工程设备与工艺分析

3.2.1 加速器及其配套辅助系统

超重核研究专用强流重离子加速器由超导离子源、低能传输线（LEBT）、射频四极加速器（RFQ）、中能传输线（MEBT）、超导加速段（CM1-4）、高能传输线（HEBT）以及实验终端组成，束流频率为 162.5MHz，涉及到磁铁、电源、控制、低温、真空、束测、准直、功率源、低电平、耦合器、超导腔等子系统。

超重核研究专用强流重离子加速器的离子源采用超导离子源，引出束流能量 10keV/u，最大流强 10 μ A。束流经过 LEBT 匹配到常温 RFQ 入口，被 RFQ 加速到 1.33MeV/u，然后接超导 HWR 腔将束流继续加速到 7MeV/u，最大束流功率 4.9kW。其中 RFQ、HWR 腔均采用 162.5MHz 的工作频率。在 RFQ 和超导加速段之间的 MEBT 采用 buncher 对束流的纵向品质进行匹配，其工作频率为 162.5MHz。超导加速段 CM4 的末端为 HEBT，束流可向东偏转 90 度轰击到束流垃圾桶，或向西传输到超重终端或实验终端。该套系统计划建设在中科院近代物理研究所 4 号楼实验大厅。

（1）离子源

强流高电荷态离子束产生后，需要经过高效的传输与质谱分析系统获得高品质的离子束流。一台能够提供高稳定性、高束流品质、低能散的强流离子源对超重核研究至关重要。针对实验终端提出的束流种类及流强需求，超重核研究专用强流重离子加速器的离子源采用中科院近代物理研究所研制的现有的具有高稳定性的全超导 ECR 离子源 SECRAL 技术，频率选择为 24GHz。其关键技术主要包括微波发生装置、离子源源体、低温制冷系统及束流引出系统等四部分。

（2）低能传输段

低能传输段 LEBT 的主要作用是为了实现 ECR 离子源与 RFQ 之间的束流匹配和传输，同时肩负着束流的整形和约束作用，尽可能地降低束流在高能段损失。LEBT 段利用三个可调节光阑刮除 20%的外围粒子，束流水平和垂直方向归一化发射度为 0.19mm.mrad 满足 RFQ 入口的反射度要求。通过两台反极性双螺线管透镜

实现束流匹配，同时避免束流横向相空间耦合。

(3) 射频四极加速器

RFQ 是加速器的第一个高频元件，其决定了束流的束团结构及纵向束流品质。RFQ 系统包括：RFQ 腔体、功率源系统、真空系统、水冷系统、控制系统、低电平系统、准直测量、机械调整支架系统等。RFQ 的注入能量为 10keV/u ，为了避免损失的粒子打在真空管道、磁体、高频腔体等元件上引起材料的活化辐射，其输出能量选择在 1.33MeV/u 。RFQ 加速器采用四翼型结构，运行频率为 162.5MHz ，工作为 CW 模式，全长约 7m ，半径约 0.5m 。RFQ 腔体材料为无氧铜板料，RFQ 分成 7 段，每段腔体是高纯度无氧铜装配钎焊接组成的真空密闭腔体，每个工艺段之间用带有真空和高频密封的法兰连接。

(4) 中能传输段

中能传输段 MEBT 主要用于实现束流从 RFQ 到超导加速段的横向和纵向匹配，并在此处完成束流参数的全面测量，束流位置和参数的误差校正以及束晕刮除。MEBT 的长度约为 3.2m ，由 6 台四极磁铁和两台 162.5MHz 常温聚束腔组成，分别用于横向和纵向的束流匹配。配备了束流调试所需的束诊元件，包括束流位置探测器 BPM，束流流强探测器 ACCT，以及用于测量束流发射度的狭缝和法拉第桶。

(5) 超导加速段

超导加速段将荷质比为 $1/3$ 的重离子由 1.33MeV/u 加速到 7MeV/u ，整个超导加速段包括 4 个 CM，前 3 个 CM 为 HWR010 低温恒温器，每个 CM 包括 6 台超导 HWR010 腔体和 6 台超导螺线管。第 4 个 CM 为 HWR015 低温恒温器，包括 5 台超导 HWR015 腔体和 5 台超导螺线管。CM 之间采用常温过度，总长度为 17.3米 。其中 CM1 出口能量为 2MeV/u ，CM2 出口能量为 3.1MeV/u ，CM3 出口能量为 4.5MeV/u ，CM4 出口能量为 7MeV/u 。

(6) 高能传输段

HEBT 是连接超导加速段和束流垃圾桶或实验终端的一条束运线，HEBT 主要为将束流传输匹配到束流垃圾桶，测量束流品质，偏转束流，防止反冲中子进入超导加速段。

3.2.2 终端

本项目设有四个终端，主要为束流调试终端，超重终端、单粒子效应辐照终端、废束桶。其各终端的主要功能为：

(1) 束流调试终端，可承受占空比小于 0.1%，功率小于 100w 的束流，用于束流调试。

(2) 废束桶，可承受小于 100kW 高功率束流，用于束流调试。

(3) 超重终端，用于开展超重核素合成、超重元素化学性质、超重核结构和性质等方面的研究。

(4) 单粒子效应终端，用于开展单粒子效应等方面的研究。

为掌握超重终端超重离子打靶产生的元素性质分析，在超重终端主要布设有以下设备：

(1) 充气反冲核谱仪（SHANS2）

重离子诱发的熔合反应是产生超重元素和缺中子超重核素的唯一方法。充气反冲谱仪能够高效分离熔合反应产物并具有良好的本底抑制能力，是国际上超重研究普遍使用的实验装置。充气反冲核谱仪（Spectrometer for Heavy Atoms and Nuclear Structure2，简称 SHANS2）的工作机制为利用低能重离子束流轰击靶通过熔合反应产生目标核素，它的布局图见图 3-1，主要包括真空差分阶段、靶系统、充气谱仪以及收集测量系统。

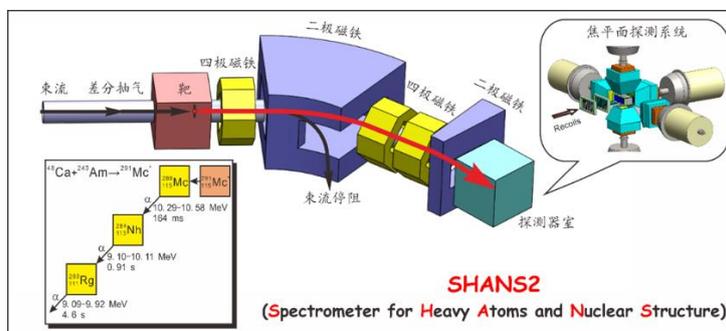


图 3-1CAFE2 充气反冲核谱仪终端（SHANS2）

(2) 真空差分阶段

真空差分段利用一系列真空泵,逐级将束管内真空度从 $1\text{E-}6\text{Pa}$ 提升到 100Pa 。在动力学设计时,需构造一系列小束腰的包络,以减小束流孔径,提高气阻。由于一个差分系统只能提高约 1 个量级的真空度,故需要 6 级差分。真空差分段长约 2m。通过优化首级真空差分小孔孔径,得出不同孔径下的最小 rms 包络,最终确定首级差分孔孔径选为 10mm 。利用 TraceWin 软件对束流在真空差分段中的传输进行模拟,3 倍 rms 包络模拟结果如图 3-2 所示。由图可见,真空差分系统能够实现束流稳定传输。将横向 6 倍截断的高斯分布作为初始粒子分布,进行多粒子模拟,发现束流丢失在每一级差分段的入口处。因此,在每一级真空差分孔的入口处,设置带水冷的刮束孔,刮束孔的直径比差分孔小 1mm ,实现束流外围粒子的刮除,模拟结果表明约 0.7%的束流被刮束孔刮除。真空差分段沿线束流损失示意图如图 3-3 所示。

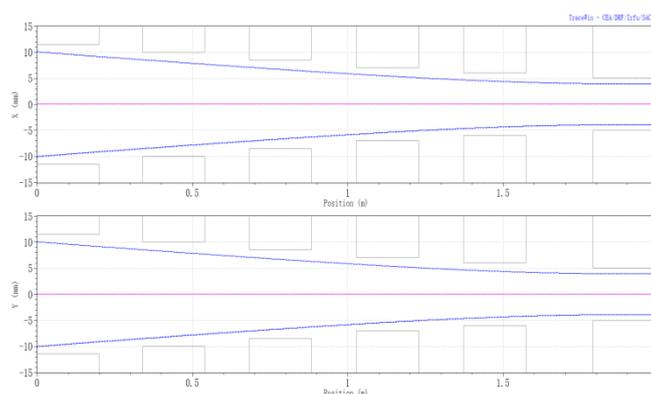


图 3-2 真空差分段内束流 3 倍 rms 包络图

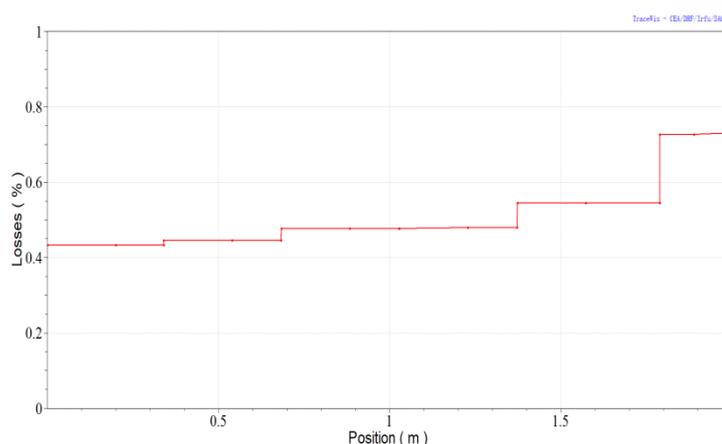


图 3-3 真空差分段沿线束流损失示意图

(3) 磁铁系统

磁铁系统主要用于对目标离子进行选择。参考俄罗斯、德国、日本等实验室

的充气谱仪的分离效率，选择用 2 个二极铁、3 个四极铁的结构。设计以 118 号元素 294 质量为参考场，满足以类似方法产生的附近核素的分离要求。

(4) 探测及获取系统

在焦平面安装探测系统，该系统对目标核的带电粒子衰变及 gamma 跃迁进行在线测量。焦平面的带电粒子测量采用 Micron 出厂的 BB17 双面 Si 条作为探测器，该 Si 正面被分为 128 条，背面为 48 条，每条的宽度为 0.9mm，条间距为 0.1mm；周边探测器采用 Micron 出厂的 8 块 W4 的 Si 片组成，该 Si 片正面每块分为 8 条，背面为整体；vito 探测器采用相同尺寸的 Si 探测器构成；gamma 探测采用 Cover 和 HPGe 探测器围绕在带电粒子探测器的外围。

(5) 靶室及转靶系统

靶室是核反应发生的地方，主要用于安装转靶系统。在超重研究中由于采用强的束流轰击靶材料产生超重区域的核素，为使束流打到靶后，靶的温度要保持在熔点以下，采用强流的转靶。在该系统中转靶将以 1000 每分钟转的速度高速平稳地转动，同时在靶的周围用低温的酒精进行冷却，以保障靶处于熔点以下。转靶示意图见图 3-4，靶被安装在该转盘上，同时在转盘上有用于束流脉冲调制标记，还被用于记录靶的位置。靶片外框的设计图见图 3-7，实验使用的靶材料将安装在该框上。

(1) 将实验需要的转靶装置、探测器装置分别安装于谱仪的靶点位置和焦平面位置,对谱仪腔体抽真空,并在腔体中充入低气压的稀薄氦气作为工作气体,准备开始实验。

(2) 将加速器提供的重离子束流经差分抽气系统引入谱仪的靶室,束流粒子与靶核发生核反应,产生目标核。

(3) 由于目标核具有反冲动能,会从薄靶材料中反冲出来,并具有一定电荷态。利用谱仪的二极磁场可以将反冲目标核与束流粒子进行快速分离。

(4) 分离后的目标核经谱仪磁场传输至焦平面位置,注入位置灵敏型硅半导体探测中,发生连续的 α 衰变,通过衰变链的关联测量鉴别核反应产生的目标核素,进而得到核素衰变的基本信息。

(5) 未发生核反应的束流粒子将从薄靶材料中穿透出来,经谱仪二极磁场偏转后阻止于二极磁铁出口处的废束桶中。

(6) 实验完成后,需要用辐射计量仪监测靶面的辐射剂量,待剂量达到操作许可后,将转靶的靶盘取出,放置于专用存储柜中。

3.2.3.2 年运行计划

本项目超重装置加速器计划年供束时间不间断连续供束6个月。本项目不新增工作人员,岗位设置有实验人员和维修人员,共20人。

3.3 污染源项

3.3.1 正常情况下

离子加速器运行时产生的辐射场,包括加速器运行时产生的“瞬发辐射场”和加速器停机后依然存在的“残余辐射场”。瞬发辐射是加速器运行时损失束流与加速器部件和屏蔽体等发生核反应产生,特点是能量高、辐射强,但会随着加速器的停机而完全消失;残余放射性主要来自加速器部件、设备冷却水、隧道内空气被主束或次级粒子轰击产生的活化产物,在加速器停机后依然存在。

对于加速器，其能量、流强变化大，束流在轰击靶时全部损失。加速器运行时产生的辐射主要是高能粒子引起的核反应而发射的瞬发中子，主要包括由核内级联产生的高能中子及复合核退激出射的蒸发中子（各向同性部分）两部分，其它粒子（电子， γ 射线等）不论是产生的量还是穿透能力皆小于中子，同时，次级中子也是造成空气、冷却水和屏蔽体活化。

3.3.1.1 瞬发辐射

3.3.1.1.1 束流损失

加速器瞬发源项是由束流损失部位和材料决定的，束流损失分布见表 3-2 所示。

表 3-2 束流损失分布

损失部位	损失方式	损失能量	损失流强	损失离子	损失部位材料
传输线	均匀瞬时	7MeV/u	1W/m	V、Cr、Mn、Fe 等	不锈钢、铌
传输线	均匀瞬时	H: 25MeV He: 10MeV/u	1W/m	H/He	不锈钢、铌
束流调试终端	集中损失	H: 25MeV	H: 20 μ A	H	C、Cu 等
废束桶	集中损失	H: 25MeV He: 10MeV/u	H: 10mA He: 0.5mA	H/He	C、Cu 等
超重终端	集中损失	7MeV/u	10 μ A	V、Cr、Mn、Fe 等	Ta
单粒子效应终端	集中损失	20MeV	1 μ A	H、超重离子	Cu 等

3.3.1.1.2 中子辐射

对于加速器，其能量、流强变化大，主要考虑质子束流形成、加速、传输、引出以及对束流能量和截面的调整过程中发生束流损失，损失的粒子与加速器的部件，如磁铁、选能器、准直器、夹缝、束流阻挡器等物质的原子发生相互作用(称为打靶)，由此产生大量中子和 γ 射线，束流损失点正是瞬发辐射的源点，本项目加速器的前级束流损失较小，束流损失最大的位置是终端。采用 FLUKA 程序进行计算出 25MeV 质子、7MeV/u 铁离子及 40MeV 氦离子轰击不同靶材料中子产额图分别见

