

核技术利用建设项目
使用 II 类射线装置项目
环境影响报告表



核技术利用建设项目
使用 II 类射线装置项目
环境影响报告表



建设单位名称：国家核安保技术中心

建设单位法人代表（签名或签章）：

李自平

通讯地址：北京市房山区阜盛大街 67 号院

邮政编码：102401 联系人：周志波

电子邮箱：zhouzhibo401@aliyun.com

联系电话：13466517371

编制单位和编制人员情况表

项目编号	a6li44		
建设项目名称	使用Ⅱ类射线装置项目		
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)	国家核安保技术中心		
统一社会信用代码	121000007128324969		
法定代表人 (签章)	李自平		
主要负责人 (签字)	黎春		
直接负责的主管人员 (签字)	周志波		
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1 项目基本情况、表9 项目工程分析与源项、表10 辐射安全与防护、审核。	BH000101	于水
薛燕	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10 辐射安全与防护、表11 环境影响分析、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国家核安保技术中心使用II类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）和薛燕（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 8 月 12 日



表 1 项目基本情况

建设项目名称		使用 II 类射线装置项目			
建设单位		国家核安保技术中心			
法人代表	李自平	联系人	周志波	联系电话	13466517371
注册地址		北京市西城区车公庄大街 12 号			
项目建设地点		北京市房山区阜盛大街 67 号院			
立项审批部门		国家国防科技工业局	批准文号	/	
建设项目总投资(万元)		350	项目环保投资(万元)	50	投资比例(环保投资/总投资) 14.2%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积(m ²) 240
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类(医疗使用) ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET-CT 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他	说明:			

1.项目概述

1.1 国家核安保技术中心概况

国家核安保技术中心(简称“中心”)成立于 2011 年 11 月,是经中编办批准、隶属于国家国防科技工业局(国家原子能机构)的公益二类事业单位,位于北京市房山区阜盛大街 67 号院(长阳科技园),占地 5.33 万平方米。

国家核安保技术中心是我国唯一专门从事核安保管理与技术支持的事业单位,是亚太地区乃至全球规模最大、设备最全、设施最先进的核安保交流与培训中心,主要承担国家核安保、核材料管制、核进出口管理有关技术支持工作,以及中美核安保示范中心的建设和运行工作。

中心南侧为公共绿地、西侧为预留商业用地、北侧为中核控制系统工程有限公司、东侧为长阳航天城电子科技园。

1.2 核技术利用现状

1.2.1 已许可的核技术利用项目

中心现持有由北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》(京环辐证[B0164]),有效期至 2030 年 09 月 29 日,许可的种类和范围是:使用 IV 类、V 类放射源;使用 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。

1.2.2 近年来履行环保手续情况

中心于2019年12月16日获得北京市生态环境局关于《新建丙级非密封放射性物质项目环境影响报告表》的批复（京环审〔2019〕156号），2023年7月25日，国家核安保技术中心自行组织了“新建丙级非密封放射性物质工作场所项目”竣工环境保护验收会，项目通过验收。

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，中心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管理工作。

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。其中辐射防护负责人通过了辐射安全与防护考核（FS24BJ2300829）。

（二）已建立的辐射安全与防护规章制度及执行情况

中心根据国家法律法规要求制定了辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案，以及辐射事故应急预案。

（三）辐射工作人员培训考核

中心现有 13 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。中心制定了辐射工作人员培训考核规定，每 5 年再次参加考核。

中心也利用集会、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法规防护和新知识培训。

（四）个人剂量监测和场所监测

（1）个人剂量监测：所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计，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。

个人剂量检测工作由具备相应资质的专业机构承担。查阅 2025 年度每季度的个人剂量检测报告），辐射工作人员年度受照剂量最大最大值为 0.7mSv，均低于 2mSv/a 剂量约束要求，且受照剂量与工作性质相符。

中心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与防护管理小组。

中心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 0.5mSv，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，中心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 12 月，中心委托有资质单位核工业北京地质研究院分析测试研究中心对现有的全部辐射工作场所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

中心现配备的辐射监测仪器和个人防护用品，能够满足工作需要。

（六）辐射应急措施

中心根据《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《中国疾控中心中心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，中心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 2h 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 12 月 5 日，中心针对“放射源丢失”这一典型事故编制了应急演练方案，并开展了演练，留存了演练记录。

1.4 本项目内容

1.4.1 项目背景

随着恐怖事件对公共安全构成的威胁日益严峻，世界各国均在加快提升反恐与安全检查预警技术能力，以有效防范涉核、违禁品等恐怖犯罪行为，切实保障公共安全。

针对这一重大需求，中心团队拟研制一套基于伴随 α 粒子技术的小型化快中子无损检测系统。该系统由集成伴随 α 探测器的密封 D-T 中子管、中子探测器阵列、伽马探测器阵列、样品台及多通道数据采集系统共同构成。其中，核心部件为集成伴随 α 探测器的密封 D-T 中子管，结合旋转台三维重构成像算法，系统能够对爆炸物、毒品等违禁品，以及被屏蔽的核材料等管制物品进行高效查验。

1.4.2 项目正当性

本项目使用中子管伴随 α 粒子探测器开展辐射成像技术研究工作，满足危爆品探测迫切需求，具有必要性。

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中“鼓励类——四十七、智能制造，2、在线无损检测，符合国家产业政策”。本项目不属于《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022 年版）》禁止和限制项目。

1.4.3 射线装置使用场所选址适宜性分析

拟新建的射线装置研发场所位于模拟核材料库南侧中间区域，使用 1 台含 D-T 中子管的 II 类射线装置（中子产额 5×10^7 n/s）。

本项目研发调试场所位于模拟核材料库内。该建筑物为一层建筑，其东侧和南侧为室外空地，西南侧隔空地为响应力量训练及演练设施，西侧隔空地为核材料衡算与控制综合培训设施。

