

核技术利用建设项目
二期工程使用放射性同位素和射线装置
环境影响报告表

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所

2026年4月



核技术利用建设项目
二期工程使用放射性同位素和射线装置项目
环境影响报告表

建设单位名称：中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所

建设单位法人代表（签名或签章）：刘青杰

通讯地址：北京市西城区德外新康街2号

邮政编码：100088

联系人：曹吉生

电子邮箱：caojisheng@nirp.chinacdc.cn

联系电话：13911508324



打印编号: 1774357316000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	3t2t5h		
建设项目名称	二期工程使用放射性同位素和射线装置		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所		
统一社会信用代码	12100000400011307		
法定代表人 (签章)	刘青杰		
主要负责人 (签字)	拓飞		
直接负责的主管人员 (签字)	拓飞		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	北京科欣科技发展有限公司		
统一社会信用代码	91110106MA00BRRY04		
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
于水	07351123505111099	BH000101	于水
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
于水	表9 项目工程分析与源项、表10 辐射安全与防护、表11 环境影响分析、审核。	BH000101	于水
薛燕	表1 项目基本情况、表2 放射源、表3 非密封放射性物质、表4 射线装置、表5 废弃物 (重点是放射性废弃物)、表6 评价依据、表7 保护目标与评价标准、表8 环境质量和辐射现状、表12 辐射安全管理、表13 结论与建议、附图和附件。	BH007677	薛燕

建设项目环境影响报告书(表)

编制情况承诺书

本单位北京科欣科技发展有限公司 (统一社会信用代码 91110106MA00BRRY04) 郑重承诺: 本单位符合《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》第九条第一款规定, 无该条第三款所列情形, 不属于该条第二款所列单位; 本次在环境影响评价信用平台提交的由本单位主持编制的中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所二期工程使用放射性同位素和射线装置项目环境影响报告书(表)基本情况信息真实准确、完整有效, 不涉及国家秘密; 该项目环境影响报告书(表)的编制主持人为于水 (环境影响评价工程师职业资格证书管理号 07351123505111099, 信用编号 BH000101), 主要编制人员包括 于水 (信用编号 BH000101)、薛燕 (信用编号 BH007677) 等 2 人, 上述人员均为本单位全职人员; 本单位和上述编制人员未被列入《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》规定的限期整改名单、环境影响评价失信“黑名单”。

承诺单位(公章): 北京科欣科技发展有限公司

2026 年 3 月 24 日



表 1 项目基本情况

建设项目名称		二期工程使用放射性同位素和射线装置项目			
建设单位		中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所			
法人代表	刘青杰	联系人	曹吉生	联系电话	13911508324
注册地址		北京市西城区德外新康街 2 号			
项目建设地点		北京市昌平区昌百路 155 号辐照中心一层、二层			
立项审批部门		国家发展和改革委员会	批准文号	发改社会〔2021〕84 号	
建设项目总投资(万元)	2953	项目环保投资(万)	894	投资比例(环保投资/总投资)	30.3
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积(m ²)	460
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET-CT 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
<input checked="" type="checkbox"/> 使用		<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
其他	说明:				
<p>1. 项目概述</p> <p>1.1 单位概况</p> <p>中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所（以下简称“辐射安全所”或“研究所”）是国家卫生健康委、国家疾控局及中国疾控中心（中国预科院）领导下的国家级放射医学与辐射防护专业技术机构，为全国放射医学与辐射防护业务技术指导中心，承担国家技术支撑及地方技术指导与培训职责。辐射安全所核心业务涵盖辐射防护、辐射监测与评价、人群辐射危险评价、放射诊疗设备质量控制，以及辐射剂量学、放射生物学、放射毒理学等领域研究；同时负责国家核事故与放射事故医学应急准备与响应、放射工作人员健康管理、射线防护器材防护质量监测与管理、放射卫生防护标准管理、放射医学与防护科技信息管理等专业技术工作。全所现有在职职工 152 名，其中正高级职称 38 名、副高级职称 43 名、中级职称 32 名；在职博士研究生导师 7 名、硕士研究生导师 22 名，常年招收培养放射医学、公共卫生（MPH）等专业博硕士</p>					

研究生。

本所与联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）、世界卫生组织（WHO）、国际原子能机构（IAEA）、国际放射防护委员会（ICRP）等国际组织，以及美国、日本、德国、韩国等 10 余个国家的学术团体、科研院所保持密切学术交流与技术合作。累计 30 余人次作为中国代表团成员出席 UNSCEAR 会议，现有 1 名研究人员担任 ICRP 第一委员会委员，4 名专家曾担任 ICRP 委员。

辐射安全所下设核事故与放射事故应急办公室、辐射防护研究室、辐射检测与评价研究室、放射生物学研究室、辐射流行病学研究室、放射毒理学研究室、放射生态学研究室、放射化学研究室、辐射剂量学研究室、放射诊疗安全与防护研究室等 10 个研究室，配备各类先进科研仪器设备，总价值逾 1 亿元。

辐射安全所现址位于北京市西城区德外新康街 2 号，规划新址位于北京市昌平区昌百路 155 号。现址和新址地理位置分别见附图 1 和附图 2 所示。

1.2 核技术利用现状

1.2.1 已许可的核技术利用项目

辐射安全所现持有由生态环境部颁发的《辐射安全许可证》（国环辐证[00157]号，详见附件 1），有效期至 2027 年 12 月 31 日，许可活动种类和范围是：使用 I 类、II 类、III 类、IV 类、V 类放射源；使用 II、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所。

辐射安全所核技术利用项目位于北京市西城区德胜门外新康街 2 号主楼和刻度楼内。

辐射安全所现使用的放射源共 36 枚（I 类放射源 2 枚，II 类放射源 1 枚，III 类放射源 3 枚，IV 类放射源 5 枚，V 类放射源 25 枚），使用 5 个非密封放射性物质工作场所和 3 台 X 射线装置。

1.2.2 近年来履行环保手续情况

自 2000 年以来，辐射安全所于 2020 年 9 月 9 日获得北京市生态环境局关于《中国疾病预防控制中心二期工程使用密封源和射线装置项目环境影响报告书》的批复（京环审〔2020〕125 号，见附件 3），目前该项目正在建设中。

1.3 辐射安全管理现状

（一）辐射安全管理机构设置

为了保证放射性同位素和射线装置的规范使用,保障辐射工作人员的健康与安全,辐射安全所设立了辐射安全防护管理小组,负责全所辐射安全与防护的领导工作。

辐射安全与防护管理小组设有专人具体开展辐射安全与防护工作。辐射安全与防护管理小组组成见表 1-5,其中辐射防护负责人(所领导)通过了辐射安全与防护考核(FS23BJ2303244)。

辐射安全防护管理小组具体职责包括:

1. 在辐射安全防护组组长领导下,负责本单位辐射安全防护的管理工作。
2. 贯彻执行国家、北京市政府部门有关法律、法规、规章、相关标准及有关规定。负责对单位相关部门和人员进行法律、法规及相关标准的培训、教育、指导和监督检查等工作。
3. 制定、修订单位辐射安全防护管理制度。
4. 制定、修订辐射事故应急预案,配备相应的事故处理物资设备、工具,一旦发生辐射意外事故或情况,在辐射安全防护负责人的指挥下负责事故现场的应急处理工作。
5. 负责办理辐射安全许可证的重新申领、变更及延续等工作,负责建设项目竣工环保验收工作。
6. 建立放射性同位素和射线装置档案,组织单位有关部门和人员对使用的放射性同位素和射线装置及剂量监测仪器进行检查和维护保养,保证正常使用。
7. 对单位从事辐射工作的人员进行条件和岗位能力的考核,组织参加职业健康检查、培训并取得相应资格证。
8. 组织实施对从事辐射工作人员的剂量监测,做好个人剂量计定期检测工作,对数据进行汇总、登记、分析等工作。做好单位年度评估报告工作,认真总结、持续改进。

(二) 已建立的辐射安全与防护规章制度及执行情况

辐射安全所根据国家法律法规制定了该所放射防护安全管理体系和各项管理规章制度,并在放射防护领导小组的监管下,严格执行各项管理规章制度,加强放射性同位素与射线装置的安全监管,规范辐射安全所辐射防护安全管理。

其制定的辐射安全管理制度有《中国疾控中心辐射安全所辐射防护与安全管理规定》《辐射防护与安全管理规定实施细则》《放射工作人员个人剂量监测管理规定》《放

射工作人员健康监护管理规定》《放射性同位素与射线装置放射突发事件处理应急预案》和《放射工作场所环境剂量监测方案》。其中《中国疾控中心辐射安全所辐射防护与安全管理规定》和《辐射防护与安全管理规定实施细则》对单位辐射防护与安全管理、辐射工作场所及管理、放射性同位素购置及保存管理、放射性废物的管理、放射工作人员管理及辐射事故应急与报告等作了规定。

同时，各实验室根据自身情况制定了相应的仪器操作规程、安全操作规程和应急预案，具体包括《SSDL 实验室 FCC-7000 型 ^{60}Co γ 照射装置操作管理制度》《SSDL 实验室 FYC-50H 小钴机照射装置操作管理制度》《SSDL 实验室 ^{60}Co γ 照射装置操作管理制度告知书》《SSDL005B 实验室后装标准照射装置操作管理制度》及相关的辐射突发事件应急预案。

（三）辐射工作人员培训考核

辐射安全所现有 47 名辐射工作人员，全部通过了辐射安全与防护考核，持有合格证书并在有效期内。研究所制定了辐射工作人员培训考核规定，每 5 年再次参加考核。

辐射安全所也利用集会、内网、宣传展板等形式对全员进行辐射安全知识教育，提高人员的辐射安全文化素养，定期组织辐射工作人员和辐射安全管理人员参加辐射安全管理法规和防护新知识培训。

（四）个人剂量监测和场所监测情况

（1）个人剂量监测：所有辐射工作人员均佩戴 TLD 个人剂量计，按每季度 1 次的频度开展个人剂量监测，并按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，建立个人剂量档案。

辐射安全所指定专人负责个人剂量监测管理工作，发现个人剂量监测结果异常的，及时调查原因，并将有关情况及时报告辐射安全所辐射安全与环境保护管理机构。

辐射安全所今后将继续加强个人受照剂量的监管，如果某位职业人员单季度受照剂量高于 1.23mSv（辐射安全所确定的调查水平），将对其受照原因进行调查；如果单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值，调查超标原因，并采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施，保障辐射工作人员的健康。

（2）工作场所监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，每年委托有资质单位对放射性工作场所进行 1 次场所辐射水平监测，监测数据

记录存档。

2025年11月，辐射安全所委托有资质单位北京市职业病防治院对现有的全部辐射工作进行了年度辐射水平和表面污染监测，监测结果均满足相关标准要求。

（五）辐射监测仪器和防护用品配备情况

辐射安全所现配备的辐射监测仪器和防护用品能够满足工作需要。

（六）辐射应急措施

辐射安全所根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条，原国家环境保护总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(环发〔2006〕145号)的规定，为保障工作人员及公众健康安全，防范辐射安全事故发生，结合本所实际，2025年印发《中国疾病预防控制中心辐射安全所放射性同位素与射线装置辐射突发事件应急预案》（中疾控辐保发〔2025〕74号），明确应急组织体系、响应流程、处置措施及后期保障要求。

一旦发生辐射事故，辐射安全所将立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境管理部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还将向当地卫生行政主管部门报告。

2025年11月28日，辐射安全所辐射检测与评价研究室针对“学生在未穿戴劳保手套的情况下搬运实验设备，导致手部划伤大面积创口”进行了应急演练；2025年12月4日，辐射剂量学研究室针对“徒手取热释光退火炉内的探测器导致烫伤”组织了应急演练；2025年12月24日，放射化学研究室针对“将²⁴¹Am标准溶液洒落在实验台上”组织了应急演练；2025年12月8日，放射诊疗安全与防护研究室针对“射线装置安全联锁失效”组织了应急演练。上述实验室开展的辐射事故应急演练，有效检验了应急预案的启动、报告和处置流程，达到了演练的预期目标。

1.4 本项目内容

1.4.1 项目背景

为了适应疾病预防控制任务的变化形势，保障新时期公共卫生体系工作的需要，创造有利于疾病预防控制和公共卫生服务发展的环境，经国家有关部门批准，决定集中建设中国疾病预防控制中心。

中国疾病预防控制中心的集中建设，在改善条件的同时，集中优势资源实现资源共享，充分发挥国家队的整体实力。有利于增强疾病预防控制工作的整体凝聚力，提高突发公共卫生事件应急反应的指挥调度能力，更好地适应新的需求。

中国疾病预防控制中心一期工程现已投入使用，一期工程已迁入的单位包括中心本级、病毒病所、传染病所、艾防中心等单位，初步完成了传染病防控等领域的建设。目前已启动二期工程的建设，将涉及慢病预防、营养健康、环境卫生、职业卫生、辐射安全等方面，是公共卫生服务体系中非常重要的部分，可满足中心“四位一体”的业务需求，促进中心科研能力总体提升。

二期工程建成后，辐射安全所将从现有工作场所（北京市西城区德外新康街2号）整体迁至北京市昌平区昌百路155号。本项目为使用密封源、射线装置和非密封放射性物质工作场所，属于二期工程中辐射安全所辐照中心的建设内容。

二期工程中使用密封源和射线装置的场所统一规划设置在辐照中心内。辐照中心由北侧平房和南侧一栋三层建筑组成，其中的部分项目已于2020年呈批并取得了北京市生态环境局同意建设的批复（京环审〔2020〕125号，见附件3），该批复已批复的建设内容如表1-1所示。

表 1-1 “京环审〔2020〕125号”已批复的建设内容

地点	房间编号	实验室名称	设备名称	源项指标
辐照中心北侧平房	1217b	高能光子和电子标准剂量学实验室	直线加速器	X线:15MV 电子线:18MeV
	1213b	Co-60 γ 射线放疗水平标准实验室	钴源照射装置	2.59E+14Bq ⁶⁰ Co 密封源 1枚（I类）；
	1212b	后装治疗剂量标准实验室	后装机	9.25E+10Bq ⁶⁰ Co 密封源 1枚（III类）； 4.81E+11Bq ¹⁹² Ir 密封源 1枚（III类）； 3.70E+9Bq ¹³⁷ Cs 密封源 1枚（IV类）；
	1211b	个人剂量计 γ 射线准直照射实验室	单源准直照射器	3.70E+11Bq ⁶⁰ Co 密封源 1枚（II类）；
多源准直照射器			3.70E+11Bq ¹³⁷ Cs 密封源 1枚（III类）； 3.70E+10Bq ¹³⁷ Cs 密封源 1枚（IV类）； 1.85E+11Bq ²⁴¹ Am 密封源 1枚（IV类）；	
辐照中心南侧建筑物一层	1207b	双源生物辐照实验室	双源辐照装置	3.64E+12Bq ¹³⁷ Cs 密封源 1枚（II类）； 4.11E+10Bq ¹³⁷ Cs 密封源 1枚（IV类）
	1206b	γ 射线防护水平标准实验室	γ 照射器	3.66E+11Bq ¹³⁷ Cs 密封源 1枚（III类）； 4.11E+10Bq ¹³⁷ Cs 密封源 1枚（IV类）

本项目只涉及辐照中心使用密封源和射线装置实验室项目，具体评价内容如表1-2所示。

表 1-2 本项目评价内容

编号	地点	房间编号	实验室名称	设备名称	源项数据	备注
1	辐照中心北侧平房	1210b	中子个人剂量标准辐照实验室	中子照射装置（非标定制）	1.85E+12Bq ²⁴¹ Am-Be 中子源 1枚（II类）	首次评价
2	辐照中心南侧建筑	1206b	γ 射线防护水平标准实验室	γ 照射装置（非标定制）	1.85E+11Bq ¹³⁷ Cs 密封源 1枚（III类）； 3.70E+11Bq ⁶⁰ Co 密封源 1枚（II类）；	京环审（2020）125号批复内容发生重大变

	物一层				7.40E+10Bq ²⁴¹ Am 密封源 1 枚 (III类)。	动, 重新评价。
3		1205b	中能 X 射线剂量标准实验室	中能 X 射线系统 (非标定制)	最大管电压为 600kV, 额定最大管电流为 7.5mA, 最大功率 1.5kW (II类射线装置)	首次评价
4		1202	放射源暂存库	/	¹²⁵ I 籽粒源、退役 Ir-192 等	首次评价
5	辐照中心南侧建筑物二层	2206b	β 源及近距离治疗剂量标准实验室	籽粒源装置 (非标定制)	3.70E+08Bq/枚 ¹²⁵ I 籽粒源, 按照使用非密封放射性物质评价。	首次评价

辐照中心还有一些场所使用III类射线装置(如 1204b、1203b、3205b 和 3205c 等), 一些房间使用IV类、V类密封源或豁免源(如 2205b、2204b、2202b), 将单独履行备案手续。还有 1 间预留的中能恒压高稳定度 X 射线剂量标准实验室(2203), 后续使用时再单独进行评价。

本项目涉及 3 套含源装置、1 套 X 射线装置、1 处籽粒源场所和 1 间放射源暂存库, 具体如下:

(1)在辐照中心北侧平房 1210b 室建设 1 套中子个人剂量标准装置(以下简称“中子照射装置”), 使用 1 枚密封源 (²⁴¹Am-Be 中子源, 活度 1.85E+12Bq, II类)。

(2)在辐照中心南侧建筑物一层 1206b 室建设 1 套 γ 射线防护水平照射装置(以下简称“γ 照射装置”)。该装置曾在“京环审(2020)125 号”中予以批复, 原计划将现有设备和放射源(2 枚 Cs-137 放射源)迁入新址。因现有设备老旧迁入新址使用存在卡源风险, 故调整为新建, 并变更使用放射源种类和活度为:1 枚 1.85E+11Bq(5Ci)的III类Cs-137 密封源, 1 枚 3.7E+11Bq(10Ci)的II类Co-60 密封源, 1 枚 7.4E+10Bq(2Ci)的III类 Am-241 密封源。根据《核技术利用建设项目重大变动清单(试行)》, 属于建设性质和规模发生重大变动情况, 故重新评价。

(3)在辐照中心南侧建筑物一层 1205b 室建设 1 套中能 X 射线系统(以下简称“X 射线系统”), 额定最大管电压为 600kV, 额定最大管电流为 7.5mA, 最大功率 1.5kW。

(4)在辐照中心南侧建筑物二层 2206b 室建设 1 套 β 源及近距离治疗剂量标准(以下简称“籽粒源装置”), 每次使用 1 枚 I-125 籽粒源(活度 3.70E+08Bq/枚)。

(5)在辐照中心南侧建筑物一层 1202 室建设 1 间放射源暂存库(以下简称“源库”), 用来暂存本项目使用的 ¹²⁵I 籽粒源, 也会用于退役的 Ir-192 放射源返回厂家前暂存等。

1.4.2 项目产业政策符合性及实践正当性

辐射安全所承担着全国卫生系统放射治疗、放射诊断及核医学等各种辐射检测剂量的校准和标准溯源，开展辐射剂量学和放射诊疗设备质量控制技术方面的研究工作；承担用于科学研究的生物样品照射、防护器材防护性能测试、个人剂量元件筛选等照射任务。

本项目属于使用密封源和射线装置项目，属于《产业结构调整指导目录(2024年)》中第六项第三十一条“科技服务业”类别中“1.……计量测试、质量认证和检验检测服务”以及“5.检验检测认证服务：分析、试验、测试以及相关技术咨询与研发服务……”，为国家支持和鼓励类产业。

1. 建立中子个人剂量标准实验室必要性

该实验室用于中子外照射个人剂量计的刻度校准，中子个人剂量监测的质量控制、能力比对和科学研究等。中国疾控中心辐射安全所承担全国个人剂量监测机构的技术指导、技术培训以及监测质量控制比对考核工作。随着 BNCT、核反应堆、高能加速器以及航空航天等的发展，中子个人剂量监测越来越重要，但中子个人剂量的监测有待提高，尚无国家级的质量控制、能力比对工作开展，因此，建立中子个人剂量标准实验室将积极推进中子个人剂量监测的工作，解决常规中子个人剂量监测的质量控制以及开展能力比对工作。

2. 建立中能 X 射线剂量标准实验室必要性

中能 X 射线系统能提供稳定、精确的 X 射线源，能够为相关设备提供可靠的计量基准，主要用于防护级剂量仪、巡测仪及个人剂量仪等设备的校准，以及辐射防护材料铅当量检测和个人剂量标准曲线照射。中能 X 射线系统能提供稳定、精确的 X 射线源，能够为相关设备提供可靠的剂量，是恢复实验室计量基准能力、确保量值传递体系完整准确、保证实验室安全稳定运行的重要保障，也是承担 IAEA/WHO 二级标准剂量学实验室职能必备的标准装置。

3. 建立 γ 射线防护水平标准实验室必要性

实验室现有照射器已使用近 40 年，其放射源衰减严重，且因无配套的“标准成像剂量计”无法继续使用。

为确保个人剂量当量仪、防护级剂量仪及巡测仪等设备在标准化辐射场中的校准准确性，并为建立可追溯的个人剂量标准曲线提供稳定辐射条件，需购置新的防护水平照射装置。该装置的建设是保障辐射监测数据准确可靠、完善防护水平量值溯源体系、履行 IAEA/WHO 二级标准剂量学实验室 (SSDL) 辐射防护计量职责的关键基础，对

确保辐射工作人员剂量监测的有效性及辐射安全监管的科学性具有重要现实意义。

4. 建立 β 源及近距离治疗剂量标准实验室必要性

利用 β 源校准装置对测量医用 β 源剂量的电离室进行校准，为临床 β 源治疗提供质控保障。此装置为辐射剂量学标准实验室的校准装置之一，利用此装置开展 β 源外照射相关校准工作，有利于规范相关医疗机构开展 β 源治疗的质量控制工作，保证医疗质量，从而可有效保障患者的利益和安全。

近些年，I-125 粒籽源植入在国内临床广泛应用，医疗机构普遍直接采纳粒籽源生产厂商提供的粒籽活度值，大多缺乏相应的临床质控，目前国内标准剂量学实验室开展相关质控仪器的校准工作尚未与国际接轨，辐射安全所发挥作为 IAEA/WHO SSDL 实验室成员的优势，接轨国际校准规范，开展 I-125 粒籽源校准工作，有助于推动相关临床质控水平不断提高。

综上所述，辐射安全所新增使用 II 类射线装置、使用含 II 类、III 类放射源照射装置，以及使用 I-125 籽粒源，具有正当性和必要性。

1.4.3 项目选址以及布局设计可行性分析

中国CDC将来全部迁址于北京市昌平区昌百路155号，一期工程已迁入了中心本级、病毒病所、传染病所、艾防中心等单位。二期正在建设中，后续辐射安全所将从西城区德外新康街2号现有工作场所全部集中迁至昌平区昌百路155号。

中国CDC在进行新址布局设计时，特意将核与辐射项目集中设置在辐照中心和同位素楼内，并将上述两个建筑布置在院区的东北角，与其他建筑物不相邻并相隔一定防护距离（ $>30\text{m}$ ）。场所集中设置便于辐射安全管理，相隔一定距离可有效减少核与辐射对周围建筑物的辐射影响，见图1-1所示。综合考虑，中国CDC新址辐射工作场所选址可行。



图 1-1 中国 CDC 新址规划以及辐射工作场所位置示意图

辐射安全所在新址规划时，将操作放射性同位素的非密封放射性场所全部布置在同位素楼，将使用密封源（含I-125籽粒源）和射线装置的实验室全部布置在辐照中心内。

辐照中心由北侧平房和南侧一栋三层建筑物组成。辐照中心一层北侧平房由西向东依次相邻布置了5个放射性工作场所，分别是高能光子和电子标准剂量学实验室、Co-60 γ 射线放疗水平标准实验室、后装治疗剂量标准实验室、个人剂量计 γ 射线准直照射实验室和中子个人剂量标准辐照实验室，这5个场所使用的放射源活度或射线装置能量相对较高，故设计为单层建筑（下方为土层，上方为屋面）。辐射工作场所相邻布置有利于放射性场所集中管理，也可以共用屏蔽墙体降低防护成本。此外，场地设计为单层建筑物，避免对上方和下方相邻公众的辐射照射。

辐照中心南侧建筑物共三层，一层设计有双源生物辐照实验室、 γ 射线防护水平标准实验室、中能X射线剂量标准实验室，二层设计有 γ 射线环境剂量水平标准实验室、中能X射线剂量标准实验室、 β 源及近距离治疗剂量标准实验室等，三层为实验用房。该建筑物内使用的放射源活度或射线装置能量相对较低，且全部房间为放射性工作场所或配套实验用房，无工作人员办公场所。此外，将放射性工作场所采取楼上和楼下对应设计方式，确保辐射工作场所楼上和楼下无人员常居留场所，有效减少辐射影响。

综上所述，项目布局合理。

1.4.4 环境影响评价

本项目属于使用Ⅱ类射线装置，使用Ⅱ类、Ⅲ类放射源，丙级非密封放射性物质场所（ ^{125}I 籽粒源按照非密封放射性物质管理）项目，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》，应该编制环境影响评价报告表，报生态环境主管部门审批。

根据生态环境部《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（2019年生态环境部令第9号）最新要求，北京科欣科技发展有限公司符合第九条第一款规定，无该条第三款所列情形，不属于该条第二款所列单位。公司有专职环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。受辐射安全所委托，北京科欣科技发展有限公司环评人员在现场踏勘、监测、收集资料的基础上，对该项目建设和运行对环境的辐射影响进行了分析评价，并编制了环境影响报告表。评价主要考虑含源设备在贮存和使用中，以及中能X射线装置在使用过程中，对周围环境的辐射影响，对职业人员和公众的辐射影响。