图 3-8、图 3-9 和图 3-10。

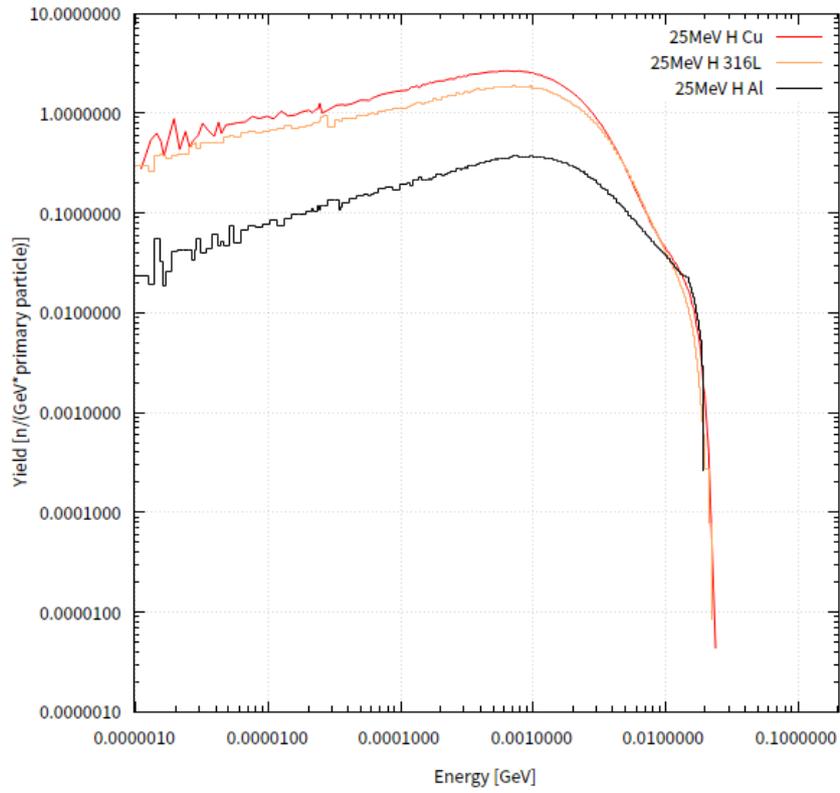


图 3-8 25MeV 质子轰击不同材料靶产生的中子能谱

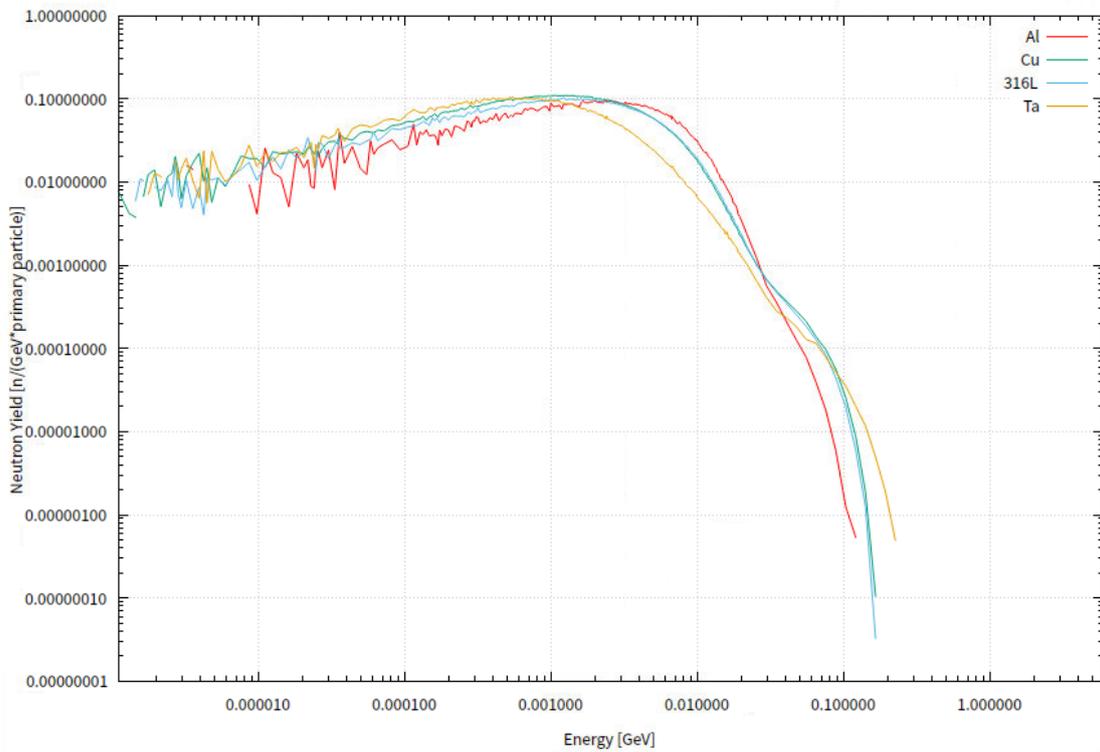


图 3-9 7MeV/u 铁离子轰击不同材料靶产生的中子能谱

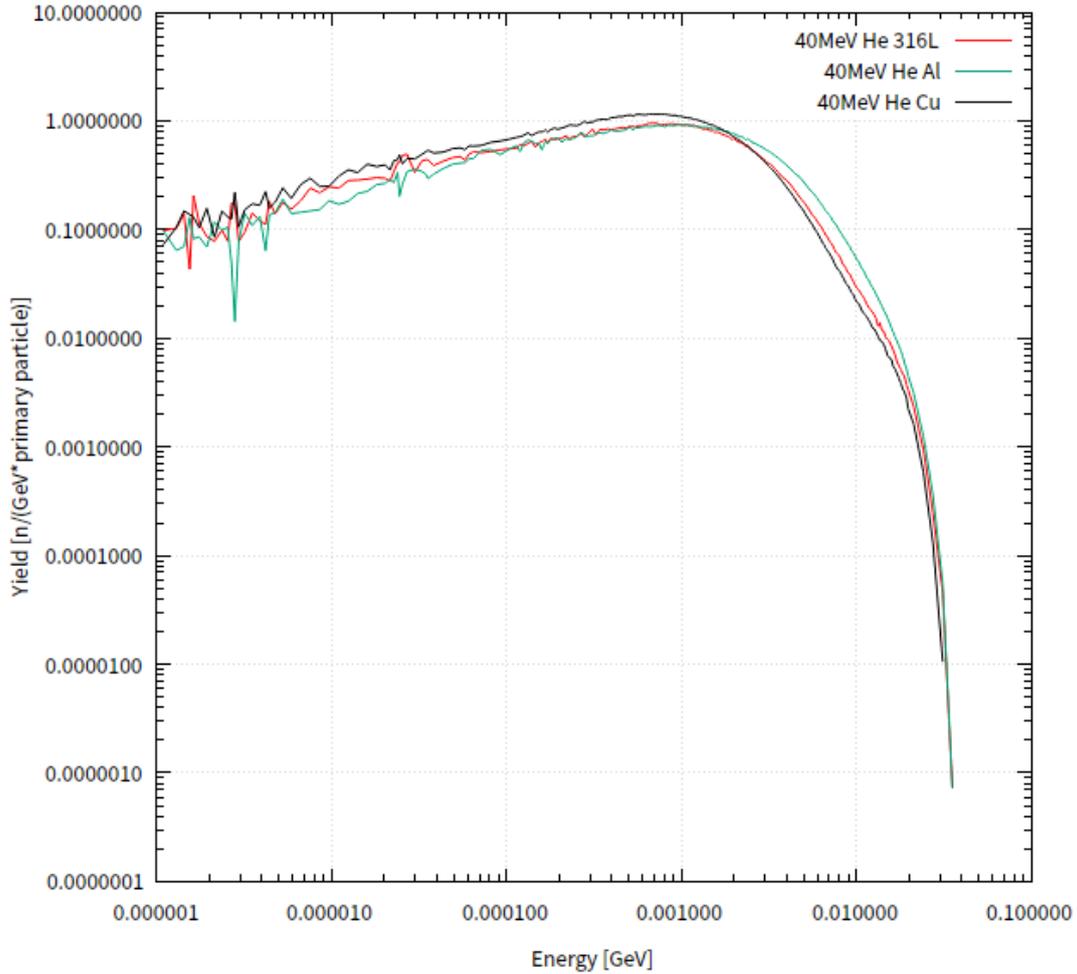


图 3-10 40MeV 氦离子轰击不同材料靶产生的中子能谱

3.3.1.2 天空反散射

穿过屏蔽墙顶射向天空的各种辐射，由于空气的散射作用，将部分又回到地面。本项目装置位于地下一层，因此，本项目使用的超导直线加速器不考虑天空反散射影响。

3.3.1.3 感生放射性

感生放射性主要是主束或次级中子与靶、加速器部件、设备冷却水及隧道内的空气相互作用引起的。其辐射水平取决于加速质子的能量、流强、加速器运行时间、冷却时间和被照材料性质等诸多因素。通过中子能谱可知，超重离子打靶产生的中子能量最大，则保守考虑超重离子打靶运行过程中空气、冷却水及结构部件活化情况。

3.3.1.3.1 空气感生放射性

加速器运行期间初级粒子或次级粒子与空气的 N、O、H 等相互作用产生放射性气体，其放射性核素主要通过热中子俘获 (n, 2n)、(γ , n) 反应和散裂反应而产生，产生 ^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 等放射性核素，对人体的危害是 β 、 γ 气体浸没外照射和吸入引起的内照射。

根据超重元素合成装置超导直线加速器拟采用铁离子和质子，分别轰击靶材料为 Cu 靶和 Al，采用 FLUKA 计算空气活化，照射时间为连续照射 180 天，铁离子能量为 7MeV/u，流强为 10pμA，质子能量为 25MeV，流强为 10mA，其运行过程中空气活化情况见表 3-3。

表 3-3 空气活化情况

离子类型	核素	冷却不同时间空气中活化活度,Bq			半衰期
		0min	10min	1h	
铁离子	^3H	7.01E+03	7.01E+03	7.01E+03	12.32a
	^7Be	1.91E+04	1.91E+04	1.91E+04	53.22d
	^{11}C	3.26E+04	2.32E+04	4.23E+03	20.36min
	^{13}N	5.03E+04	2.51E+04	7.75E+02	9.96min
	^{14}C	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	5700a
	^{15}O	2.86E+04	9.53E+02	-	2.1min
	^{41}Ar	3.53E+05	3.32E+05	2.42E+05	1.8h
质子	^3H	9.77E+01			12.32a
	^{14}C	3.44E+02			5700a
	^{41}Ar	5.09E+06			1.8h

3.3.1.3.2 冷却水感生放射性

加速器在运行过程中，加速器器件的冷却水因受次级粒子的照射而活化，主要是中子引起水中 ^{16}O 的散裂。 ^{15}O 、 ^{11}C 、 ^3H 和 ^7Be 为最重要的放射性核素。

根据超重元素合成装置超导直线加速器拟采用铁离子和质子，分别轰击靶材料为 Cu 靶和 Al，采用 FLUKA 计算冷却水活化，照射时间为连续照射 180 天，铁离子能量为 7MeV/u，流强为 10pμA，质子能量为 25MeV，流强为 10mA，冷却时间为 0min，超导直线加速器运行过程中冷却水活化情况见表 3-4。

表 3-4 冷却水活化情况

序号	核素	活化活度,Bq		半衰期
		铁离子	质子	
1	^3H	5.63E+03	1.92E+03	12.32a
2	^7Be	2.90E+04		53.22d
3	^{11}C	1.28E+05		20.36min
4	^{13}N	1.12E+04	8.94E+06	9.96min
5	^{15}O	3.22E+05	2.69E+06	2.1min
6	^{18}F	1.07E+03	6.58E+06	1.8h

3.3.1.3.3 加速器结构部件的感生放射性

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。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,主要材料为铁、不锈钢、铜、铝和铝合金等。本项目束流损失最大部位为终端。

根据本项目超重元素合成装置超导直线加速器运行情况,本项目运行期间使用离子,保守采用离子为 Fe,能量 7MeV/u,流强 10pμA,靶材料为 Cu 靶,采用 FLUKA 计算照射时间 6 个月冷却 1 小时,1 天,10 天,30 天结构部件活化情况,计算结果示意图见图 3-11。

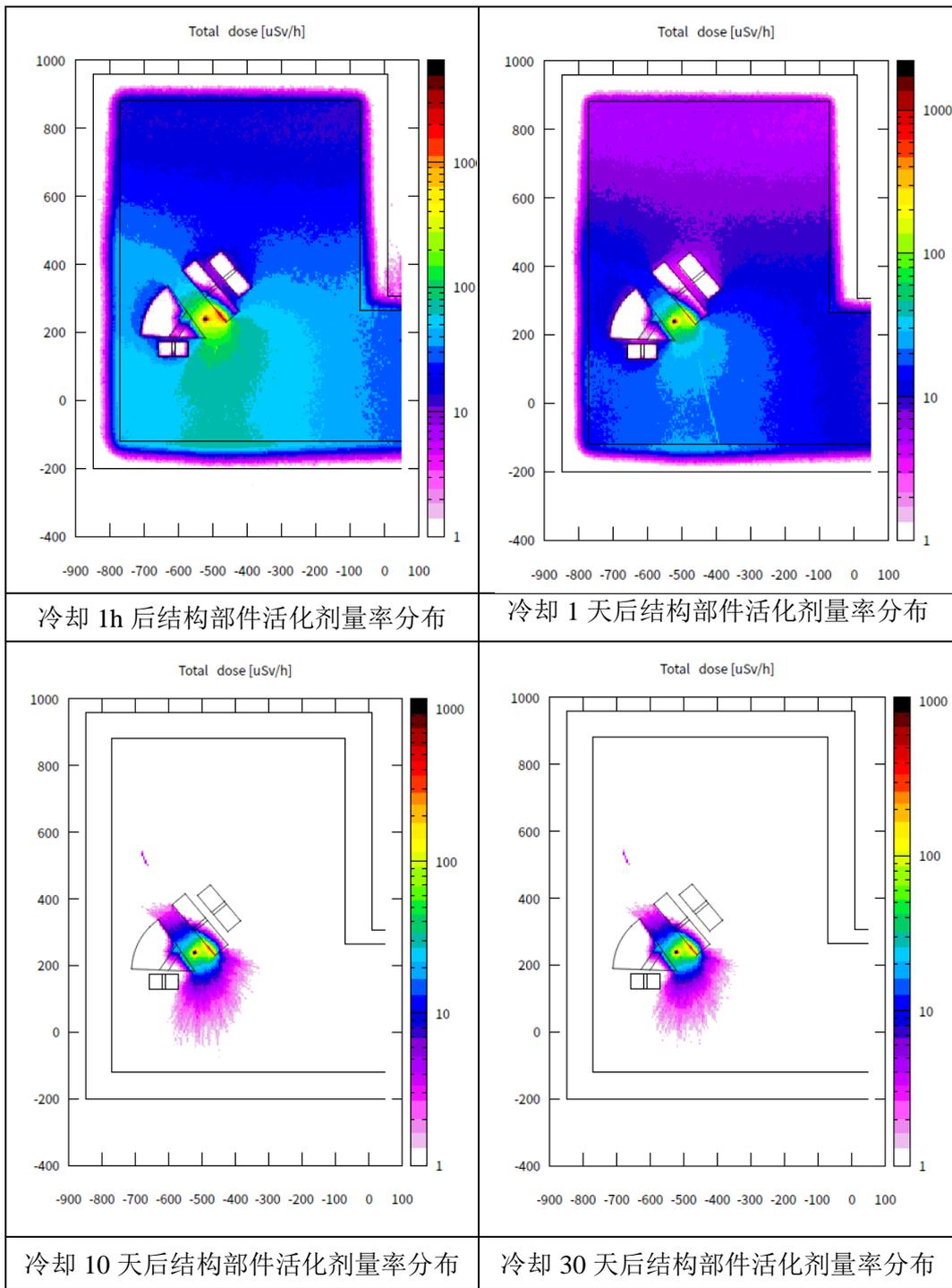


图 3-11 结构部件活化情况剂量率分布图

从计算结果可知，距靶 1 米处，照射后冷却 1 小时，剂量为约 $95\mu\text{Sv/h}$ ，冷却 10 天约为 $7\mu\text{Sv/h}$ ，10 天后衰变非常缓慢。

3.3.1.3.4 地下水和土壤感生放射性

对于地下水和土壤，粒子加速器常常不被认为是环境的潜在污染物。实际上，与反应堆相比，加速器产生放射性的能力是相当弱的。如果通过合适的地基厚度将进入到土壤或地下水中的粒子通量降到很低的水平，则加速器对土壤和地下水的活化可以降到可以忽略的水平。