本项目研发调试场所四周相邻场所均无人员长居留场所，控制区之外 50m 以内范围无居民楼、学校、幼儿园等敏感目标，选址可行。

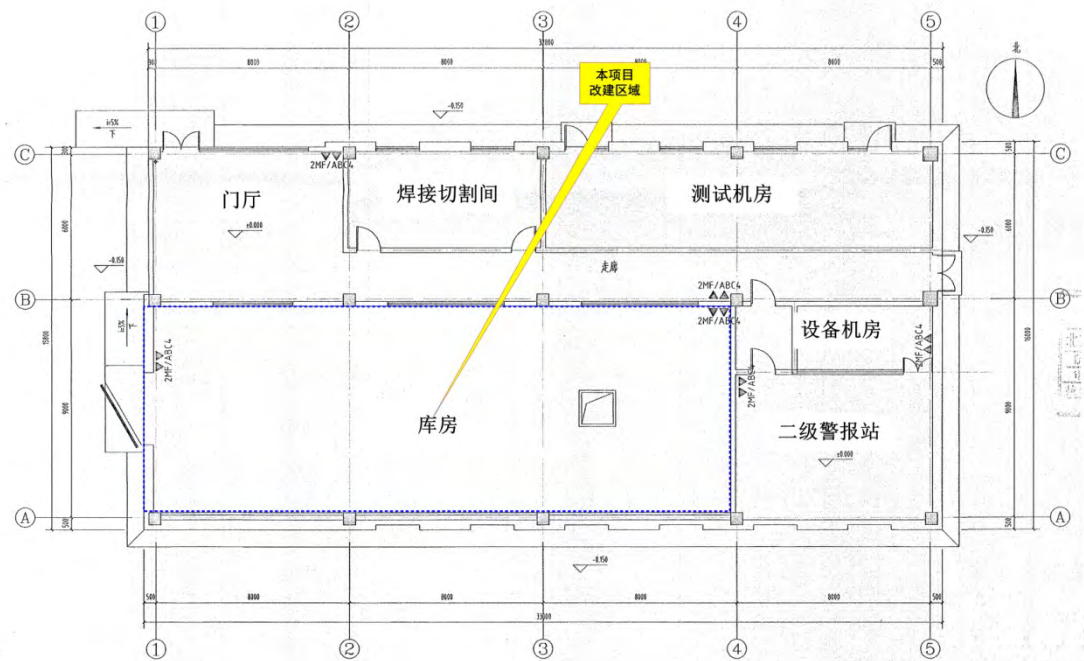


图 1-1 模拟核材料库一层现状平面布局示意图

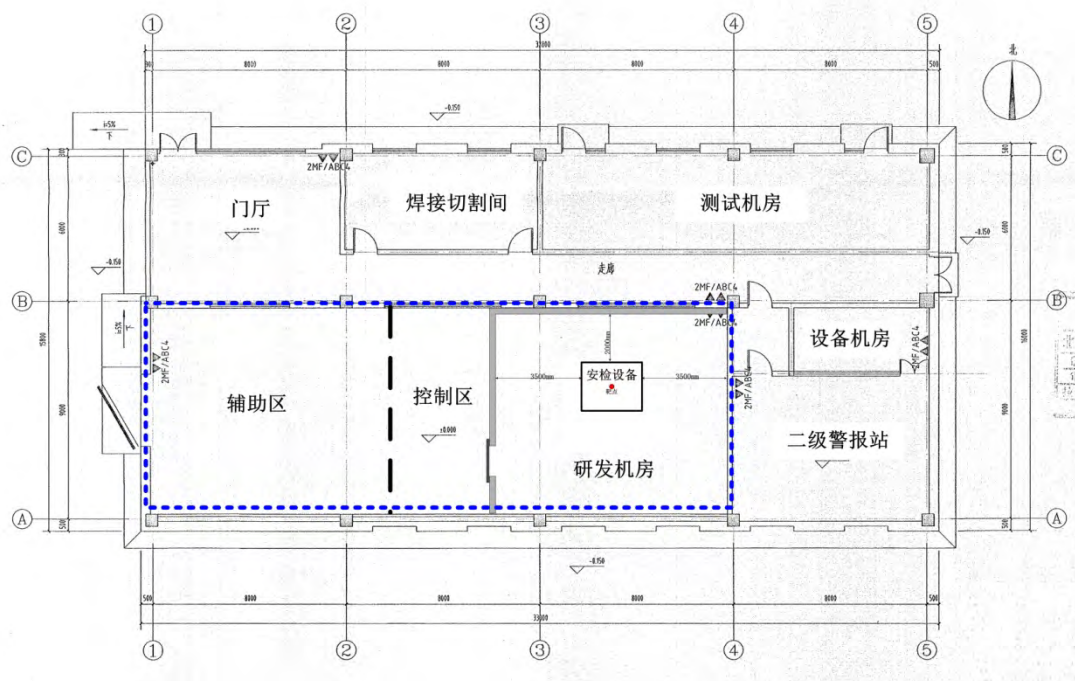


图 1-2 模拟核材料库改建后一层平面布局示意图

1.4.4 环境影响评价

本项目属于使用 II 类射线装置项目，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《射线装置分类》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。受中心的委托,北京科欣科技发展有限公司环评工程师在现场踏勘、收集资料的基础上,对该项目建设和运行时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。评价主要考虑工业 X 射线探伤设备在使用过程中,对周围环境的辐射影响,对职业人员和公众的辐射影响。

本项目建设内容: 在中心模拟核材料库南侧中间区域新建调试场所,开展中子安检设备研发,使用 1 台含 D-T 中子管的安检设备(II 类射线装置,中子产额 5×10^7 n/s)。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 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)	剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) 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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 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	
1	中子管	II	1	ZF86Z	120	100	5E+07	成像研究	研发机房	1.85E+11	中子管 内密封 贮存	1	

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
有害气体	气体	^{41}Ar 、 O_3 、 NO_x	很小	/	<5g	很小	直接排放	经通风系统引自所在建筑物楼顶排入环境大气
废旧中子管	固体	^3H	/	/	/	/	/	返回厂家

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（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	1. 《中华人民共和国生态环境法典》，2026 年 3 月 12 日通过，2026 年 8 月 15 日起施行； 2. 《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； 3. 《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； 4. 《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； 5. 《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； 6. 《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； 7. 《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； 8. 《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； 9. 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； 10. 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； 11. 《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； 12. 《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； 13. 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 版；
------	--

	14. 《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； 15. 《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； 16. 《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。
技术标准	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）； 2. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 3. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； 4. 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； 5. 《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》（GBZ143-2015）； 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. 《环境空气质量标准》（GB 3095-2026）； 8. 《室内空气质量标准》（GB/T18883-2022）； 9. 《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB 5172—2025）； 10. 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； 11. 《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）； 12. 《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）。
其他	1. 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； 2. Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities, NCRP REPORT No.147, 2005； 3. Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X-and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities, NCRP Report No. 151, 2005 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；

	6. 冷瑞平译,《中子辐射的防护》(NCRP 38),原子能出版社出版,1981年12月第一版; 7. 卢希庭主编,《原子核物理》,原子能出版社,2000年修订版; 8. 李星洪等编,《辐射防护基础》,原子能出版社,1982年7月第一版; 9. 刘林茂、刘雨人、景士伟编著,《中子发生器及其应用》,原子能出版社,2005年5月第一版; 10. 国家核安保技术中心环境影响评价咨询协议书; 11. 国家核安保技术中心提供的与本项目相关的技术资料。
--	--

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围和目的

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：“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 50 以内的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”。

本项目在采取屏蔽措施的研发机房内使用 II 类射线装置，结合本项目特点，确定评价范围为：调试场所实体屏蔽体（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 评价因子

本项目评价因子主要为中子、 γ 射线、感生放射性、臭氧和氮氧化物。

7.1.4 环境保护目标

本项目保护目标主要为调试场所周围的中心工作人员。本项目将采取有效的辐射安全防护措施，以确保中子管运行期间所致工作人员和周围公众的年受照射剂量低于本报告提出的剂量约束值。

本项目研发机房位于模拟核材料库一层南侧中间区域，周围 50m 范围基本上都是中心所属建筑物，地下为土层，楼上为屋面。本项目保护目标见表 7-1。

本项目评价范围见图 7-1 所示，本项目控制区周围 50m 范围内保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目周围 50m 范围内的保护目标