1.5 辐射安全所现有场所搬迁和退役

辐射安全所整体搬迁至新址后，后续将对现有辐射工作场所全部实施退役。

现有场所退役之前，建设单位将对其进行监测，如现有使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源、使用Ⅱ类射线装置场所存在放射性污染的，将编制环境影响报告表报审批部门批准后依照退役方案实施退役。如上述场所不存在放射性污染，将填写登记表办理备案手续后直接退役。丙级非密封放射性物质工作场所填报登记表。

场所退役之后，办理辐射安全许可证部分终止手续。

相关场所达到国家相关规定标准后交由上级部门。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	²⁴¹ Am-Be	1.85E+12Bq/1.85E+12Bq× 1枚	II	使用	校准和实验	中子个人剂量 标准辐照实验 室(辐照中心北 侧平房 1210b 室)	中子个人剂量标准 辐照实验室(辐照中心 北侧平房1210b室)屏蔽 容器内	/
2	Co-60	3.7E+11Bq/3.7E+11Bq×1 枚	II	使用	校准和实验	γ 射线防护水 平标准实验室 (辐照中心南 侧建筑物1206b 室)	γ 射线防护水平标准实 验室(辐照中心南侧建 筑物1206b室)屏蔽容器 内	/
3	Cs-137	1.85E+11Bq/1.85E+11Bq× 1枚	III	使用	校准和实验			/
4	Am-241	7.4E+10Bq/7.4E+10Bq×1 枚	III	使用	校准和实验			/

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹²⁵ I	固体籽粒源	使用	7.4E+08	7.4E+06	4.44 E+09	仪器刻度、实验	很简单操作	β 源及近距离治疗剂量标准实验室(辐照中心南侧建筑物二层2206b室)	放射源暂存库(辐照中心南侧建筑物一层1202室) 保险柜内

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

表 4 射线装置

(1) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大 能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(2) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管 电压 (kV)	最大管 电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	中能 X 射线机	II	1	待定	600	7.5	校准、检测 和实验	辐照中心南侧建 筑物一层 1205b 室	功率 1.5kW

(3) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名 称	类 别	数 量	型 号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μ A)	中子强度 (n/s)	用 途	工作场 所	氚靶情况			备 注
										活度 (Bq)	贮存 方式	数 量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
废源	固体	⁶⁰ Co、 ¹³⁷ Cs、 ²⁴¹ Am 和 Am-Be 中子源					不暂存	II 类及 III 类返回放射源生产厂家（将与供源单位签订废源返回协议）。
I-125 籽粒源	固体	¹²⁵ I					源库暂存	衰变至解控水平后由厂家回收。
废旧射线装置	固体							X 射线球管毁型后报废处理。

注：1. 常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq³/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<ol style="list-style-type: none">1. 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令[2014]第 9 号，2015 年 1 月 1 日起实施；2. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令[2003]第 6 号，2003 年 10 月 1 日起实施；3. 《中华人民共和国环境影响评价法》，2002 年 10 月 28 日通过，自 2003 年 1 月 1 日起施行；2016 年 7 月 2 日第一次修正；2018 年 12 月 29 日第二修正；4. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2005 年 9 月 14 日经国务院令 449 号公布；2014 年 7 月 29 日经国务院令 653 号修订；2019 年 3 月 2 日经国务院令 709 号修订；5. 《建设项目环境保护管理条例》，1998 年 11 月 29 日国务院令 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日国务院令 682 号修订，2017 年 10 月 1 日起施行；6. 《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，原国家环境保护总局令 31 号公布；2008 年 12 月 6 日经原环境保护部令 3 号修改；2017 年 12 月 20 日经原环境保护部令 47 号修改；2019 年 8 月 22 日经生态环境部令 7 号修改；2021 年 1 月 4 日生态环境部令 20 号修订并实施；7. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；8. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部令 16 号，2020 年 11 月 5 日，自 2021 年 1 月 1 日起施行；9. 《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部原国家卫生和计划生育委员会公告[2017]第 66 号，2017 年 12 月 6 日起施行；10. 《关于发布放射源分类办法》的公告，原国家环保总局公告，2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日；11. 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，原北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347 号；
------	---

	<p>12. 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，2017年11月20日；</p> <p>13. 原北京市环境保护局办公室《关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办〔2018〕24号，2018年12月6日；</p> <p>14. 《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〕第57号，2019年12月23日起施行；</p> <p>15. 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，生态环境部公告2021年第9号，2021年3月11日；</p> <p>16. 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020版；</p> <p>17. 《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〔2019〕第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>18. 《产业结构调整指导目录(2024年本)》，国家发展和改革委员会2023年第7号令，2024年2月1日起施行；</p> <p>19. 《北京市禁止违法建设若干规定》，北京市政府第295号令，2020年11月15日实施；</p> <p>20. 《北京市城乡规划条例》，北京市人民代表大会常务委员会公告〔十五届〕第61号，2021年9月24日修订版公布并实施；</p> <p>21. 《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022年版）》，北京市人民政府办公厅，京政发办〔2022〕5号，2022年2月14日起施行；</p> <p>22. 北京市生态环境局关于发布《〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉北京市实施细化规定（2022年本）》的通告，通告〔2022〕4号，2022年4月1日起实施；</p> <p>23. 北京市生态环境局关于发布《北京市生态环境局环境影响评价文件管理权限的建设项目目录（2024年本）》的通告（京环发〔2024〕24号），自2025年1月1日起实施；</p> <p>24. 《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》，环办辐射函〔2025〕313号，生态环境部办公厅，2025年8月29日。</p>
技术标准	<p>1. 《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)；</p>

	<ol style="list-style-type: none"> 2. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002); 3. 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021); 4. 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019); 5. 《参考中子辐射第1部分:特性和产生方法》(GB/T14055.1-2008/ISO8529.1-2001); 6. 《外照射放射防护剂量转换系数标准》(WS/T830-2024); 7. 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范核技术利用》(HJ1326-2023) 8. 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA1002-2012); 9. 《含密封源仪表的放射卫生防护要求》(GBZ125-2009) 10. 《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114-2006); 11. 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002); 12. 《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019); 13. 《环境空气质量标准》(GB3095-2026); 14. 《室内空气质量标准》(GB/T18883-2022); 15. 《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素》(GBZ2.1-2019)及第1号修改单; 16. 《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)。
1. 他	<ol style="list-style-type: none"> 1. Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities, NCRP REPORT No.147, 2005; 2. 原国家环境保护局监督管理司, 《中国环境天然放射性水平》, 1995年8月; 3. 《医用外照射源的辐射防护》, ICRP33号出版物, 人民卫生出版社, 1984; 4. 李德平、潘自强《辐射防护手册(第一分册)辐射源与屏蔽》, 原子能出版社, 1987年8月第一版; 5. 李德平主编, 《辐射防护手册(第三分册)辐射安全》第三章X射线的防护, 原子能出版社, 1990年;

	<p>6. 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所环境影响评价咨询协议书；</p> <p>7. 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所提供的与本项目相关的技术资料；</p> <p>8. 建设单位提供的个人剂量检测报告等相关资料。</p>
--	--

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围、目的和评价因子

7.1.1 评价范围

根据《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》(HJT10.1-2016)要求:“乙、丙级非密封放射性物质工作场所取半径 50m 的范围。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 II 类、III 类放射源、II 类射线装置和丙级非密封放射性物质工作场所,结合本项目的辐射特性和使用情况,确定评价范围为:各场所实体屏蔽体(控制区)外 50m 以内的范围。

7.1.2 评价目的

通过对本项目内容进行分析和估算,以期达到以下目的:

- (1) 对建设项目周围地区环境辐射现状进行调查;
- (2) 评价项目在运行过程中对周围环境及公众成员造成的辐射影响;
- (3) 评价辐射防护措施效果,提出减少辐射危害的措施,为环境保护行政主管部门管理提供依据;
- (4) 通过对该项目辐射环境影响评价,为营运单位保护环境和公众利益给予技术支持;
- (5) 对不利影响和存在的问题提出防治措施,把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

7.1.3 保护目标

本项目放射性工作场所实体屏蔽外 50m 以内范围,为辐射安全所科研用房和动物中心,无学校、幼儿园、医院及居民楼等敏感目标。

本项目建设地点位于辐照中心北侧平房和南侧建筑物内,上述地点位于工作区内,严格限制无关人员进入。

本项目 50m 评价范围均为中国 CDC 用地范围,环境保护目标如表 7-1。

表7-1 本项目辐射工作场所周围50m评价范围内的保护目标

所在建筑周围	本项目全部工作场所	保护目标	方位	距离(m)	常居留人数		
各项场所周围	中子照射装置（辐照中心北侧平房1210b）	室外空地	北侧	0-50	/		
		室外空地	东侧	0-30	/		
		实验动物中心楼	东侧	30-80	50		
		室外空地	南侧	0-15	/		
		同位素楼	南侧	15-30	20		
		室外空地	南侧	30-50	/		
		室外空地	西侧	0-50	/		
		室外	北侧	0-50	/		
	γ照射装置（辐照中心南侧建筑物一层1206b）	中子照射装置（辐照中心北侧平房1210b）	室外	东侧	0-30	/	
			实验动物中心楼	东侧	30-80	50	
			控制室、室外空地	南侧	相邻	2	
			楼道、放射源暂存库、楼梯间、配电室	南侧	3.5-17.5	/	
			室外空地	南侧	17.5-32.5	/	
			同位素楼	南侧	32.5-47.5	20	
			个人剂量计γ射线准直照射实验室	西侧	相邻	1	
			后装治疗剂量标准实验室、Co-60γ射线放疗水平标准实验室、高能光子和电子标准剂量学实验室、控制室等	西侧	7.5-40	5	
			室外空地	西侧	40-50	/	
			土层	下方	相邻	/	
			屋面	上方	相邻	/	
		γ照射装置（辐照中心南侧建筑物一层1206b）	X射线系统（辐照中心南侧建	双源生物辐照实验室、控制室、登记室	北侧	相邻	2
				待检设备存放室、加速器辅助设备间、弱电机房、高能光子和电子标准剂量学实验室、Co-60γ射线放疗水平标准实验室等	北侧	4.5-33	3
				室外空地	北侧	33-50	/
				中能X射线剂量标准实验室	东侧	相邻	/
				低能钨靶X射线剂量标准实验室、医用X射线诊断质控实验室1室、放射源暂存库、配电间等	东侧	7.8-25	2
				室外空地	东侧	25-50	/
				室外空地	南侧	0-15	/
				同位素楼	南侧	15-30	20
室外空地	南侧			30-50	/		
卫生间	西侧			相邻	/		
X射线系统（辐照中心南侧建	γ照射装置（辐照中心南侧建筑物一层1206b）	茶水间、楼梯间、管道间等	西侧	3-12	/		
		室外空地	西侧	12-50	/		
		土层	下方	相邻	/		
		γ射线环境剂量水平标准实验室（2204b）	上方	相邻	1		
		控制室	北侧	相邻	2		
X射线系统（辐照中心南侧建	X射线系统（辐照中心南侧建	加速器辅助设备间、弱电机房、高能光子和电子标准剂量学实验室、Co-60γ射线放疗水平标准实验室、控制室等	北侧	4.5-33	3		
		室外空地	北侧	33-50	/		
		低能钨靶X射线剂量标准实验室	东侧	相邻	/		
		医用X射线诊断质控实验室1室、放射源暂	东侧	5.2-17.5	2		

建筑物 一层 1205 b)	存库、配电间等			
	室外空地	东侧	17.5-50	/
	室外空地	南侧	0-15	/
	同位素楼	南侧	15-30	20
	室外空地	南侧	30-50	/
	X 射线系统	西侧	相邻	/
	茶水间、楼梯间、管道间等	西侧	8-20	/
	室外空地	西侧	20-50	/
	土层	下方	相邻	/
	中能 X 射线剂量标准实验室（预留）	上方	相邻	/
籽粒 源装 置 （辐 照中 心南 侧建 筑物 二层 220 6b）	楼梯间、电梯	北侧	相邻	/
	屋面	北侧	7-26.5	/
	室外空地	北侧	26.5-50	/
	控制室、管道井	东侧	相邻	1
	γ 射线环境剂量水平标准实验室、中能 X 射线剂量标准实验室、活度计校准实验室、个人剂量检测实验室等。	东侧	2.5-41.5	4
	室外空地	东侧	41.5-50	4
	室外空地	南侧	0-15	/
	同位素楼	南侧	15-30	20
	室外空地	南侧	30-50	/
	室外空地	西侧	0-50	/
放射 源暂 存库 （辐 照中 心南 侧建 筑物 一层 120 2）	空调机房	上方	相邻	/
	热力进线间和弱电进线间	下方	相邻	/
	楼道	北侧	相邻	/
	个人剂量计 γ 射线准直照射实验室和控制室，中子个人剂量标准辐照实验室和控制室	北侧	3-22.7	4
	室外空地	北侧	22.7-50	/
	配电室和楼梯	东侧	相邻	/
	室外空地	东侧	4-50	/
	室外空地	南侧	0-15	/
	同位素楼	南侧	15-30	20
	室外空地	南侧	30-50	/
医用 X 射线诊断质控实验室 1 室	医用 X 射线诊断质控实验室 1 室	西侧	相邻	/
	低能钨靶 X 射线剂量标准实验室、中能 X 射线剂量标准实验室、γ 射线防护水平标准实验室等	西侧	6-40	/
	室外空地	西侧	40-50	/
	个人剂量检测实验室	上方	相邻	
	土层	下方	相邻	/



图7-1 本项目评价范围示意图



图7-2 辐照中心一层平面以及部分项目位置图

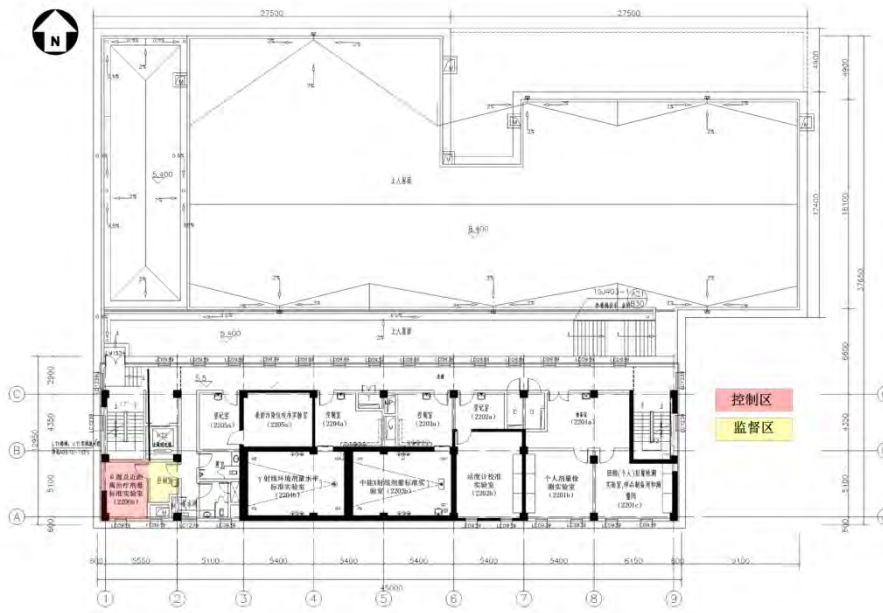


图7-3 辐照中心二层平面以及籽粒源项目位置图

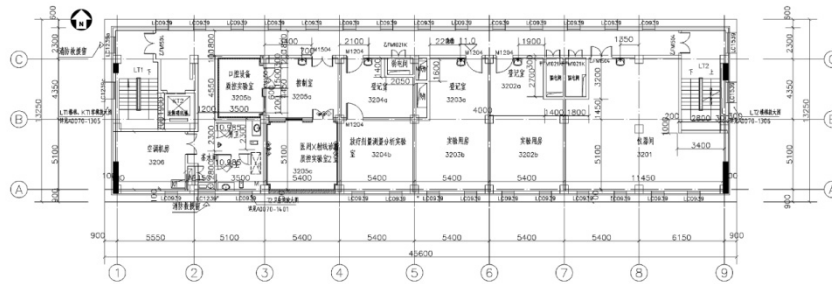


图7-4 辐照中心三层平面图

7.1.4 评价因子

本评价报告表的评价因子为 X、 γ 射线和中子贯穿辐射、泄漏辐射和散射辐射，以及废源。

7.2 评价标准

7.2.1 剂量限值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的规定：

表7-2 个人剂量限值

辐射工作人员	公众关键人群组成员
连续 5 年的年平均有效剂量不超出 20mSv，且任何一年中的有效剂量不超出 50mSv	年有效剂量不超出 1mSv，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

7.2.2 剂量约束值

职业照射，本项目辐射工作人员取 2mSv/a 作为剂量约束值；公众照射，本项目取

0.1mSv/a 作为剂量约束值。

7.3 剂量率控制水平

《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）规定：距离装有活度为1Ci以上的密封 γ 放射源容器外表面100cm处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过0.2mGy/h。该标准适合于放射源容器。

《含密封源仪表的放射卫生防护要求》（GBZ125-2009）表1要求：1）对人员的活动范围不限制时，设备表面5cm周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，1m处小于 $0.25\mu\text{Sv/h}$ 。2）在距源容器外表面1m的区域内很少有人停留时，设备表面5cm周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，1m处小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。该标准适合于含密封源强度测量型仪表，如料位计、厚度计、密度计、湿度计、核子秤等。

本项目执行对剂量率控制相对较严的《含密封源仪表的放射卫生防护要求》（GBZ125-2009）， γ 照射装置以及中子照射装置（放射源贮存状态时）周围的剂量率控制水平为：

（1）放射源贮存状态时， γ 照射装置以及中子照射装置容器外表面5cm周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，1m处小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

（2）放射源工作状态时，4个辐射工作场所外围周围30cm人员可达处的周围剂量当量率控制水平控制在 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 以下。

7.4 空气质量标准

室内空气质量 O_3 和 NO_x 浓度限值执行《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）即 O_3 的一小时平均浓度为 0.16mg/m^3 ， NO_x 的一小时平均浓度为 0.24mg/m^3 。

臭氧和氮氧化物排放标准执行《环境空气质量标准》（GB3095-2026）中的二级标准，即臭氧的浓度限值一小时平均为 0.2mg/m^3 ，二氧化氮的浓度限值一小时平均为 0.2mg/m^3 。

根据《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019），工作场所空气中 O_3 和 NO_2 的浓度限值分别为 0.3mg/m^3 和 5mg/m^3 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

建设单位委托有 CMA 资质单位（长润安测科技有限公司）于 2026 年 3 月 12 日对本项目所在的辐照中心周围，以及拟建调试间区域、顶部和下方区域辐射水平现状进行了检测，环境本底检测报告见附件 2。监测内容为 γ 空气吸收剂量率和中子剂量当量率。监测设备为环境级 X、 γ 剂量率仪和中子当量仪，其性能参数见表 8-1。

监测方法：使用中子辐射剂量率仪和环境级 X、 γ 剂量率仪在距地面 1m 高度进行直接测量。 γ 辐射水平监测点位置见图 8-1 至图 8-8，监测结果见表 8-2。

表 8-1 检测仪器性能参数一览表

设备名称	型号（编号）	技术参数	证书编号	有效期至
中子辐射剂量率仪	18327 (CR-YQ-203)	0.01Sv/h~100 mSv/h	DLjs2025-02765	2026 年 09 月 18 日
环境级 X、 γ 剂量率仪	SCB603E (CR-YQ-088)	0.01 μ Gy/h~3Gy/h	DD25J-CA100222	2026 年 05 月 07 日