3.3.1.4 臭氧等有害气体

O_3 和 NO_2 是当光子能量低于 (γ , n) 反应的阈能时，光子对空气的辐照而产生，同时其产生量与带电粒子的质量密切相关，是电子加速器环境影响评价中需要考虑的因素。对质子和超重离子加速器而言，其辐射场主要为中子辐射，光子产额很小。且质子和重离子的质量比电子的质量高几个量级。因此，对质子和超重离子加速器，其 O_3 和 NO_2 很小，可以不用考虑。

3.3.1.5 电磁辐射

本项目运行期间可能产生的电磁辐射主要来自速调管、加速器射频系统、磁铁以及电源机柜等。

可能产生电磁辐射的设备的最外层/外壳均为金属，金属外壳能够有效地屏蔽电磁辐射，且整个加速器隧道采用混凝土屏蔽结构，能够使其对周围环境所致的电场强度低于表 1-6 所列的控制目标值。此外，为确保设备产生的电场强度满足要求，在设备安装完成后，将对运行期间屏蔽体外电场强度进行监测，若监测结果不满足控制目标值，将采取屏蔽措施，以确保其对周围环境产生的电场强度满足要求。

3.3.2 事故情况下

(1) 安全联锁失效事故

超重元素合成装置运行时，由于安全联锁装置失灵，运行期间工作人员或公众可能误入加速器大厅内未及时发现，造成工作人员或公众误照。

(2) 人员滞留事故

事故工况的极端状态就是加速器开机但加速器强大厅内有人员滞留的情况。在辐射防护联锁系统的保护下，人员不可能在加速器建筑周围防护门完全关闭，加速器待开机前还滞留在大厅；一旦发生这种极端情况，人员也可以通过安装在大厅内的紧急开门打开防护门离开大厅。射线装置的辐射场性质为瞬发场，极端事故情况时加速器会立即停止，切断辐射源。

(3) 通风系统故障事故

在加速器运行过程中通风系统出现故障，加速器仍然长时间运行，导致臭氧积累使工作室内浓度增高。

(4) 冷却水管道破裂事故

加速器放射性冷却水冷却管道破裂，造成放射性冷却水外泄。

3.4 废弃物

3.4.1 废气

本项目加速器在运行时，室内空气受中子照射后可生成放射性活化气体，主要核素有 ^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{14}C 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 。产生的感生放射性气体将经排风管道外排。

3.4.2 放射性废水

本项目的放射性废液主要是活化的冷却水。加速器所用冷却水循环使用，如果由于设备维修等原因需要向外排放时，在排放前必须进行取样测量，经检测放射性满足水污染物排放标准后再排放。

3.4.3 放射性固体废物

本项目产生的放射性固体废物主要有：

- 1) 实验终端的废靶。
- 2) 束流路径上活化部件。

以上可能产生的放射性废物只有在部件更换时才会发生。部件不更换则不会产生放射性固体废物，产生的放射性固体废物将收集暂存后送储。

4 辐射安全与防护

本项目中的辐射工作场所为加速器使用场所。本章将从辐射工作场所分区、辐射屏蔽、安全联锁、防护措施、三废治理等方面对工作场所的辐射安全情况进行分析评价。

4.1 场所布局与屏蔽

4.1.1 场所布局

本项目由近代物理研究所 4 号楼地下一层现有场所改造而成，其位于近代物理研究所的西北角。4 号楼设有加速器及其配套区域、办公区域。其加速器及其配套区域位于 4 号楼南侧区域，设有地下一层、地上一层，其地下一层为加速器隧道区、终端及配套设备，地上一层为加速器屋顶；办公区域及控制室位于 4 号楼北侧区域，设有地下一层、地上四层，地下一层为实验器材及配电室、一层为控制区，二层~四层为办公区域。

4.1.2 辐射工作场所分区

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监督区和控制区，以便于辐射防护管理和职业照射控制，需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，对控制区运用行政管理程序（如工作许可证制度）和门禁装置限制进入控制区。监督区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。因此，本项目地下一层加速器装置所在区域为控制区，地下一层除加速器装置以外其他区域、装置屋顶（一层）及控制室划为监督区。在地下一层控制区中进一步将离子源区域划分控制一区，超重终端、单粒子效应终端、加速器隧道及废束桶划为控制二区。辐射防护分区图见图 4-1 和图 4-2。

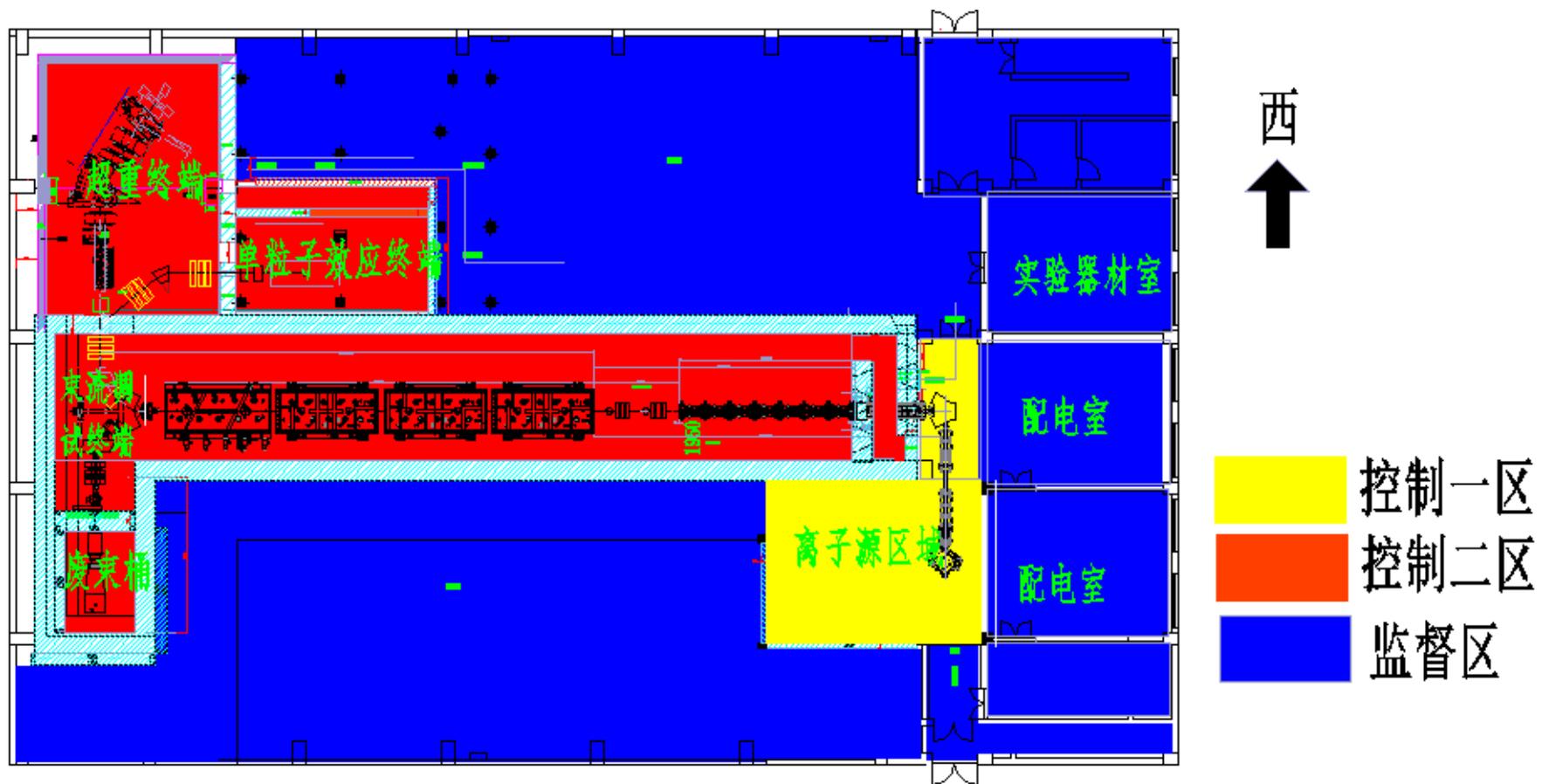


图 4-1 地下一层辐射工作场所分区图

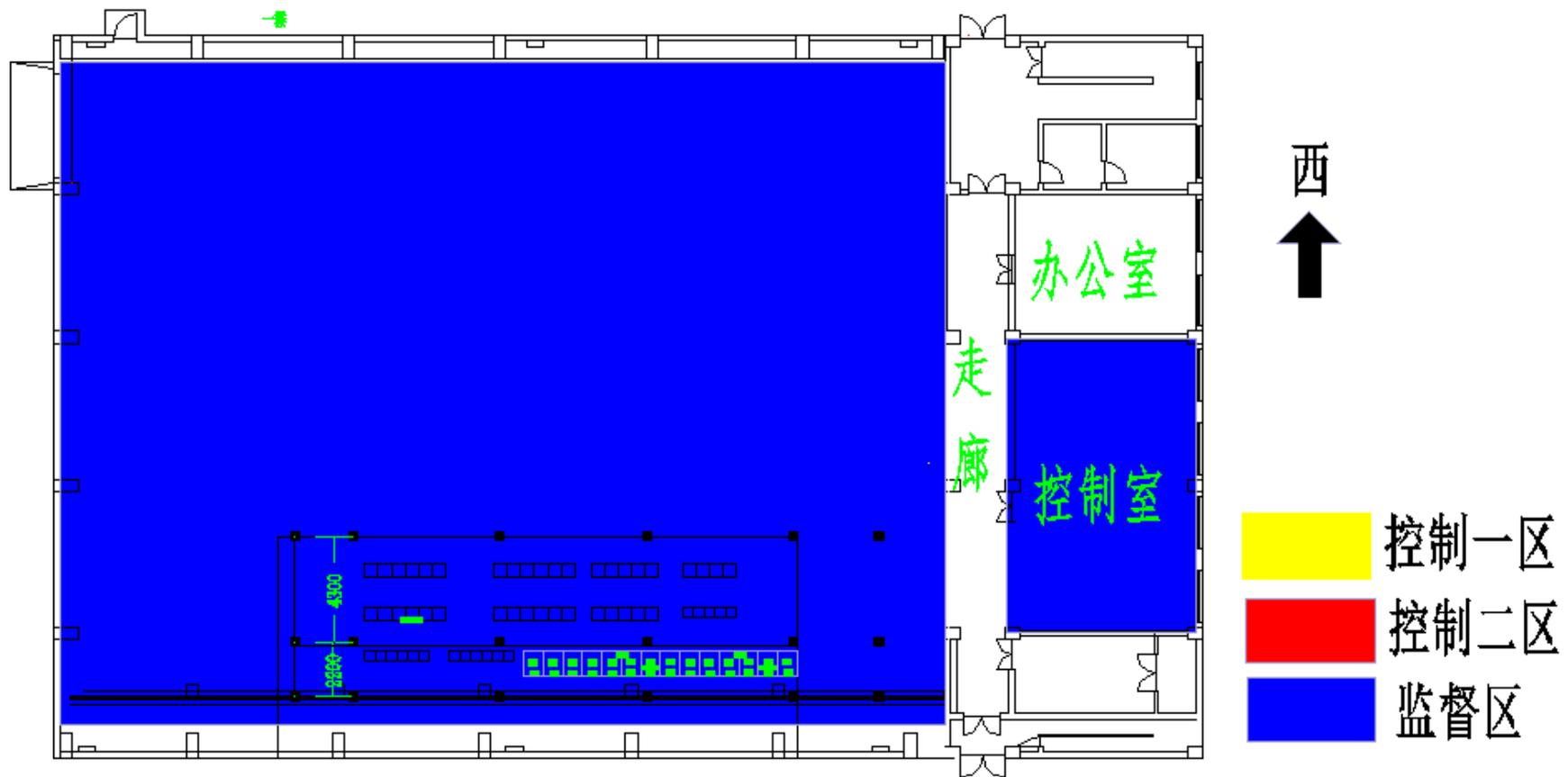


图 4-2 一层辐射工作场所分区图

4.1.3 屏蔽设计

本项目场所为改造项目，其屏蔽在原有屏蔽基础上增加了超重终端、单粒子效应终端、离子源区域及部分迷道。本项目原有屏蔽情况见表 4-1 和图 4-3。

表 4-1 质子直线加速器装置原有屏蔽设计

四周墙体	屋顶	北侧迷宫	防护门	局部屏蔽
80cm 混凝土	80cm 混凝土砖	迷宫内墙和外墙分别为 80cm 混凝土砖	普通联锁门	加速器隧道南端局部屏蔽为 50cm 聚乙烯+9cmPb
				东侧废束桶终端局部屏蔽为 100cm 聚乙烯+20cmPb

本次改造拟在原有屏蔽基础上增加超重终端、离子源区域、部分迷道和防护门，具体屏蔽改造情况如下：（1）将原有普通联锁门采用 50cm 混凝土进行封堵；（2）在原有迷宫内墙和外墙设有束流管道，该束流管道外墙的屏蔽为铁等效厚度 15cm（设备自身材料屏蔽）；在迷宫外墙打开一个宽度为 0.8m 防护门，该防护门采用局部屏蔽措施 5cm 聚乙烯安全联锁防护门进行屏蔽；（3）在地下一层西南角增加两个终端，一个为超重终端，一个单粒子效应辐照终端，在原有 80cm 混凝土砖墙中设置一个 10cm×10cm 束流管道进入超重终端和单粒子效应辐照终端，超重终端北墙采用 60cm 混凝土砖进行屏蔽，顶部部分采用 30cm 混凝土砖及靶上 2m×2m×0.2m 的局部混凝土屏蔽，部分采用 60cm 混凝土砖进行屏蔽，超重终端局部屏蔽措施 20cm 铅+70cm 聚乙烯+5cm 铅；单粒子效应辐照终端局部屏蔽措施 5cm 铅+60cm 聚乙烯，西侧和北侧为 30cm 厚混凝土砖，西侧迷道内墙和外墙的分别为 30cm 厚混凝土砖，迷道入口设置普通安全联锁门；（4）在离子源区域南侧和东侧增加 20cm 的混凝土砖墙，北侧为原有墙体，其他区域进行物理隔离，离子源区域西侧和东侧各设一个为人脸识别授权控制普通门；（5）减少原废束桶的铅屏蔽，北侧增加了 50cm 混凝土砖，东侧增加了 90cm 混凝土砖，顶部由原来的 80cm 增加到 120cm 混凝土砖。

改造后的屏蔽设计见表 4-2，改造后的屏蔽设计图见图 4-4 和图 4-5。

表 4-2 改造后的屏蔽设计

位置	东侧	南侧	西侧	北侧	屋顶	备注
加速器隧道	800mm 混凝土	800 mm 混凝土	800 mm 混凝土	迷道内墙为 800mm 混凝土，迷道外墙局部为 800mm 混凝土，局部为 500mm 混凝土	800 mm 混凝土	
超重终端	800mm 混凝土	——*	——*	600mm 混凝土	局部 600mm 混凝土，局部 300mm 混凝土+靶上 2m×2m×0.2m 混凝土	终端局部屏蔽措施 20cm 铅+70cm 聚乙烯+5cm 铅
单粒子效应终端	800mm 混凝土	600mm 混凝土	迷道内墙和外墙分别为 300mm 混凝土	300mm 混凝土	600mm 混凝土	终端局部屏蔽措施 5cm 铅+60cm 聚乙烯
废束桶	1700mm 混凝土	800mm 混凝土*	800mm 混凝土	1300mm 混凝土	1200mm 混凝土	
防护门	加速器隧道的防护门为含 50mm 聚乙烯防护连锁门，单粒子效应入口门为普通连锁门，其他两个门为普通人脸识别授权控制门					