保护目标	方位	距离(m)	常居留人数	人员类别
------	----	-------	-------	------



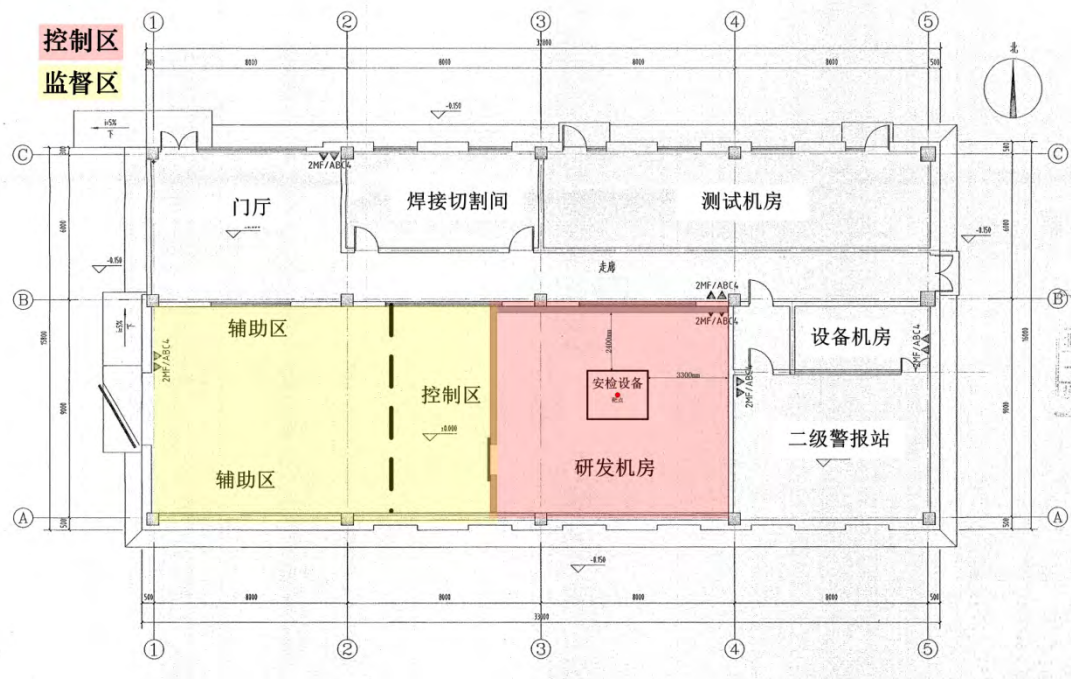


图 7-2 模拟核材料库一层平面布局图

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。

7.2.3 本项目剂量率控制水平

参照《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015)中场所辐射水平控制要求, 本项目采取更为安全的控制要求, 具体为:

- 1) 控制区内安检系统外围 30cm 处的周围剂量当量率 (中子和 γ) 不大于 2.5μ Sv/h。
- 2) 研发机房屏蔽体 (含防护门) 外 30cm 处 (监督区边界处) 的周围剂量当量率 (中子和 γ) 不大于 1μ Sv/h。

3) 更换或维护中子检查系统前, 应进行操作位置的剂量监测, 周围剂量当量率小于 $20 \mu \text{ Sv/h}$ 时方可操作。

7.3 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

建设单位委托长润安测科技有限公司(具备CMA 资质)于2026年7月14日对本项目所在的模拟核材料库周围以及内部辐射水平现状进行了检测。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，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	RS1128 (CR-YQ-125)	$0.01 \mu\text{Sv/h} \sim 1\text{Sv/h}$	DLjs2025-03139	2026 年 11 月 02 日
环境级 X、 γ 剂量率仪	SCB603E (CR-YQ-088)	$0.01 \mu\text{Gy/h} \sim 3\text{Gy/h}$	DD26J-CA100257	2027 年 05 月 21 日

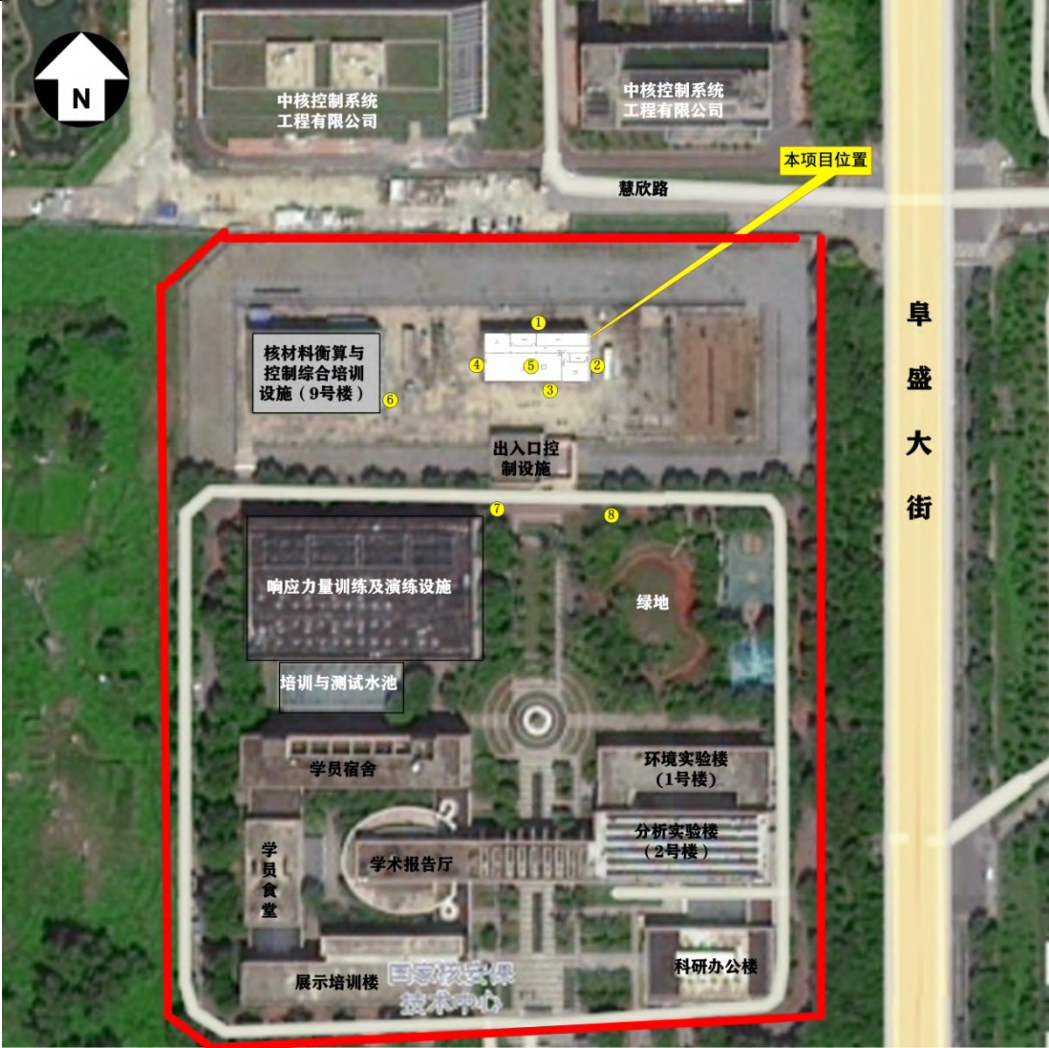


图 8-1 环境辐射现状检测点位置示意图

表 8-2 评价区现状环境辐射剂量率水平监测结果

检测 点位	检测点位置描述	γ 剂量率* (nGy/h)	中子剂量当量率** (μ Sv/h)
①	模拟核材料库北侧空地	97 ± 0.9	<MDL
②	模拟核材料库东侧空地	97 ± 0.9	<MDL
③	模拟核材料库南侧空地	97 ± 1.0	<MDL
④	模拟核材料库西侧空地	97 ± 1.0	<MDL
⑤	模拟核材料库内部一层	98 ± 0.9	<MDL
⑥	模拟核材料库西南侧空地 (核材料衡算与控制综合培训设施 东侧)	97 ± 1.0	<MDL
⑦	模拟核材料库东南侧空地 (室外空地)	97 ± 0.9	<MDL