图 8-1 辐照中心周围检测点位置示意图



图 8-2 辐照中心一层辐射水平监测点位示意图

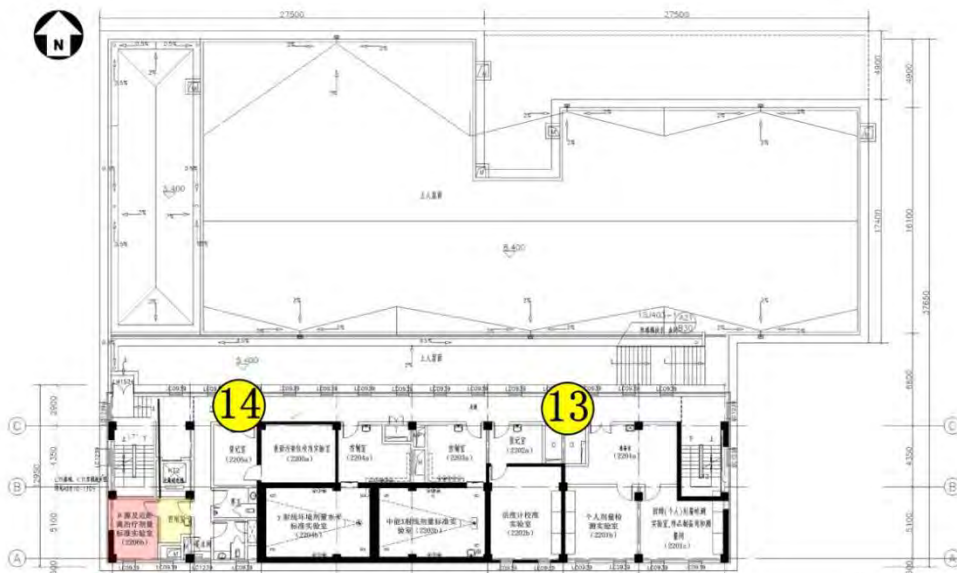


图 8-3 辐照中心南侧建筑物二层的辐射水平监测点位示意图

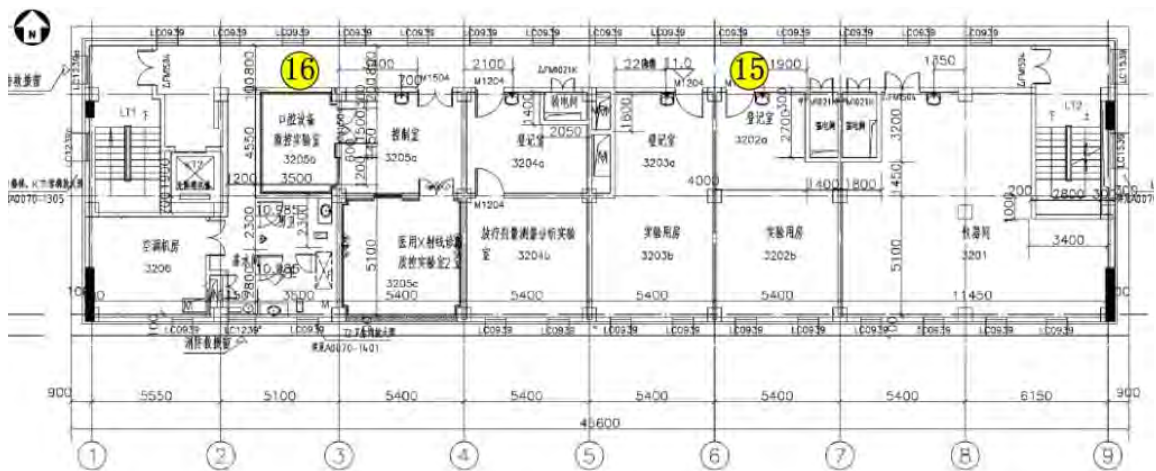


图 8-4 辐照中心南侧建筑物三层的辐射水平监测点位示意图

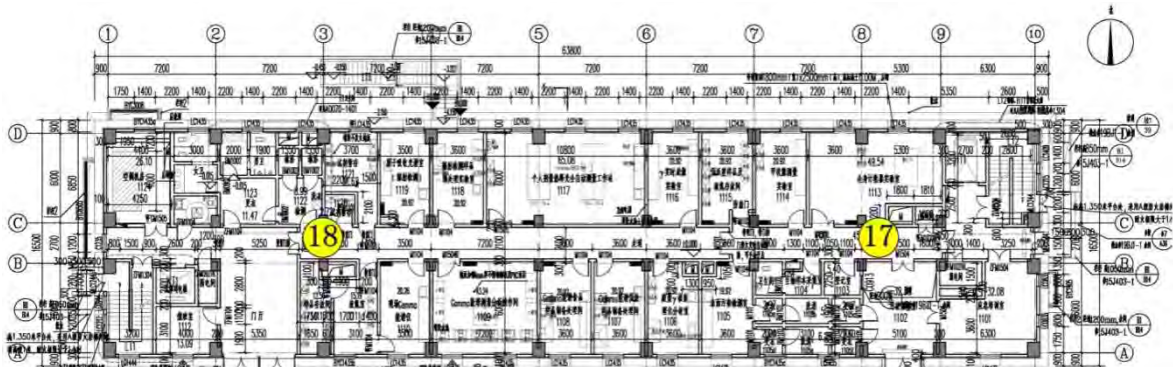


图 8-5 同位素楼一层的辐射水平监测点位示意图

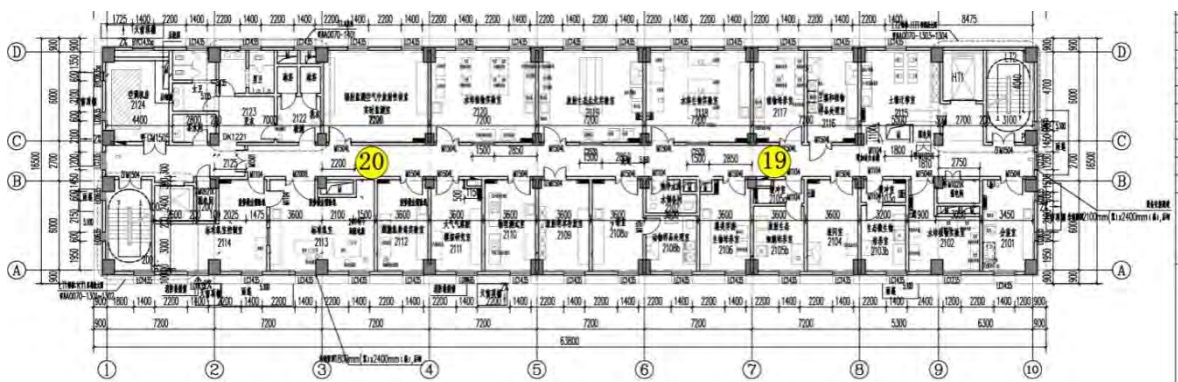


图 8-6 同位素楼二层的辐射水平监测点位示意图

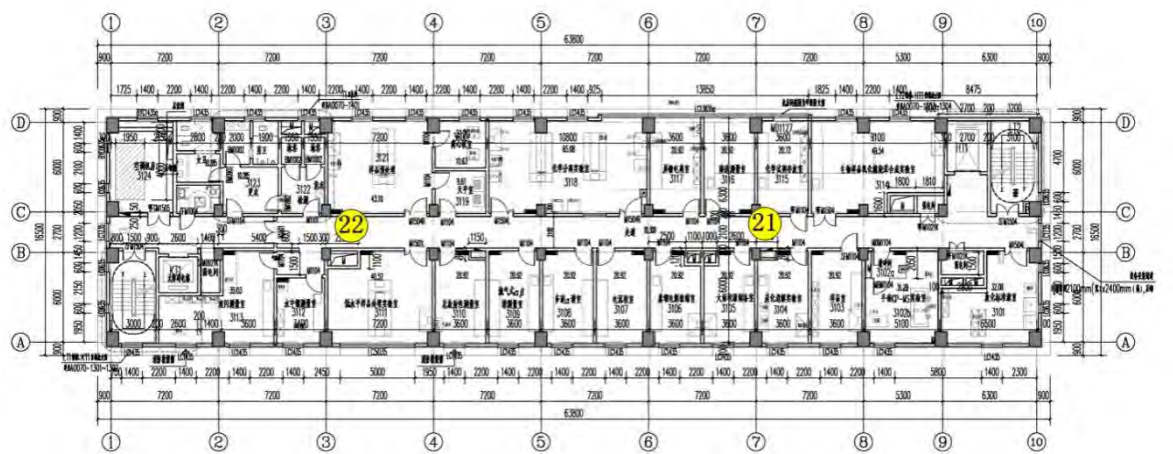


图 8-7 同位素楼三层的辐射水平监测点位示意图

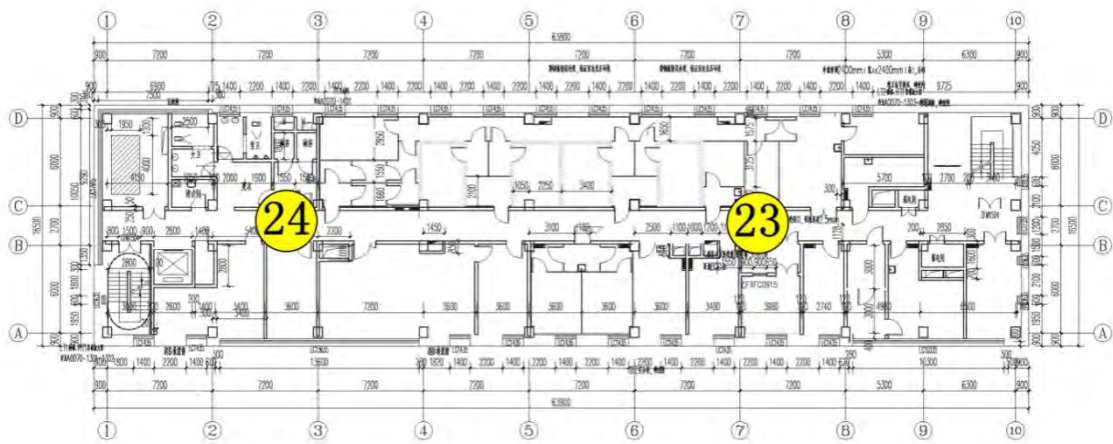


图 8-8 同位素楼四层的辐射水平监测点位示意图

表 8-2 辐射环境现状监测结果

测点编号	点位描述	γ 辐射剂量率* (nGy/h)	中子剂量当量 率** (μ Sv/h)
1	辐照中心平房东北侧空地	65 \pm 0.5	<MDL
2	辐照中心平房东侧空地	62 \pm 0.7	<MDL
3	辐照中心建筑物东侧空地	62 \pm 0.5	<MDL
4	辐照中心建筑物南侧空地	62 \pm 0.5	<MDL
5	辐照中心建筑物南侧空地	62 \pm 0.7	<MDL
6	辐照中心建筑物西侧空地	64 \pm 0.9	<MDL
7	辐照中心平房西侧空地	62 \pm 0.8	<MDL
8	同位素楼东侧空地	62 \pm 0.8	<MDL
9	同位素楼南侧空地	64 \pm 0.6	<MDL
10	同位素楼西侧空地	64 \pm 0.8	<MDL
11	辐照中心一层东侧区域	63 \pm 0.5	<MDL
12	辐照中心一层西侧区域	63 \pm 0.4	<MDL
13	辐照中心南侧建筑物二层东侧区域	62 \pm 0.3	<MDL
14	辐照中心南侧建筑物二层西侧区域	63 \pm 0.8	<MDL
15	辐照中心南侧建筑物三层东侧区域	62 \pm 0.7	<MDL
16	辐照中心南侧建筑物三层西侧区域	62 \pm 0.5	<MDL
17	同位素楼一层东侧区域	64 \pm 1.0	<MDL
18	同位素楼一层西侧区域	64 \pm 0.7	<MDL
19	同位素楼二层东侧区域	63 \pm 0.6	<MDL
20	同位素楼二层西侧区域	62 \pm 0.6	<MDL
21	同位素楼三层东侧区域	63 \pm 0.7	<MDL
22	同位素楼三层西侧区域	63 \pm 0.7	<MDL
23	同位素楼四层东侧区域	62 \pm 0.9	<MDL
24	同位素楼四层西侧区域	63 \pm 0.6	<MDL

注：*检测结果含宇宙射线响应值。 **中子最低检出限为 0.01 μ Sv/h；

《中国环境天然放射性水平》（1995年8月）报道：北京市天然辐射水平范围为60-123nGy/h（室外，含宇宙射线）和69.8-182nGy/h（室内，含宇宙射线）。监测结果表明：辐照中心和同位素楼周围、拟建辐射工作场所顶部/下方辐射水平均属于正常本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 γ 照射装置（辐照中心1206b）

9.1.1 γ 照射装置结构

(1) 放射源

γ 照射装置照射器内部装载 3 枚密封源，分别为 1 枚Ⅲ类 Cs-137 密封源（活度为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ ）、1 枚Ⅱ类 Co-60 密封源（活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ）和 1 枚Ⅲ类 Am-241（ $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ）。

上述 3 枚密封源，固定在一根气缸活塞杆的不同位置，由气缸控制出源和回源。出源时，活塞杆上只能有一枚源对准照射孔，这样从结构上保证每次只能使用 1 枚源进行照射。

(2) 屏蔽室

γ 照射装置照射器外形呈圆柱状，主体为铅屏蔽体，铅屏蔽厚度不低于 24cm。



图9-1 γ 照射器实物图

(3) 准直器

射线准直器，用于控制可用射线的宽度。准直器呈棱锥状，与放射源暴露端中心线对齐，准直后射线束最大张角为 30° 。

(4) 衰减器

出束口有衰减器。衰减器有 4 个，可以单独使用，也可以联合使用从而实现从 1 倍

到 8000 倍（1, 2, 4, 8, 10, 20, 40, 80, 100, 200, 400, 800, 1000, 2000, 4000, 8000）的射线强度衰减。每一个衰减器都是由一个气压缸来驱动的。气缸上的簧片开关能够指示衰减器的位置。

9.1.2 所用放射源的辐射特性

本项目使用的三种密封放射源辐射特性如表 9-1 所示。

表9-1 放射源的辐射特性

放射源	辐射特性
Co-60	半衰期：5.27 年； γ 射线最大能量：1.173MeV(100%)，1.333MeV(100%)； β 射线最大能量：0.318MeV(100%)
Cs-137	半衰期：30.2 年； γ 射线最大能量：0.662MeV(85%)； β 射线最大能量：1.173MeV(5%)，0.512MeV(95%)
Am-241	半衰期：432.2 年； γ 射线最大能量：0.014MeV(13%)，0.018MeV(18%)，0.060MeV(36%)； α 射线最大能量：5.388MeV(1.4%)，5.443MeV(12.8%)，5.486MeV(85.2%)。

9.1.3 设备技术指标

根据设备的招标参数，γ 照射装置的相关技术指标如表 9-2 所示。

表9-2 γ 射线标准辐照装置技术指标

序号	指标	参数
1	装源种类和活度	Cs-137 放射源 5Ci, Co-60 放射源 10Ci, Am-241 放射源 2Ci
2	周围剂量率	设备表面 5cm 剂量率 ≤ 25 μSv/h, 设备 30cm 处剂量率 ≤ 2.5 μSv/h
3	放射源驱动方式	气动气缸控制
4	源位置指示	源棒装有位置传感器，用于指示源位置
5	失效安全设计	具备断电及失压工况下源棒自动回落至屏蔽位置的功能
6	屏蔽结构	轴向辐射利用钨作为屏蔽，径向辐射利用包裹不锈钢铅圆柱体作为屏蔽
7	源状态指示	三色柱式指示灯，屏蔽位置-绿色，移动位置-黄色，照射位置-红色。电传感器与照射位置传感器指示源位置

8	放射源高度	射束中心线距地面高度：1277mm
9	外部尺寸	1778mm 高×762mm 长×610mm 宽
10	射线束最大张角和 照射野	射线束最大张角：30° 照射野最大直径：536mm@1m
11	准直器散射因子	<5%
12	泄漏辐射	<0.1%
13	控制方式	配套照射器控制软件远程控制
14	照射方向	东→西，水平照射
15	区域辐射监测系统	用于监测辐照室内周围剂量当量率水平
16	安全联锁系统	设入口门安全联锁装置、灯光报警装置、工作指示装置、紧急停机装置等；控制软件具备密码保护功能；整体系统或单一组件处于失电工况时，放射源自动处于屏蔽位置；电气系统组件运行过程中出现故障工况时，放射源自动处于屏蔽位置；气动系统出现故障工况时，放射源自动处于屏蔽位置；气动系统低压工况时，系统停止运行；照射控制电磁阀故障工况时，放射源自动处于屏蔽位置。

9.1.4 操作流程

(1) 检查并确认工作状态指示灯、区域辐射监测系统、安全联锁装置、闭路监视系统工作正常。

(2) 工作人员佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，开机前，检查场所与装置安全设施，布置好待刻度的仪器或待辐照样品后，确认照射室内无人后，关上照射室防护门。

(3) 在控制台上选择放射源，设置照射时间或剂量等参数，按压“照射”按钮。启动照射装置。照射装置将根据选定参数启动多源照射器，放射源到达照射位进行照射，此时照射室门上方和设备上方的（红色）出源指示灯应点亮。

(4) 照射结束后，放射源返回储存位，区域辐射监测系统显示实验室内剂量达到本底水平，照射室门上方和装置上方的指示灯（绿色）应亮，工作人员打开防护门进入机房，将被照射的仪器或样品取出，检查实验室无人员滞留后关闭防护门。

(5) 拔出控制台上钥匙，关闭电源。登记仪器工作状况。

(6) 关闭照明设备，锁好控制室大门。

9.1.5 主要放射性污染物和污染途径

(1) 正常工况主要的放射性污染物

- 1) 正常使用工况下, 不产生放射性废水、放射性废气和放射性固体废物。
- 2) 由于 Am-241 的 α 射线, 以及 Co-60 的 β 射线在空气中射程较短, 穿透能力较弱, 容易被屏蔽, 主要的污染物是 γ 射线的贯穿辐射。
- 3) 密封源退役时产生废旧密封源。

(2) 正常工况的污染途径

- 1) 设备漏射 γ 射线对作业场所及其周围环境将产生辐射影响。

放射源在贮存位时, 放射源和出束口是错开的, 这时从照射器泄漏的 γ 射线很少, 主要考虑对进入机房的辐射工作人员产生外照射, 不会对机房周围的公众成员产生辐射照射。照射装置工作时, 放射源对准出束口, 从准直方向发出的照射束、泄漏辐射及散射辐射将会对机房周围的工作人员和公众成员产生一定的辐射影响。

- 2) γ 射线辐解空气产生 O_3 和 NO_x 等有害气体。

正常工况下, 不会产生放射性废气。但在运行过程中, 空气在 γ 射线照射下产生臭氧和氮氧化物, 通过通风系统排入大气。由于臭氧和氮氧化物的产生量较少, 对周围环境空气质量影响很小。

- 3) 放射源达到使用寿命, 会产生废旧放射源。

(3) 事故工况的污染途径

- 1) 放射源丢失被盗: 由于保管不善, 可能会发生密封源丢失或被盗事故, 造成环境污染, 或者出现人员受到过量照射的潜在情况。

本项目照射器较为沉重, 且无专用工具不可能将放射源拆出, 故日常发生丢失的可能性不大。放射源丢失、被盗事故一般发生在设备换源或维修期间。研究所已制定相关制度, 要求在上述时候安排专人值守, 严防放射源丢失。此外, 工作人员每日检查仪器的外观是否完好, 并定期采用 γ 剂量率检查密封源是否在位。

- 2) 发生卡源或者电气系统失控: 在使用时发生卡源事故、电气系统失控等事故时, 依照应急预案, 手动遥控将射线束关闭。手动遥控关射线束也不成功时, 将关闭防护门, 封闭现场, 报告辐射安全管理小组, 依照事故应急预案进行处置。后续将安排辐射工作人员进入机房完成手动关源。辐射工作人员手动关闭射线束后, 立即通知设备厂家进行维修和维护。

- 3) 人员误留或误入机房: 设备运行过程中, 由于安全连锁系统出现故障, 人员意

外进入刻度室,造成意外照射。或者是人员未撤出机房就出束,导致人员受到意外照射。如果长时间停留,可能出现人员受到大剂量照射的情况。

4) 放射源破损泄漏:放射源超期使用,长时间运动磨损可能发生泄漏,并造成设备内部或者使用场所发生放射性污染的情况。本项目将严格按照放射源寿期使用放射源,定时更换或者报废放射源。

5) 废旧放射源处置不当:废旧放射源按规定需返回供源单位。如果废旧放射源处置不当,私自转让给其他单位超期服役,可能发生泄漏,也可能失控流失到社会,发生潜在照射。

9.2 中能X射线装置(辐照中心1205b)

9.2.1 中能X射线装置结构

中能 X 射线装置结构如图 9-3 所示,设备周围(四周和顶部)设屏蔽体,均为 1cm 铅板,底部为 1cm 钢板。X 射线窗口安装多种过滤片。

9.2.2 设备技术指标

根据研究所提供的技术资料,中能 X 射线装置相关技术指标如表 9-3 所示。

表9-3 中能X射线装置使设备技术指标

序号	指标	参数
1	生产厂家	待定
2	型号	待定
3	最大管电压, kV	600
4	最大管电流, mA	7.5
5	功率, W	700W/1500W
6	使用最大管电压时的管电流, mA	2.5
7	焦点大小	0.7mm/2mm
8	1m 处 X 射线最大剂量率, (Sv/h)	9.58
9	1m 处的泄漏辐射剂量率, (mSv/h)	<5
10	X 射线输出张角, 度	全张角 10.6° (焦点到探测器距离 250 cm 时, 探测器处照射野为 45 cm)
11	出束方向	固定(东→西), 水平照射
12	自屏蔽	除出束口外, 设备周围(四周和顶部)设 10mm 铅屏蔽

9.2.3 操作流程

打开电源→专用钥匙开机→训机(根据工作需要选择训机模式)→设置仪器工作参数→摆放放射性测量仪器→刻度仪器→停止照射→登记仪器工作状况。

(1) 检查并确认工作状态指示灯、安全联锁装置、闭路监视系统工作正常。

(2) 工作人员佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，开机前，检查场所与装置安全设施，布置好待刻度的仪器或待辐照样品后，确认照射室内无人存在，关上照射室防护门。

(3) 打开电源，专用钥匙启动，根据工作需要选择训机模式。

(4) 在控制台上设置管电压或管电流、照射时间等参数，启动照射。

(5) 照射结束后，工作人员打开防护门进入机房，将被照射的剂量计取出，检查实验室无人员滞留后关闭防护门。

(6) 关闭控制台仪器，锁上钥匙开关，关闭电源，登记仪器工作状态。

(7) 关闭照明设备，锁好控制室大门。

9.2.4 主要放射性污染物和污染途径

(1) 正常工况主要的放射性污染物

主要污染物是 X 射线和少量有害气体。

(2) 正常工况的污染途径

1) 正常使用工况下，不产生放射性废水、放射性废气和放射性固体废物。

2) 设备运行污染途径是 X 射线贯穿辐射、泄漏辐射和散射辐射对工作人员、周围公众和周围环境的辐射影响。

3) X 射线所致少量有害气体 O₃ 和 NO_x 等的产生。

(3) 事故工况的污染途径

1) 人员误入机房受照：设备运行过程中，由于安全联锁系统出现故障，人员意外进入刻度室，造成意外照射。如果长时间停留，可能出现人员受到大剂量照射的情况。

2) 人员误留机房受照：人员未撤出机房就出束，导致人员受到意外照射。如果长时间误留，可能出现人员受到大剂量照射的情况。

由于设备设有门机联锁、闭路监视系统等安全措施，发生这类事故的机率很小。即使发生误入或者误留，有紧急停机按钮和紧急开门按钮等，能够快速停束，一般不会造成严重的辐射损伤事故。

9.3 中子个人剂量标准辐照实验室（辐照中心1210b）

9.3.1 中子照射装置结构

(1) 放射源

中子辐照实验室密封源照射装置为预研制装置。该装置可装载 1 枚 ²⁴¹Am-Be 放射

源，总活度 $1.85E+12Bq$ ，中子发射率 $1.0 \times 10^8 n/s$ ，平均能量为 $4.5MeV$ 。

(2) 屏蔽体

中子照射装置的屏蔽主体为聚乙烯圆柱体，高 1.3 米，直径 1.3 米，沿轴线有多级气缸，中子源位于圆柱体中部的的气缸杆上。

圆柱体上部内含含硼聚乙烯圆柱体旋转屏蔽门，屏蔽门直径约 50cm，高 60cm，屏蔽门有一个出射孔，照射装置未照射时，中子源处于储存位，旋转屏蔽门关闭（即屏蔽门出射孔与放射源出射孔相差 180 度）；照射时，旋转屏蔽门（即屏蔽门出射孔与放射源出射孔对准），中子源从屏蔽位置由多级气缸抬升到照射位置进行照射，照射结束后，中子源收回到储存位，旋转屏蔽门关闭。贮存状态下，放射源四周含硼聚乙烯屏蔽厚度不小于 60cm，底端多级气缸周围使用 30cm 厚聚乙烯圆筒包裹，外面为 5mmPb。装置外表面 5cm 处中子、 γ 剂量率之和小于 $25 \mu Sv/h$ 。

中子照射装置结构示意图见图 9-4 所示。

(3) 地坑

中子照射装置放置于中子个人剂量标准辐照实验室地坑中，其上端低于实验室地面 215mm，该地坑为长 3m×宽 3m×深 3.5m 方井。地坑和中子照射装置位置示意图见图 9-2。

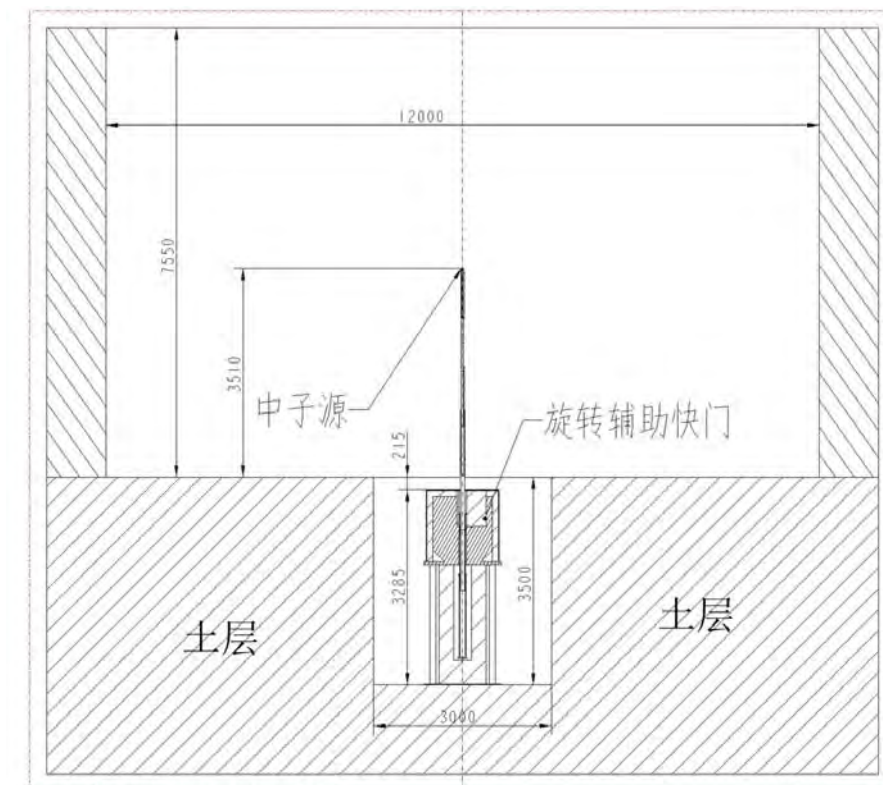


图 9-2 地坑和中子照射装置位置示意图

9.3.2 所用放射源的辐射特性

$^{241}\text{Am-Be}$ 的辐射特性见表 9-4。

表9-4 放射源的辐射特性

放射源	辐射特性
$^{241}\text{Am-Be}$	半衰期：432.2a γ 射线最大能量：60keV 中子平均能量：4.5MeV

9.3.3 设备技术指标

根据设备的招标参数，中子照射装置的相关技术指标如表 9-5 所示。

表9-5 中子照射装置技术指标

序号	指标	技术参数
1	装源种类和活度	$^{241}\text{Am-Be}$ 中子源，活度 $1.85\text{E}+12\text{Bq}$ 。
2	周围剂量率	贮源罐屏蔽体表面 5cm 处中子、 γ 剂量率之和小于 $25 \mu\text{ Sv/h}$ 。
3	放射源驱动方式	气缸驱动放射源上下移动。
4	源位置指示	源棒装有位置传感器，用于指示源位置。
5	失效安全设计	配备 UPS 电源，在设备断电时确保气缸下移，将放射源归位。
6	屏蔽结构	柱体结构高 1.3 米，直径 1.3 米。外面为 5mmPb，内部为聚乙烯。聚乙烯屏蔽厚度均不低于 60cm。
7	源状态指示	三色柱式指示灯，屏蔽位置-绿色，移动位置-黄色，照射位置-红色。
8	放射源高度	放射源中心点距地面高度：3510mm
9	地坑尺寸	3m×3m，深 3.5m 方井。
10	照射方向	360°
11	控制方式	配套照射器控制软件远程控制
12	区域辐射监测系统	用于监测辐照室内周围剂量当量率水平
13	安全连锁系统	设机房入口门源连锁装置、声光报警装置、工作状态指示装置、急停按钮、巡检按钮、红外探测和红外门障功能、剂量连锁系统，控制软件具备密码保护功能；整体系统或单一组件处于失电工况时，放射源自动回到屏蔽位置；电气系统组件运行过程中出现故障工况时，放射源自动返回屏蔽位置

9.3.4 操作流程

(1) 检查并确认工作状态指示灯、区域辐射监测系统、安全连锁装置、闭路监视系统工作正常。

(2) 工作人员佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，开机前，检查场所与装置安全设施，布置好待刻度的仪器或待辐照样品后，确认照射室内无人存在，按下巡检按钮，关上照射室防护门。

(3) 在控制台设置照射时间，启动照射装置。照射装置打开快门，升源到设定位置进行照射。

(4) 照射结束后，关闭照射装置，区域辐射监测系统显示实验室内剂量达到本底水平，工作人员打开防护门进入机房，将被照射的样品取出，检查实验室无人员滞留后关闭防护门。

(5) 拔出控制台上钥匙，关闭电源。登记仪器工作状况。

(6) 关闭照明设备，锁好控制室大门。

9.3.5 主要放射性污染物和污染途径

(1) 正常工况主要的放射性污染物

- 1) 正常使用工况下，不产生放射性废水、放射性废气和放射性固体废物。
- 2) 主要的污染物是 γ 射线和中子的贯穿辐射。
- 3) 密封源退役时产生废旧密封源。

(2) 正常工况的污染途径

- 1) 设备漏射中子、 γ 射线对使用场所及其周围环境将产生辐射影响。

中子照射装置不工作时，中子在聚乙烯罐内贮存，快门在关闭位置，这时从照射器泄漏的中子和 γ 射线很少，主要是对进入实验室辐射工作人员产生少量外照射，不会对机房周围的公众成员产生辐射照射。中子照射装置工作时，中子放射源被顶到工作位置， 360° 照射，会对机房周围的工作人员和公众成员产生一定的辐射影响。

- 2) 中子、 γ 射线辐解空气产生 O_3 和 NO_x 等有害气体。

正常工况下，不会产生放射性废气。但在运行过程中，空气在中子和 γ 射线照射下产生臭氧和氮氧化物，通过通风系统排入大气。由于臭氧和氮氧化物的产生量较少，对周围环境空气质量影响很小。

- 3) 放射源达到使用寿期，会产生废旧放射源。

(3) 事故工况的污染途径

- 1) 放射源丢失被盗：由于保管不善，可能会发生密封源丢失或被盗事故，造成环境污染，或者出现人员受到过量照射的潜在情况。

本项目照射器设置在地坑内，储源罐较为沉重，且无专用工具不可能将放射源拆出，故日常发生丢失的可能性不大。放射源丢失、被盗事故一般发生在设备换源或维修期间。研究所已制定相关制度，要求在上述时候安排专人值守，严防放射源丢失。此外，工作人员每日检查仪器的储源罐是否完好，并定期采用中子当量仪检查密封源是否在位。