注：*其外侧为 4 号楼墙体，且墙体外为覆土，四号楼地下一层四周采用的是 750mm 混凝土浇筑。

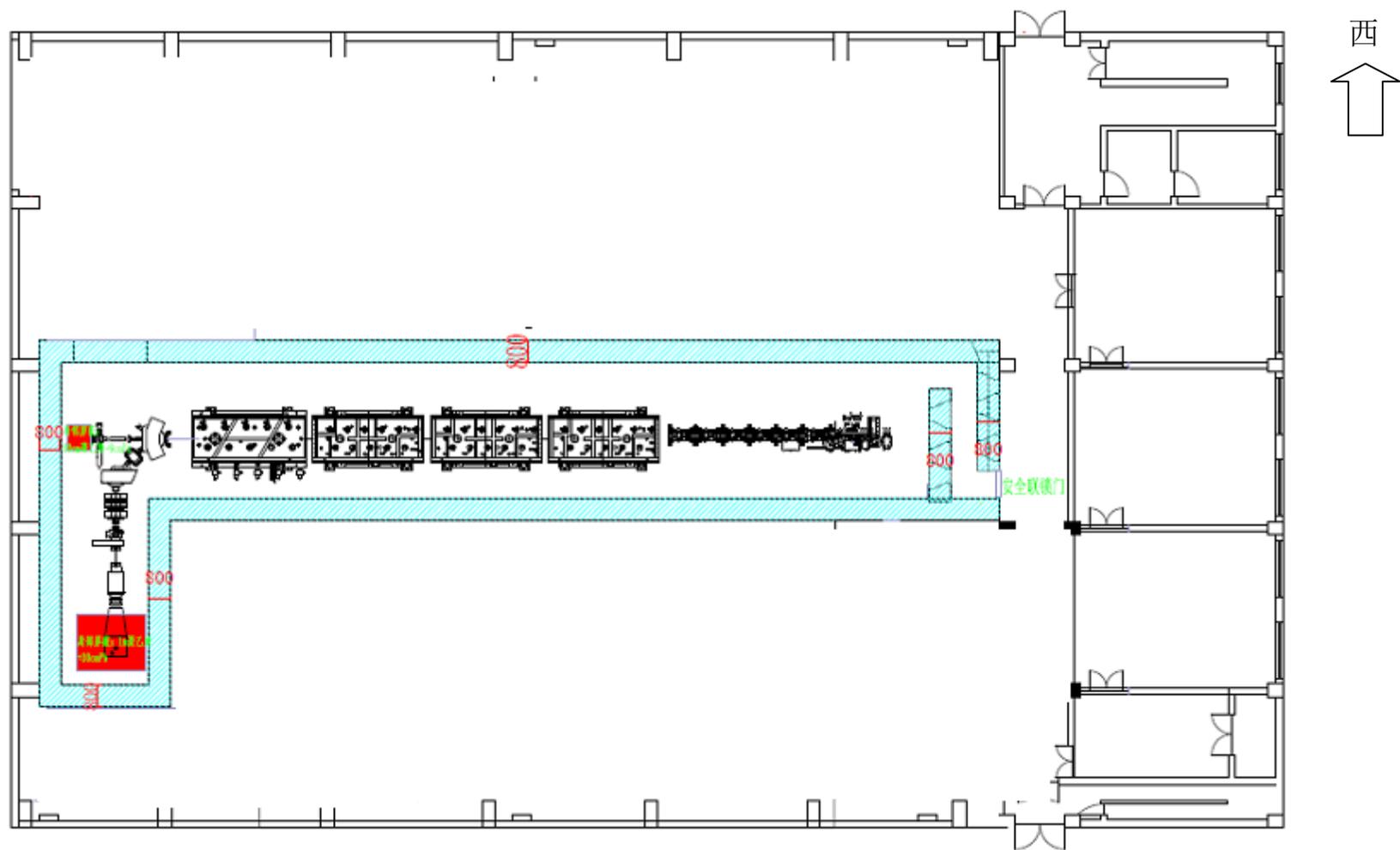


图 4-3 质子直线加速器机房原屏蔽设计平面图

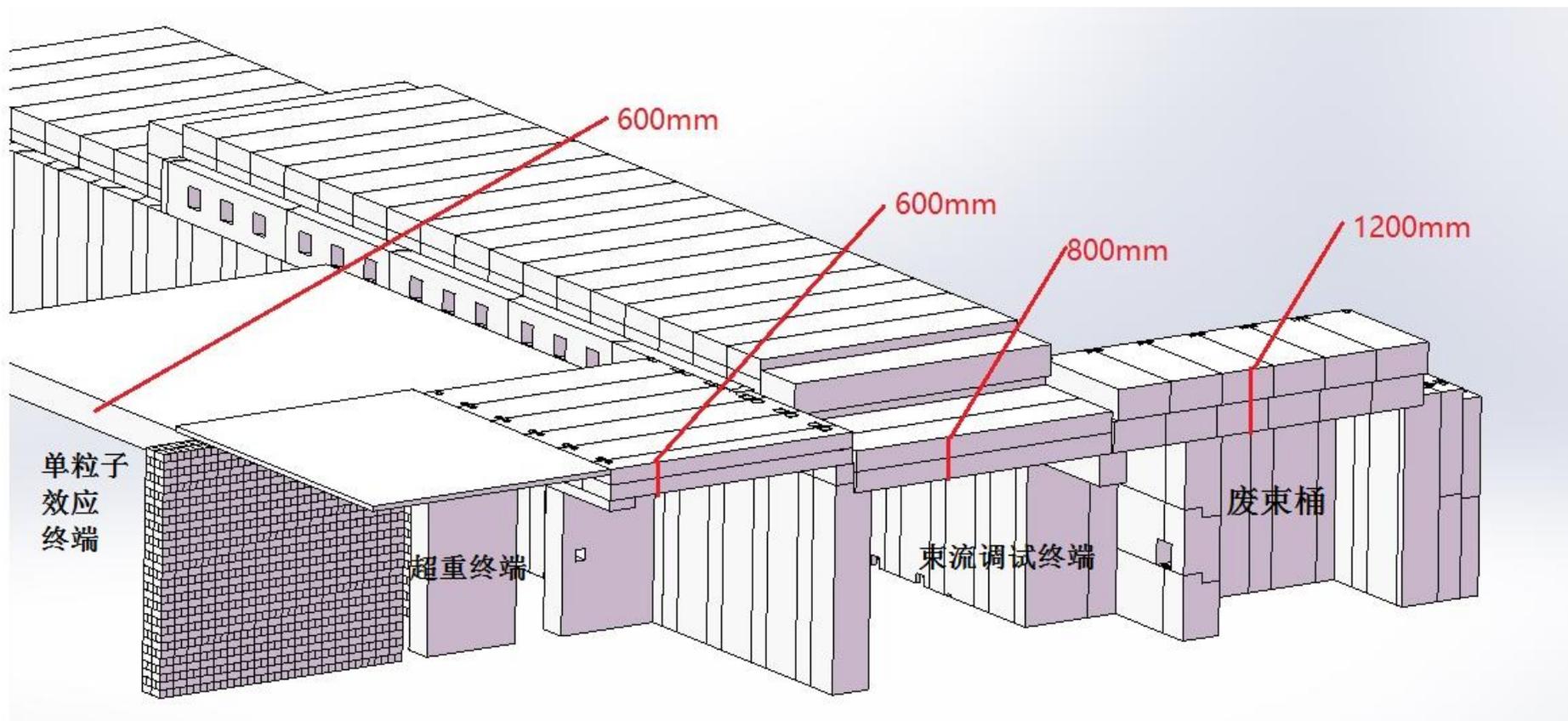


图 4-5 加速器终端剖面图

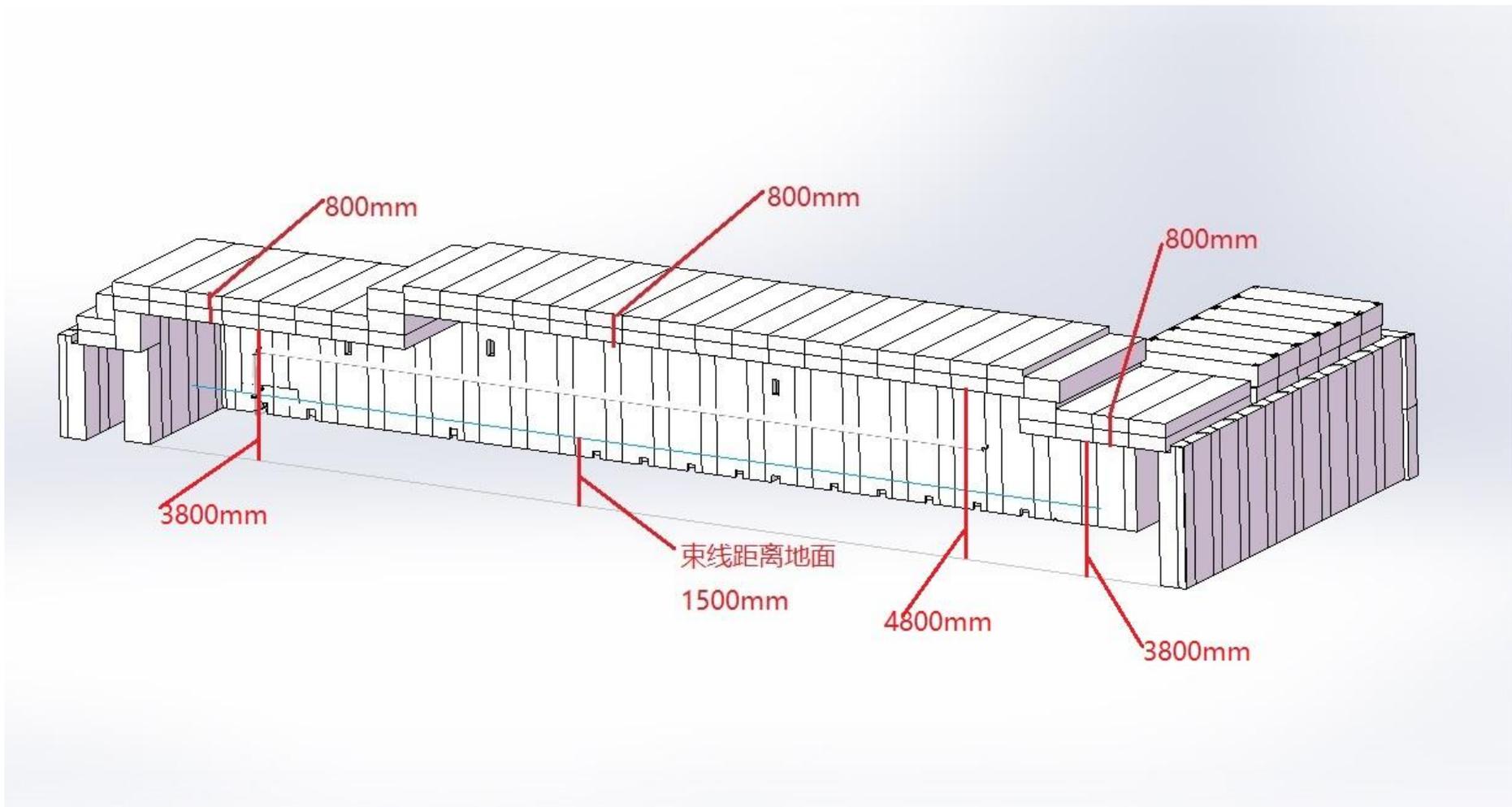
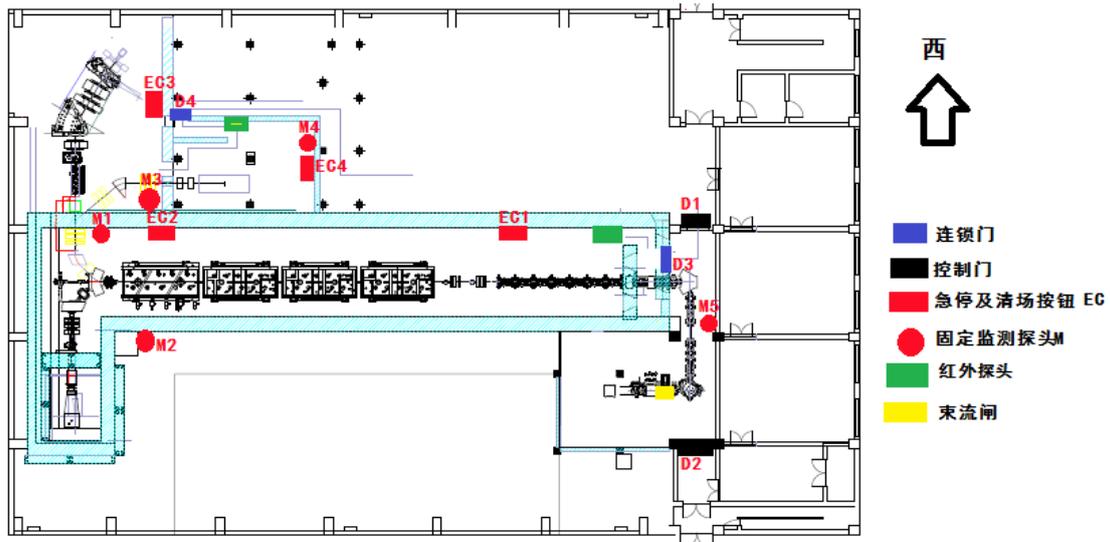


图 4-6 加速器隧道剖面图

4.2 辐射安全与防护措施

4.2.1 辐射安全联锁

本项目安全联锁设备布置图见图 4-7，安全联锁逻辑图见图 4-8。安全联锁具体情况如下：



注：M1 和 M2 为原有监测探头

图 4-7 固定监测探头、红外探头、急停及清场按钮等位置示意图

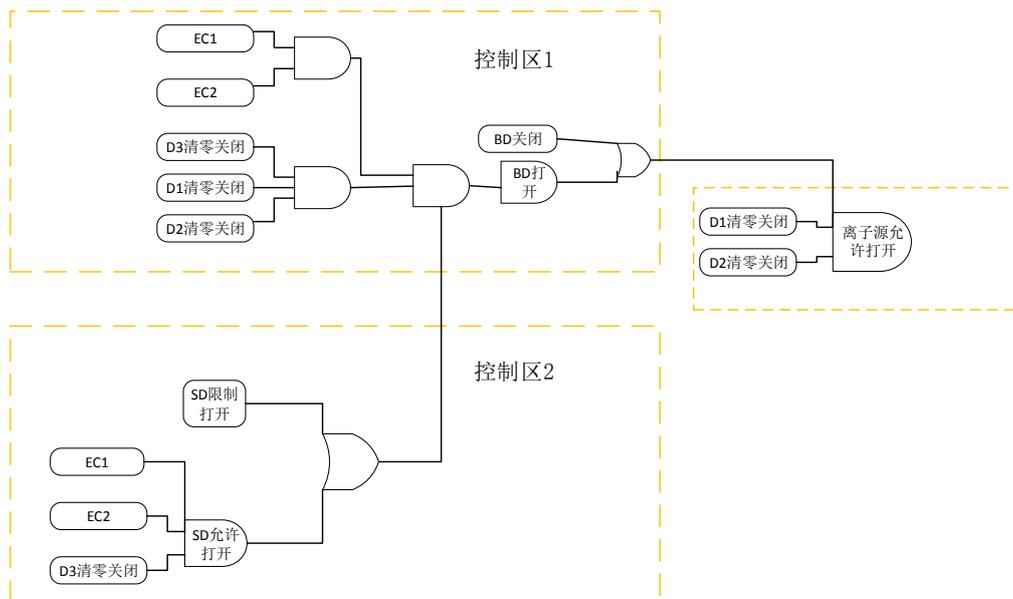


图 4-8 安全联锁逻辑图

1) 门：在离子源区域布设 D1、D2 门，该两处门设有人脸识别系统，只有特定授权人员（离子源带束操作人员）可通过 D1、D2 进入该区域，其它授权人员不可进入该控制区；在进入加速器隧道和单粒子效应实验终端设有 D3 和 D4 联锁门，该两处门与加速器联锁，该两处门未关闭到位，加速器不能供束，加速器供束过程中 D3、D4 防护门意外打开，加速器束流闸落下，停止出束；当控制区内的剂量超过 $100\mu\text{ Sv/h}$ 时，不论供束或停束状态联锁门无法打开；