注：*检测结果含宇宙射线响应值。**中子检出限为 0.01 μ Sv/h；

《中国环境天然放射性水平》（1995 年）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 69.8-182 nGy/h（室内，含宇宙射线）。监测结果表明，本项目各测点 γ 辐射剂量率属于正常本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 中子管

9.1.1 中子管结构

中子管内包括离子源、加速系统、靶和气压调节元件，全部真空密封在陶瓷或玻璃管内，构成一支结构紧凑的电真空器件。

中子管实质上是一种最小型的加速器，其性能决定着中子发生器的产额、寿命、稳定性等诸多指标。中子管可以在外接电路的控制下，由离子源产生氘离子，经加速后轰击氚靶，与靶中的氚产生核反应，产生 14MeV 的快中子。典型中子管如图 9-1 所示。中子管实物如图 9-2 所示。

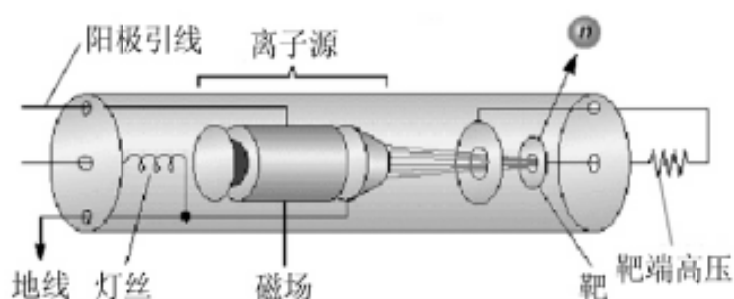


图 9-1 中子管结构示意图



图 9-2 中子管实物图

D-T 中子管内含有 1 个氚靶，氚靶中的 ^3H 为纯 β 放射性核素， β 粒子最大能量 18.6keV，平均能量为 5.7keV，半衰期为 12.3 年。中子管中的氚，以金属氚化物的形式被固定在氚靶上。本项目使用的中子管充氚量 $1.85\text{E}+11\text{Bq}$ (5Ci)，使用期满后中子管交由生产厂家回收处理。

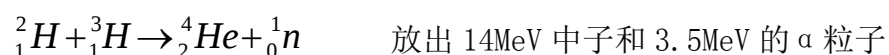
9.1.2 中子管工作原理

离子源为负氢离子源，为 D-T 反应提供负氢离子；高压系统为引出加速极提供高压，用于负氢离子加速，增加负氢离子打靶前的能量，使其满足 D-T 反应，释放出 14MeV 中

子的能量需求；冷却恒温系统则是为中子管设备的运行提供恒温环境，保证其工作状态的稳定性；真空系统则为中子管的内部提供必要的真空环境，保证束流的正常输出；监测控制系统包括监测和控制两部分功能，监测是监视设备及其周边环境状态，保证设备在稳定安全的状态下正常运行，在非正常情况下使中子管立即停止工作以保证设备和人员的安全；控制主要是控制中子管的运行与停止，需要在安全联锁系统正常运行下才能启动中子管的运行。在各分系统的配合下，氢离子进行高压加速，使其轰击氘靶，发生 D-T 反应产生 14MeV 中子和 3.5MeV 的 α 粒子。

每次 D-T 核反应必然同时产生一个中子和一个 α 粒子，二者动量大小相等、方向相反。

中子管的工作原理是，由离子源产生的氘离子，经加速后打在氘靶上发生下列核反应：



9.1.3 本项目使用中子管特点

本项目所用伴随 α 粒子的 D-T 密封中子管，中子产额 $5 \times 10^7 \text{n/s}$ 、靶内预充氘约 $1.85\text{E}+11\text{Bq}$ （5 Ci）：

9.1.4 本项目拟研发的中子安检设备结构和工作原理

本项目拟研发的中子安检设备是由伴随粒子成像（Associated Particle Imaging, API）技术发展来的小型化快中子安检系统。其硬件主要由三个核心部分构成，分别为：

- 1) 带有伴随 α 粒子探测器的 D-T 中子管；
- 2) 高精度样品台和高精密机械控制系统；
- 3) 阵列式中子和 γ 探测器及相应的电子学读出和控制系统。

本系统是基于伴随 α 粒子成像（API）技术，利用氘-氘（D-T）聚变反应中子与 α 粒子的时间与空间关联性，实现违禁品的精准三维无损检测。

9.1.5 工艺流程和产污环节

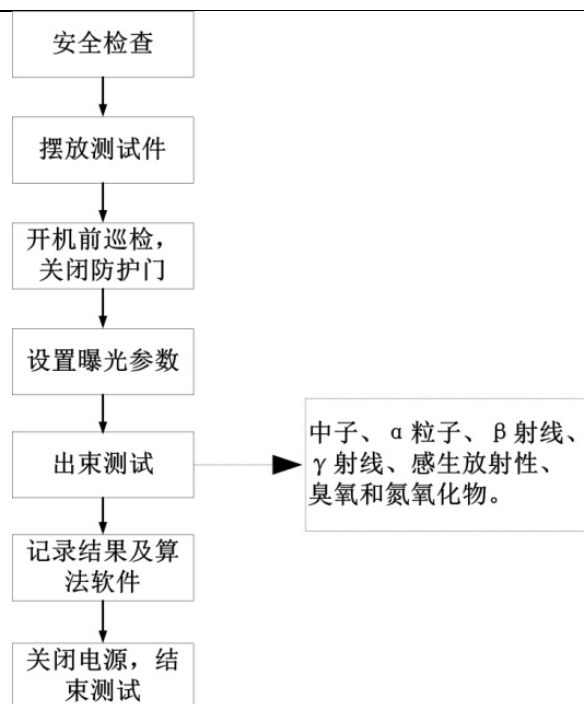


图 9-3 研发操作的工作流程及产污环节

9.1.6 具体操作程序

- 1) 安全检查：检查电离辐射标志在位，检查警示灯、视频监控、门机联锁系统、巡检系统和通风系统等工作正常；
- 2) 电源与预热：将安检系统通上电源，并对中子发生器部分进行预热，观察设备是否启动正常。
- 3) 测试件放置：打开调试场所防护门，将测试物摆放在样品台。
- 4) 无人巡检及关闭防护门：在确认没有人员滞留情况下，操作人员在规定时间内先后按下 2 个巡检按钮（东墙→西墙）后，关闭人员门。
- 5) 设置检测方式及参数：在控制台操作界面上设置检测方式以及相关参数。
- 6) 扫描测试：启动中子管，样品台上样品旋转，实现工件的三维扫描检测。
- 7) 完成检测：扫描完成后设备自动停止出束，完成一次扫描检测。
- 8) 停止运行后至少 5min 后，重复执行 3)～7) 操作。
- 9) 关闭电源：所有检测工件检测完成后，关闭安检设备电源。