2) 发生卡源或者电气系统失控：在使用时发生卡源事故、电气系统失控等事故时，依照应急预案，启动强制回源程序。强制回源不成功时，封闭现场，报告辐射安全管理小组，依照事故应急预案进行处置。后续将安排辐射工作人员进入机房开展应急处置。之后通知设备厂家进行维修和维护。

3) 人员误留或误入机房：设备运行过程中，由于安全联锁系统出现故障，人员意外进入实验室，造成意外照射。或者是人员未撤出机房就出束，导致人员受到意外照射。如果长时间停留，可能出现人员受到大剂量照射的情况。

4) 放射源破损泄漏：放射源超期使用，长时间运动磨损可能发生泄漏，并造成设备内部或者使用场所发生放射性污染的情况。本项目将严格按照放射源寿期使用放射源，定时更换或者报废放射源。

5) 废旧放射源处置不当：废旧放射源需返回供源单位，如果废旧放射源处置不当，私自转让给其他单位超期服役，可能发生泄漏，也可能失控流失到社会，发生潜在照射。

9.4 β源及近距离治疗剂量标准实验室（辐照中心2206b）

9.4.1 I-125 籽粒源结构

I-125 籽粒源内置标记 I-125 同位素的银丝，外壳为高密度钛合金管，粒子采用激光焊接使之完全密封。本项目每次使用 1 枚籽粒源，活度不超过 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （即 10mCi）。在未加任何屏蔽的情况下，距离籽粒源 1m 处的空气比释动能率约为 $6.1 \mu\text{Gy/h}$ 。厂家送来时 I-125 籽粒源外还有 2.5mmPb 铅罐进行辐射防护。

表9-6 I-125的辐射特性

	辐射特性
半衰期	60.1d
γ射线最大能量	27.472keV（79.4%）、35.492keV（6.8%）
周围剂量当量率常数(裸源)	$0.0165 \mu \text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$



图9-3 籽粒源及储存铅罐示意图

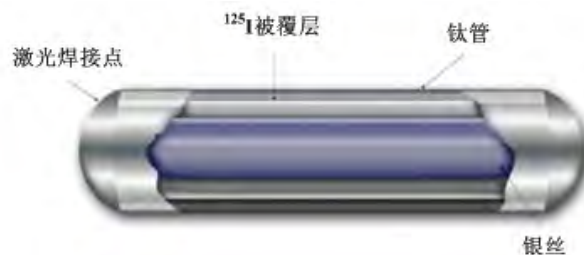


图9-4 I-125粒子结构示意图

9.4.2 籽粒源操作流程

承装 I-125 粒籽源铅罐平时贮存在辐照中心一层放射源暂存库中, I-125 粒籽源最大活度为 $1.85\text{E}+8\text{Bq}$ 。

实验过程中, 人员大部分时间在控制室进行信号测量, 籽粒源放置于有 I-125 低剂量率近距离治疗参考空气比释动能率标准实验室的实验区进行实验, 每次实验使用 1 颗籽粒源, 每年最多使用 12 颗籽粒源。具体操作流程为:

(1) 根据实验设计, 从厂家订购 I-125 籽粒源, 并要求厂家出厂前进行检漏。籽粒源送达实验室时, 核对数量后妥善保存在放射源暂存库中 (厂家送货时, 籽粒源储存在铅罐中)。

(2) 先对电离室漏电流进行测量。

(3) 工作人员穿 0.5mmPb 当量的铅衣, 领取带有铅罐的籽粒源, 然后使用镊子从铅罐取出籽粒源, 将其放置于标准井型电离室适配器, 再将标准适配器放入标准井型电离室中, 籽粒源呈 4π 方向照射, 操作距离 30cm , 操作时间大约 30s , 之后人员回到控

制室，远程进行测量。

(4) 标准井型电离室测量完毕，将籽粒源从标准适配器取出，再用镊子将籽粒源导入用户井型电离室适配器，再将用户适配器放入用户井型电离室中，开始测量。

(5) 用户电离室测量完毕后，取出籽粒源，将籽粒源放回储源罐。

(6) 将使用完带储源罐的籽粒源放回密封源暂存库内。

(7) 检测工作环境，书写本次记录和籽粒源使用情况，检查实验台、地面等，确保无籽粒源意外流失及表面污染。

9.4.3 正常工况的污染途径

1) ^{125}I 籽粒源在使用过程中，其衰变产生的 γ 射线对工作人员、公众和周围环境的贯穿辐射；

2) 使用后的 I-125 籽粒源，由供货商在下次供货时一并回收。

3) ^{125}I 籽粒源是密封的，使用过程中不会对标准井型电离室和转移工具造成放射性污染，故使用中不会产生放射性废物。

9.4.4 非正常工况的污染途径

1) 保管不当，发生遗失或被盜，可能造成环境放射性污染。

2) I-125 籽粒源遗失在实验室内，导致操作人员受到意外照射。

该事故工况可采用剂量率仪巡查找到籽粒源。一旦发现有籽粒源遗失，将采用剂量率仪寻找，确保籽粒源回收。此外，I-125 籽粒源为密封的辐射源，即使遗失在地面，也不会造成放射性表面污染，也不会产生放射性废气。

9.5 放射源暂存库

辐射安全所建设放射源暂存库，不会长期暂存密封源。暂存的放射源限于下列情景：

1) 暂存 ^{125}I 籽粒源：本项目使用的 ^{125}I 籽粒源，半衰期较长，可以使用一个月，在此期间暂存在源库内。

2) 后装机使用的 Ir-192 放射源，每年需要更换放射源。按照目前的废源运输模式，倒装下来的废旧放射源，大概需要暂存一周左右才能返回厂家。

3) 暂存辐射安全所将来使用的一些 IV 类和 V 类刻度源，以及部分豁免密封源。

4) 氦室搬迁到新址后安装期间，暂存 Ra-226 放射源。

本项目使用的 II 类 Co-60 密封源、III 类 Cs-137 密封源和 II 类中子源，以及“京环审〔2020〕125 号”批复使用的其他密封源，正常情况下不在放射源暂存库内暂存。新购上述密封源运抵研究所前，将事先联系好放射源倒装公司，待密封源到达研究所后，

当天即开展倒装工作。退役的放射源，也将提前联系好放射源运输公司，待倒装后马上启运，也不在源库内暂存。

9.5.1 正常工况的污染途径

- 1) 密封源在暂存过程中， γ 射线对工作人员、公众和周围环境的贯穿辐射；
- 2) 密封源暂存过程中，不产生放射性废物、放射性废水。Ra-226 放射源暂存时会有少量氦气产生。

9.5.2 非正常工况的污染途径

保管不当，发生遗失或被盜，可能造成环境放射性污染。

表 10 辐射安全与防护

10.1 γ 照射装置(1206b) 辐射安全与防护措施

1. 使用专用实验室，实验室建筑采取可靠的实体屏蔽，安装辐射屏蔽门，能够保证机房控制区外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，工作人员和公众的受照剂量满足剂量约束要求。

2. 工作场所实行分区管理，照射室为控制区，控制室为监督区。并在控制室入口和照射室入口门上方粘贴分区标识。

3. 安全联锁：防护门与放射源升降源装置联锁：只有照射室门关好，按下控制台上的“出源按钮”， γ 放射源才可以到达照射位置。若照射过程中打开了照射室门，放射源迅速返回贮存位置。

4. 工作指示灯：实验室防护门外上方安装红、绿、黄三色指示灯；另外，该设备照射器上也设有三色指示灯。升源时，黄色报警灯工作；源到达工作位置，红色报警灯工作；当源收回到储源位置，绿色警灯工作。

5. 电离辐射警告标志：在实验室入口醒目位置设置电离辐射警告标志；在含源容器上粘贴“放射性警告标识”。

6. 急停按钮：在实验室南墙、北墙各设置 1 个急停按钮，控制室设 1 个急停按钮，另外，照射器上身设有 1 个急停按钮。在紧急情况下按下“急停按钮”，可以强迫放射源迅速返回贮存位置。

7. 声光报警装置：在实验室内安装一个声光报警装置，主要包括警铃和警示灯等，按下“出源按钮”，该装置发出声光报警信号。

8. 隔室遥控操作，控制台上设有“照射中”指示灯，照射过程中，持续点亮。

9. 固定式剂量监测系统：在实验室北墙及控制室内各设置 1 个固定式 γ 剂量率探头，在线监测实验室内和控制室内剂量率水平；在控制室设有剂量报警仪，在线显示实验室剂量率水平。照射室内 γ 剂量率探头和防护门联锁，一旦剂量率高于设定的阈值 ($2.5\mu\text{Sv/h}$) 时，剂量率仪警示灯自动亮起，且防护门将无法打开。

10. 在线视频监控系统：在实验室内设置 4 个摄像机，实时监控实验室情况，便于操作人员在控制室监视照射室内是否有人滞留等。

11. 巡检按钮：在实验室内与防护门相对的墙上设巡检按钮 1 个，只有按下该按钮，并在规定时间内关闭防护门，升源联锁才能建立。

12. 门控按钮：在实验室防护门内侧设有 1 个紧急开门按钮，在防护门外设置 1 个开、关门按钮。

13. 实验室内设置 2 个红外移动侦测接收器，该接收器未侦测到红外信号，才能满足升源联锁。照射过程中，一旦该器侦测到红外信号，立刻报警并触发联锁系统，将放射源回到储存位。

14. 防护门内设有红外门障系统。当人体阻挡到探头发出的红外线后会触发报警信号，报警信号送至控制台，由控制台发出指令控制放射源迅速回到储存位置；

15. 通风系统：实验室设有通风系统，换气次数为 4 次/h，通风管道在地下按“U”形方式穿墙，并避开主束；通风系统换气次数不少于 4 次/h，进风口与排风口位置为对角设置，确保室内空气充分交换。

16. 防盗双人双锁：放射源所在实验室防护门外为控制室，进入控制室的门设有防盗门，双人双锁管理，可防止放射源被盗；

17. 手动回源装置：该设备的放射源开关控制系统配有手动机械复位应急装置。如果发生卡源事故，工作人员依照应急预案进入机房，通过手动机械复位应急按钮，使放射源回到储存位置。

18. γ 照射装置场所配置 2 台个人剂量报警仪，供操作人员进入照射室时佩戴。

19. 紧急回源控制系统：照射期间控制台上中断按钮被按下；照射期间控制台上紧急降源按钮被按下；照射期间停电（由 UPS 供电完成降源操作）；照射期间防护门打开；照射期间照射室内紧急开门按钮或紧急停止按钮被按下；照射期间红外移动侦测接收器发现移动人员；防护门内红外门障系统被触发。上述情况下紧急回源控制系统将放射源自动返回贮存位。

20. 系统具备错误自检及报警功能，实时进行状态检查。系统工作不正常时，将报警并限制升源操作。

21. 工作场所采取安保措施

参照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）的相关要求， γ 照射装置实验室按照“二级风险等级”采取防范措施：

- ①实验室拟设专人管理，实验室控制室入口门设为防盗门，并实行双人双锁管理；
- ②实验室内安装入侵报警技术防范系统，设置两种（含）以上不同探测原理的探测报警装置；
- ③安装视频监控装置，视频监控图像传至远程监控中心。

安全联锁逻辑图见图 10-1。

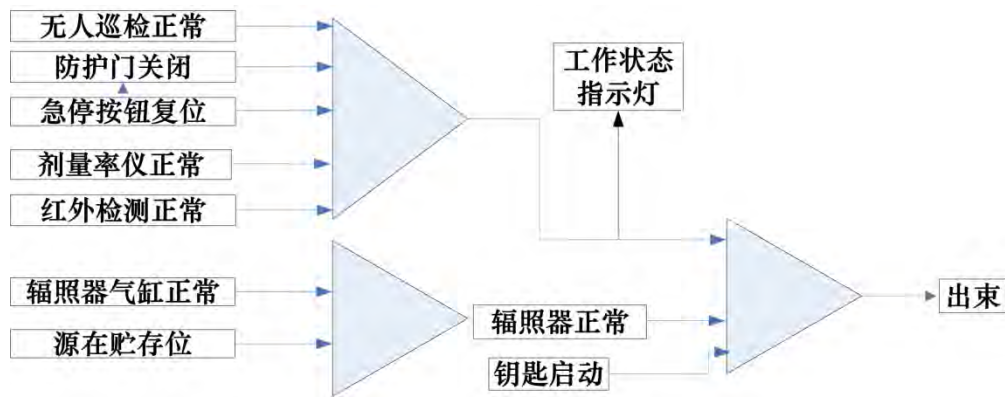


图10-1 γ 照射装置安全联锁逻辑系统示意图

γ 照射装置辐射安全与防护设施设置位置示意图见图 10-2。

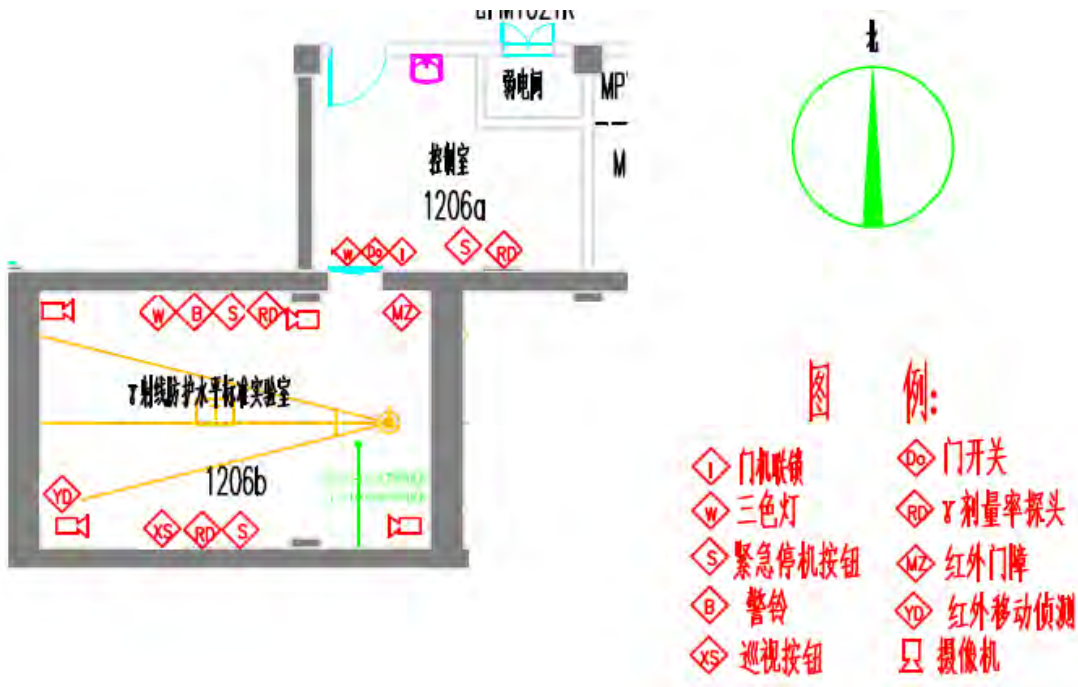


图10-2 γ 刻度装置机房辐射安全设施设置示意图

根据生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序（2020版），表10-1列出了 γ 源刻度场所的辐射防护措施对比情况。



图10-3 γ 照射装置实物照片

表10-1 γ 源刻度场所辐射防护措施对比情况

序号	项目	检查内容	是否设置	备注
1*	场所 设施	入口电离辐射警示标志	√	在入口处门上贴有电离辐射警示标志
2*		入口源工作状态显示	√	入口防护门上方设有三色工作状态指示灯
3*		防止非工作人员操作的 锁定开关	√	配有钥匙开关
4*		门与源联锁	√	防护门与放射源联锁
5*		门与辐射剂量联锁(I 类)	√	防护门与剂量率仪联锁
6*		刻度室监视设备	√	场所内设有视频监控系统
7*		迷道 (I 类)	√	/
8*		屏蔽防护	√	采用实体屏蔽
9*		防护门	√	设有防护门
10*		控制台紧急停止照射按 钮	√	控制台设有一个紧急停止照射按钮
11*		刻度室内紧急回源装置	√	设有紧急回源控制系统
12		通风设施	√	设有通风系统
13		灭火器材	√	干粉灭火器
14*			刻度室内固定式辐射监 测仪	√

15*	监测设备	便携式辐射监测仪	√	辐照中心公用 1 台 X/γ 剂量率仪
16		个人剂量报警仪	√	配备 2 台（新增 1 个，利旧 1 个）
17*		个人剂量计	√	每人配备一个

10.2 中子照射装置（1210b）辐射安全与防护措施

1. 使用专用实验室，实验室建筑采取可靠的实体屏蔽，安装辐射屏蔽门，能够保证机房控制区外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，工作人员和公众的受照剂量满足剂量约束要求。

2. 实行控制区和监督区分区管理。实验室机房内为控制区，相应控制室为监督区。并在控制室入口和照射室入口门上方粘贴分区标识。

3. 电离辐射警示标志：在机房入口醒目位置处张贴电离辐射警示标志和中文说明。在含源容器上粘贴“放射性警告标识”

4. 工作状态指示灯：红、绿、黄三色指示灯，升源时，黄色警示灯亮起；源到达工作位置，红色警示灯亮起；当源收回到储源位置，绿色警示灯亮起。

5. 设置门源联锁系统：防护门不关闭，放射源无法从贮存位到达照射位。反之，放射源在照射位时，防护门打开，系统自动将放射源返回至贮存位。

6. 声光报警装置：机房内设有 1 处声光报警装置，包括警铃和指示灯，并与装置出源状态关联，即放射源离开储源位时警铃响起且指示灯亮。

7. 配置固定式剂量监测系统：在实验室内墙上拟设置 1 个固定式中子剂量监测仪探头和 1 个固定式 γ 剂量监测仪探头，在线监测 n/γ 射线剂量率，剂量报警仪显示设置在控制室内，用来检测放射源是否处于工作状态。一旦剂量率高于设定的阈值（中子剂量率 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ）时，剂量率仪的警示灯自动亮起，且防护门将无法打开。

8. 隔室遥控操作，控制台上设有“照射中”指示灯，照射过程中，持续点亮。

9. 在线视频监控系统：在实验室机房内拟设置监控摄像头，至少设置 4 个摄像机探头，实时监控实验室内部，特别是是否有人员滞留情况。

10. 红外联锁系统：每间实验室拟设红外探测和红外门障系统，当检测到有人在实验室内停留或通过门口时，则红外联锁启动，保证在照射时降源或非照射时不能升源。

11. 急停按钮：在实验室内墙上至少设置 4 个急停按钮、控制台设置 1 个急停按钮，任何时候按下任一个急停按钮，可紧急降源。

12. 门控开关：在实验室防护门内侧设置 1 个紧急开门按钮；控制室墙上设 1 个

开、关门按钮。

13. 清场巡检按钮：实验室拟设置 2 个清场巡检按钮，确定实验室内没有人员停留，并在规定时间内（1min）内依次按下 2 个清场巡检按钮（西墙→东墙）才能满足升源条件，否则无法进行升源。每次打开防护门都要重新进行巡检，以确认实验室内没有人员停留。

14. 实验室设有通风系统，换气次数为 4 次/h，通风管道在地下按“U”形方式穿墙，并避开主束；通风系统换气次数不少于 4 次/h，进风口与排风口位置为对角设置，确保室内空气充分交换。

15. 防夹功能：防护门为电动平移门，具有防夹人保护功能。

16. 新增配备 1 台中子巡检仪、2 台直读式中子个人剂量计，辐射工作人员操作仪器时将佩戴个人剂量计和直读式中子个人剂量计。

17. 放射源运输和倒源均由有资质的单位负责。放射源由具有资质的运输单位使用专门运输容器运送至现场，由有资质第三方专业技术人员将放射源倒入工作容器中。研究所做好放射源倒源以及维修过程中安全保卫工作，避免放射源被盗、丢失。

18. 废旧放射源处理：废旧的放射源由生产厂家负责回收，辐射安全所将与放射源生产厂家签订回收协议。

19. 工作场所采取安保措施

参照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）的相关要求，间实验室按照“二级风险等级”采取防范措施：

① 实验室拟设专人管理，实验室控制室入口门设为防盗门，并实行双人双锁管理；

② 实验室内安装入侵报警技术防范系统，设置两种（含）以上不同探测原理的探测报警装置；

③ 安装视频监控装置，视频监控图像传至远程监控中心。

20. 紧急回源控制系统：照射期间控制台上中断按钮被按下；照射期间控制台上紧急停止按钮被按下；照射期间停电（UPS 供电）；照射期间防护门打开；照射期间照射室内紧急开门按钮或紧急停止按钮被按下；照射期间红外探测和红外门障系统报警。上述情况放射源自动返回贮存位。

21. 系统有 UPS 供电，保障旋转屏蔽门关闭，多级气缸由带有储气罐的气泵自动启动供气，电控气阀处于常闭状态功能，保障自动回位功能。

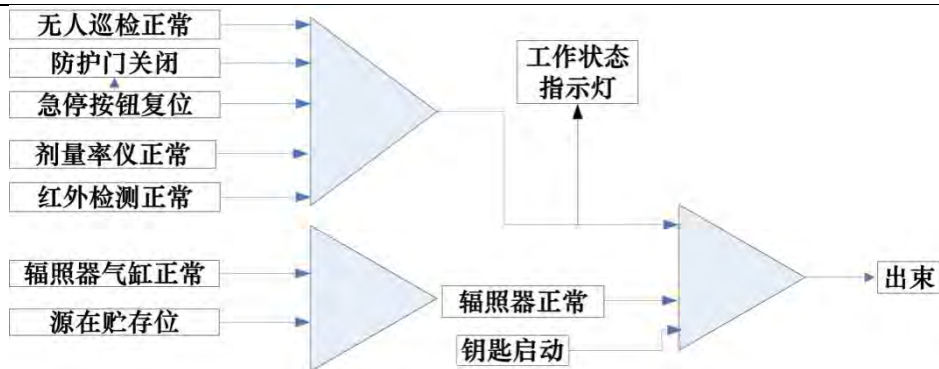


图10-4 中子照射装置安全联锁逻辑系统示意图

中子照射装置辐射安全与防护设施布置示意图图 10-5。

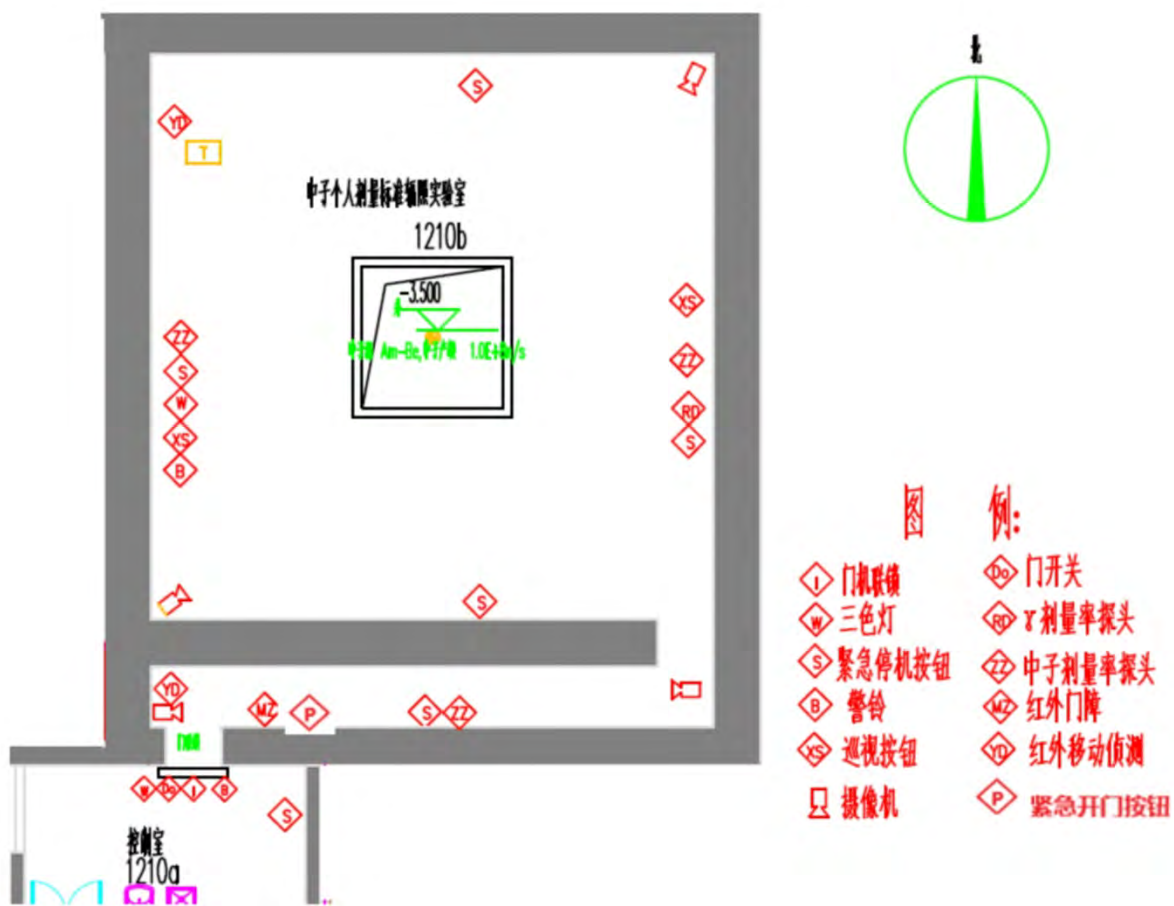


图10-5 中子照射装置辐射安全设施设置示意图

根据生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序（2021版），表10-2列出了中子照射装置场所的辐射防护措施对比情况。