2) 红绿双色报警等

每一组信号灯包括红、绿信号灯各一个，红灯亮时表示该厅正在工作，不可入内；红灯亮而且闪烁表示该厅剂量超过安全阈值，不可进入；绿灯亮表示该厅没有使用，可进入。信号灯组的安放位置为：各组防护门上。

3) 清场按钮

当加速器大厅及实验终端关闭防护门前，必须进行全面的清场，清场按钮按下后厅内报警器会声音报警，以提醒人员退出。全面清场后防护门才能完全关闭，报警声停止。

4) 紧急停机按钮

紧急停机按钮安装在清场按钮旁，如果被关在厅内，人员可以按下该按钮报警，束流会被切断，从而保护人员辐射安全，当紧急停机按钮（同时具有报警功能）被按下后，或者任何情况下防护门打开时，位于离子源引出处束流闸会自动关闭，以避免束流进入人员滞留区域。只有当解除报警并且防护门关闭后，束流闸才能被提起，离子束流才能被加速达到实验大厅。

5) 束流闸

束流塞位于离子源引出处，具体位置见图 4-7，当它处于放下状态时，离子束流无法进入加速器隧道大厅，确保了加速器隧道和实验室终端的辐射安全。

6) 固定式剂量监测系统：固定式剂量监测仪探头安装在加速器隧道、终端及地下一层加速器隧道外，主机安装在控制室；用于监测加速器隧道及终端的辐射水平，并设有报警阈值，当辐射监测值超过阈值时提供报警信号。

7) 红外探头：在通过 D3、D4 防护门进入加速器隧道和终端区域设有红外探头，当有人员经过时，将红外探头拍照送至控制台，有控制台发出指令控制加速器停止出束；

总体控制流程如下：

离子源区域供束时：巡更人员先从 D1 或 D2 进入离子源区域，通过 D3 门进入加速器隧道，进行 EC2 和 EC1 的清场，SD1 磁铁偏转不可加高压，清场后人员从 D3 门出，此门禁控制器显示加速器隧道无人，人员在从 D1 或 D2 出来后，D1、D2 的门禁控制器显示无人（授权人员除外），束流方可调试进入控制区，供束期间 D1、D2、D3 连锁门不能被打开，在紧急情况时离子源授权维修人员可以通过 D1、D2 进入离子源区域。

超重终端及单粒子效应终端供束时：巡更人员通过连锁门 D4 进入该区域，进行 EC3 和 EC4 的清场，清场后人员从 D4 门出，此门禁控制器显示超重终端及单粒子效应终端区域无人后，通过主控室确认后 SD1 方可加高压出束。

(1) 在供束期间 D4，D3 门不可开启，且离子源区域防护门关闭，特定授权人员（离子源带束操作人员）可通过 D1、D2 进入该离子源区域，其它授权人员不可进入该区域。

(2) 在主控室打开离子源区域时（需值班长授权验证后方可打开，即离子源出口处的束流闸/法拉第筒 BD 放下），经授权的工作人员可在门 D3 处人脸识别或刷卡开门，并把人员信息记录，统计该区域人员个数，在 D3 处的主机屏显示该区域人员数量；在人员工作完成后，需复位 EC1 和 EC2，出门后在此人脸识别或刷卡，消除该区域的人员记录，该区域人员记录为 0，主控室关闭离子源区域（需值班长授权验证后方可打开，即离子源出口处的束流闸/法拉第筒打开），束流方可供束到加速器隧道。

(3) 在主控室打开超重终端或单粒子效应终端时（需值班长授权验证后方可打开），此时 SD1 处偏转磁铁高压不可加压，D3 门不可开，经授权的工作人员可在门 D4 处人脸识别开门，并把人员信息记录，统计该区域人员个数，在 D4 处的主机屏显示该区域人员数量；在人员工作完成后，需复位 EC3 和 EC4，出门

后在次人脸识别，消除该区域的人员记录，该区域人员记录为 0，主控室才可关闭超重终端及单粒子效应终端区域（需值班长授权验证后方可打开，此时 SD1 处偏转磁铁可加高压），束流方可供束到超重终端及单粒子效应终端区域。

(4) 控制区内的在线监测剂量超过 $25\mu\text{ Sv/h}$ 时，不论供束或停束状态该控制区的门无法打开。

4.2.2 通风系统

通风系统分以下三种运行模式：

(1) 可进入模式：机器不运行，人员可进入。

(2) 机器正常运行模式：隧道为禁入区，需密闭处理，通风空调系统处于封闭循环状态，并保持禁入区在一定的负压状态，以防止放射活化空气的泄漏。

(3) 过渡模式：从机器正常运行模式到可进入模式的过渡期，放射性气体经适当延时衰减后，采取大风量排风，置换隧道中的空气。

为满足以上三种运行模式，通风系统按照两种工况运行：即正常运行工况和大风量过渡通风工况。正常运行工况主要是在工艺设备正常运行时维持隧道内负压，并保证隧道内一定的温湿度要求；过渡运行工况是在加速器停机检修、换靶等人员进入前，对加速器隧道、终端进行大风量通风换气，使各隧道或大厅终端中有害物浓度达到允许的标准，满足人员进入时的卫生要求。通风运行工况及工艺工作模式见表 4-3。

表 4-3 通风运行工况及工艺工作模式

工艺运行模式	机器运行	过渡期模式		人员进入
		停机时间 $< 0.5\text{h}$	停机时间 $> 0.5\text{h}$	
通风工况	正常运行	正常运行	过渡通风	正常运行或过渡通风

设备运行期间人员不进入，排风换气次数取 0.5 次/h。人员进入前，排风换气次数取 4~6 次/h，排风管道经高于本建筑屋顶 3m 排放。

4.2.3 其他防护措施

(1) 电离辐射警告标志：在各防护门入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

(2) 在线监控系统：在加速器隧道及终端设置摄像机，其显示屏设置在控制室，实现全景监控；

(3) 门禁系统：在4号楼一层各入口处设有门禁系统，只有授权人员才能进入该大楼；

(4) 其他：在加速器隧道大厅及实验终端内放置应急照明灯和安全出口指示灯，箭头指向出口处。加速器运行时关闭照明灯，安全门被打开后开启照明灯。加速器机房有火灾报警系统，配有灭火用品。

4.3 三废的治理

本项目运行期，可能产生放射性三废，其“三废”的来源与处理情况如下：

4.3.1 废气及处理措施

放射性废气来源于高能中子与空气中氮和氧反应产生的感生放射性，产生的气态感生放射性核素主要为短半衰期核素，经过一段时间后可自行衰变至较低水平，加速器终端大厅设有通风系统，通过加强通风，将产生的感生放射性气体由距离屋顶3m排放口排出。

通风系统根据使用场所的不同，主要划分为放射性工作场所（控制区）的排风系统和非放射性工作场所（监督区）的排风系统。设计的总原则是①气流方向从非控制区流向控制区（具体建筑分区见辐射防护联锁部分）。②加速器大厅维持负压状态，避免该处的空气流向邻近的清洁区。③非控制区的排风不经处理直接由排风筒排至室外，控制区的排风由排风筒排至室外，排风口位于本建筑物屋顶3m处。

4.3.2 放射性废液及处理措施

本项目的放射性废液主要是活化的冷却水，由于冷却水为循环用水，一般情况下不外排，如果由于设备维修等原因需要向外排放或者因管道泄露时，将通过高压差流入集水坑中，集水坑位于低温系统北侧下方，其尺寸为 92cm（长）× 53cm（宽）× 87cm（高），其暂存的冷却水在排放前必须进行取样测量，经检测放射性满足 1.4.6 水污染物排放标准后通过潜水泵排入市政污水管网。

4.3.3 放射性固体废物及处理措施

加速器运行期间产生的放射性固废主要为活化部件、以及手套面纱等，年产生量约 10kg，用专用包装容器收集、包装后，运至放射源暂存库，待达到一定量后，外运至皋兰废物库（中科院近物所专用）作进一步处理。

4.4 服务期满后的环境保护措施

本项目运行期结束后，建设单位将编制相应的退役方案、制定退役目标，确保放射性废物得到安全、妥善处理，并按照国家相关法律法规及标准完成该放射性工作场所服务期满后的退役工作。

5 环境影响分析

5.1 建设阶段对环境的影响

本项目将现有地下一层进行改造和重新布置，施工期改造工程施工量不大，其主要污染因素有粉尘、噪声、生活污水和建筑渣土，本报告中仅作简单分析。

(1) 施工噪声影响分析

本项目改造工程主要质子直线加速器地下一层范围内，在增加新的隔断时会产生临时性的噪声及振动，但地上一层为加速器控制室，改造期间很少有人员活动，不会对实验人员造成影响。

(2) 施工废水影响分析

改造过程中不会产生放射性废水。

(3) 施工固体废物环境影响分析

改造过程中会产生建筑垃圾，作为一般固体废物至垃圾填埋场处理。

(4) 施工废气影响分析

施工会产生暂时性的粉尘，由于地下室空间较为密闭，故仅对施工人员造成影响，施工人员通过戴口罩，合理安排作业时间和方式等措施可以减缓。

5.2 运行阶段对环境的影响

束流的形成、加速、传输、引出以及对束流能量和截面的调整过程中均不可避免地发生束流损失，损失的质子与加速器的部件，如磁铁、选能器、准直器、夹缝、束流阻挡器等物质的原子发生相互作用(称为打靶)，由此产生大量中子和 γ 射线，束流损失点正是瞬发辐射的源点，是屏蔽计算的出发点。本项目加速器的前端束流损失较小，束流损失最大的位置是废束桶、超重终端、单粒子效应终端及束流调试终端，该四处的辐射场是本项目主要考虑对象。

5.2.1 辐射源项介绍

(1) 超重终端束流参数如下：

$^{51}\text{V}^{17+}$ 、 $^{54}\text{Cr}^{18+}$ 、 $^{55}\text{Mn}^{19+}$ 、 $^{58}\text{Fe}^{20+}$ 等：束流：10pμA，最大能量：7MeV/u；

靶参数：Ta 靶。

(2) 废束桶束流参数如下：

质子：最大束流：10mA，最大能量：25MeV；

氦离子：最大束流：500pμA，最大能量：10 MeV/u；

靶参数：Al6063。

(3) 单粒子效应辐照终端

质子：最大束流：10pμA，最大能量：20MeV；

超重离子：最大束流：1pμA，最大能量：7MeV/u；

靶参数：厚铜靶。

(4) 束流调试终端

质子：最大束流：20pμA，最大能量：25MeV；

靶参数：厚铜靶。

对于屏蔽源项来说，核反应产生中子的产额和能谱与加速离子的每核子能量有关，即每核子能量相同时，不同离子与相同靶反应产生的单位流强中子产额和能谱基本相同。

因此超重终端采用铁离子，最大能量 7MeV/u，最大束流 10pμA 进行屏蔽计算；废束桶采用质子，最大能量 25MeV，最大束流 10mA 进行屏蔽计算；单粒子效应辐照终端采用质子，最大能量 20MeV，最大束流 10pμA 进行屏蔽计算，束流调试终端采用质子，最大能量 25MeV，最大束流 20pμA。

5.2.1 场所辐射水平

5.2.1.1 屏蔽计算方法

屏蔽计算均利用蒙特卡洛通用程序 FLUKA 进行。FLUKA 是一种常用的计算粒子输运和粒子与物质相互作用的蒙特卡洛程序包，它包含了详细的强子和原子核相互作用模型，强子和电磁过程之间的耦合等物理作用过程，已被广泛应用于质子/重离子加速器的辐射源项及屏蔽计算中。计算辐射剂量时通量-剂量转换因子选用了 ICRP 74 号出版物的推荐值。

5.2.1.2 超重实验终端

(1) 源项

采用铁离子，最大能量 7MeV/u，最大束流 10 μ A，Ta 靶；

(2) 屏蔽方案

本项目超重实验终端的西侧和南侧屏蔽体外为土壤层、东侧为加速器隧道，主要考虑防护门外和顶部辐射影响，超重终端采用局部屏蔽措施：20cm 铅+70cm 聚乙烯+5cm 铅；顶部采用 30cm 混凝土砖及靶上 2m \times 2m \times 0.2m 的局部混凝土砖屏蔽。

(3) 计算结果

超重终端运行时防护门外总剂量率计算结果见图 5-1；超重终端屋顶总剂量率计算结果见图 5-2。

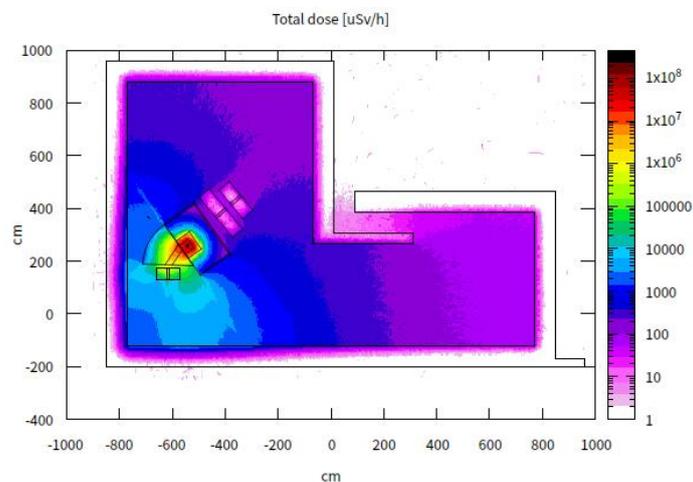


图 5-1 超重终端迷道总剂量模拟计算结果

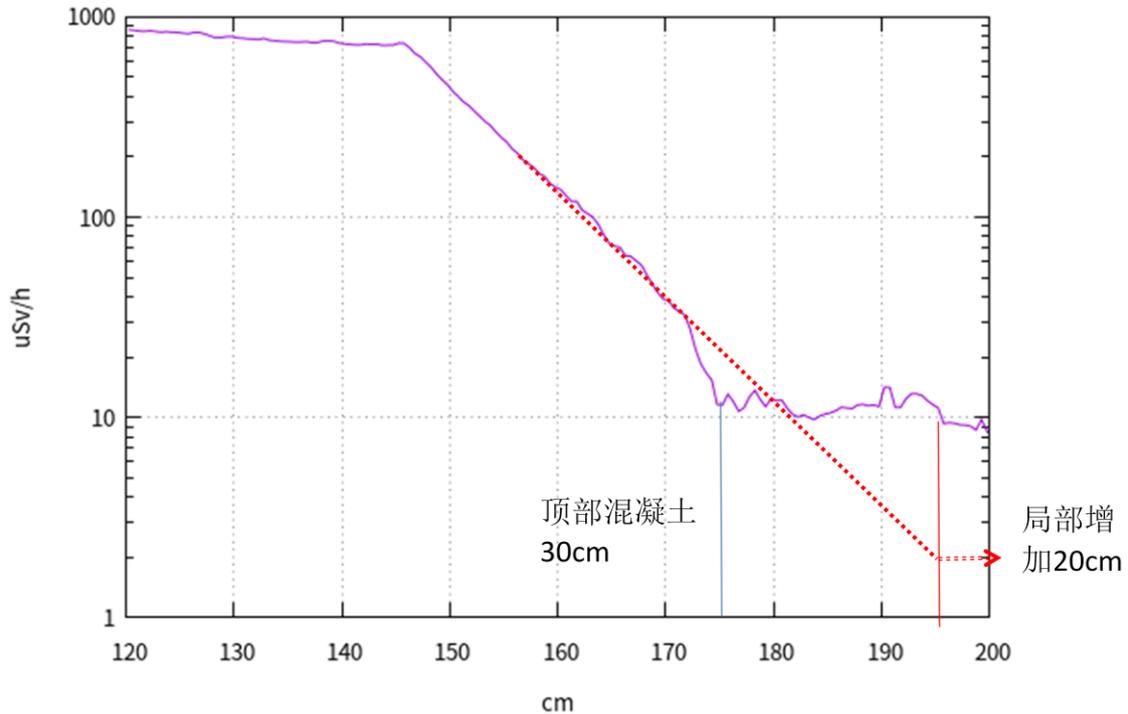


图 5-2 超重终端顶部总剂量模拟计算结果

从图 5-1 可知，超重终端迷道口处剂量率不大于 $2.5\mu\text{ Sv/h}$ ，屏蔽墙体外剂量率不大于为 $1\mu\text{ Sv/h}$ ，超重顶部剂量率水平不超过 $2\mu\text{ Sv/h}$ ，均低于 $10\mu\text{ Sv/h}$ 的控制水平。