9.1.7 调试内容和出束时间

本项目的系统调试主要围绕硬件集成、信号符合处理、成像算法验证三个方面展开，不涉及中子管内部工艺研发，具体内容包括：

- (1) 硬件集成调试
- (2) 时间符合与信号处理调试

(3) 软件算法测试

(4) 出束时间

本项目总出束时间汇总后不超过 78h/年，保守按照 100h/年进行评价。每次摆放样品 2min，共计 150 个样品，排放时间总计 5h。

9.1.8 污染源项描述

(1) β 辐射和韧致辐射

当中子发生器不工作时，中子管内氚靶的氚自然衰变产生 β 粒子， β 粒子平均能量为 5.7keV，最大能量为 18.6keV， β 粒子射程很短，贯穿能力较弱，中子管外壁可以完全屏蔽 β 射线。

氚靶密封于中子管内，正常使用时不存在表面污染工况。

(2) 中子贯穿辐射

中子管加速 D^+ 打靶，发生 $T(d, n)^4He$ 反应产生能量约 14MeV 的中子。中子发射率为 $5.0E+7n/s$ 的中子管，中子注量与周围剂量当量的转换系数为 $520pSv \cdot cm^2$ 。本项目拟使用的中子管 1m 处中子周围剂量率约为 $745 \mu Sv/h$ 。

(3) 次级 γ 射线

中子在金属、聚乙烯以及混凝土等屏蔽层中通过弹性散射、非弹性散射和中子俘获损失能量，发射出次级 γ 射线。快中子以非弹性散射为主，中能中子以弹性散射为主，热中子以中子俘获为主。中子管发射的中子能量较高，几乎都是快中子，主要通过非弹性散射释放 γ 射线。

(4) 感生放射性

1. 中子管靶结构材料的感生放射性

中子管产生的中子将与周围物质相互作用，产生感生放射性。周围物质主要是靶结构材料的活化。

本项目为研发安检设备配套使用中子管，中子管出束时间有限，且为间歇性运行，年出束时间低于 100h，预计靶结构材料活化水平较低。

2. 空气中的感生放射性

中子与研发机房空气中 (Ar 、 C 、 N 、 O) 发生反应，产生含 ^{41}Ar 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等感生放射性核素，其半衰期分别为 1.83h、20.5min、10min、2.1min，其中 ^{11}C 和 ^{15}O 的活化截面很小， ^{13}N 的活化产额极低，只有 ^{41}Ar 半衰期较长值得关注，其它放射性核素影响可以忽略。

(5) 臭氧和氮氧化物

中子、 γ 射线与机房空气作用会产生臭氧和氮氧化物。

同样，因中子发生器中子有用束被准直为全张角约 10° 的锥形束，接触的空气十分有限（只有约 11.3L），预计有害气体产生量较少。

9.2 正常工况下主要放射性污染物和污染途径

(1) 中子管产生的中子，污染途径为穿过屏蔽体对周围人员产生外照射。

(2) 中子与周围屏蔽材料作用产生的次级 γ 射线，污染途径为对屏蔽体外人员产生外照射

(3) 活化的中子管靶结构材料，污染途径为对更换设备部件或摆放模拟测试样品时，对工作人员产生外照射。

(4) 空气活化，主要是的 ^{41}Ar ，污染途径为浸没照射。

(4) 臭氧和氮氧化物，污染途径为排放到大气对空气有污染。

9.3 异常工况下的污染途径

结合本项目情况分析，可能发生的事故有：

(1) 意外出束

组装设备时，操作人员供电操作失误，导致中子发生器意外出束，导致周边操作人员受到意外照射。

(2) 人员误入或误留研发机房

可能发生的最严重的非正常工况是人员误入或误留研发机房，受到意外辐射照射。这类事件/事故可能威胁误入人员的人身安全，但是不会对周围环境造成影响。本项目中子发生器调试场所配置完备的辐射安全联锁系统，可以防止此类事故的发生。

(3) 中子管破损事故

中子管使用过程中，可能由于操作不当造成中子管破损，导致氙释放到环境中。中子管采用双层密封外加一层物理保护，其中内部两层为气密性密封，能有效杜绝中子管破损引起的氙释放，外层为不锈钢套筒密闭保护，一般情况下能够有效防止因外部冲击造成的破坏。

(4) 中子管丢失

调试场所管理不善，可能发生中子管丢失被盗事故。中子管中氙含量相当于 V 类源，丢失被盗属于一般事故。

表 10 辐射安全与防护

10.1 安检系统的辐射安全与防护措施

10.1.1 辐射工作场所分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，辐射工作场所应分为控制区及监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：把需要或可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。本项目将研发机房内区域划定为控制区。

监督区：未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但要经常对职业照射条件进行监督和评价。本项目将研发机房西侧的控制区和辅助区划定为监督区。

10.1.2 辐射屏蔽方案

表 10-1 研发机房屏蔽方案

机房屏蔽体	屏蔽设计		
	现状	改建	改建后
北墙	25cm 混凝土,改造区域有 3 扇普通玻璃窗户	新建 25cm 混凝土	保守按 25cm 混凝土计
东墙	25cm 混凝土	/	25cm 混凝土
南墙	25cm 混凝土	/	25cm 混凝土
西墙	/	新建 25cm 混凝土	25cm 混凝土
防护门	/	5mmPb+5mm 聚乙烯	5mmPb+5mm 聚乙烯
屋顶	20cm 混凝土	/	20cm 混凝土

注：研发机房尺寸：9.5m×8.2m×6.5m。

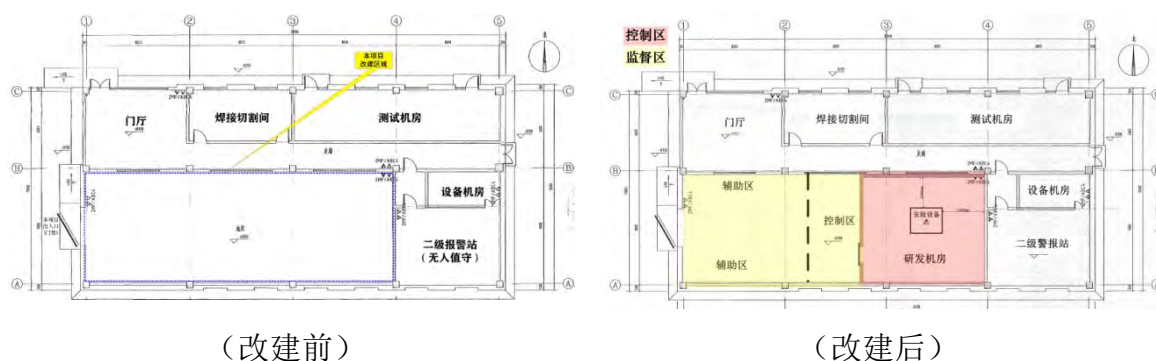


图 10-1 调试场所改建前后布局对照示意图

10.1.3 辐射安全与防护设施/措施

1. 研发机房采取实体屏蔽措施，保证调试场所周围（含顶部）、防护门外 30cm 处辐射剂量率均不大于 $1\mu\text{Sv/h}$ 。

2. 研发机房实行分区管理，调试场所内区域为控制区，西侧控制室和装配区为监

督区。西侧出入口设门禁系统，未经许可的工作人员禁止进入。

3. 在研发机房防护门外表面设置明显的电离辐射警告标识和中文警示说明。

4. 在研发机房防护门外设置能够反映设备“准备中”和“辐照中”状态的指示灯。工作状态指示灯旁设状态说明标签。

5. 中子发生器出束由控制台的钥匙控制，只有钥匙钮到“开”位置才能出束。将控制台钥匙和研发机房防护门钥匙拴在一起，确保开启防护门时必须拔出控制台钥匙，保证中子管停束。