表10-2 中子照射装置场所的辐射防护措施对比情况

序号	项目	检查内容	是否设置	备注
1*	场所	入口电离辐射警示标志	√	在入口处门上贴有电离辐射警示标志

2*	设施	入口源工作状态显示	√	入口防护门上方设有三色工作状态指示灯
3*		防止非工作人员操作的锁定开关	√	配有钥匙开关
4*		门与源联锁	√	防护门与放射源联锁
5*		门与辐射剂量联锁(I类)	√	防护门与剂量率仪联锁
6*		刻度室监视设备	√	场所内设有视频监控系统
7*		迷道(I类)	√	/
8*		屏蔽防护	√	采用实体屏蔽
9*		防护门	√	设有防护门
10*		控制台紧急停止照射按钮	√	控制台设有一个紧急停止照射按钮
11*		刻度室内紧急回源装置	√	使用场所内设有紧急停止按钮
12		通风设施	√	设有独立的通风系统
13		灭火器材	√	干粉灭火器
14*		监测设备	刻度室内固定式辐射监测仪	√
15*	便携式辐射监测仪		√	配备1台中子巡检仪,公用1台 γ 剂量率
16	个人剂量报警仪		√	场所配备1台
17*	个人剂量计		√	每人配备1个

10.3 中能X射线装置(1205b)辐射安全与防护措施

- (1) 设置专用房间,场所分区管理,X射线刻度室为控制区,控制室为监督区。
- (2) 在刻度室防护门上方设置工作状态指示灯,门上粘贴明显的放射性警告标识和中文警示说明。
- (3) 设置门机联锁装置,防护门未关闭,射线装置不能出束。射线装置出束时打开防护门,X射线机将自动停止出束。
- (4) 配备1台固定式辐射剂量监测系统并与防护门联锁,一旦剂量率高于设定的阈值($2.5 \mu\text{Sv/h}$)时,警示灯自动亮起,且防护门将无法打开,防止人员误入刻度室。
- (5) 设置闭路监视系统。
- (6) 刻度室配备具备新风功能的空调系统,保证刻度室空气及时更新,防止臭氧和氮氧化物等有害气体累积。
- (7) 在刻度室四周墙壁上设置4个、控制台上设置1个紧急停止按钮,照射期间按下紧急停止按钮,设备将停止出束;在刻度室出入口门内安装紧急开门按钮。

(8) 建立辐射安全培训管理制度，工作人员须经过辐射安全与防护培训、考核，合格后持证上岗。

(9) 配置 1 台个人剂量报警仪。

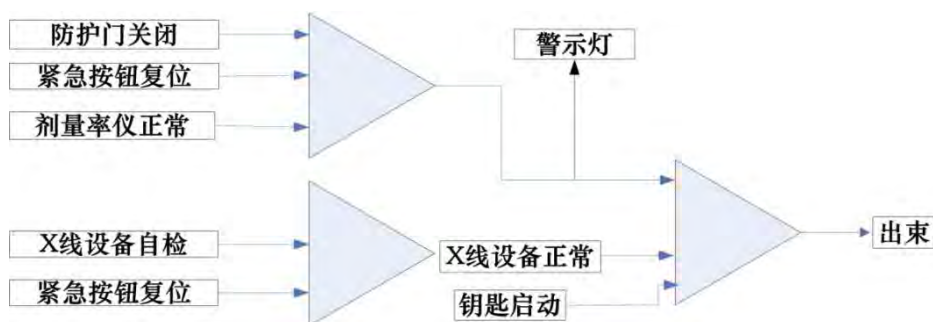


图10-6 中能X射线装置安全逻辑系统

中能 X 射线装置门机联锁、急停按钮、视频监控、在线监控探头、声光报警装置等安装位置示意图见图 10-7。

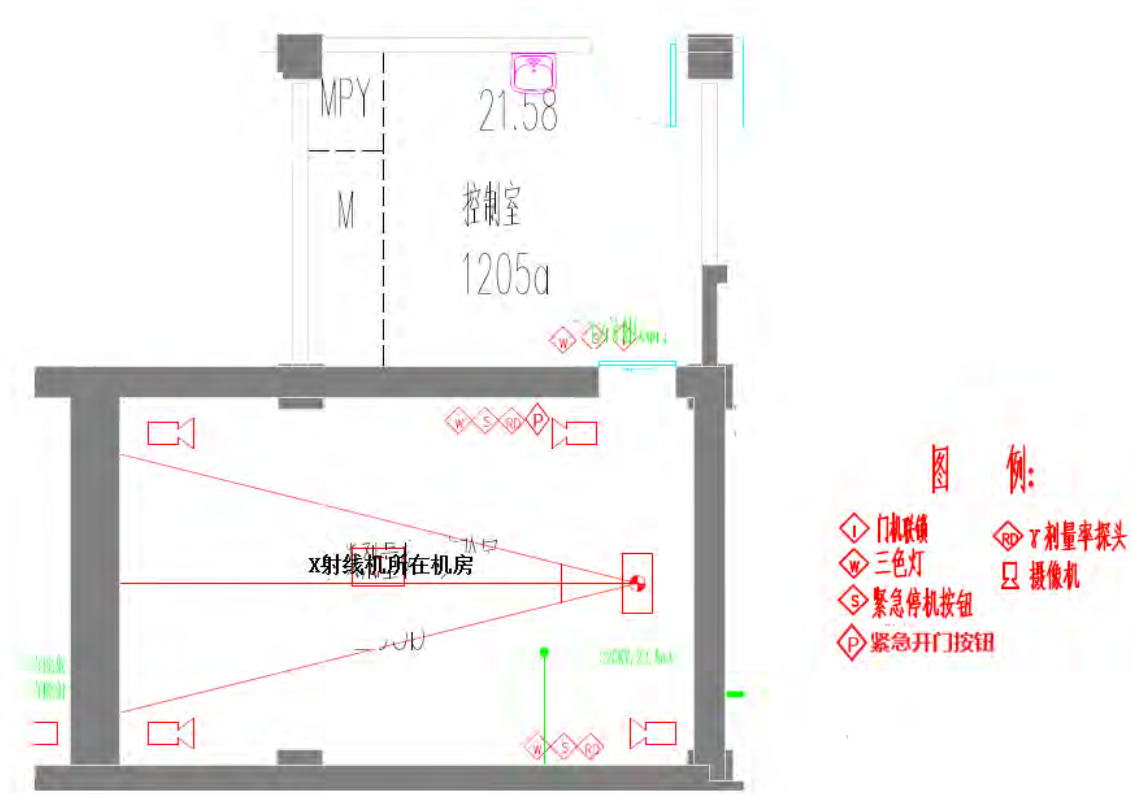


图10-7 中能X射线装置机房辐射安全设施设置示意图

根据生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序（2021 版），表 10-3 列出了中能 X 射线机使用场所的辐射防护措施对比情况。

表10-3 中能X射线机使用场所的辐射防护措施对比情况

序号	项目	检查内容	是否设置	备注
1*	场所设施	入口电离辐射警示标志	√	入口处防护门外面设有电离警告标志
2*		入口机器工作状态显示	√	入口处防护门上方设置设备工作状态指示灯
3		隔室操作	√	设单独控制室，隔室操作。
4		迷道	×	可无迷道
5*		防护门	√	设防护门
6*		控制台有钥匙控制	√	控制台设有钥匙控制
7*		门机联锁系统	√	设置门机联锁系统
8*		照射室内监控设施	√	使用场所使用视频监控系统
9		通风设施	√	设通风系统
10*		照射室内紧急停机按钮	√	机房内设置4个急停按钮
11*		控制台上紧急停机按钮	√	控制台上设1个急停按钮
12*		出口处紧急开门开关	√	出口处设紧急开门按钮
13*		准备出束声光提示	√	机房内设准备出束警铃和灯光
14*	B 场所设施	控制台有钥匙控制	×	不适合本项目
15*	(移动式)	控制台上紧急停机按钮	×	不适合本项目
16*		声光报警	×	不适合本项目
17*		警戒线及警示标志	×	不适合本项目
18*	监测设备	便携式辐射监测仪	√	辐照中心公用1台
19*		个人剂量报警仪	√	配备1台
20*		个人剂量计	√	每人1个
21	D 应急物资	灭火器材	√	设灭火系统

10.4 I-125籽粒源操作场所（2206b）辐射安全与防护措施

1. 设置专用房间，场所分区管理，实验室为控制区，控制室为监督区。
2. 操作人员配备个人防护用品有铅衣(含铅0.5mm)。
3. 建立 ^{125}I 籽粒源订购和使用台帐。
4. 配置1台多功能辐射监测仪，检查实验室地面，确保 ^{125}I 籽粒没有遗留在实验室内。
5. 籽粒源应妥善管理。使用前应贮存在密封源暂存库内。使用后再转移至密封源暂存库内。报废的籽粒源交由籽粒源供货单位回收处理。
6. 在实验室门上粘贴放射性警告标识和中文警示说明。门上方设置工作状态指示

灯，并采取门灯联锁措施。

7. 建立辐射安全培训管理制度，工作人员须经培训、考核，合格后持证上岗。

8. 所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计。

9. 实验室配备手电筒、放大镜和镊子，用于捡拾遗漏的 I-125 籽粒源。

10.5 对《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的满足情况

原环保部 2011 年第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用放射性同位素和射线装置的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与“18 号令”要求的对照评估如表 10-4 所示。

表10-4 安全和防护能力对照评估情况

安全和防护管理办法要求	单位情况	符合情况
第二章第五条：生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。	各放射性场所入口均设置明显的放射性标志，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁，以及工作状态指示灯。	落实 后符合
第二章第五条：射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	各放射性场所显著位置处设置电离辐射警告标识和中文警示说明、工作状态指示灯，设置门机联锁、急停按钮、巡检按钮、紧急开门按钮等，可防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射。	落实 后符合
第二章第五条：放射性同位素的包装容器、含放射性同位素的设备和射线装置，应当设置明显的放射性标识和中文警示说明；放射源上能够设置放射性标识的，应当一并设置。	使用场所门口显著位置处设置电离辐射警告标识和中文警示说明，以及在防护门上方设置工作状态指示灯。	落实 后符合
第二章第九条：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	研究所每年委托有资质单位进行 1 次射线装置工作场所和环境辐射水平监测，监测数据记录存档。	符合
第二章第十二条：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1	研究所将在每年 1 月 31 日前向生态环境主管部门提交年度评估报告。	符合

月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。		
第三章第十七条：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	研究所制定了辐射工作人员培训考核计划。研究所现有 47 名辐射工作人员，通过了辐射安全与防护考核，能够满足将来的工作需要。	符合
第三章第二十三条：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	所有辐射工作人员均要求佩戴 TLD 个人剂量计，研究所已委托有资质单位进行个人剂量检测，频度为每季度一次。	符合

10.6 对《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表 10-5 汇总列出了本项目对照《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》(原环保部令第 3 号，2008 年)对使用放射性同位素和射线装置单位要求的对应评估情况。

表10-5 项目执行“3号令”要求对照表

3 号令要求	项目单位情况	符合情况
第十六条（一）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。	研究所设立了辐射安全防护管理小组，负责全研究所辐射安全与防护工作的领导工作。有专人负责辐射安全与防护具体工作，部门内部职责明确。	符合
第十六条（二）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。	研究所制定了辐射工作人员培训考核计划。研究所现有 47 名辐射工作人员，均通过了辐射安全与防护考核，能够满足将来的工作需要。	符合
第十六条（三）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。	设有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库。	/
第十六条（四）放射性同位素与射线装置使用场所防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	各放射性场所显著位置处设置电离辐射警告标识和中文警示说明、工作状态指示灯，设置门机联锁、急停按钮、巡检按钮、紧急开门按钮等，可防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射。	落实后符合

第十六条（五）配备必要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。	本项目中子照射装置、 γ 照射装置和X射线装置场所均新增设置固定式剂量率仪、个人剂量报警仪。辐照中心公用1台便携式 γ 剂量率和1台中子当量率仪。籽粒源操作场所配置1台表面污染仪和1件0.5mmPb的铅衣。	落实后符合
第十六条（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、台帐管理制度、培训计划和监测方案。	研究所制定了一系列的规章制度，如岗位职责、操作规程、台帐管理制度、个人剂量及健康管理制度、人员培训考核规定、辐射监测方案、辐射防护和安全防护制度。此外，研究所还针对可能发生的放射性丢失、场所放射性污染和大剂量照射制定了应急预案，能够满足管理要求。	符合
第十六条（七）有完善的辐射事故应急措施。	研究所针对可能发生的辐射事故（件）制定了应急预案。	符合
第十六条（八）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。	本项目无放射性“三废”产生。废源由放射源生产厂家负责回收，废I-125籽粒源将转移到放射源暂存库暂存，最终由供货厂家回收。	不涉及

10.7 三废的治理

（1）放射性废气、放射性废水

本项目运行过程中不产生放射性废气和放射性废水。

（2）放射性固体废物

本项目使用的放射源，使用一段时间后经衰变其强度降低，应换装新源，换下的废源由放射源生产厂家负责回收（辐射安全所承诺与购买放射源的厂家签订废源回收协议）。

（3）废I-125籽粒源将转移到放射源暂存库暂存，最终由厂家回收。

表 11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

本项目场地建设过程中的环境影响，已在疾控中心建设项目中涉及，具体见附件 4 建设阶段环评批复（昌环审字（2019）35 号），故本项目不作具体评价。

11.2 设备运行（使用）后对环境的影响

11.2.1 γ 照射装置（辐照中心南侧建筑物一层 1206b 房间）环境影响分析

(1) 使用场所的平面布局和屏蔽设计

γ 照射装置刻度室位于辐照中心南侧建筑物一层 1206b 房间，其东侧相邻中能 X 射线剂量标准实验室，南侧为楼外空地，西侧相邻男、女卫生间，北侧相邻双源生物辐照实验室。楼上为 γ 射线环境剂量水平标准实验室，下面为地下土层。

拟建 γ 照射装置的平面布局图见图 11-1 所示。

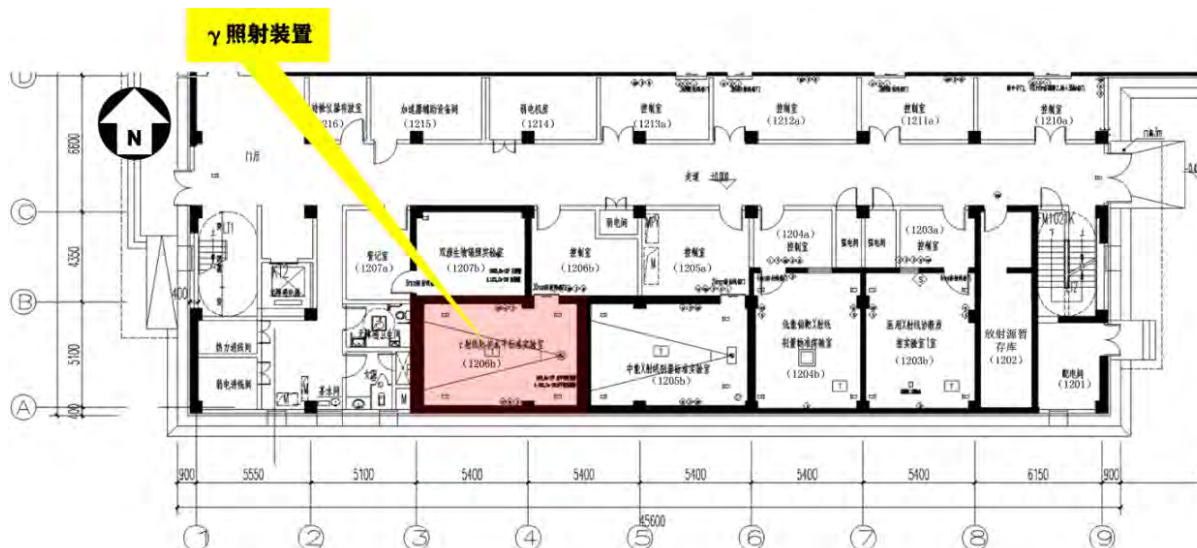


图11-1 辐照中心南侧建筑物一层平面和 γ 照射装置布局示意图

表11-1 γ 射线防护水平标准实验室（1206b房间）屏蔽设计

墙体（普通混凝土），mm				屋顶（普通混凝土），mm	铅防护门
东墙	南墙	西墙	北墙		
650	400	650	400	400	40mmPb

(2) 使用规划

1. 校准类设备（如电离室、剂量当量仪、报警仪）：摆位与测距等前期准备约需 20 分钟。正式校准时，每台设备通常测量 3 至 5 个剂量点，每台设备校准出束时间累计约 15 分钟。

2. TLD 照射：前期准备工作（摆位、测距）约需 20 分钟。出束时间则根据目标照射剂量灵活调整，通常在 1 至 60 分钟之间浮动。

根据以往工作经验，平均每天出束时间约 1h，摆放样品时间约 2h。全年保守按 250 天计，年出束时间约 250h，摆放样品时间约 500h。

(3) 拟使用的放射源和照射器屏蔽设计

该实验室拟使用多源准直照射器，内置 1 枚 III 类 Cs-137 密封源（活度为 5Ci）、1 枚 III 类 Co-60 密封源（活度为 10Ci）和 1 枚 III 类 Am-241（2Ci），照射器的铅屏蔽厚度不低于 24cm，根据表 11-2 估算结果，照射器表面 5cm 处的剂量率为 1.34E+00 μSv/h，满足该设备关机时表面 5cm 处剂量率不大于 25 μSv/h 的要求；1m 人员可达处的剂量率为 7.32E-02 μSv/h，同样满足不大于 2.5 μSv/h 的剂量率要求。

表11-2 照射器表面剂量率估算结果

放射源	装源活度 (Bq)	剂量率转化系数 (μSv/h · MBq ⁻¹ · m ⁻²)	裸源 1m 处剂量率 (mSv/h)	铅屏蔽厚度 (mm)	TVL (mm)	表面 5cm 处剂量率 (μSv/h)	30cm 处剂量率 (μSv/h)	1m 处剂量率 (μSv/h)
⁶⁰ Co	3.7E+11	3.04E-01	112	240	40	1.34E+00	3.86E-01	7.32E-02
¹³⁷ Cs	1.85E+11	7.79E-02	14.4	240	24	3.69E-07	1.06E-07	2.02E-08
²⁴¹ Am	7.4E+10	4.36E-06	3.23E-4	240	<1	3.84E-280	1.11E-280	3.84E-280

(4) 刻度室周围的辐射水平估算

由于该 γ 照射装置带有限束准直器，因此，依照窄束 γ 射线在物质中的衰减规律，依据公式 (1) 求得放射源主束方向距离放射源 1m 处的剂量率水平。

$$D_0 = \frac{A \cdot \Gamma}{R^2} \quad (1)$$

式中：D₀ 为距离裸源 1m 处的剂量当量率，Sv/h，数值见表 11-2；R 为距放射源 1.0m 的距离，m；A 为放射源的活度；Γ 为放射性核素的照射剂量率常数。

散射 γ 光子的能量可按康普顿散射定律公式 (2) 进行计算：

$$E_1 = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{0.511}(1 - \cos \theta)} \quad (2)$$

其中，E₁：散射线的能量 (MeV)；E₀：入射线的能量 (MeV)；θ：散射角，为散射方向与入射方向的夹角。

依照公式 (3) 计算机房泄漏辐射和有用束所致周围关注点的剂量率：

$$\dot{D} = \frac{\dot{D}_0}{R^2} \times K \quad (3)$$

式中： \dot{D} 为评估点的附加剂量率，mSv/h； \dot{D}_0 为主束距靶点 1m 处的剂量率，mSv/h； R 为辐射源距离评估点的距离，m； K 为透射系数。

$$K = 10^{-\frac{h/\cos\theta}{TVL}} \quad (4)$$

式中： h 为屏蔽物厚度（cm）； θ 为射线对屏蔽墙的入射角， TVL 为十分之一衰减厚度（cm）。

散射辐射附加剂量率采用公式（5）计算：

$$H_{sca} = \frac{B \cdot \alpha(\theta) \cdot H_0 \cdot F}{(d_{sca} d_0)^2} \quad (5)$$

式中： \dot{H}_{sca} 为评估点的附加剂量率； B 为屏蔽衰减系数， $\alpha(\theta)$ 为以不同角度散射时的散射系数； \dot{H}_0 为主束距靶点 1m 处的剂量率，mSv/h； F 为有用束照射位置的射野面积， m^2 ； d_0 为靶点至工件的距离，m， d_{sca} 为散射点到关注点的距离，m。

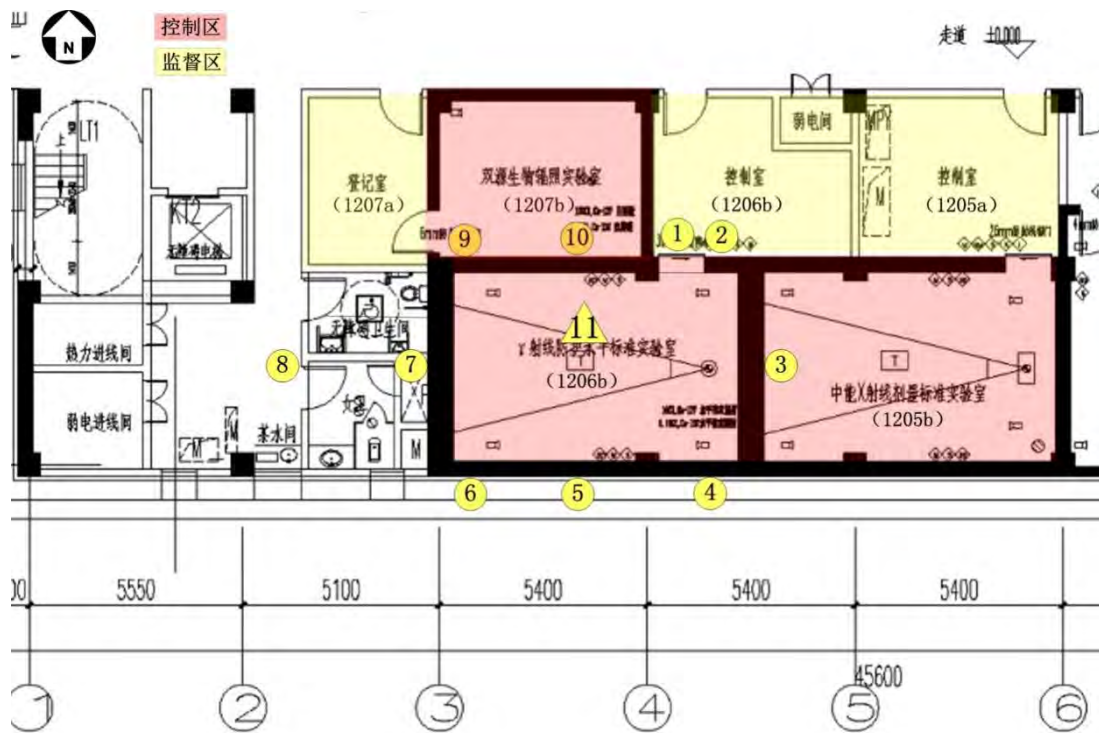


图11-2 γ 照射装置估算点位示意图

从表 11-2 可以看出，本项目使用的 Co-60 放射源活度高于 Cs-137，且 Co-60 衰变产生的 γ 射线能量高，穿透能力强，故以 Co-60 为源项估算场所周围贯穿辐射所致的附加剂量率。

表11-4 主束、泄漏辐射剂量率贡献估算结果

点位	位置	射线束和照射角度	屏蔽材料厚度	距离(m)	TVL(mm)	透射系数	附加剂量率(μ Sv/h)
1	北侧防护门外	泄漏辐射(0°入射)	40mmPb	3.3	40	1.00E-01	1.03E+00
2	北侧控制室	泄漏辐射(0°入射)	400mm 砼	3.2	218	1.46E-02	1.61E-01
3	东侧X射线装置实验室	泄漏辐射(0°入射)	650mm 砼	1.7	218	1.04E-03	4.06E-02
4	南侧墙外(室外)	泄漏辐射(0°入射)	400mm 砼	3.0	218	1.46E-02	1.83E-01
5	南侧墙外(室外)	泄漏辐射(45°入射)	400mm 砼	4.6	218	2.56E-03	1.36E-02
6	南侧墙外(室外)	泄漏辐射(60°入射)	400mm 砼	7.0	218	2.14E-04	4.91E-04
7	西侧卫生间	主束(0°入射)	650mm 砼	7.7	218	1.04E-03	1.98E+00
8	西侧茶水间	主束(0°入射)	650mm 砼	11.0	218	1.04E-03	9.70E-01
9	北侧双源生物辐照实验室	泄漏辐射(60°入射)	400mm 砼	7.2	218	2.14E-04	4.64E-04
10	北侧双源生物辐照实验室	泄漏辐射(45°入射)	400mm 砼	4.8	218	2.56E-03	1.25E-02
11	顶部 γ 射线环境剂量水平标准实验室	泄漏辐射(0°入射)	400mm 砼	4.4	218	1.46E-02	8.50E-02