5.2.1.3 单粒子效应辐照终端

(1) 源项

采用质子，最大能量 20MeV，最大束流 $1\mu\text{ A}$ ，厚铜靶；

(2) 屏蔽方案

本项目单粒子效应辐照终端的南侧为超重实验终端，东侧为加速器隧道，主要考虑西侧防护门外、北侧屏蔽体外及顶部辐射影响，其终端采用局部屏蔽措施 5cm 铅+60cm 聚乙烯，迷道内外墙及顶部厚度为 30cm 混凝土砖、北墙为 30cm 混凝土砖，迷道长度为 3m。

(3) 计算结果

单粒子效应实验终端运行时总剂量率计算结果见图 5-3；

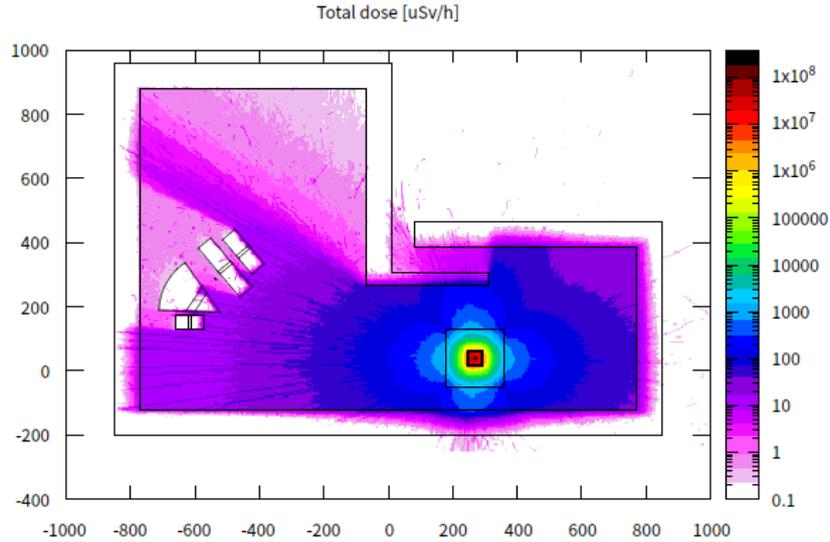


图 5-3 单粒子效应实验终端运行时模拟计算结果图

5.2.1.4 废束桶

(1) 源项

采用质子最大能量 25 MeV，最大束流 10mA，废束桶内锥筒材料为 A16063。

(2) 屏蔽方案

废束桶顶部采用 80cm 混凝土砖、东侧采用 170cm 混凝土砖，北侧采用 130cm 混凝土进行屏蔽计算，废束桶采用局部屏蔽，其内部为 20cm 铅，中间为 80cm 聚乙烯，外侧为 10cm 铁；

(3) 计算结果

其模拟计算结果见图 5-4 和图 5-5。

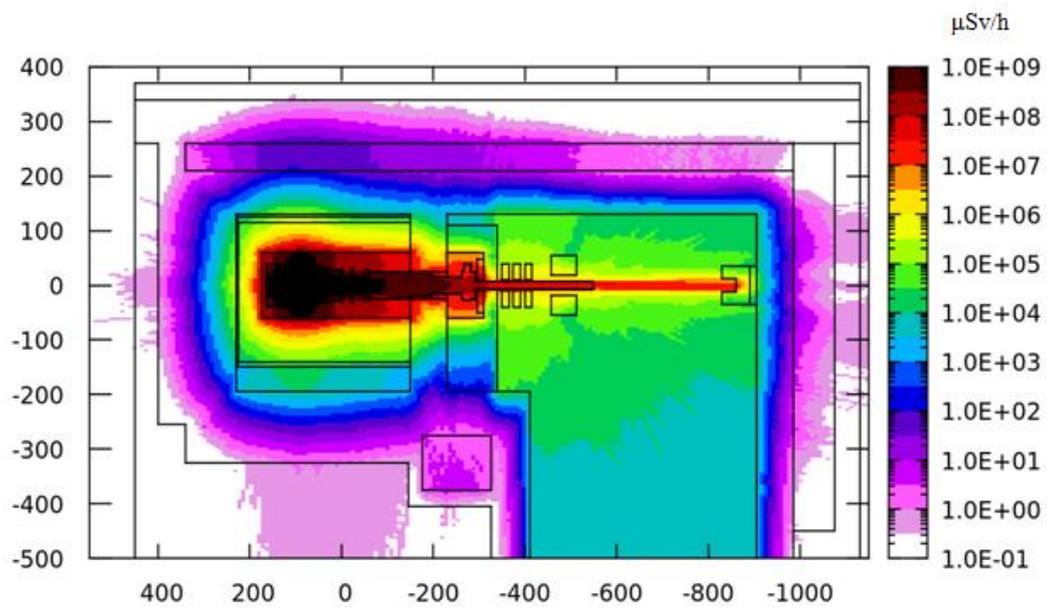
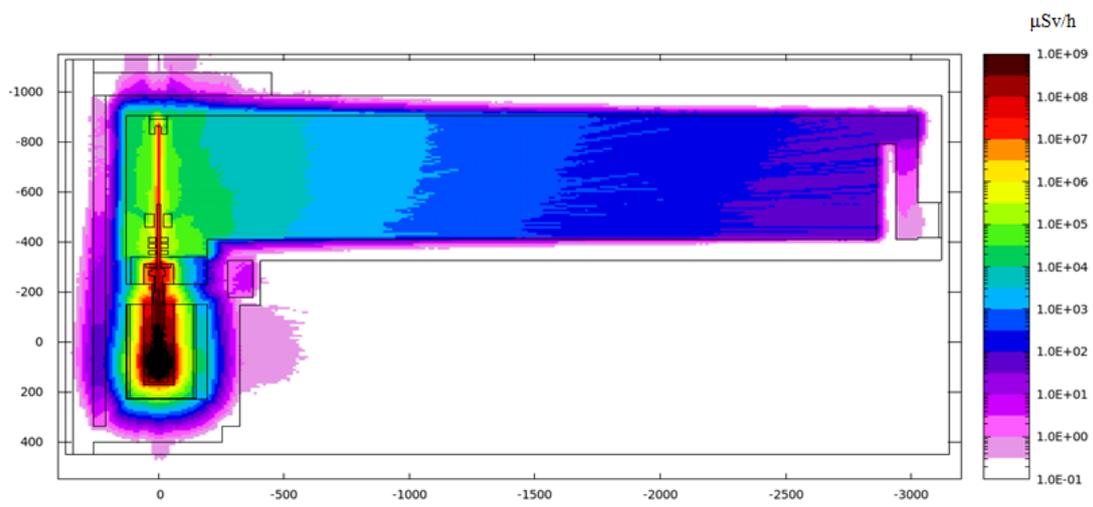


图 5-4 废束桶水平方向模拟计算结果

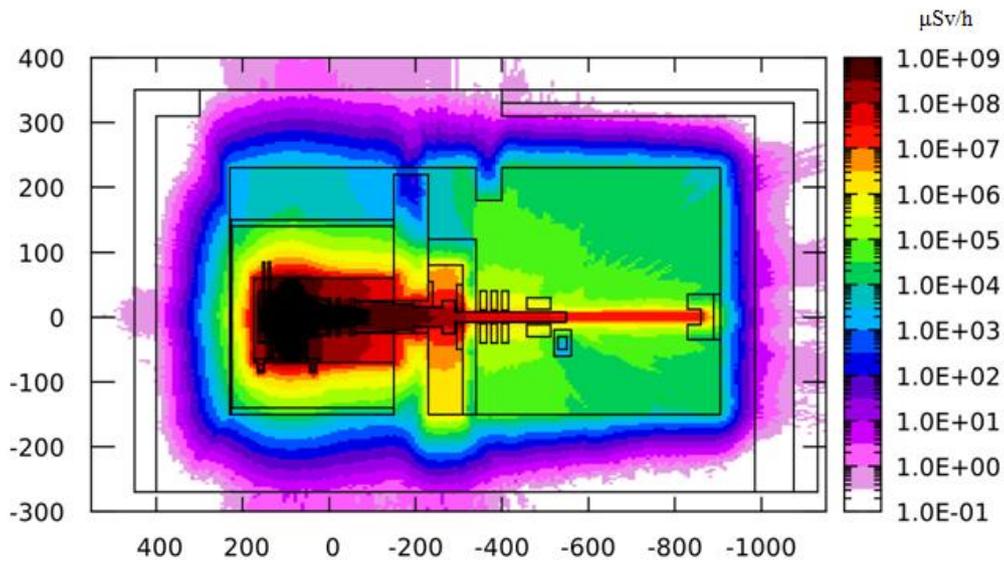


图 5-5 废束桶垂直方向模拟计算结果

5.2.1.5 束流调试终端

(1) 源项

采用质子最大能量 25MeV，最大束流 20pμA，厚铜靶，靶位于加速器隧道末端；

(2) 屏蔽方案

加速器隧道末端采用局部屏蔽 9cm 铅+50cm 的聚乙烯，加速器隧两侧屏蔽墙为 80cm 混凝土砖，迷道内外墙为 80cm 混凝土砖，迷道设有束流孔道（设备自身屏蔽相当于铁等效厚度 15cm）和一个 5cm 聚乙烯的防护门。