6. 在中子管系统出束前，应有不少于 10s 的声、光预警信号，声、光预警信号结束后中子管系统方可加出束；出束后应持续发出声、光信号，直至停束为止。在出束过程中，一旦安全联锁条件不满足，系统应立刻自动切断高压停止出束。

7. 中子发生器系统与调试场所防护门、急停按钮、巡检按钮、射线源开关钥匙等联锁。只有在防护门关闭、急停按钮复位、巡检按钮依次按下、射线源开关钥匙闭合等联锁条件满足，且中子发生器设备准备就绪时，才可以启动中子管出束。

8. 研发机房的防护门为电动铅防护门，采用钥匙控制的门控方式。电动防护门和墙面搭接不低于 200mm，间隙与搭接宽度的比值应小于 1/10。

9. 研发机房防护门与中子发生器联锁。防护门开启时，中子管不能加高压出束。中子管出束状态下防护门被开启，应自动切断高压停止出束。通过控制台的复位操作后，方可再一次施加高压出束；

10. 研发机房防护门内侧设标识明显的紧急开门按钮，确保异常情况时人员能从调试场所内迅速开门离开。

11. 在调试场所内设置 4 个紧急停止按钮（四周墙壁各 1 个），在安检设备样机及操作台上各设置 1 个紧急停机按钮。紧急时候可按下急停按钮立即切断高压并停止出束。急停按钮按下后，需人工复位方可解除。急停按钮旁设文字说明。

12. 在调试场所内设置 2 个巡检按钮（东墙和西墙），只有工作人员确认调试场所内没有人员滞留并在规定时间内（1min）依次（东墙→西墙）按下巡检按钮，才能满足出束联锁条件。

13. 调试场所内设视频监视系统。其摄像头的安装应保证调试场所内无死角，并在控制室内设置专用监视器。

14. 在调试场所防护门外 1m 区域地面设警戒线，提醒无关人员不要停留。

15. 新增 1 台中子剂量当量仪和 1 台便携式 γ 剂量率仪，开展自行监测。新增 1

台个人剂量报警仪，工作人员进入调试场所除戴个人剂量计外，还应按要求佩戴个人剂量报警仪。新增 1 台固定式剂量率仪，探头设置在北墙，对中子发生器的出束状态进行监测。

16. 调试场所设置通风系统，中子发生器运行产生的少量臭氧和氮氧化物可有效排出，确保不会在调试场所累积。排风经管道组织至楼顶（约 10m）排放，每小时通风次数不小于 4 次（通风量 2500m³/h）。

17. 进入调试场所前，操作人员应确认中子发生器已处于停束状态，并将与控制台钥匙栓在一起的开门钥匙插入门控系统，才能开启防护门。

18. 项目完成后，设备用中子管最终返回生产厂家。因故障更换下来的中子管也返回生产厂家。

10.1.4 管线穿墙方式

研发机房的电缆管线采用“U”型走线，上方采用铅板进行覆盖。排风管道从西南角上方采用“Z”型方式穿出。研发机房电缆和风管穿墙处屏蔽设计示意图见图 10-4。

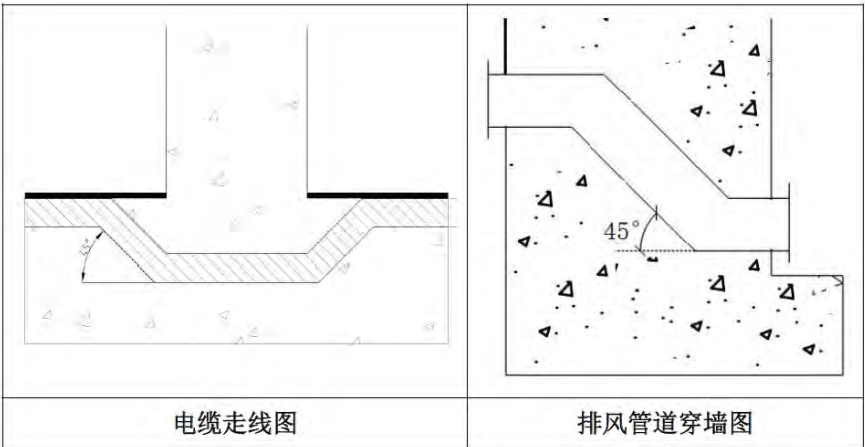


图 10-2 排风口穿墙示意图

图 10-3 电缆沟穿墙体示意图

表 10-2 中子管研发机房安全与防护设施设计要求

序号	检查项目		是否设置	备注
1*	A 充气 场所	电离辐射警告标志	×	不适合
2*		场所分区布局及屏蔽措施	×	不适合
3*		卫生通过间	×	不适合
4*		通风排风系统，及专用的含氚处理装置	×	不适合
5*		氚源储存在专门的密闭容器中	×	不适合
6*		场所氚浓度监测仪	×	不适合

7*		氚表面污染监测仪	×	不适合
8*		真空泵系统检修防护措施	×	不适合
9*		放射性废物暂存容器	×	不适合
10		个人防护物品	×	不适合
11*	B 测试 场所	电离辐射警告标志	√	设置电离辐射警告标志
12*		工作状态指示	√	设置工作状态指示灯
13*		场所分区布局及屏蔽措施	√	场所分区管理,采取实体屏蔽措施
14*		固定式中子、γ 辐射剂量监测报警仪	√	配备 1 台
15*		便携式中子、γ 辐射剂量监测仪	√	配备 1 台
16*		个人剂量报警仪	√	配备 1 台
17		个人剂量计 (γ、中子)	√	工作人员均配备个人剂量计
18*		放射性废物暂存措施	√	调试场所设废物桶
19		个人防护物品	√	

10.2 “三废”治理

本项目运行时,不产生放射性废水。

本项目废气主要为机房空气被中子活化后的产物 ^{41}Ar 以及 O_3 和 NO_2 等,设置通风系统将有害气体排入室外环境。

废旧中子管最终返回生产厂家,准直器等可能活化部件清洁解控处置。

10.3 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

《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《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的对照评估如

表 10-3 所示。

表 10-3 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: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。	场所分区管理,在防护门外设置电离辐射警告标志和中文警示说明。设置工作状态指示灯、急停按钮、巡检按钮、准备出束声光提示,控制台上设急停按钮和钥匙开关等。	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	配置便携式剂量率仪开展自行监测,每年委托有资质单位开展一次场所辐射监测。	落实后符合

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。		
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 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	每年 1 月 31 日前向北京市生态环境局提交年度评估报告。	符合
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。	本项目配备 3 名辐射工作人员，为现有的辐射工作人员，已通过辐射安全与防护考核并在有效期内。	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。	对所有从事辐射工作的人员配备个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测(每季度 1 次)。	符合

10.4 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 10-4 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》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 10-4 项目与“放射性同位素与射线装置安全许可管理办法”要求对照表