注：Co-60有用束剂量率 112mSv/h，泄漏辐射取有用束 0.1%。楼层高度 5.4m。

表11-5 散射辐射剂量率贡献估算结果

点位	散射来源	入射距离(m)	散射角(°)	散射面积(m ²)	散射因子(%)	散射距离(m)	散射线入射角度(°)	屏蔽材料厚度(mm)	TVL(mm)	衰减系数	附加剂量率(μ Sv/h)
1	受检仪器	1	90	0.22	3.8	3.0	0	40mmPb	10.5	1.39E-03	1.61E-03
	屏蔽墙	6.6	150	10	3.8	6.1	30	600 砼	90	2.00E-08	5.26E-08
2	受检仪器	1	120	0.22	3.8	2.9	0	400 砼	100	1.00E-04	1.11E-03
	屏蔽墙	6.6	150	10	3.8	7.4	30	400 砼	90	7.38E-06	1.32E-05
3	受检仪器	1	180	0.22	3.8	1.7	0	650 砼	90	5.99E-08	1.94E-06
	屏蔽墙	6.6	180	10	3.8	8.0	0	650 砼	90	5.99E-08	9.15E-08
4	受检仪器	1	120	0.22	3.8	2.8	0	400 砼	100	1.00E-04	1.19E-03
	屏蔽墙	6.6	150	10	3.8	7.3	60	400 砼	90	1.29E-09	2.37E-09
5	受检仪器	1	60	0.22	5.5	4.5	45	400 砼	150	1.69E-04	1.13E-03
	屏蔽墙	6.6	135	10	3.8	4.2	45	400 砼	100	2.20E-06	1.22E-05
6	受检仪器	1	30	0.22	6.5	6.8	60	400 砼	200	1.00E-04	3.46E-04
	屏蔽墙	6.6	90	10	3.8	2.8	0	400 砼	120	4.64E-04	5.78E-03
7	散射份额远低于有用束										
8	散射份额远低于有用束										

9	受检仪器	1	30	0.22	6.5	7.0	60	400 砘	200	3.16E-07	3.27E-04
	屏蔽墙	6.6	90	10	3.8	2.9	0	400 砘	120	4.64E-04	5.39E-03
10	受检仪器	1	60	0.22	5.5	4.6	45	400 砘	150	1.69E-04	1.08E-03
	屏蔽墙	6.6	135	10	3.8	4.3	45	400 砘	100	2.20E-06	1.16E-05
11	受检仪器	1	60	0.22	5.5	4.6	45	400 砘	150	1.69E-04	1.08E-03
	屏蔽墙	6.6	150	10	3.8	4.6	45	400 砘	90	5.18E-07	2.39E-06

注：Co-60 有用束剂量率 112mSv/h

表11-6 刻度室周围泄漏辐射和散射辐射的合并结果

点位编号	具体位置	泄漏辐射附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	合计 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	北侧防护门外	1.03E+00	1.61E-03	1.03E+00
2	北侧控制室	1.61E-01	1.13E-03	1.62E-01
3	东侧 X 射线装置实验室	4.06E-02	2.03E-06	4.06E-02
4	南侧墙外(室外)	1.83E-01	1.19E-03	1.84E-01
5	南侧墙外(室外)	1.36E-02	1.15E-03	1.48E-02
6	南侧墙外(室外)	4.91E-04	6.13E-03	6.62E-03
7	西侧卫生间	1.98E+00	/	1.98E+00
8	西侧茶水间	9.70E-01	/	9.70E-01
9	北侧双源生物辐照实验室	4.64E-04	5.72E-03	6.18E-03
10	北侧双源生物辐照实验室	1.25E-02	1.10E-03	1.36E-02
11	顶部 γ 射线环境剂量水平标准实验室	8.50E-02	1.09E-03	8.61E-02

估算结果可见， γ 照射装置周围的最大附加剂量率为 1.98E+00 $\mu\text{Sv/h}$ （点位 7，管道井和卫生间，有用束照射区域），其次为防护门外（1.03E+00 $\mu\text{Sv/h}$ ），均满足本项目设定的 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。本评价采用点源保守模式评价，未考虑密封源自身屏蔽，实际运行时，实测附加剂量率一定低于评价结果。

(5) 工作人员和公众年受照剂量估算

1) 公众年受照剂量

表11-7 γ 照射装置所致公众年受照剂量估算

编号	位置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束时间 (h)	居留因子	受照剂量 (μSv)
3	东侧 X 射线装置实验室	4.06E-02	250	1/16	6.34E-01
4	南侧墙外(室外)	1.84E-01	250	1/16	2.88E+00
5	南侧墙外(室外)	1.48E-02	250	1/16	2.30E-01
6	南侧墙外(室外)	6.62E-03	250	1/16	1.03E-01
7	西侧卫生间	1.98E+00	250	1/16	3.09E+01
8	西侧茶水间	9.70E-01	250	1/16	1.52E+01
9	北侧双源生物辐照实验室	6.18E-03	250	1/16	9.66E-02
10	北侧双源生物辐照实验室	1.36E-02	250	1/16	2.13E-01
11	顶部 γ 射线环境剂量水平标准实验室	8.61E-02	250	1/16	1.35E+00

由表 11-7 可知，该装置运行所致的公众年受照剂量最大值为 30.9 μSv ，低于本报告设定的公众受照剂量约束值 0.1mSv/a，可见对周围公众的辐射影响是可以接受的。

2) 工作人员年受照剂量

工作人员受照剂量来自实验室内样品摆放以及控制室操作设备。

表11-8 γ 照射装置所致工作人员年受照剂量估算

编号	位置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束或摆 样时间 (h)	居留 因子	受照剂量 (μSv)
1	刻度室防护门外	1.18E+00	250	1/4	7.38E+01
2	控制室	1.62E-01	250	1	4.03E+01
3	样品码放 (照射器贡献)	3.34E-02	500	1	1.67E+01
4	样品码放 (东侧 X 射线装置贡献)	5.48E-01*	250	1	1.37E+02
合计					2.68E+02

注：*X射线装置剂量率估算结果见表11-14。

由表11-8可知，该装置运行所致的工作人员年受照剂量最大值为0.268mSv/a，低于本报告设定的职业受照剂量约束值2mSv/a，因此，该装置的运行对操作人员是安全的。

(6) 辐射所致有害气体

γ 照射装置使用 3 枚密封源，其中 Co-60 密封源活度为 3.7E+11Bq，Cs-137 密封源活度为 1.85E+11Bq，Am-241 活度为 7.4E+11Bq。Co-60 衰变过程中产生 γ 射线，能量为 1.17MeV 和 1.33MeV，平均能量为 1.25MeV。而 Cs-137 衰变过程中释出 γ 射线的能量为 0.662MeV，约为 Co-60 衰变能量的一半，且活度为 Co-60 的一半。而 Am-241 放射源活度最低且 γ 射线能量小于 0.02MeV。故以 Co-60 为例，估算 γ 射线所致有害气体的产生量。

1) 臭氧

依据王时进等人发表的“辐射所致臭氧的估算与分析”（中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期）给出的公式，估算辐射所致臭氧的产额和浓度。

①有用线束的 O_3 产额

采用公式 (6) 计算有用射线束所致 O_3 产额的公式：

$$P = 2.43 \dot{D}_0 (1 - \cos\theta) R G \quad (6)$$

式中： P 为 O_3 的产额，mg/h； \dot{D}_0 为辐射有用线束在距 1m 处的输出量，Gy/min； R 为射线束中心点到屏蔽物(墙)的距离，m； G 为空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子

数，文献估算时取值为 10； θ 为有用束的半张角。

②泄漏辐射的 O_3 产额

将泄漏辐射看成为 4π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑刻度室墙壁的散射线使室内的 O_3 产额增加 10%， O_3 的产额 P (mg/h) 为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \dot{D}_0 G V^{1/3} \quad (7)$$

本评价选取的有关参数如下： $\dot{D}_0 = 1.867E-3$ Gy/min； $R = 6.6$ m (最大值)； $\theta = +15^\circ / -15^\circ$ ； $G = 10$ ；刻度室容积 $V \approx 181$ m³ (7.4 m × 4.9 m × 5 m)。

根据公式 (6) 得出有用线束 $P = 0.01$ mg/h，根据公式 (7) 得出泄漏辐射的 $P = 3.5E-4$ mg/h。二项合计， $P_{\text{总}} = 1.04E-02$ mg/h。

③臭氧浓度

刻度室内的产生臭氧一部分由通风系统排到室外，另一部分自然分解。空气中臭氧的平均浓度可用式 (6) 计算。

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad (8)$$

式中： $Q(t)$ 为刻度室内 t 时刻臭氧的平均浓度，mg/m³； Q_0 为臭氧的辐射化学产额，mg/h； V 为刻度室的体积，m³； T 为有效清除时间，h。如果照射时间很长 ($t \gg T$)，则：

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} \quad (9)$$

若以 t_v 表示换气一次所需时间 h； t_d 表示臭氧的有效分解时间（取 0.83h），则有效清除时间为：

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (10)$$

正常通风时刻度室的换气次数达到 4 次/h，即 $t_v = 0.25$ h/次。由式 (10) 计算得 T 为 0.16h。当 $t \gg T$ 时，臭氧达饱和浓度，由式 (9) 得到在正常排风时刻度室内的臭氧浓度为 9.2×10^{-6} mg/m³，远低于工作场所中 O_3 浓度限值【《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)，浓度限值为 0.3 mg/m³】。

刻度室内臭氧通过排风系统由排气筒排放，经过大气的稀释和扩散作用其浓度进一步降低，远低于大气环境质量标准中 O_3 浓度限值【《环境空气质量标准》(GB3095-2026)，1h 平均浓度为 0.2 mg/m³】，对周围大气环境的影响十分轻微。

2) 氮氧化物

在多种氮氧化物 (NO_x) 中, 以 NO₂ 为主, 其产额约为 O₃ 的一半。工作场所中 NO₂ 的浓度限值 (GBZ2.1-2019, 浓度限值为 5mg/m³) 超出 O₃ 的 10 多倍, 环境空气中其浓度限值 (《环境空气质量标准》GB3095-2026), 1h 平均浓度为 0.2mg/m³) 与 O₃ 的浓度限值相同。因而, NO_x 的产生和排放对周围大气环境的影响很小。

11.2.2 中能 X 射线装置 (辐照中心南侧建筑物一层 1205B)

(1) 刻度室平面布局

中能 X 射线装置刻度室位于辐照中心南侧建筑物一层 1205B, 其东侧为低能钨靶 X 射线剂量标准实验室, 南侧为楼外空地, 西侧为 γ 射线防护水平标准实验室, 北侧为控制室, 楼上为预留的中能 X 射线实验室, 下面为土层。

中能 X 射线装置刻度室平面布局图见图 11-3 所示。

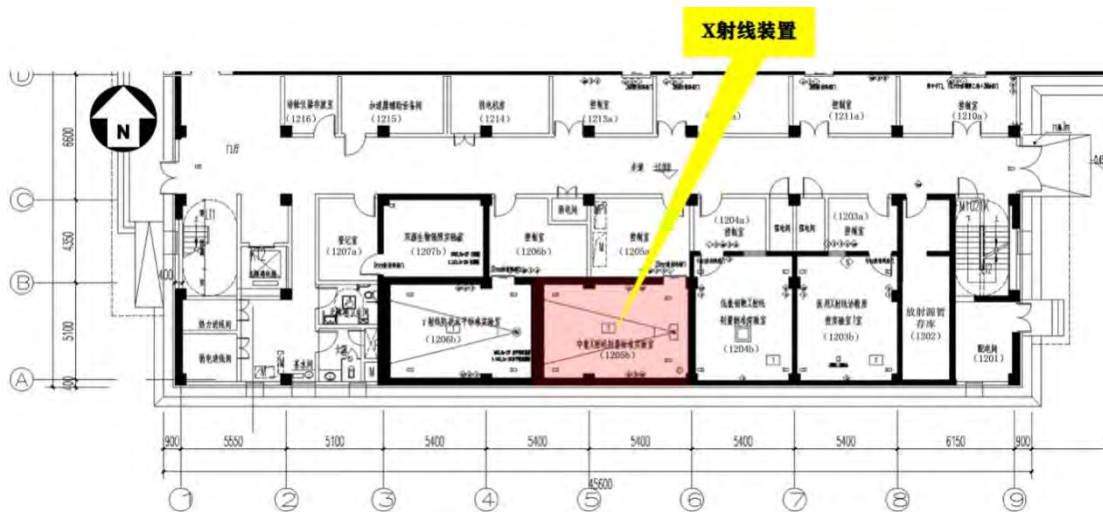


图11-3 中能X射线装置刻度室屏蔽设计示意图

表11-9 中能X射线装置 (1205b房间) 屏蔽设计

墙体 (混凝土), mm				屋顶 (混凝土), mm	机房门
西墙	南墙	东墙	北墙		
650	400	400	400	400	30mmPb

(2) 拟使用射线装置技术指标

该刻度室拟使用 1 台中能 X 射线机 (最大管电压 600kV, 最大管电流 2.5mA)。查 ICRP33 出版物, 采用插值法得出, 600kV 的 X 射线机 1m 处 X 射线输出量为 52.8mGy/(mA·min)。管电流为 2.5mA 时, 1m 处的最大辐射剂量率为 9.58Sv/h (依据《外照射放射防护剂量转换系数标准》表 G.1, 对 600kV 的 X 射线, 按 1Gy=1.21Sv 折算)。

(3) 设备使用规划

1. 校准设备（如电离室、剂量当量仪、报警仪）：摆位与测距等前期准备约需 20 分钟。正式校准时，每台设备通常测量 5 种线质，最大出束时间累计约 30 分钟（电离室校准采用累计读数，时间最长）。

2. 铅当量检测：摆位与测距等前期准备约需 10 分钟；每件样品至少测量 5 次，出束时间累计约 10 分钟。

3. TLD 照射：摆位与测距等前期准备约需 20 分钟；出束时间则根据目标照射剂量灵活调整，通常在 1 至 60 分钟之间浮动（X 射线照射 TLD 的工作相对较少）。

根据以往工作经验，平均每天出束时间约 1h，摆放样品时间约 2h。全年保守按 250 天计，年出束时间约 250h。

（4）机房周围的附加剂量率水平估算

1) 泄漏辐射

辐射屏蔽防护性能评价时，把 X 射线机的靶点视为点源。主束和泄漏辐射对刻度室外环境的附加剂量率采用前述公式（3）计算。

主束和泄漏辐射的什值层根据 ICRP 33 出版物，采用插值法得出。具体数值见表 11-10。

表11-10 主束和泄漏辐射屏蔽计算相关参数

射线类型	1m 处剂量率 (mSv/h)	什值层
600kV 主束	9580	铅 13.3mm 混凝土 125mm
600kV 泄漏辐射	5	

2) 散射辐射

散射辐射附加剂量率采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）给出的公式（11）计算：

$$\dot{D}_{\text{散射}} = \frac{\dot{D}_0}{R_x^2} \times K \times \frac{F \times \alpha}{R_0^2} \quad (11)$$

式中： $\dot{D}_{\text{散射}}$ 为评估点的附加剂量率； \dot{D}_0 为主束距靶点 1m 处的剂量率，mSv/h；F 为 R_0 处散射野面积 (m^2)； R_0 为靶点距离刻度样品的距离 (m)； R_x 为散射点距评估点的距离 (m)； α 为散射因子；K 为透射系数。

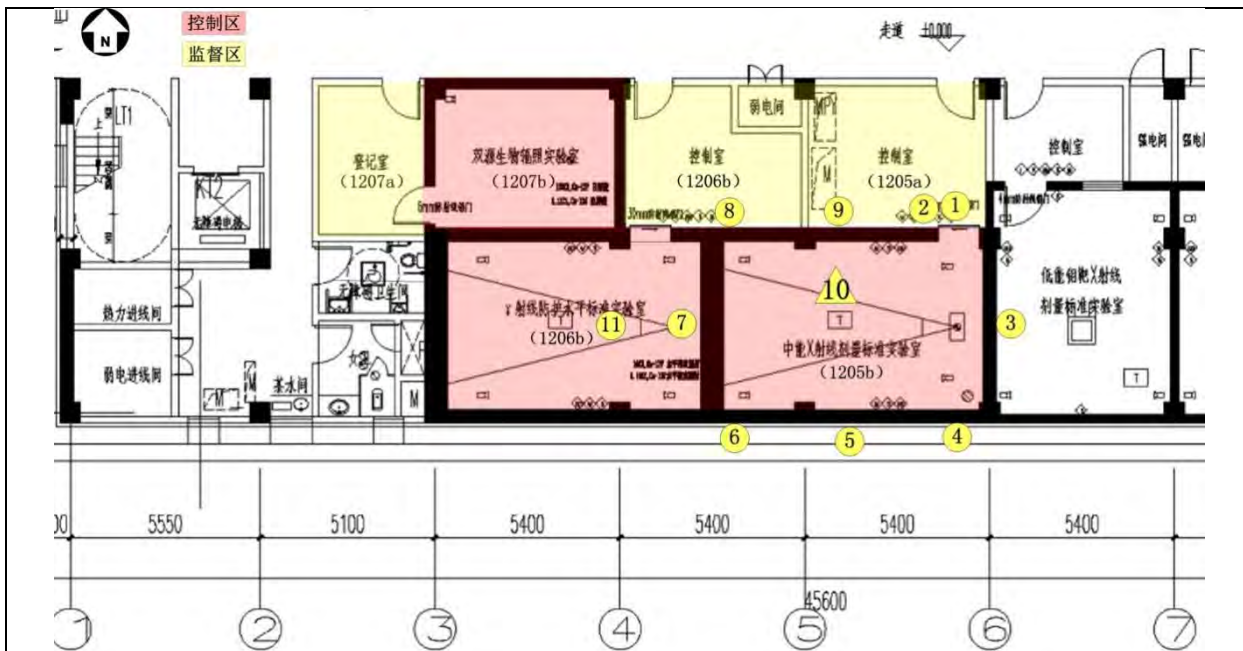


图11-4 中能X射线装置刻度室估算点位示意图

3) 附加剂量率水平

根据公式 (3) 和 (1), 计算得出探伤机管电压为 600kV 最大功率运行时, 刻度室周围的附加剂量率水平见表 11-12 和表 11-13 所示。

表11-12 主束、泄漏辐射剂量率贡献估算结果

点位	位置	射线束和照射角度	源强 (mSv/h)	屏蔽材料厚度	距离 (m)	TVL (mm)	透射系数	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	北侧防护门外	泄漏辐射 (0° 入射)	5	30mmPb+10mmPb	3.3	13.3	9.83E-04	4.51E-01
2	北侧X射线装控制室	泄漏辐射 (0° 入射)	5	400mm 砼+10mmPb	3.3	125	1.12E-04	5.13E-02
3	东侧钨靶X射线机房	泄漏辐射 (0° 入射)	5	400mm 砼+10mmPb	1.5	125	1.12E-04	2.48E-01
4	南侧墙外(室外)	泄漏辐射 (0° 入射)	5	400mm 砼+10mmPb	3.1	125	1.12E-04	5.81E-02
5	南侧墙外(室外)	泄漏辐射 (45° 入射)	5	400mm 砼+10mmPb	4.5	125	2.58E-06	6.36E-04
6	南侧墙外(室外)	泄漏辐射 (60° 入射)	5	400mm 砼+10mmPb	7.5	125	1.25E-08	1.11E-06
7	西侧γ照射装置机房	主束 (0° 入射)	9580	650mm 砼	7.8	125	6.31E-06	9.94E-01
8	γ照射装置控制室	泄漏辐射 (60° 入射)	5	400mm 砼+10mmPb	7.5	125	1.25E-08	1.11E-06
9	北侧X射线装控制室	泄漏辐射 (45° 入射)	5	400mm 砼+10mmPb	4.8	125	2.58E-06	5.59E-04
10	顶部预留中能X射线实验室	泄漏辐射 (0° 入射)	5	400mm 砼+10mmPb	4.4	125	1.12E-04	2.89E-02
11	γ照射装置场所样品摆放区	主束 (0° 入射)	9580	650mm 砼	10.5	125	6.31E-06	5.48E-01

注: 楼层高度 5.4m。X 射线装置罩 10mm 铅防护罩。

表11-13 散射辐射剂量率贡献估算结果

点	散射来	入射	散	散射	散射	散射	散射	屏蔽材	TVL	衰减系数	附加剂量
---	-----	----	---	----	----	----	----	-----	-----	------	------

位	源	距离 (m)	射角 (°)	面积 (m ²)	因子 (%)	距离 (m)	线入 射角 度 (°)	料厚度 (mm)	(mm)		率 (μSv/h)
1	受检仪器	1	90	0.027	8	3.3	0	30mmPb	5.7	5.46E-06	1.04E-03
	屏蔽墙	6.8	150	1.25	8	8.8	60	30mmPb	5.7	2.98E-11	7.96E-10
2	受检仪器	1	120	0.027	8	3.3	0	400 砘	90	3.59E-05	6.83E-03
	屏蔽墙	6.8	135	1.25	8	7.6	45	400 砘	90	5.18E-07	1.86E-05
3	受检仪器	1	180	0.027	8	2.4	0	650 砘	86	2.77E-08	9.94E-06
	屏蔽墙	6.8	180	1.25	8	8.3	0	650 砘	86	2.77E-08	8.32E-07
4	受检仪器	1	120	0.027	8	3.1	0	400 砘	90	3.59E-05	7.74E-03
	屏蔽墙	6.8	150	1.25	8	7.7	60	400 砘	86	4.99E-10	1.74E-08
5	受检仪器	1	60	0.027	13	3.9	45	400 砘	100	2.20E-06	4.87E-04
	屏蔽墙	6.8	135	1.25	8	5.2	45	400 砘	90	5.18E-07	3.97E-05
6	受检仪器	1	30	0.027	17	6.6	60	400 砘	120	2.15E-07	2.17E-05
	屏蔽墙	6.8	90	1.25	8	3.3	0	400 砘	100	1.00E-04	1.90E-02
8	受检仪器	1	30	0.027	17	6.5	60	400 砘	120	2.15E-07	2.24E-05
	屏蔽墙	6.8	90	1.25	8	3.0	0	400 砘	100	1.00E-04	2.30E-02
9	受检仪器	1	60	0.027	13	4.1	45	400 砘	100	2.20E-06	4.41E-04
	屏蔽墙	6.8	135	1.25	8	4.6	45	400 砘	90	5.18E-07	5.08E-05
10	受检仪器	1	60	0.027	13	4.6	45	400 砘	100	2.20E-06	3.50E-04
	屏蔽墙	6.8	150	1.25	8	4.6	45	400 砘	86	2.64E-07	2.59E-05

注：全张角 10.6°；

表11-14 刻度室周围泄漏辐射和散射辐射的合并结果

点位 编号	具体位置	泄漏辐射附加 剂量率(μSv/h)	散射辐射附加剂量 率(μSv/h)	合计(μSv/h)
1	北侧防护门外	4.51E-01	1.04E-03	4.52E-01
2	北侧 X 射线装控制室	5.13E-02	6.85E-03	5.82E-02
3	东侧钨靶 X 射线机房	2.48E-01	1.08E-05	2.48E-01
4	南侧墙外(室外)	5.81E-02	7.74E-03	6.58E-02
5	南侧墙外(室外)	6.36E-04	5.27E-04	1.16E-03
6	南侧墙外(室外)	1.11E-06	1.90E-02	1.90E-02
7	西侧 γ 照射装置机房	9.94E-01	/	9.94E-01
8	γ 照射装置控制室	1.11E-06	2.30E-02	2.30E-02
9	北侧 X 射线装控制室	5.59E-04	4.92E-04	1.05E-03
10	顶部预留中能 X 射线实验室	2.89E-02	3.76E-04	2.93E-02
11	γ 照射装置场所样品摆放区	5.48E-01	/	5.48E-01

估算结果可见，X 照射装置周围的最大附加剂量率为 9.94E-01 μSv/h（点位 7，γ

照射装置，有用束照射区域)，其次为防护门外 (4.52E-01 $\mu\text{Sv/h}$)，均满足本项目设定的 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

(5) 中能 X 射线装置所致公众和工作人员受照剂量估算

1) 公众年受照剂量

表11-15 中能X射线装置所致公众年受照剂量估算

编号	位置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束时间 (h)	最高点处 居留因子	受照剂量 (μSv)
3	东侧钨靶 X 射线机房	2.48E-01	250	1/4	1.55E+01
4	南侧墙外(室外)	6.58E-02	250	1/16	1.03E+00
5	南侧墙外(室外)	1.16E-03	250	1/16	1.81E-02
6	南侧墙外(室外)	1.90E-02	250	1/16	2.97E-01
8	γ 照射装置控制室	2.30E-02	250	1	5.75E+00
10	顶部预留中能 X 射线实验室	2.93E-02	250	1/4	1.83E+00
11	γ 照射装置场所样品摆放区	5.48E-01	250	1/4	3.43E+01

由表 11-15 可知，该装置运行所致的公众年受照剂量最大值为 34.3 μSv ，低于本报告设定的公众受照剂量约束值 0.1mSv/a，对周围公众的影响是可以接受的。上述估算是基于设备满功率运行，实际工作时，功率不足额定功率的 50%，预计周围公众受照剂量低于 20 μSv 。

2) 工作人员年受照剂量

工作人员受照剂量来自实验室内样品摆放以及控制室操作设备。

由表 11-16 可知，该装置运行所致的工作人员年受照剂量最大值为 0.063mSv/a，低于本报告设定的职业受照剂量约束值 2mSv/a，因此，该装置的运行对操作人员是安全的。

表11-16 中能X射线装置所致工作人员年受照剂量估算

编号	位置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束或摆 样时间 (h)	居留 因子	受照剂量 (μSv)
1	刻度室防护门外	4.52E-01	250	1/4	2.83E+01
2	控制室	5.82E-02	250	1	1.46E+01
3	样品码放 (西侧 γ 射线装置贡献)	4.06E-02*	250	1	2.03E+01
合计					6.31E+01

注：* γ 射线装置剂量率估算结果见表 11-6。

(6) 辐射所致有害气体

依据前节“辐射所致有害气体”相关公式计算 X 射线实验室运行时室内有害气体浓度，参数及计算结果见表 11-17，从计算结果可知该 X 射线装置运行时室内臭氧和氮氧化物均远小于《室内空气质量标准》(GB/T18883-2022) 中臭氧和氮氧化物的浓度限值，对工作人是安全的。

表11-17 X照射装置所在室内有害气体浓度的计算结果及计算参数

参数	$D_0, \text{Gy/min}$	V, m^3	R, m	\bar{T}, h	θ	$Q_0, \text{mg/h}$		$Q(t), \text{mg/m}^3$	
						臭氧	氮氧化物	臭氧	NO_2
数值	0.16	185	6.8	0.16	5.3	0.143	0.072	$1.2\text{E}-4$	$6.0\text{E}-5$