(3) 计算结果

加速器迷道入口处模拟计算结果见图 5-6，D1 防护门外剂量率水平见图 5-7，D3 防护门外剂量率水平见图 5-8。

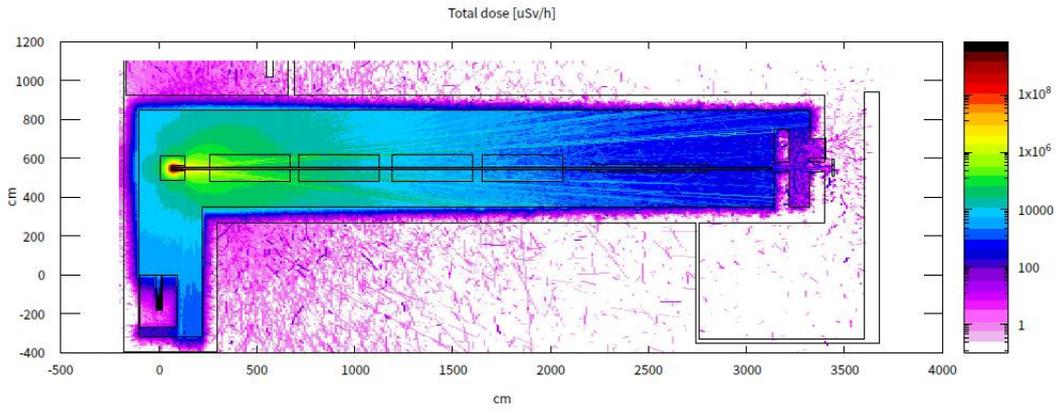


图 5-6 束流调试终端水平方向模拟计算

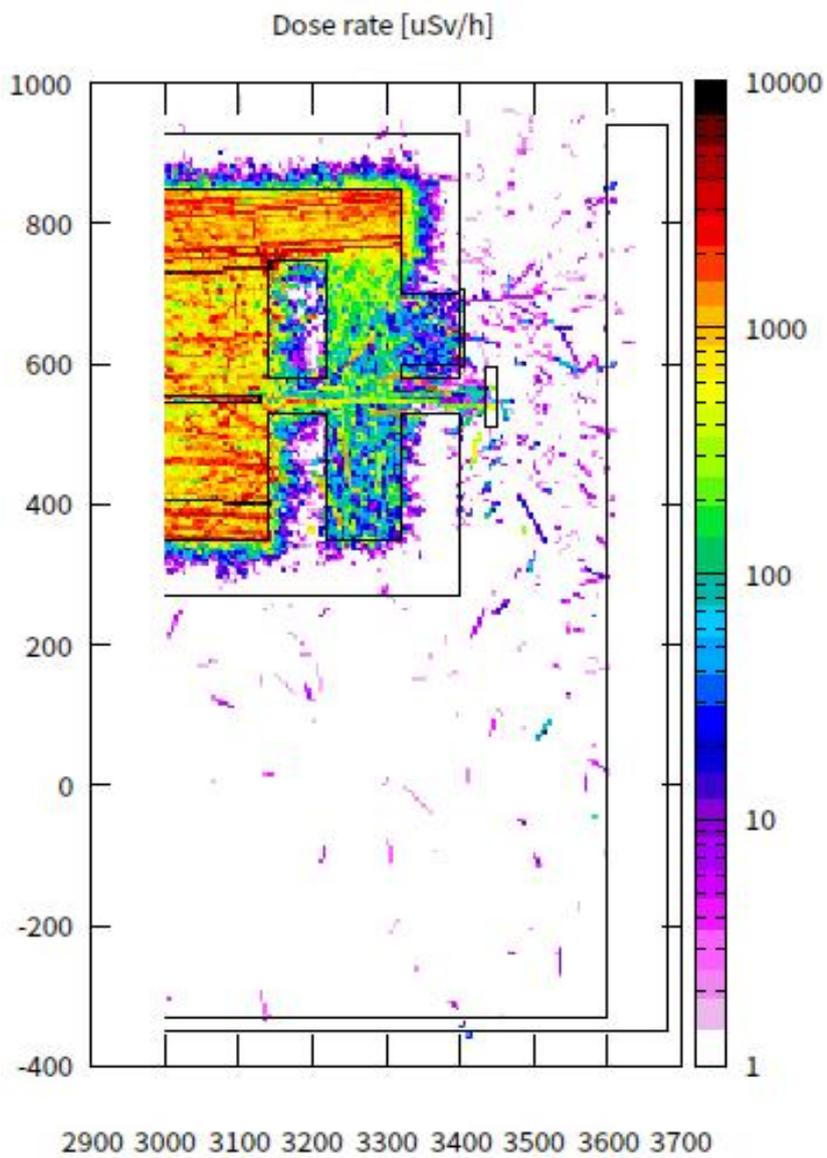


图 5-7 加速器隧道入口处剂量率模拟计算结果

5.2.1.6 关注点处剂量率水平

本项目运行期间，每次只出束一种离子源，每次只有一个终端进行工作。

本项目关注点布置示意图见图 5-8 和图 5-9。

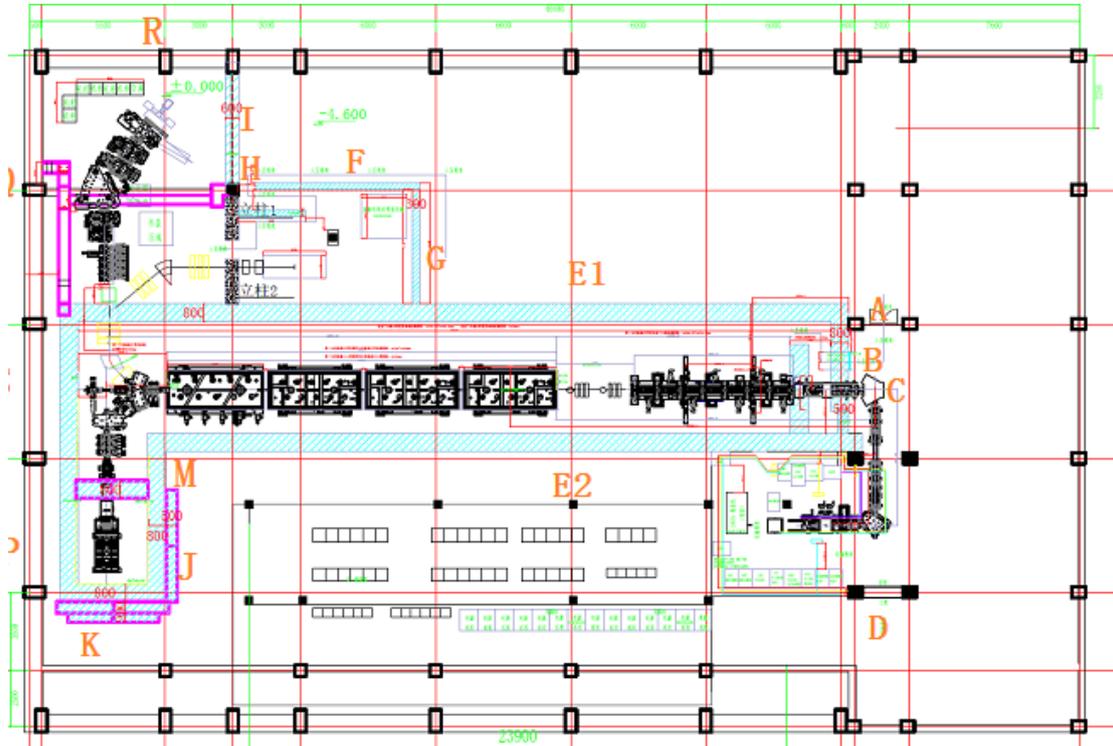


图 5-8 辐射工作场所平面关注点示意图

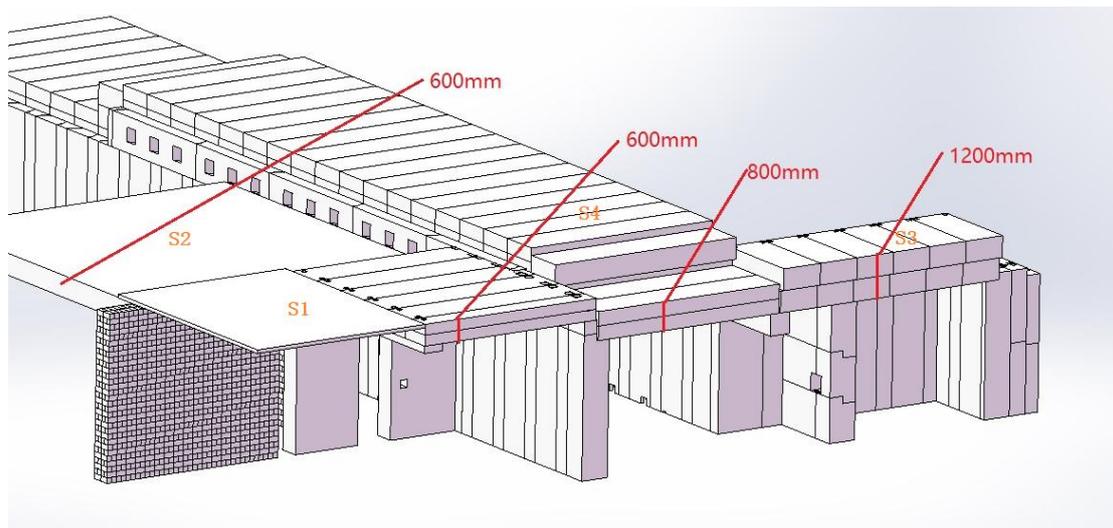


图 5-9 辐射工作场所剖面关注点示意图

通过计算本项目各关注点剂量率最大值见表 5-1。

表 5-1 关注点剂量率水平

点位	点位描述	剂量率水平, $\mu\text{Sv/h}$
A	D1 防护门外	1.4
B (控制区)	D3 防护门外	14
C (控制区)	束流孔道外	14
D	D2 防护门外	0.2
E1/E2	加速器隧道两侧	0.2
F	单粒子效应辐照终端西墙外	1.2
G	单粒子效应辐照终端北墙外	2.2
H	D4 防护门外	2.1
I	超重终端北墙外	0.8
J	废束桶北墙外	1.0
K	废束桶东墙外	0.7
M	加速器隧道东北角	2.2
S1	超重终端屋顶	2.4
S2	单粒子效应辐照终端屋顶	1.2
S3	废束桶屋顶	1.5
S4	束流调试终端屋顶	2.1

从表 5-1 可知, 本项目屏蔽体外剂量率最大值为 $2.4\mu\text{Sv/h}$, 小于剂量率控制目标 $10\mu\text{Sv/h}$ 和 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

5.2.2 工作人员受照剂量

本项目工作人员为工作人员主要为离子源带束操作人员、控制室操作人员。

5.2.2.1 离子源带束操作人员受照剂量

在加速器运行时会通过 D1、D2 防护门进行离子源区域进行相关操作, 其操作时间每周不超过 2h, 年工作 25 周, 从表 5-1 可知, 离子源带束操作人员进入离子源区域的剂量率为 $14\mu\text{Sv/h}$, 则离子源带束操作人员年受照剂量为 0.7mSv/a 。

5.2.2.2 操作室工作人员

另一类工作人员为控制室操作人员, 加速器运行期间基本位于操作室。由本项目布局可知, 控制室位于地上一层, 距废束桶及超重终端距离约 70 米外, 因此加速器运行期间控制室的剂量率为本底水平。另外, 加速器运行期间各区域剂量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 保守按照该值计算工作人员偶尔停留其周围, 居留因子取 $1/4$, 该加速器年最大运行时间为 180 天, 24 小时连续运行, 工作人员实行 3

班倒，则每班人员每年出现在其他区域时间为 360h，则工作人员由于满功率运行的情况接受剂量为 0.9mSv/a。

5.2.2.3 维修维护人员

本项目运行期间，由于设备故障或更换结构部件等材料维修维护人员需进入加速器隧道或者终端，维修维护人员将应结构部件活化而受到照射，维修维护人员每次停机至少 1h 后才能进入，每次维修维护时间最长 10min，每年最多操作 100 次，根据 3.3.1.3 节可知，加速器停机 1h 后距靶 1 米处剂量率为 95 μ Sv/h，假设均有一人操作，则该名维修维护人员年受照剂量为 1.583mSv/a。

5.2.2.4 小计

从以上计算结果可知，本项目运行期间，工作人员年受照剂量最大为 1.583 mSv/a，不超过剂量约束值 5mSv/a。

另外，根据建设单位提供的 2019 年度个人剂量监测报告可知，本项目涉及辐射工作人员 2019 年度个人剂量为 0.02mSv~0.36mSv，小于其工作人员剂量约束值。

5.2.3 公众受照剂量

5.2.3.1 外照射

本项目加速器位于所在建筑的地下一层，正常情况下，普通公众无法进入实验室内，只能位于加速器建筑的外边。根据模拟计算结果，加速器屋顶的剂量率水平平均低于 10 μ Sv/h，经墙体和距离衰减后，建筑外的剂量率水平为本底水平，对公众影响可忽略不计。

5.2.3.2 放射性废气造成剂量

采用《核设施正常工况气载放射性排出物后果评价推荐模》中推荐的简单稀释模式估算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。

根据 3.3 节，本项目超重装置运行期间，其空气活化情况见表 3-3，假设停机 0min 后其空气活化产物全排入外环境，则每年排入外环境的量见 5-2。

表 5-2 每年排入外环境量

离子类型	核素	每年排入外环境量,Bq	半衰期
铁离子	³ H	7.01E+03	12.32a
	⁷ Be	1.91E+04	53.22d
	¹¹ C	3.26E+04	20.36min
	¹³ N	5.03E+04	9.96min
	¹⁴ C	1.00E+04	5700a
	¹⁵ O	2.86E+04	2.1min
	⁴¹ Ar	3.53E+05	1.8h

(1) 空气浸没外照射

本项目放射性气体排放口高度 H 约 22m，临近最高建筑物高度 H_b 满足 H < 2.5H_b，。则地面空气浓度由下式计算：

$$c_{a,i} = \frac{P_p Q_i}{\pi u_a H_b K} , x \leq 2.5A_b$$

$$c_{a,i} = \frac{P_p B Q_i}{u_a} , x > 2.5A_b$$

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，保守的取为 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 1m/s；

K 为经验常数，m，取值 K=1m；

B 为在下风距离 x 处的高斯扩散因子，1/m²；由下式计算。

σ_z 为垂直扩散参数，m，

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

计算所得 B 的值为, 8.96E-03 (1/m²)。距离最近 20m 处的公众所处位置处地面空气浓度计算结果见表 5-3。

表 5-3 计算点处的地面空气浓度计算结果

核素	P	u _a , m/s	B, 1/m ²	不同距离处 C _{a,i} , Bq/m ³	
				5m	20m
³ H	0.25	1	8.96E-03	1.01E-06	3.60E-06
⁷ Be	0.25	1	8.96E-03	2.75E-06	1.44E-05
¹¹ C	0.25	1	8.96E-03	4.69E-06	2.46E-05
¹³ N	0.25	1	8.96E-03	7.24E-06	3.80E-05
¹⁴ C	0.25	1	8.96E-03	1.44E-06	7.55E-06
¹⁵ O	0.25	1	8.96E-03	4.12E-06	2.16E-05
⁴¹ Ar	0.25	1	8.96E-03	5.08E-05	2.66E-04

空气浸没外照射剂量可由下式计算:

$$H_A = t \cdot S_f \cdot C_{a,i} \cdot G$$

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

由于本项目加速器为 24h, 连续工作 6 个月, 空气浸没外照射剂量计算结果见表 5-4。

表 5-4 空气浸没外照射剂量计算结果

核素	S _F	t, s/a	G, (Sv/s)/(Bq/m ³)	不同距离处受照剂量 H, mSv/a	
				5m	20m
³ H	0.7	1.56E+07	-	---	---
⁷ Be	0.7	1.56E+07	2.74E-15	8.23E-11	4.31E-10
¹¹ C	0.7	1.56E+07	7.91E-14	4.06E-09	2.13E-08
¹³ N	0.7	1.56E+07	8.68E-14	6.87E-09	3.60E-08
¹⁴ C	0.7	1.56E+07	---	---	---
¹⁵ O	0.7	1.56E+07	1.04E-13	4.68E-09	2.45E-08
⁴¹ Ar	0.7	1.56E+07	6.13E-14	3.40E-08	1.78E-07
总计	---	---	---	4.97E-08	2.61E-07

(2) 吸入内照射

吸入内照射剂量可由式计算：

$$H_{h,i} = T \cdot C_{a,i} \cdot u \cdot g_{h,i}$$

式中：

$H_{h,i}$ 为年吸入内照射待积有效剂量，Sv/a；

T 为受照时间，4320h/a；

u 为公众个人正常情况下的呼吸率，m³/h，成人：1.2 m³/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。

假设居留因子为 1/8，吸入内照射剂量计算结果见 5-5。

表 5-5 吸入内照射剂量计算结果

核素	T, h/a	u, m ³ /h	g _{h,i} , Sv/Bq	不同距离处 H _{h,i} , mSv/a	
				5m	20m
³ H	4320	1.2	4.50E-11	2.36E-10	8.40E-10
⁷ Be	4320	1.2	5.00E-11	7.13E-10	3.74E-09
¹¹ C	4320	1.2	1.80E-11	4.38E-10	2.30E-09
¹³ N	4320	1.2	---	---	---
¹⁴ C	4320	1.2	2.90E-10	2.17E-09	1.13E-08

核素	T, h/a	u, m ³ /h	g _{hi} , Sv/Bq	不同距离处 H _{hi} , mSv/a	
				5m	20m
¹⁵ O	4320	1.2	—	—	—
⁴¹ Ar	4320	1.2	—	—	—
总计	—	—	—	3.55E-09	1.82E-08

5.2.3.3 小计

由以上计算结果可知，周围公众受照剂量最大为 2.79E-07mSv/a，小于公众剂量约束值 0.1mSv/a。

5.3 事故分析

5.3.1 事故分析

加速器的特点是设备启动并加速粒子，才会在周围环境中产生辐射场，这种辐射场为瞬发场，断电停止运行或者使用挡束设备切断束流，瞬发场消失。因此，本项目运行时，一旦设备被切断电源或束流被阻挡在离子源处，瞬发场消失，辐射场也随之消失。本项目设置了完善的辐射防护联锁系统可以保证任何可能造成人员辐射损伤的情况发生时，设备都能断电停机，或者设备上的束流阻挡设备启动，从而保证人员辐射安全。

根据国内外射线装置运行经验，射线装置发生的事故都与设备联锁失效或管理制度不完善有关。事故发生的原因可能为开机前清场工作不到位；开机清场报警失效，使人员滞留实验厅内，防护门联锁失效，使外部人员意外闯入；检修活化器件前未测量剂量率等。

5.3.2 预防措施

(1) 人员滞留实验厅的预防措施

人员在厅内检修，没有听到厅门即将关闭的报警音，可能会被关闭在大厅或实验厅内。如果此时射线装置开始加速束流，厅内人员就可能受到辐射伤害。

防止意外受照事故发生的措施有：

设置清场搜索，没有按规定的路线和规定顺序对某区域进行完整的清场，不能出束；

清场时有声光报警提示音，提醒滞留人员离开现场；

即使所有防护门都关闭，滞留人员仍可以通过防护门内带有灯光指示的紧急开门按钮从内部打开防护门。

通过就近安装于区域墙上的紧急停机按钮可以报警并使该区域之前的挡束装置启动切断束流。

本项目制定有操作规程，只有在加速器厅进行完全的清场并关闭好各连锁门后，才能启动加速器供束，这就在大概率上避免了开机前人员滞留厅内的危险；在加速器启动期间，连锁门的开启会导致束流挡束或加速器停机；加速器出束时，剂量仪表会报警发出声光信号，人员即便由于概率极小的特殊原因被关闭在厅内，也可以通过紧急开门按钮打开防护门立即离开，且任何紧急停机按钮的按下均会导致加速器停机。

（2）检修活化器件引起意外照射的预防措施

在加速器各终端易活化器件附近放置铅屏蔽，在重要部件及易活化部件附近安装区域伽玛和区域中子监测仪，停机后进入大厅前需观察监测仪器上的剂量率水平，高于 $2.5\mu\text{ Sv/h}$ ，手持剂量率仪进入指定工作地点，对该区域再次进出剂量率测量，根据测量值确定工作计划。

6 辐射安全管理

6.1 辐射安全与环境保护管理机构

中国科学院近代物理研究所按照《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，成立有专门的安全与防护管理机构，辐射安全工作的最高管理机构为辐射安全管理委员会，辐射安全管理委员会的主任由单位法人承担，由以下成员组成：（1）中国科学院近代物理研究所所长；（2）加速器、科研部门主管所领导；（3）辐射安全与防护室主任；（4）科技处处长；（5）所综合办公室主任；（5）各部门第一负责人；辐射安全管理委员会成员情况见表 6-1。

表 6-1 辐射安全管理委员会成员情况

姓名		性别	职务或职称	工作部门	专/兼职
主任	徐珊瑚	男	所长/研究员	近物所	兼职
副主任	夏佳文	男	副所长/院士	近物所	兼职
成 员	李锦玉	男	副主任/高工	公共仪器中心	兼职
	杨胜利	男	副处长/高工	科技处	兼职
	苏有武	男	主任/研究员	辐射安全与防护室	专职
	杨维青	男	高工	加速器物理室	兼职
	秦 芝	男	副主任/研究员	先进核能材料中心	兼职
	孙良亭	男	副主任/研究员	加速器技术中心	兼职
	张子民	男	主任/研究员	电子加速器中心	兼职
	毛瑞士	男	主任/研究员	束流诊断室	兼职

辐射安全管理委员会负责研究制定本单位辐射安全管理工作基本方针和辐射安全规程，统筹协调并审议射线装置、放射性核素和放射源使用过程中辐射安全相关的重大事项，辐射安全管理委员会具体工作由辐射安全与防护室承担。辐射安全与防护室对全所射线装置、放射性同位素的安全和防护工作实施统一监督管理。目前防护室有 10 名专职人员从事全所的辐射防护工作，全部具有大学本科及以上学历，其中博士学位 3 人，5 人具有高级职称，3 人为注册核安全工程师。各室（组）共有 45 名辐射安全员协助本部门负责人进行辐射安全与防护兼职管理工作。