放射性同位素与射线装置安全许可管理办法	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。	中心成立了辐射安全与防护领导小组，小组辐射防护负责人由技术研发部领导担任，全面负责单位的放射防护监督和管理工作的，成员由相关辐射业务科室人员组成，并有专职人员负责。	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。	本项目配备 3 名辐射工作人员，为现有的辐射工作人员，已通过辐射安全与防护考核并在有效期内。	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。	本项目不涉及放射性同位素方面的内容。	不涉及
第十六条（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	场所分区管理，在防护门外设置电离辐射警告标志和中文警示说明。设置工作状态指示灯、急停按钮、巡检按钮、准备出束声光提示，控制台上设急停按钮和钥匙开关等。	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。	所有放射性工作人员均配备个人剂量计，还配备辐射检测仪（便携式和固定式）和个人剂量报警仪。	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。	已经制定了制定了辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案，以及辐射事故应急预案，本项目运行前，将修订辐射监测方案、操作规程和事故应急预案，能够满足工作需要。	符合
第十六条（七）有完善的辐射事故应急措施。	制定了辐射事故应急计划。	落实后符合
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。	本项目不产生放射性废水。含放射性活化气体的废气在屋顶有组织排放。废旧中子管由生产厂家回收，可能被活化的准直器等经监测后清洁解控处置。	落实后符合

表 11 环境影响分析

11.1 项目建设或安装过程的环境影响

本项目在建设和安装阶段无辐射产生，对周围环境没有辐射影响。

本项目场地建设过程中涉及屏蔽体的浇筑、建筑装修、设备安装等，在项目的建设过程中，应采取污染防治措施，减轻对周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘。

1、声环境影响分析

该项目施工期的噪声主要来自调试场所屏蔽体浇筑、相关设施的安装调试等阶段。本项目的建设周期短，影响期短暂，且在室内施工，对周围环境影响小。因此，合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业，噪声对周围的影响不大。

2、环境空气影响分析

施工期，扬尘来自于材料搬运、装卸等施工活动，由于扬尘源多且分散，属于无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。本项目施工量较少，施工范围较小，对环境影响较小，土建工程结束后即可恢复。

3、水环境影响分析

本工程施工污水主要来自少量施工废水。施工废水主要包括砂石料加工水。施工废水含泥沙和悬浮物，直接排出会阻塞排水管道。对此，将要求施工单位对施工废水进行妥善处理。

4、固体废物影响分析施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾应置于中心内部垃圾收集箱内。施工建筑垃圾委托有资质的渣土运输公司处置，运垃圾的专用车每次装完垃圾后，用苫布盖好，避免途中遗洒和运输过程中造成扬尘。可以使工程建设产生的垃圾处于可控制状态。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降到最小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 源项

根据中心提供的资料，本项目使用的中子发生器的最大工作电压为 110kV，最大靶电流 100 μ A，中子强度为 5×10^7 n/s。中子发生器内含有一个氚靶，氚靶密封在严密包

壳中，氚靶放射性活度为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。 ^3H 的衰变方式为 β 衰变。中子发生器在没有通电状态下，主要为 ^3H 的衰变产生的 β 射线以及 β 射线引起韧致辐射。

在通电状态下，密封型中子发生器产生 14MeV 的快中子，快中子发生非弹性散射，产生 γ 射线。快中子被慢化成热中子，发生俘获反应，也产生 γ 射线。

(1) 中子

中子管运行时，中子由氘束流与氚靶反应产生。本项目使用中子管产额 $5\text{E}+07\text{n/s}$ 。中子管产生单能中子，能量为 14MeV。

(2) γ 射线

γ 射线是由中子慢化，或与中子管部件、屏蔽体中有些元素发生核反应或 n, γ 俘获而产生。中子管释放的中子能量较高为 14MeV，所致的次级 γ 能量也较高。

(3) 感生放射性

1. 部件活化

活化部件主要是中子管靶结构材料、中子管周围屏蔽材料以及准直器。本项目中子管出束时间有限，且为间歇性运行，预计除中子管结构材料外，中子管周围屏蔽材料以及准直器活化水平较低。

2. 放射性气体

放射性气体由中子管运行期间的初级粒子与空气相互作用产生，其中最主要的是中子与空气的作用。结合半衰期和产生量，空气中值得考虑的放射性核素有 ^{41}Ar 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O ，其中 ^{41}Ar 对环境的影响最大。

(4) 非放射性气体

本项目中子发生器的中子发生率较低 ($5\text{E}+07\text{n/s}$)，中子管周围用 Fe 和含硼聚乙烯屏蔽，只有准直后的窄中子束照射受检样品，有用束接触的空气有限，产生的非放射性气体很有限。安检仪周围的中子和 γ 总剂量低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，与空气接触产生的有害气体更少，研发机房内设置 1 套排风系统，废气排放至大气环境。因产生量极少，对环境和室内职业人员的影响较小，不做具体评价。

11.2.2 贯穿辐射估算（蒙卡方法）

本次评价采用目前国内外通用的 FLUKA 程序计算质子治疗系统屏蔽体外剂量率水平。

(1) 计算模型

按照备相关参数加上相对应的外层屏蔽防护设施，建立完整的蒙特卡洛模型计算模

型。

(2) 关注点设置

关注点选取安检设备四周、顶部 30cm 处，共计 9 个关注点。

(2) 计算结果

根据 FLUKA 程序的计算结果，安检设备周围各关注点处的剂量率计算结果如表 11-1 所示。

表 11-1 安检设备屏蔽体外关注点剂量率模拟计算结果/ ($\mu\text{Sv/h}$)

编号	位置描述 (装置表面 30cm)	点位坐标 (cm)	屏蔽材料和 屏蔽厚度 (cm)	γ ($\mu\text{Sv/h}$)	中子 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	设备顶面 (主束防护 区)	(0, 0, 230)	5 钨+34PE	0.86	5.50e-02	0.92
2	后面下端	(0, 130, 20)	11Fe+ 62PE	1.51	7.41e-01	2.25
3	右侧下端	(155, 0, 20)	11Fe+62PE	1.42	4.35e-01	1.86
4	前面下端	(0, -130, 20)	11Fe+62PE	1.35	7.33e-01	2.08
5	左侧下端	(-155, 0, 20)	11Fe+46PE	1.32	1.66e-01	1.47
6	顶面 z (左右非主 束照射区)	(± 74 , 0, 230)	11Fe+48PE (20° 斜射)	0.24	0.86	1.1
7	顶面(前后非 主束照射区)	(0, ± 74 , 230)	11Fe+45PE (20° 斜射)	0.14	0.52	0.66
8	左右侧面上 端	(-155, 0, ± 190)	11Fe+38PE (42° 斜射)	0.2	0.73	0.93
9	前后侧面上 端	(0, 130, ± 190)	11Fe+38PE (38° 斜射)	0.33	1.22	1.55

由表 11-1 蒙特卡罗模拟结果可见，本项目运行时，安检设备周围 30cm 处的周围剂量当量率（中子和 γ ）最大为 $2.25 \mu\text{Sv/h}$ ，低于本项目设定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制水平。

11.2.3 辐射剂量估算

(1) 工作人员

工作人员受照剂量估算结果如表 11-2, 可见工作人员受照剂量为 $26.6 \mu\text{Sv/a}$ ，低于 2mSv/a 的剂量约束值。

表 11-2 辐射工作人员受照剂量估计

停留位置	估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	校正结果* ($\mu\text{Sv/h}$)	出束时间 (h)	居留因子	总计
研发机房西侧 墙外 (控制区)	1.28E-02	7.04E-02	100	1	7.04
研发机房西侧 防护门外(控制	2.07E-02	1.14E-01	100	1/16	7.1