11.2.3 中子照射装置

(1) 使用场所的平面布局和屏蔽设计

中子照射装置场所位于辐照中心平房 1210B 房间，其北侧和东侧均为室外，南侧局部为室外，局部是控制室，西侧是个人剂量计 γ 射线准直照射实验室 (1211b)，下面为地下土层，楼上为屋面 (无建筑物)。拟建中子照射装置实验室的平面布局图见图 11-5 所示。

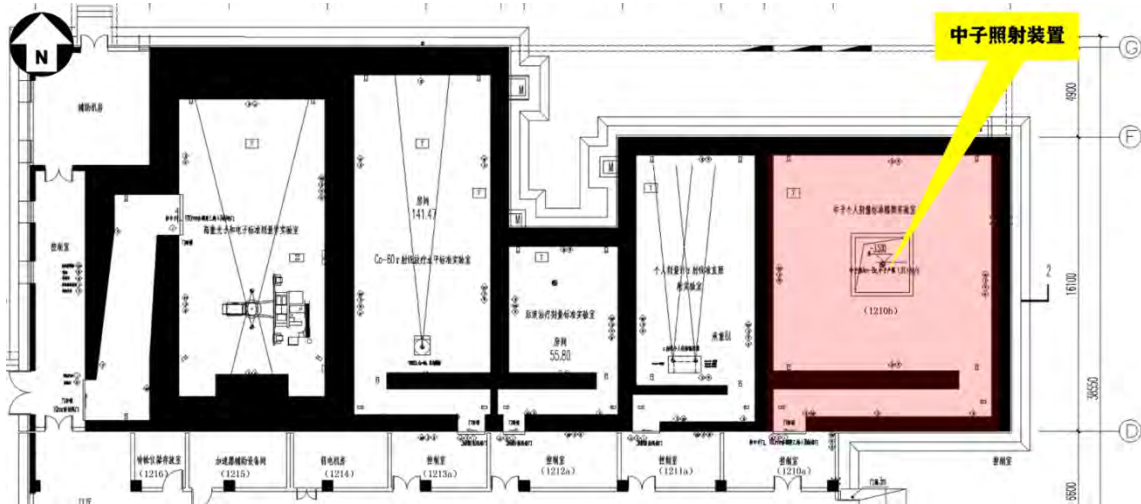


图11-5 辐照中心平房布局以及拟建中子照射装置场所位置示意图

中子照射装置实验室内部空间约 $12\text{m} \times 12\text{m}$ ，高 7.55m ，中子照射位于实验室中心的地坑中，该地坑为 $3\text{m} \times 3\text{m}$ ，深 3.5m 方井。

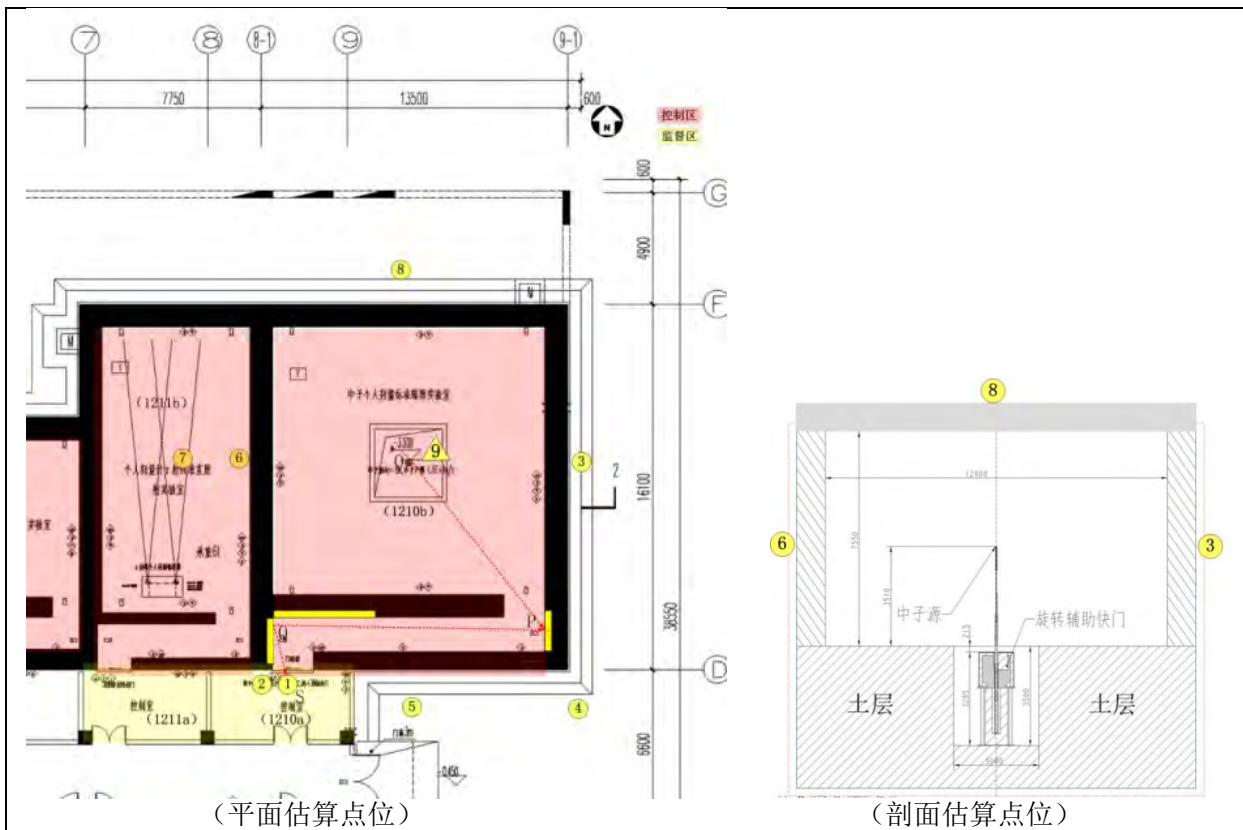


图11-6 中子照射装置估算点位图

表11-18 中子照射装置（1210b房间）屏蔽设计

墙体（混凝土），mm				屋顶（混凝土）， mm	机房门
西墙	北墙	东墙	南墙		
1000	1000	1000	迷道内墙 1000 迷道外墙 800	800	100mm 含硼聚乙烯+3mm 铅

中子照射装置的屏蔽主体为聚乙烯圆柱体，外面为5mmPb，高1.3m，直径1.3m，沿轴线有多级气缸，中子源位于圆柱体中部的气缸杆上。中子源在工作时，距离地面3.5米，距离四周墙壁距离约6m， 4π 角度发射中子。

中子源在储存位时，放射源四周和顶部含硼聚乙烯屏蔽厚度约60cm，底端为30cm厚聚乙烯和土层。

（2）使用规划

每次照射前摆放仪器及安全检查等准备时长约10分钟，根据监测仪器测量量程确定刻度点位，单个点位照射时间不超过5min，按照5个刻度点计算，单台仪器刻度时间不足半小时。每天刻度4台设备，每天出束时间通常不超过2h，每周工作4天，全年工作50周，总出束时间不超过400h。

（3）拟使用的放射源和照射器屏蔽设计

参照《辐射防护导论》推荐公式，储存状态设备表面5cm处中子剂量当量率可按式

(11-1)、式 (11-2) 计算。

$$\dot{H}_n = \delta / (4\pi R^2) \times f_{HI,n} \times \eta_n \times 3600 \times 10^6 \quad (11-1)$$

$$\delta = A \times Y \quad (11-2)$$

式中, \dot{H}_n —中子剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$;

δ —中子发射率, s^{-1} ;

A —放射源的活度, Bq ;

Y —中子产额, $\text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ (查《辐射防护导论》表 5.1);

$f_{HI,n}$ —剂量当量指数因子, $\text{Sv} \cdot \text{m}^2$ (查《辐射防护导论》表 5.6);

R —源距关注点的距离, m ;

η_n —中子透射比, 查《辐射防护导论》图 37 可得, 60cm 聚乙烯对应透射比约 $6.2\text{E}-04$ 。

表11-19 $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 贮存容器表面5cm处中子剂量当量率

计算点位	$A(\text{Bq})$	Y ($\text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$)	$f_{HI,n}$ ($\text{Sv} \cdot \text{m}^2$)	R (m)	t (cm)	中子透射比	\dot{H}_n ($\mu\text{Sv/h}$)
装置表面 5cm	1.85E+12	5.41E-05	3.95E-14	0.65	60	6.2E-04	1.66E+00

距中子源 1m 处 γ 剂量率可参照《辐射防护导论》推荐公式计算得到, 见式 (11-3)。

$$H_\gamma = H_{0\gamma} \times e^{-\mu t} / R^2 \quad (11-3)$$

式中: H_γ — γ 射线剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$;

$H_{0\gamma}$ —距中子源 1m 处射线剂量率, $\mu\text{Sv/h}$, $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ 中子源产生 γ 射线与中子剂量当量率比值取 0.05。1.85E+12Bq 的 $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 中子源 1m 处中子剂量当量率为 1.13mSv/h, 1m 处 γ 射线剂量率为 56.6 $\mu\text{Sv/h}$ 。

R —源距关注点的距离, m ;

μ —屏蔽材料对 γ 射线的线性减弱系数, 查《辐射防护手册 第一分册: 辐射源与屏蔽》表 5.7, 铅对 60keV 初始 γ 辐射的线性减弱系数为 55.5cm^{-1} (4.87×11.4); 铅对平均能量 3MeV 俘获 γ 辐射的线性减弱系数为 0.474cm^{-1} 。

t —屏蔽材料的厚度, cm 。

表11-20 $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 贮存容器表面5cm和1m处 γ 剂量率

来源	源强	$H_{0\gamma}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$t_{\text{铅}}$ (cm)	线性减弱系数 (cm^{-1})	R (m)	H_γ ($\mu\text{Sv/h}$)
初始 γ 射线	裸源中子剂量当量率的 0.05	56.6	0.5	55.5	0.65/1	$\frac{1.19\text{E}-10@5\text{cm}}{5.02\text{E}-11@1\text{m}}$
俘获 γ 射线	6.0×10^{-2} $\mu\text{Sv/h}/@1\text{m}$	6	0.5	0.474	0.65/1	$11.2@5\text{cm}$

由表 11-19、表 11-20 计算结果对比可知，²⁴¹Am-Be 贮存容器表面中子剂量当量率为 1.66 μSv/h，γ 剂量率为 11.2 μSv/h，总剂量为 12.86 μSv/h，满足本项目设定“装置外表面不大于 25 μSv/h”的控制水平。

中子源储源罐设置在地坑内，储存状态下中子照射装置 1m 处最大剂量率为 4.73μSv/h，中子照射装置实验室周围有 100cm 砼的屏蔽，因此储存状态下对场所周围剂量影响预计可以忽略，不予详细计算。

(4) 照射室周围的辐射水平估算

工作状态的中子源的剂量当量率可按式 (11-4) 计算得到。

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \times K^{-1}/R^2 \quad (11-4)$$

式中：

\dot{H}_0 —距靶 1m 处的剂量当量率，μSv/h；

K^{-1} —减弱因子，无量纲 ($K^{-1}=10^{-d/TVL}$)；

TVL —在屏蔽材料中的什值层，mm (中子对应 TVL 值分别查《辐射防护手册 第三分册 辐射安全》表 2.12)，²⁴¹Am-Be 中子源中子能量 1~11.5MeV，平均 4.5MeV，镅-铍放射源在普通混凝土中 TVL_n 为 330mm， TVL_γ 不大于 50mm。

R —参考点至放射源的距离，m。

中子照射装置工作时按 360° 方向照射的点源计算。根据以上估算，距源 1m 处理论估算值 (中子剂量当量率为 1.13mSv/h@1m，γ 射线剂量率为 56.6 μSv/h) 计算对机房外的辐射影响。计算结果见表 11-21。

表11-21 中子照射装置场所周围中子和初始 γ 辐射水平估算结果

编号	计算点位	H_0 (μSv/h)	屏蔽材料厚度(mm)及照射角度	TVL (mm)	K	R (m)	H (μSv/h)
1	防护门外 30cm 处	1.13E+3	1000 砼+ 100mmPE (30°)	330 砼 /20PE	5.34E-10	11	4.99E-09
		56.6		50	8.05E-24		3.77E-24
2	中子照射装 置控制室操 作位	1.13E+3	1000 (45°)	330	5.18E-05	11.3	4.59E-04
		56.6		50	5.20E-29		2.30E-29
3	东侧墙外 30cm 处	1.13E+3	1000	330	9.33E-04	7.3	1.98E-02
		56.6		50	1.00E-20		1.06E-20

4	南侧墙外 30cm 处	1.13E+3	1000 (30°)	330	3.17E-04	12.6	2.26E-03
		56.6		50	8.05E-24		2.87E-24
5	南侧墙外 30cm 处	1.13E+3	1800	330	3.51E-06	10	3.97E-05
		56.6		50	1.00E-36		5.66E-37
6	西侧个人剂 量计 γ 射线 准直照射实 验室	1.13E+3	1000	330	9.33E-04	7.3	1.98E-02
		56.6		50	1.00E-20		1.06E-20
7	西侧个人剂 量计 γ 射线 准直照射实 验室工作区 域	1.13E+3	1000	330	9.33E-04	9.5	1.17E-02
		56.6		50	1.00E-20		6.27E-21
8	北墙外 30cm 处	1.13E+3	1000	330	9.33E-04	7.3	1.98E-02
		56.6		50	1.00E-20		1.06E-20
9	屋顶上方 30cm 处	1.13E+3	800	330	3.76E-03	5.15	1.60E-01
		56.6		50	1.00E-16		2.13E-16

注：1) 防护门外 S 点未考虑防护门的衰减影响。2) 实验室高度 7.55m，中子源距离地面 3.5m。

表11-22 中子俘获 γ 的贡献估算结果

编号	计算点位	H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽材料厚 度(mm)	R (m)	H ($\mu\text{Sv/h}$)
1	防护门外 30cm 处	0.7	1000	11	5.79E-03
		2	/	20	5.0E-3
2	中子照射装置控制室操作位	0.7	1000	11.3	5.48E-03
3	东侧墙外 30cm 处	0.7	1000	7.3	1.31E-02
4	南侧墙外 30cm 处	0.7	1000	12.6	4.41E-03
5	南侧墙外 30cm 处	0.7	1800	10	7.00E-03
6	西侧个人剂量计 γ 射线准直照 射实验室	0.7	1000	7.3	1.31E-02
7	西侧个人剂量计 γ 射线准直照 射实验室工作区域	0.7	1000	9.5	7.76E-03
8	北墙外 30cm 处	0.7	1000	7.3	1.31E-02
9	屋顶上方 30cm 处	1.5	800	5.15	5.66E-02

表11-23 中子装置实验室周围辐射水平汇总

编号	计算点位	中子	初始 γ	俘获 γ	H($\mu\text{Sv/h}$)
1	防护门外 30cm 处	4.99E-09	3.77E-24	1.08E-02	1.62E-02*
2	中子照射装置控制室操作位	4.59E-04	2.30E-29	5.48E-03	5.94E-03
3	东侧墙外 30cm 处	1.98E-02	1.06E-20	1.31E-02	3.29E-02
4	南侧墙外 30cm 处	2.26E-03	2.87E-24	4.41E-03	6.67E-03
5	南侧墙外 30cm 处	3.97E-05	5.66E-37	7.00E-03	7.04E-03
6	西侧个人剂量计 γ 射线准直照 射实验室	1.98E-02	1.06E-20	1.31E-02	3.29E-02
7	西侧个人剂量计 γ 射线准直照	1.17E-02	6.27E-21	7.76E-03	1.95E-02

	射实验室工作区域				
8	北墙外 30cm 处	1.98E-02	1.06E-20	1.31E-02	3.29E-02
9	屋顶上方 30cm 处	1.60E-01	2.13E-16	5.66E-02	2.17E-01

注：防护门外数值包含中子散射贡献 5.35E-03 μSv/h。

由表 11-23 可知，正常工作状态下，中子照射装置场所外四周的剂量率最大贡献值约 3.29E-02 μSv/h（中子和 γ 射线综合贡献），最高点为顶部（2.17E-01 μSv/h），均满足 2.5 μSv/h 的剂量率控制要求。

（5）防护门外的剂量当量率

防护门外的剂量主要包括四部分，①中子辐射经迷路内墙所致的剂量当量率贡献， \dot{H}_{nT} ；②γ 射线经迷路内墙所致的剂量当量率贡献， $\dot{H}_{\gamma T}$ ；③中子辐射经屏蔽墙 2 次散射所致的剂量当量率贡献， \dot{H}_S ；④迷路入口处俘获 γ 射线所致剂量当量率贡献， \dot{H}_γ 。

由于 γ 射线的散射因子较小（每次散射因子约 10^{-2} ），所以经过 2 次散射和距离衰减，在防护门外 γ 射线的散射贡献约为 10^{-7} μSv/h 水平，可以忽略。

散射路径见图 11-6 所示。

① 中子和初始 γ 射线经迷路内墙所致的剂量当量率贡献

其路径为机头 O→S，中子和 γ 射线经迷路内墙至迷路入口处，剂量率具体数值见表 11-21 中 1 号估算点。

② 中子辐射经屏蔽墙 2 次散射所致的剂量当量率贡献， \dot{H}_S （红色路线）

中子辐射经迷道混凝土墙壁 2 次反散射到达迷路入口处的辐射 H_S 。 H_S 可由下式计算：

$$\dot{H}_S = \frac{\dot{H}_n}{R_1^2} \times \frac{A_1 \times \alpha_1}{R_2^2} \times \frac{A_2 \times \alpha_2}{R_3^2} \quad (11-5)$$

式中， \dot{H}_S —计算点处中子反散射的剂量当量率，μSv/h；

\dot{H}_n —距裸源 1m 处中子剂量率；

α_1 、 α_2 —混凝土对中子的第一次和第二次反散射系数；

A_1 、 A_2 —墙体二次散射面积；

d_1 —屏蔽墙散射面与源的距离；

d_2 、 d_3 —二次散射的距离。

混凝土对快中子的反散射系数 α_n 可按半经验公式（11-6）和（11-7）估算，取自《辐射防护手册 第一部分：辐射源与屏蔽》式（7.24）、式（7.25）。

$$\alpha_n(E_0, \theta_0, \theta) = \frac{F(E_0) \cos \theta_0 \cos \theta}{\cos \theta_0 + \cos \theta} \quad (11-6)$$

$$F(E_0) = E_0 \exp(0.9719 - 2.895\sqrt{E_0} + 0.3417E_0) \quad (11-7)$$

式中, $\alpha_n(E_0, \theta_0, \theta)$ —中子的反散射系数, m^{-2} ;

E_0 —中子能量, 4.5MeV;

θ_0 —中子入射角, 50° (第一次散射)、 0° (第二次散射);

θ —中子反射角, 0° (第一次散射)、 15° (第二次散射)。

中子辐射经墙体散射所致剂量率见公式 11-5。

$$\dot{H}_s = \frac{1130}{9.6^2} \times \frac{7.5 \times 0.0466}{12^2} \times \frac{16.25 \times 0.0585}{2.3^2} = 5.35E-03 \mu Sv/h$$

③ 混凝土屏蔽所致俘获 γ 射线剂量率贡献, \dot{H}_γ

其路径为机头 O→S, 中子透过混凝土所致俘获 γ , 具体数值见表 11-22 中 1 号点位 (防护门外)。

④ 空气俘获 γ 射线所致剂量率贡献, \dot{H}_γ

JAERI-M 84-103 给出, 源强为 $1E+6n/s$ 的 Am-Be 中子源, 空气俘获 γ 剂量率 (mSv/h) 为 $2.0E-02 \mu Sv/h@1m$, 本项目 Am-Be 中子源源强为 $1E+8n/s$, 空气俘获 γ 剂量率为 $2 \mu Sv/h@1m$, 从放射源至防护门距离 20m, 在防护门处剂量率约为 $5E-3 \mu Sv/h$ 。

⑤ 迷路入口处未屏蔽前总的剂量率

由①~④计算结果可知, 迷路入口处屏蔽前中子和 γ 总剂量率为 $1.62E-02 \mu Sv/h$ 。

(6) 天空反散射

本项目中, 中子源照射室顶外剂量率为 $2.17E-2 \mu Sv/h$, 经天空反散射后, 对地面的剂量率贡献预计在 $10^{-4} \mu Sv/h$ 水平, 天空反散射可忽略, 故不再做详细计算分析。

(7) 工作人员和公众年受照剂量估算

1) 公众年受照剂量

表11-24 中子照射装置所致公众年受照剂量估算

编号	位置	附加剂量率 ($\mu Sv/h$)	年出束时间 (h) *	居留因子	受照剂量 (μSv)
3	东侧墙外 30cm 处	3.29E-02	400	1/16	8.23E-01
4	南侧墙外 30cm 处	6.67E-03	400	1/16	1.67E-01
5	南侧墙外	7.04E-03	400	1/16	1.76E-01
8	北墙外 30cm 处	3.29E-02	400	1/16	8.23E-01
9	屋顶上方 30cm 处	2.17E-01	400	1/16	5.43E+00

由表 11-24 可知, 该装置运行所致的公众年受照剂量最大值为 $5.43 \mu Sv$, 低于本报

告设定的公众受照剂量约束值 0.1mSv/a，可见对周围公众的影响是可以接受的。

2) 工作人员年受照剂量

工作人员受照剂量来源于仪器码放和控制室停留。保守假设每半小时码放样品一次，每次10min，全年码放样品的时间累计为133.3h。

表11-25 中子照射装置所致工作人员年受照剂量估算

编号	位置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束或摆样 时间 (h)	居留因子	受照剂量 (μSv)
1	防护门外	1.62E-02	400	1/16	4.05E-01
2	控制室	5.94E-03	400	1	2.38E+00
3	样品码放	4.73	133.3	1	6.31E+02
合计					6.33E+02

由表11-25可知，该装置运行所致的工作人员年受照剂量最大值为0.633mSv/a，低于本报告设定的职业受照剂量约束值2mSv/a，因此，该装置的运行对操作人员是安全的。

(8) 辐射所致有害气体

$$Ro_3 = D_{air} \times G \times \frac{N_A}{100 \times W}$$

D_{air} : 空气吸收剂量率, $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ($1\text{Gy} = 1\text{J/kg}$); G : 每 100 eV 吸收能量产生的分子数, 取 8 分子/100eV; N_A : $6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $W = 1.602 \times 10^{-17} \text{ J/100eV}$ 。

$$Ro_3 = D_{air} \times 3.0 \times 10^{16}$$

本项目 $1.85 \times 10^{12} \text{ Bq}$ Am-Be 中子源, 裸源 1m 处中子剂量率为 1.13 mSv/h , 转化为吸收空气吸收剂量率为 0.84 mGy/h , 臭氧产生率为 $7 \times 10^9 \text{ molecules} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

在 $12\text{m} \times 12\text{m} \times 7.55\text{m}$ (1087m^3) 实验室中子源照射 2h, 臭氧分子数 $7\text{E}+9 \times 1304.64\text{kg} \times 2 \times 3600 = 6.57\text{E}+16 \text{ molecules}$ 。

O_3 质量 = $6.57\text{E}+16 / 6.022\text{E}+23 \times 48 = 5.2\text{E}-6\text{g}$ 。

O_3 浓度 = $5.2\text{E}-6 / 1087 = 4.78\text{ng/m}^3$ 。

可见 O_3 浓度远低于工作场所中 O_3 浓度限值【《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2019), 浓度限值为 0.3mg/m^3 】。同样, NO_x 的产生和排放可以忽略。

11.2.4 I-125 粒子 (辐照中心南侧建筑物二层 2206b 房间)

(1) 使用场所的平面布局和屏蔽设计

I-125粒子使用场所位于南侧建筑物二层2206b房间，其东侧相邻控制室，南侧和西侧为楼外，北侧为楼梯间。楼上为空调机房，楼下为热力进线间和弱电进线间。

拟建籽粒源使用场所的平面布局图见图11-7所示。

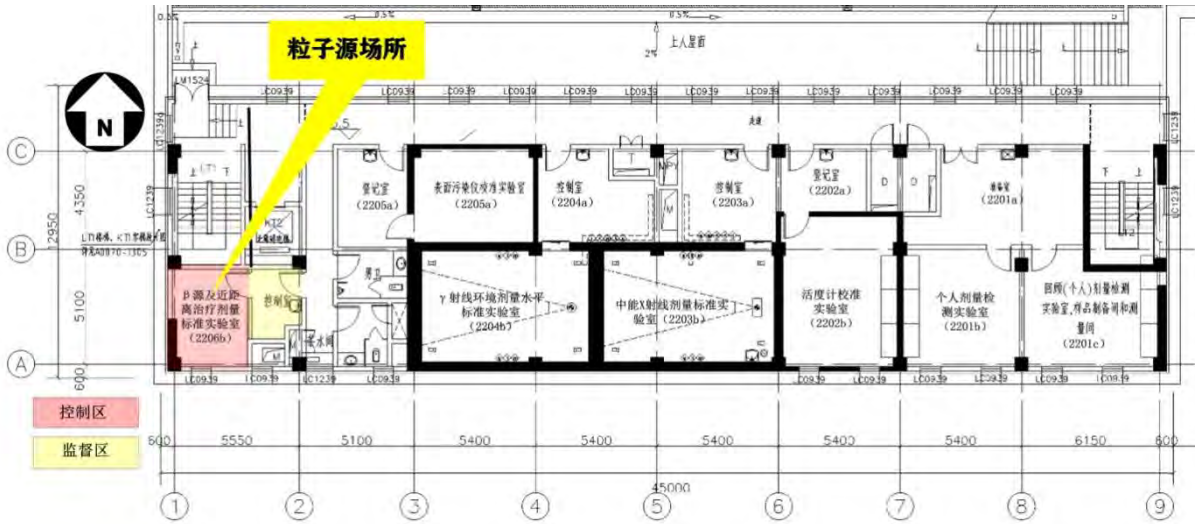


图11-7 辐照中心南侧建筑物二层平面和籽粒源场所布局示意图

表11-26 γ 射线防护水平标准实验室（1206b房间）屏蔽设计

墙体（普通混凝土），mm				楼板（普通混凝土），mm	铅防护门
东墙	南墙	西墙	北墙		
200mm 加气混凝土砌块 (密度 $0.7t/m^3$ ，折合 60mm 混凝土)				120mm 混凝土	含 1mmPb