6.2 辐射工作人员

中国科学院近代物理研究所共有 658 人辐射工作人员，均取得生态环境部门认可的辐射安全与防护培训合格证书，其中 29 人取得中级合格证，629 人取得初级合格证。

中国科学院近代物理研究所制定了辐射工作人员培训计划，从事辐射工作的人员必须参加辐射安全与防护培训，取得合格证书后才能上岗。已经取得辐射安全与防护培训合格证书的工作人员，若要继续从事辐射工作，每 5 年进行一次考核。另外，新上岗及调入的辐射工作人员上岗前必需参加生态环境部门认可的考核，考核合格取得辐射安全与防护合格证后方可上岗。

本项目辐射工作人员为近物所直线室相关人员，共 14 名，均为现有工作人员，根据《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》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），本项目从事辐射工作人员在现有辐射防护培训证书过期前应通过生态环境部培训平台报名并参加考核，考核合格者方可上岗。

6.3 辐射安全管理制度

为认真贯彻落实国家有关辐射安全的法律法规及标准，从科研工作的实际出发，中国科学院近代物理研究所建立健全本单位的辐射安全规章制度。主要包括：《中国科学院近代物理研究所辐射安全管理规定》，同时配套有《中科院近代物理研究所辐射事故应急预案》、《中科院近代物理研究所放射化学实验室安全管理规定》、《HIRFL-CSR 辐射安全运行管理规定》、《电子加速器辐照中心辐射安全运行管理规定》、《中科院近代物理研究所放射源库安全管理规定》、《近物所个人剂量监测管理规定》、《中科院近代物理研究所 108 活化物质暂存库安全管理规定》、《中科院近代物理研究所环境辐射监测计划》。

另外，中科院近代物理研究所针对本项目制定的制度和规程，主要包括：《质子直线加速器岗位职责》、《质子直线加速器操作流程》。

从近物所制定的制度可知，现有制度中包含了辐射防护、操作规程、岗位职责、安全保卫、设备维修维、人员培训、台账管理度及三废处理等方面的内容，这些制度能够满足本项目的需求。

6.4 辐射监测

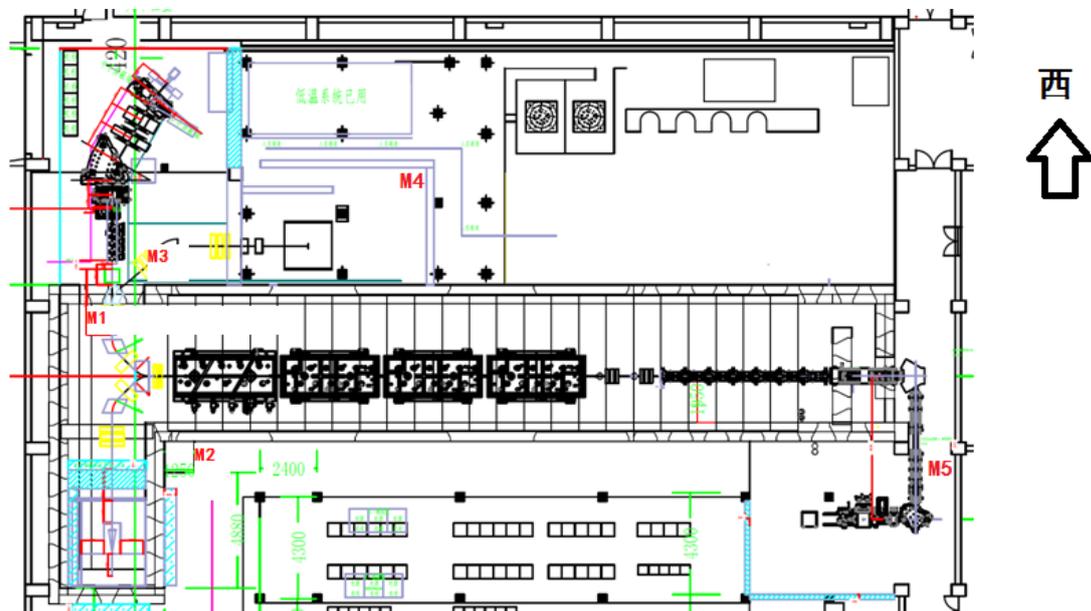
本项目辐射监测主要分为场所监测、环境监测及个人剂量监测。

6.4.1 场所监测

为了保证本项目运行过程的安全，设置了相应的辐射工作场所监测计划，包括固定式在线监测和便携式巡检。

(1) 固定式在线监测

本次改造项目固定式在线监测由原有固定探头 2 个增加到 5 个，在线监测场所 γ 剂量率及中子剂量率水平，其固定式监测布点图见图 6-1。



注：M1 和 M2 为原有监测探头，M3、M4、M5 为本项目新增探头

图 6-1 固定式监测探头布点

(2) 工作场所巡检

另外，建设单位定期采用便携式 γ 剂量率仪和中子剂量率仪对本项目加速器四周、屋顶等屏蔽体外 30cm 处进行监测，具体监测计划见表 6-2。

表 6-2 本项目工作场所监测计划

监测项目	监测位置	监测频次
γ 剂量率	加速器四周、屋顶屏蔽体外 30cm 处	每季度一次
中子剂量率	加速器四周、屋顶屏蔽体外 30cm 处	

另外，建设单位委托有资质单位对本项目场所四周及屋顶进行监测，监测频次为每年一次。根据 2020 年该辐射工作场所监测报告可知，其工作场所加速器迷宫门处、控制室及加速器各屏蔽体 30cm 处剂量率小于 $2.5\mu\text{ Sv/h}$ 。

6.4.2 个人剂量监测

建设单位从事辐射工作人员配备了个人剂量计，工作人员工作时严格按照要求佩戴个人剂量计，每季度委托有资质的单位负责测定一次，并建立个人健康档案。

6.4.3 环境监测

本项目运行期间，委托有资质单位对其周围环境进行监测，监测点位包括周围敏感点，监测项目为 γ 剂量率和中子剂量率，监测频次为每年一次。

6.4.4 拟配备的监测设备

本项目拟配备的辐射监测设备情况见表 6-3。

表 6-3 本项目拟配备的监测设备

名称	数量	备注
固定式辐射剂量监测仪	5 个探头	中子和 γ
γ 巡测仪	1 台	
中子巡检仪	1 台	
个人剂量报警仪	2 台	
个人剂量计	每人一个	包括 γ 和中子

6.5 辐射事故应急

根据相关的法律法规，建设单位制定了《中科院近代物理研究所辐射事故应急预案》。具体情况如下：

(1) 应急组织机构

根据环境污染与破坏事故的预警等级，建立相应的组织体系。

①三级预警的组织体系

成立以所办公室主任为指挥，防护组长为副指挥，保卫处、防护组为成员的应急处理指挥部。

②二级预警的组织体系

成立以主管副所长为指挥，所办公室主任、防护组长为副指挥，所安全领导小组、保卫处、防护组以及卫生所为成员的事故应急处理指挥部。

③一级预警的组织体系

成立以所长为指挥，主管副所长为副指挥，所安全领导小组、保卫处、防护组以及卫生所为成员的事故应急处理指挥部。

(2) 事故应急处理

① 发生人体受到超剂量照射事故时，指挥部应当迅速安排受照人员接受医学检查或者在指定的医疗机构救治，同时对危险源采取应急安全处理措施。

②发生工作场所放射性同位素污染事故时，指挥部应当：（一）立即撤离有关工作人员，封锁现场；切断一切可能扩大污染范围的环节，迅速开展检测，严防污染源扩散到周围环境中去；（二）对可能受放射性核素污染或者放射损伤的人员，立即采取暂时隔离和应急救援措施，在采取有效个人安全防护措施的情况下组织人员彻底清除污染并根据需要实施其他医学救治及处理措施；（三）迅速确定放射性同位素种类、活度、污染范围和污染程度；（四）污染现场尚未达到安全水平以前，不得解除封锁。

③发生放射源丢失、被盗事故时，指挥部应当保护好现场，并认真配合公安机关、卫生行政部门进行调查、侦破。

(3) 应急培训及演习

中科院近代物理研究所正在制定应急演习计划，演习内容按照综合应急演习和专项应急演习，其中综合应急演习每 2 年进行一次，专项应急演习每年进行一次，各演习活动结束后应对演习过程和结果进行综合评价。

综上所述，中科院近代物理研究所已制定了的辐射应急预案中，建立了应急组织体系，并规定了应急组织体系的职责任务以及相关应急措施，事故发生时的工作程序，应急措施具有一定的可操作性。由于本项目为改造项目，现有应急预案未包含本项目相关内容，建议建设单位在现有应急预案中补充本项目相关内容。

建设对已制定的《辐射事故应急预案》进行完善和完成《应急演习计划》后，可满足本项目相关要求。

6.6 环保竣工验收“一览表”

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评【2017】4号）要求，建设单位是建设项目竣工环境保护验收的责任主体，建设单位应当按照规定的程序、标准和规范，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告；验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。验收报告公示期满后 5 个工作日内，建设单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台，填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息，生态环境主管部门对上述信息予以公开。

除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

本项目环保竣工验收一览表见表 6-4。

表 6-4 环保竣工验收一览表

验收项目	验收标准
辐射安全管理	辐射安全管理机构：成立的辐射安全管理机构满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的相关要求。 辐射安全管理制度：环评要求制定相关制度，内容全面，具有可操作性，并根据情况不断更新完善，严格落实并进行记录
人员培训	所有辐射工作人员按照要求参加生态环境部门认可的考核，考核合格才能从事辐射工作
监测仪器	监测仪器：场所在线监测系统、中子巡检仪、 γ 巡测仪、个人剂量报警仪和个人剂量计，建立个人剂量档案和职业病健康档案
辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平和电场强度	(1) 地下一层、加速器机房屋顶屏蔽体外剂量率控制水平设为 $10\mu\text{ Sv/h}$ ；(2) 其他区域剂量率控制水平设为 $2.5\mu\text{ Sv/h}$ ；(3) 屏蔽体外电场强度满足表 1-6 要求。
安全连锁	设有安全连锁系统，通过门-机连锁、急停按钮、清场按钮、视频监控等安全设施防止人员误操作、防止人员受到意外照射
其他防护措施	设置电离警示标示、按照环评要求设置通风管道及排风口
人员年受照剂量	辐射工作人员年受照剂量不超过 5mSv
周围环境敏感点	对周围环境敏感点进行辐射监测，确保敏感点公众年受照剂量不超过 0.1mSv

7 代价-利益简要分析

7.1 利益分析

该项目为非盈利性社会公益项目，项目效益主要体现在社会效益方面。

中国科学院近代物理研究所在成立以来，面向重离子科学国际前沿、面向国家重大战略需求、面向国民经济发展，开展跨学科、跨领域协同创新，取得了一批重大原创性基础研究成果，催生了一批具有变革性、能带动国家产业升级和保障国家安全的高新技术。本项目是探索合成超重新元素，努力实现中国在新元素合成领域零的突破，加快推进超重稳定岛同位素性质和应用的研究具有重要支撑作用。

项目建成后将有利于保障我国在超重元素合成国际竞争中的优势地位，使我国在超重元素探索处于国际前列，具有重大的社会效应。

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，本项目为现有场所改造项目，不新增土地资源。

能源方面，项目运行期间需要用水、电等能源。

7.2.2 经济代价

经济代价主要包括以下三个方面的成本：

- (1) 场所改造成本；
- (2) 设备投资成本；

(3) 环保投资：包含环保设施、环境管理、环境监测及事故防范措施等费用。

7.2.3 环境代价

本项目环境代价主要为项目运行期间对周围公众造成一定的辐射影响。

根据报告第5章评价结论可知，本项目运行期间对工作人员及周围公众造成的辐射影响小于其剂量约束值，排入外环境的废气满足相关标准要求。

7.3 正当性分析

本项目建成后，将努力实现中国在新元素合成领域零的突破，有利于保障我国在超重元素合成国际竞争中的优势地位，使我国在超重元素探索处于国际前列，具有重要的社会意义。

本项目运行时，对工作人员和周围公众造成一定的辐射影响，但采取防护措施后，工作人员和公众辐射影响在可控范围内。

综上所述，本项目建成后获得的利益远大于辐射所造成的危害，具有很好的社会效益，扣除一定的环境负面影响成本后，项目的综合效益是正的，因此本项目的实施是正当的。

8 结论与建议

8.1 项目工程概况

本项目为现有 25MeV 质子加速器场所改造成中国超重元素专用加速器装置项目，占地面积约 1200m²。

改造后的装置可加速束流包括荷质比为 1/3 的束流(如 ⁵¹V¹⁷⁺、⁵⁴Cr¹⁸⁺、⁵⁵Mn¹⁹⁺、⁵⁸Fe²⁰⁺等)、质子束和氦束，可将荷质比为 1/3 的束流(如 ⁵¹V¹⁷⁺、⁵⁴Cr¹⁸⁺、⁵⁵Mn¹⁹⁺、⁵⁸Fe²⁰⁺等)加速至 7MeV/u，开展超重新核素合成、超重元素化学性质、超重核结构和性质等方面的研究。运行过程中，射线装置出束会产生电离辐射和有害气体。

8.2 辐射安全与防护

- (1) 本项目辐射工作场所进行了辐射防护分区，分区合理；
- (2) 加速器装置及其终端场所采取了辐射屏蔽措施，屏蔽效果满足要求；
- (3) 设置安全联锁、视频监控等防护措施，能够保障实验室安全运行；

(4) 本项目运行过程中放射性废液为活化的冷却水，正常情况下不外排，运行过程中产生的放射性固体废物送有资质单位贮存；运行过程中产生的废气将通过排风管道高于本建筑屋顶 3m 排风。

8.3 环境影响分析

现有场址及周围环境进行的辐射本底调查表明：改建场所周围环境、辐射工作场所屏蔽体外辐射剂量率在甘肃省γ 辐射剂量率本底范围内波动，中子周围剂量当量率均小于仪表探测限；加速器装置所在场所内除个别监测点受活化影响剂量率水平较高外，其他监测点辐射剂量率在甘肃省γ 辐射剂量率本底范围内波动，中子周围剂量当量率均小于仪表探测限。

正常运行工况下，各屏蔽体外剂量率水平满足要求，项目运行过程中对操

作人员造成的年受照剂量为 1.583mSv，小于其剂量约束值为 5mSv/a；项目运行期间周围公众最大年剂量为 2.79E-07mSv/a，低于公众剂量约束值 0.1mSv/a。

8.4 辐射安全管理

中科院近代物理研究所建立了辐射安全管理小组，其相应的安全管理制度能够保证本项目的安全运行，相应的应急预案在修改后满足本项目需求，正在制定的应急演习计划完成后能满足本项目需求；综上所述，其安全管理制度满足要求。

8.5 公众参与情况

本项目自 2020 年 8 月以来通过建设单位网络平台、兰州晨报报纸、场所现场张贴公示形式共进行了 2 次公众意见收集和调查工作，在报批前在建设单位网站进行了该报告书和公众参与说明的全文公示。首次和二次公示期间，未收到公众与环境保护相关的反馈意见。

8.6 结论

本项目是为探索合成新元素并研究超重元素化学性质的研究。该项目具有重要的社会效益。项目的辐射防护和环境保护措施是可行的，对环境和公众的安全是有保障的，影响是可以接受的，故从环保角度考虑，该项目的是可行的。

综上所述，本项目建成后，将努力实现中国在新元素合成领域零的突破，有利于保障我国在超重元素合成国际竞争中的优势地位，使我国在超重元素探索处于国际前列，具有重要的社会意义，项目建成后采取的辐射防护措施使得运行时对周围环境的影响满足标准要求，获得的社会效应远大于所造成的危害，具有很好的社会效益，故该项目的是可行的。

8.7 建议与承诺

(1) 保证各项环保设施及辐射防护设施正常运行，严格按照国家有关规定

要求进行操作，确保其安全可靠；

(2) 本项目投入试运行 3 个月后，建设单位应根据“关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告（国环规环评【2017】4号）”及国家相关规定的要求及时组织该建设项目竣工环境保护验收，编制环境保护验收监测报告，并进行公示备案，接受生态环境部门的监督检查。