(2) 使用规划

每次使用 1 枚籽粒源，一次实验时间大概 3 小时（其中近距离 30cm 处操作籽粒源时间累计 15min），每天最多开展 2 次实验。计划每月最多使用 10 天，全年最多使用 120 天，操作籽粒源最多 240 次，使用时间为 720h/a，近距离操作籽粒源时间 60h/a。

操作 I-125 人员穿 0.5mmPb 当量铅衣。

(3) 拟使用的放射源和场所等级

拟使用的籽粒源为 I-125 籽粒源，最大活度 $3.7E+8Bq$ ，按照现行管理规定，I-125 籽粒源按照非密封放射性物质管理。

所用 ^{125}I 籽粒源，拟由北京智博高科生物技术有限公司、中国同辐股份有限公司和原子高科股份有限公司等专业公司提供，剩余籽粒源也由上述供源公司回收处置。

项目运行后，该场所 ^{125}I 籽粒源每次最多使用 1 粒，每天最多使用 2 次，日最大操作量为 $7.4 \times 10^8 Bq$ 。 ^{125}I 属中毒核素，毒性修正因子为 0.1，操作方式为很简单操作，操

作修正系数为 10, 所以该实验室 ^{125}I 籽粒源的日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$, 属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 划定的丙级非密封放射性物质工作场所。

(4) 环境影响分析

^{125}I 的籽粒源由标记有 ^{125}I 的银丝封装于钛合金管加工而成。 ^{125}I 衰变产生能量为 27.4-31.5keV X 射线及 35.5keV γ 射线。

籽粒源生产厂家将 ^{125}I 籽粒装入铅罐内送到辐照中心放射源暂存库内暂存。使用前转移到籽粒源使用场所, 操作人员戴铅防护手套进行操作。使用后将籽粒源放入铅罐内, 再返回放射源暂存库。实验完成后采用监测仪器监测使用场所, 防止 ^{125}I 籽粒遗失在实验室内。

^{125}I 周围剂量当量率常数 (裸源) 为 $0.0165 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$, 距离活度为 10mCi (370MBq) 的单个籽粒源 1m 处的剂量率约为 $6.1 \mu\text{Sv/h}$ 。近距离操作以 30cm 计, 则操作位的最大辐射剂量率为 $67.8 \mu\text{Sv/h}$, 工作人员穿铅衣 0.5mmPb 铅衣进行实验操作。

^{125}I 释放出的 γ 射线在铅中半值层为 0.062mm, 在混凝土中半值层为 9.7mm。使用 I-125 粒籽源进行井型电离室校准时场所周围的辐射水平见表 11-27。

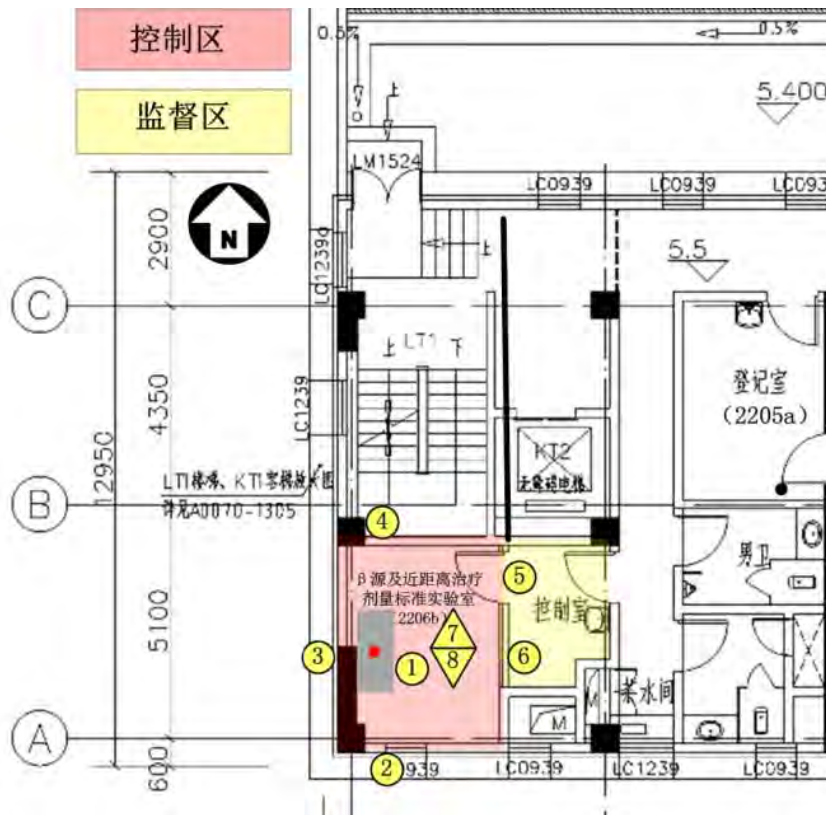


图 11-8 籽粒源场所估算点位示意图

表11-27 使用I-125粒籽源时场所周围的辐射水平

点位	位置	射线束和照射角度	屏蔽材料厚度	距离(m)	TVL(mm)	透射系数	附加剂量率(μ Sv/h)
1	操作位	辐射(0°入射)	0.5mm铅衣	0.3	0.062	8.62E-09	5.84E-07
2	南侧窗外(楼外,人员不可达)	辐射(0°入射)	/	2.2	/	1.00E+00	1.26E+00
3	西侧墙外(楼外,人员不可达)	辐射(0°入射)	60mm混凝土	1.0	9.7	6.52E-07	3.98E-06
4	北侧墙外(楼梯间)	辐射(0°入射)	60mm混凝土	2.4	9.7	6.52E-07	6.91E-07
5	防护门外(控制室)	辐射(45°入射)	1mmPb	3.0	0.062	1.55E-23	1.05E-23
6	东侧墙外(控制室)	辐射(0°入射)	60mm混凝土	3.0	9.7	6.52E-07	4.42E-07
7	楼上(空调机房)	辐射(0°入射)	120mm混凝土	4.7	9.7	4.25E-13	1.17E-13
8	楼下(进线间)	辐射(0°入射)	120mm混凝土	5.1	9.7	4.25E-13	9.98E-14

从表11-27估算结果可见,粒籽源使用场所周围人员可达位置的附加剂量率最大为6.91E-07 μ Sv/h,属于可忽略水平。

操作人员着0.5mmPb铅衣,附加受照剂量率为5.84E-07 μ Sv/h,工作人员近距离操作时间为60h/a,年受照剂量为3.5E-05 μ Sv,属于可忽略水平。

(5) 放射性“三废”

籽粒源在使用过程中无放射性的固体废弃物、废水和废气的产生。

I-125粒籽源使用一段时间后,活度降低不能满足使用要求时,返回供源公司。

11.2.5 放射源暂存库

放射源暂存库四周墙体为300mm混凝土,设防盗门。放射源暂存库将按照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA1002-2012)采取三级风险防范措施。

该放射源暂存库会经常暂存I-125籽粒源,也会暂存退役的Ir-192放射源,也可能暂存IV类和V类刻度源。上述放射源容器1m处的剂量率通常低于5 μ Sv/h,源库墙体为300mm混凝土,墙外的附加剂量率为本底水平,对周围公众的剂量贡献不予详细估算。

11.2.6 剂量叠加分析

(1) 职业人员剂量叠加分析

辐射工作人员分工见表11-28。可见,本项目相关的辐射工作人员可能操作多种设备,故工作人员受照剂量需要考虑剂量叠加的情况。

表11-28 本项目辐射工作人员剂量叠加结果

本项目受照剂量 (mSv)	开展的其他辐射工作受照剂量 (mSv) *	叠加结果 (mSv)
中能 X 射线装置 (0.0631)	/	0.0631
γ 射线防护水平照射装置 (0.268)	/	0.268
中子个人剂量标准装置 (0.633)	个人剂量 γ 准直照射实验室 (0.11)、双源辐照装置(0.0512)	0.794
籽粒源装置 (3.5E-08)	后装机 (0.592)、放疗级钴机 (0.226)和加速器(0.117)	0.935

注：其它受照剂量引自《中国疾病预防控制中心二期工程使用密封源和射线装置项目环境影响报告书》

从表 11-28 剂量叠加结果可见，辐射工作人员年受照剂量最大为 0.935 mSv，依然满足 2mSv/a 的剂量约束值要求。

(2) 公众剂量叠加分析

相邻的 2 个放射性场所，对顶部中间区域停留的公众存在剂量叠加，具体如下：

①本项目 γ 照射装置和 X 射线系统对顶部公众剂量叠加结果为 $2.89E-02 \mu Sv + 1.35E+00 \mu Sv = 1.38 \mu Sv$ 。

②中子装置和个人剂量计 γ 射线准直实验室顶部的剂量叠加结果为 $5.43 \mu Sv + 8.40E-06 \mu Sv = 5.43 \mu Sv$ 。

可见，考虑剂量叠加后，本项目放射性工作场所周围公众的年受照剂量依然满足剂量约束要求。

11.3 放射源运输、倒装和安全管理

11.3.1 放射源运输和安全管理

本项目使用的全部密封源放射源均为新增和外购。辐射安全所将委托国内有放射源销售资质的单位协助购置放射源，并由其直接委托具有放射源运输资质的单位承担放射源运输工作。即将放射源从其生产厂家运输至辐射安全所的安全责任由销售公司承担。

辐射安全所将配合做好源运输进场工作，待放射源运抵辐射安全所辐照中心并交接后，开始承担安全责任。

11.3.2 放射源倒装的环境影响分析

放射源倒装工作将委托放射源供应商，或者委托持有相应类别放射源倒装工作许可证的单位承担。辐射安全所的相关工作人员做一些辅助工作。倒装过程中，将做好现场警戒和准备工作，并请具有资质单位检测倒源场所的剂量率水平，参与倒装放射源的工作人员佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

辐射安全所将提前联系开展放射源倒装专业公司，事先在现场做好准备，待放射源

运抵后，当天开展密封源倒装工作，不在源库暂存。

在倒装放射源过程中，一旦发生卡源情况，依照放射源倒装单位拟定的应急计划妥善处置，并严格控制倒源人员的受照剂量。

放射源倒源工作完成后 20 个工作日内，办理备案手续。

11.3.3 放射源安全管理

本项目使用的密封源为 II 类~III 类放射源，密封源失控对环境安全的潜在危险较大。辐射安全所将制定设备安全使用管理制度和操作规程，全面加强实验室安全保卫措施，严防放射源失控。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，设备定期更换的放射源由供方回收。

11.4 异常事件分析与防范建议

11.4.1 γ 照射装置和中子照射装置的事故分析与应急措施

(1) 事故分析

γ 照射装置和中子照射装置可能发生的较严重的放射性事故是人员误入工作状态下的实验室而造成的人身伤害事故。也可能出现密封源被盗。针对上述可能发生的事故，制定有应急预案。

(2) 事故处理措施

γ 照射装置和中子照射装置具有良好的屏蔽设计和安全连锁系统，以保证正常的运行安全，但仍不能排除可能发生的紧急情况，该所制定了《放射性事故应急预案》包括：停电应急、人员误入应急以及人员受到超剂量照射应急内容等。

1) 停电：实验过程中停电，UPS 自动供电使放射源快门关闭或者将放射源返回到贮存位，并有安全连锁确保防护门能够开启。

2) 发生卡源事故：本项目涉及的 γ 密封源装置和中子照射装置的源开关控制系统均配有手动机械复位应急装置。当控制系统出现故障导致自动关源系统失效时，通过手动机械复位机构使放射源回到储源状态，通常可在 2min 内完成。一旦出现卡源事故，工作人员立即迅速进入实验室，采用手动复位的方式使放射源回到储源状态。进入刻度室进行手动复位的工作人员单次受照剂量在可以接受的范围内。

3) 维修期间的事故：在维修辐照装置时应携带个人剂量报警仪，一旦有紧急情况，应及时撤离现场。

4) 放射源失控

根据原国家环保总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号）和国务院令第376号突发公共卫生事件应急预案，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及有关安全事故防范工作要求开展事故预防与应急处置。

发生放射事故后，应及时向上级机关报告，协助监管部门开展现场调查、组织放射事故鉴定。

1. 发生放射源丢失、被盗时，将立即向上级主管部门和公安部门报告，启动事故应急预案。辐射安全防护领导小组等相关人员立刻到达现场，保卫处负责保护现场，控制范围。发生该类事故后，应在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向上级主管部门报告。如果可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生主管部门报告。放射防护人员负责现场检测，相关科室迅速报告放射源基本情况。

2. 发生放射事故时，有关科室应当立即向主管部门报告。由领导统一指挥，启动应急预案程序，并以书面形式上报上级辐射防护主管部门。辐射安全防护领导小组负责组织事故现场调查处理，辐射检测和放射损伤诊断鉴定工作。

3. 发生人体受超剂量照射事故时，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。

11.4.2 X射线装置事故分析与应急措施

（1）X射线装置事件（故）分析

X射线装置在工作状态下，没有关闭防护门，对附近经过或停留人员产生误照射。当X射线装置出束时防护门未关闭或突然被打开，防护门附近人员将受到一定量的散射和漏射X射线照射。由于设备出束持续时间短，散射线和漏射线能量有限，加之X射线能量的距离衰减作用，此种偶发情况下人员受照剂量很小。

（2）X射线装置事件（故）防范建议

对于射线装置可能发生的意外照射事件（故），关键在于预防，建议采取以下措施防范：a. 机房防护门处设置电离辐射警示标志、中文警告说明和工作状态信号灯；b. 规范工作秩序，严格执行操作规程；c. 辐射安全管理小组定期检查安全规章和制度落实情况，发现问题及时纠正；d. 完善《辐射事故应急处理预案》。应急预案须明确应急处理领导小组及职责、处理原则和处理程序等。

11.4.3 含 γ 源装置卡源应急处置受照剂量估算

本项目使用的 γ 照射装置和中子照射装置，均采用气缸升降放射源，停电时，UPS

供电使源关闭，以备停电时能安全屏蔽放射源。

当控制系统出现故障导致自动关源系统失效时，通过手动复位机构使放射源回到储源状态，通常可在 2min 内完成。一旦出现卡源，工作人员按动紧急停止按钮，然后进入刻度室，采用手动复位的方式使放射源回到储源位置。

(1) γ 照射装置卡源应急处置

当 γ 照射装置发生卡源事故时，由于照射器除出束孔外的其他方位均采用 25cm 铅进行了屏蔽，且装置的出束方向背对防护门，进入刻度室进行手动复位的工作人员的受照剂量较小。

保守以 Co-60 为例，距离放射源 1.0m 处的剂量当量率为 $113\text{mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ ，保守假设照射过程中，照射器背部的泄漏辐射率为 0.1%，散射辐射贡献也保守按 0.1% 计，则距离装置表面 50cm 处的剂量率水平为 $113\text{mSv/h} \times 2 \times 10^{-3} \times (1.0/0.5)^2 = 896 \mu\text{Sv/h}$ 。

工作人员完成一次手动复位操作的受照剂量约为 $896 \mu\text{Sv/h} \times 2\text{min} \div 60 = 30 \mu\text{Sv}$ 。可见，当 γ 照射装置发生卡源事故时，手动复位操作时人员的受照剂量很低，不会导致大剂量辐照事故发生。

(2) 中子照射装置卡源应急处置

中子照射装置设有快门，射线向 4π 方向照射，故主要考虑主束照射。如果发生卡源，可能的情况是开门屏蔽体和气缸挤压导致放射源不会回落，应急采用长柄杆轻微移动屏蔽快门即可解决卡源问题，预计处置时间不超过 30s。

$1.85\text{E}+12\text{Bq}$ 的 $^{241}\text{Am-Be}$ 中子源 1m 处中子剂量当量率为 1.13mSv/h ，1m 处 γ 射线剂量率为 $56.6\mu\text{Sv/h}$ ，总计为 1.19mSv/h 。工作人员 1m 处用长柄处置卡源 30s，受照剂量约为 $10 \mu\text{Sv}$ ，不会造成大剂量照射。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全管理

12.1.1 辐射防护管理机构

辐射安全所已设立辐射安全管理小组，并设有专人具体开展辐射安全与防护工作。辐射安全防护管理小组组成见表 1-5，其中防护负责人（所领导）通过了辐射安全与防护考核（FS23BJ2303244），现有的辐射安全管理机构能够满足本项目要求。

12.1.2 辐射防护规章制度

辐射安全所已制定的辐射安全管理制度有《中国疾控中心辐射安全所辐射防护与安全管理规定》《辐射防护与安全管理规定实施细则》《放射工作人员个人剂量监测管理规定》《放射工作人员健康监护管理规定》《放射性同位素与射线装置放射突发事件处理应急预案》和《放射工作场所环境剂量监测方案》。其中《中国疾控中心辐射安全所辐射防护与安全管理规定》和《辐射防护与安全管理规定实施细则》对单位辐射防护与安全管理、辐射工作场所及管理、放射性同位素购置及保存管理、放射性废物的管理、放射工作人员管理及辐射事故应急与报告等作了规定。

本项目实施前，将细化操作规程，更新辐射工作场所监测方案，修订应急预案。

12.1.3 人员培训情况

辐射安全所现有 47 名辐射工作人员，全部通过了辐射安全与防护考核，持有合格证书并在有效期内。研究所制定了辐射工作人员培训考核规定，每 5 年再次参加考核。在项目运行期间，对新参加的辐射工作人员和培训证过期的工作人员，单位将组织其进行辐射防护培训考核。

12.1.4 辐射监测

(1) 辐射监测设备

本项目拟新增配备的辐射监测设备见表 12-1。

表12-1 本项目拟配置的辐射监测设备和防护用品

编号	场所名称	名称	数量	备注
1	辐照中心	便携式γ剂量仪	1	辐照中心公用
2	γ射线防护水平照射装置	固定式剂量率仪（2个探头）	1	新增
		个人剂量报警仪	2	新增1个，利旧1个
3	中能X射线剂量标准实验室	固定式剂量率仪	1	利旧
		个人剂量报警仪	1	利旧
4	中子个人剂量标准	固定式辐射剂量监测仪	1	新增

	辐照实验室	(中子和 γ 探头各 1 个)		
		中子个人剂量报警仪	1	新增
		中子巡检仪	1	新增
5	β 源及近距离治疗剂量标准实验室	多功能辐射监测仪 (表面污染和剂量率)	1	利旧
		铅衣(0.5mmPb)	1	利旧

(2) 工作场所监测计划

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环保部令第 18 号)的要求,每年委托有资质单位放射性工作场所进行 1 次场所辐射水平监测,监测数据记录存档。

监测项目: X- γ 剂量率、中子剂量当量率;

监测频次: 1 次/半年;

本项目涉及工作场所的监测布点:监测点位见图 11-2、图 11-4、图 11-6 和图 11-8,主要是含源设备和射线装置机房的周边(含楼上、楼下)、防护门外 30cm 处。测量结果连同测量条件、测量方法和仪器、测量时间等一同记录并妥善保存。

(3) 环境监测

根据原环保部 18 令的要求,每年委托有资质单位或自行对辐射工作场所的周围环境进行 1 次辐射水平监测,监测数据记录存档。监测点位见图 8-1。

12.1.5 个人剂量监测

所有辐射工作人员均佩戴 TLD 个人剂量计,按每季度 1 次的频度开展个人剂量监测,并按照《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环保部令第 18 号)的要求,建立个人剂量档案。

12.1.6 “三废”处置设施

本项目不产生放射性“三废”,废源返回生产单位。

12.2 项目竣工环保验收内容建议

建议本项目的竣工环保验收内容列于表 12-2 中。

表12-2 项目环境保护竣工验收内容

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和环评报告建议,公众、职业照射剂量约束值执行 0.10mSv/a 和 2mSv/a
电离辐射标志和	4 个放射性工作场所门口显著位置处设置明显的放射性警告标识和中

中文警示	文警示说明，以及工作状态指示灯
屏蔽设计	屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。4 个放射性工作场所门周围 30cm 处（楼上 30cm 和楼下 170cm 高度）剂量率水平不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，且年受照剂量满足剂量约束要求。
辐射安全与防护设施	1) 中能 X 射线装置：配套安装门机联锁装置、辐射剂量监测报警联锁装置、急停按钮、紧急开门按钮、闭路监视系统、通风系统以及出束前声光报警系统； 2) γ 照射装置：安装固定式 γ 剂量率仪，同时设门—源联锁系统，急停按钮、闭路监视系统和红外报警系统、通风系统以及紧急开门按钮。 3) 中子照射装置：安装固定式 γ 剂量率仪，同时设门—源联锁系统，急停按钮、闭路监视系统和红外报警系统、通风系统以及紧急开门按钮。 4) 籽粒源使用场所：配置长柄镊子，场所设通风系统。
监测仪器	放射性工作人员均配备有 TLD 个人剂量计。新增配备 2 台便携式剂量率仪并检定合格。每个场所配备 1 台个人剂量报警仪
规章制度	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训计划等
人员培训	辐射工作人员通过辐射安全与防护培训或考核
应急预案	结合本项目特点，完善并制定辐射事故应急预案，明确应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。应急预案每年进行一次演练

表 13 结论与承诺

13.1 结论

(1) 辐射安全所现持有由生态环境部颁发的《辐射安全许可证》(国环辐证[00157]号, 详见附件 1), 有效期至 2027 年 12 月 31 日, 许可活动种类和范围是: 使用 I 类、II 类、III 类、IV 类、V 类放射源; 使用 II、III 类射线装置; 使用非密封放射性物质, 丙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 实践正当性: 出于建立放射学计量标准和深入开展电离辐射相关学科领域科学研究的需要, 本项目使用 II 类、III 类放射源, 使用 II 类射线装置, 丙级非密封放射性物质工作场所, 具有正当性。具体为: 1) 中子个人剂量标准装置使用 1 枚 $^{241}\text{Am-Be}$ 中子源, 活度 $1.85\text{E}+12\text{Bq}$, II 类; 2) γ 射线防护水平照射装置使用 1 枚 5Ci 的 III 类 Cs-137 密封源, 1 枚 10Ci 的 II 类 Co-60 密封源, 1 枚 2Ci 的 III 类 Am-241 密封源。3) 使用 1 套中能 X 射线参考辐射装置, 属于 II 类射线装置; 4) β 源及近距离治疗剂量标准使用 1 枚 I-125 籽粒源 (活度 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$), 使用场所属于丙级非密封放射性物质工作场所。

(3) 选址合理性: 在进行新址布局设计时, 特意将有核与辐射项目集中设置在辐照中心和同位素楼内, 并将上述两个建筑布置在院区的东北角, 与其他建筑物不相邻并相隔一定防护距离 ($>30\text{m}$), 目的是既便于辐射安全管理, 又减少核与辐射对周围建筑物的影响。综合考虑, 中国 CDC 新址辐射工作场所选址可行。

(4) 本项目运行后主要的环境问题是电离辐射对环境的影响。

(5) 辐射环境影响评价: 辐射安全所工作区的辐射环境现状调查结果表明, 环境 γ 辐射剂量率水平与北京市的环境 γ 辐射剂量率水平基本一致。

(6) 全部涉源装置或射线装置运行所致职业人员和公众受照剂量分别低于 2mSv/a 和 0.1mSv/a 的剂量约束值。

(7) 辐射安全和防治措施:

1) 辐射工作场所均采取防辐射屏蔽措施。经估算各工作场所的屏蔽防护能力基本满足辐射环境保护的要求。

2) 含源装置、X 射线装置和非密封放射性物质工作场所均设置有专用场所, 防护门外设置有工作指示灯, 并张贴电离辐射警告标志。

3) 放射性工作场所实行分区管理, 机房划为控制区, 相邻的控制室作为监督区。

4) 在含源设备上粘贴“放射性警告标识”。

5) 中能 X 射线装置配套安装门机联锁装置、辐射剂量监测报警联锁装置，以及配备急停按钮、闭路监视系统和出束前声光报警系统等； γ 照射装置和中子照射装置机房安装固定式 γ 剂量率仪，同时安装门—源联锁系统，闭路监视系统、急停按钮、巡检按钮等。

6) 2 台含源装置操作人员进行操作时配带个人剂量报警仪。

7) 放射性工作场所采取机械通风的方式进行通风换气，防止实验室空气中有害气体累积。

8) 辐射安全防护管理：辐射安全所设有辐射防护与安全管理专门机构，负责全所的辐射安全管理和监督工作。有较健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、辐射事故应急预案和设备检修维护制度等，日后将不断完善。

9) 人员管理及安全培训：辐射安全所已制定了放射工作人员培训制度，全部辐射工作人员通过了辐射安全与防护考核。

综上所述，辐射安全所使用放射源、X 射线装置和非密封放射性物质工作场所，实践正当，具有良好的社会效益。该项目对环境和公众的影响是完全可以接受的，故从环保角度考虑，本项目是可行的。

13.2 承诺

(1) 遵守辐射安全与辐射环境保护的法律、法规，执行有关技术要求，完善管理制度，落实管理责任。

(2) 按要求开展个人剂量监测、工作场所监测和环境监测工作，并进一步完善辐射防护制度。

(3) 加强安保措施，防止放射源丢失而发生潜在照射。

(4) 加强对工作人员放射防护专业知识的培训，不断完善规章制度。

(5) 购置含源设备时与供源单位签署退役放射源的回收协议。

(6) 项目竣工及时开展竣工环境保护验收，环境保护设施验收合格后，本项目方可正式运行。