区)					
机房内摆放样品	2.5**	2.5	5	1	12.5
总计					26.6

注：*按照与蒙卡模拟结果比值 5.5 校正。**设备周围活化水平保守按照 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 计

(2) 公众

不同位置可能停留的公众受照剂量估算结果如表 11-2, 可见公众受照剂量最大为 $2.38 \mu\text{Sv/a}$, 低于 0.1mSv/a 的剂量约束值。

表 11-3 公众受照剂量估计

停留位置	估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	校正结果* ($\mu\text{Sv/h}$)	出束时间 (h)	居留因子	总计
研发机房北侧墙外 (走廊)	8.01E-03	4.41E-02	100	1/16	2.75E-01
研发机房东侧墙外 (二级警报站)	4.34E-03	2.39E-02	100	1/4	5.97E-01
研发机房南侧墙外 (室外)	3.17E-03	1.74E-02	100	1/16	1.09E-01
研发机房西侧墙外 (辅助区)	4.33E-03	2.38E-02	100	1	2.38E+00
研发机房屋顶	4.21E-02	2.32E-01	100	1/16	1.45E+00

11.3 “三废”的治理

本项目运行中, 不产生放射性废水和放射性固废, 产生的少量活化气体对环境的影响十分轻微。

安检设备研发过程中, 会产生少量的臭氧和氮氧化物。

本项目研发机房配套有排风系统, 设备运行产生的少量有害气体不会累积, 对环境的影响是十分轻微的, 可以忽略。

11.4 事件(故)分析与防范建议

11.4.1 事故情景及应对措施

结合本项目情况分析, 可能发生的事故有:

(1) 中子管破损事故

本项目可能对环境造成辐射影响的主要是中子管使用过程中, 由于操作不当造成中子管破损, 氚释放到环境中的影响。本项目中子管采用双层密封外加一层物理保护, 其中内部两层为气密性密封, 一般情况下能够有效防止因外部冲击造成的破坏。所以, 发生中子管破损和泄漏的事故概率极低。

(2) 人员误留或误入研发机房

人员误留或误入研发机房, 会受到不必要的照射。

本项目安检设备周围的附加剂量率低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，即使人员误留或误入研发机房，人员受照剂量均有限，不会导致人员受照剂量超出剂量限值。

(3) 中子管丢失

中子发生器因丢失、被盗、卡住等外因导致破坏，致使氚泄漏，或误使中子发生器落入非工作人员手中，使其通电发射中子，使工作人员或公众受到辐射照射，进一步可能造成放射性污染。

本项目中子发生器属于 II 类射线装置，氚含量满足 IV 放射源分类标准，发生丢失、被盗、失控，导致人员受到超过年剂量限值的照射，放射性物质泄漏，造成局部辐射污染后果的情况。故属于一般辐射事故。

11.4.2 事故后果及评价

根据以上事故分析可知，本项目对环境的主要影响来自中子管破损事故。

发生中子管破损事故，本项目对公众的内照射为 $6.4 \mu\text{Sv}$ ，低于事故情况下的剂量控制值 1mSv ，是可以接受的。

11.4.3 事件（故）防范措施

1. 制定应急预案：对可能发生的事件/事故情景进行分析，并列出具体的预防措施。应急预案明确了组织机构、人员以及发生各类事故后的报告流程和具体处置措施。

2. 人员误照处置措施

1) 研发机房的通道门设置门机连锁系统：防护门不关闭，中子发生器不能启动出束。中子发生器运行过程中一旦防护门被打开，设备将自动停止出束，该措施可有效防止人员误入并受到误照。平时工作人员每天要对门机连锁系统进行检查，确保其正常工作。如果发现门机连锁系统的触点接触不灵敏时，及时进行维护或更换。

2) 人员进入中子管调试场所摆放样品时保持人员通道门开启，并拔下控制台钥匙，这样可有效避免“摆放样品时设备意外出束”的事件。

3) 在调试场所设置闭路监视系统：该系统可在控制台位置观察调试场所内是否有人员误留，可有效防止人员误照事故的发生。

4) 中子发生器工作人员将佩戴个人剂量报警仪进入调试场所。一旦发生误入或者误留情况，报警仪会发生声响提醒工作人员立即撤出。

3. 停束按钮失灵的处置措施

“停止”按钮不能停止出束时，则按下控制台“急停”开关。在操作人员确保控制按钮正常运行之前，不得试图再次开机。

4. 停电故障

停电时，射线装置自动停止出束。故停电对本项目不会导致事故后果。

5. 事故性出束预防

工作人员进入研发机房，拨下控制台出束钥匙，并保持防护门开启。该时候门机联锁系统和出束控制系统可确保中子发生器无法启动。为防止其他人员误留在研发机房内受到误照射，要求每次出束前，工作人员必须进调试场所进行巡检，确认没有人员滞留在调试场所内，方可出束。此外，佩戴个人剂量报警仪，一旦发生意外出束情况，可及时报警并迅速撤出。

6. 报告制度

发生上述辐射事故后，应在 2 小时内向当地生态环境部门报告，填写《辐射事故初始报告表》。如果可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

中心设立辐射安全管理小组，负责辐射防护和安全管理。其中辐射防护负责人通过了辐射安全与防护考核（FS24BJ2300829）。小组设专职人员具体负责辐射安全与防护工作。

12.2 辐射安全管理规章制度

中心设立辐射安全管理小组，制定了辐射安全与防护相关制度，具体有操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案，以及辐射事故应急预案，基本能够满足工作需要。

中心将根据项目批复要求，进一步梳理上述制度，完善检测方案、操作规程，以及应急预案，以满足今后辐射安全管理要求。

12.3 辐射工作人员培训考核

中心现有 13 名辐射工作人员，均通过了辐射安全与防护培训考核，取得合格证书并在有效期内。

本项目拟配置 3 名辐射工作人员为现有的辐射工作人员，已通过辐射安全与防护考核后并在有效期内，开展本项目研究期间，不再兼职其他辐射相关工作。

12.4 辐射监测

12.4.1 辐射监测设备

本项目拟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	名称	数量	备注
1	便携式 γ 剂量仪	1	新增
2	固定式剂量率仪	1	新增
3	个人剂量报警仪	1	新增
4	中子巡检仪	1	新增

12.4.2 工作场所监测计划

本根据《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，本项目辐射工作场所监测采用委托监测和自行监测两种方式，监测数据记录存档。

监测项目： γ 剂量率、中子剂量当量率；

监测频次：1 次/半年（自行监测）、1 次/半年（委托有资质单位监测）；。

12.5 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
剂量管理约束值	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 0.1mSv/a 和 2mSv/a。
电离辐射标志和中文警示	在本项目调试场所出入口门上显著位置设置电离辐射警告标识和中文警示说明。
辐射安全设施	调试场所实行分区管理。调试场所出入口设置工作状态指示灯，设置门机联锁、急停按钮、门控按钮、巡检按钮、闭路监视、通风系统等。
辐射监测	有满足管理要求的辐射监测制度；监测记录存档；本项目新增 1 台固定式辐射监测仪，新增 1 台便携式 γ 剂量仪、1 台中子巡检仪和 1 台个人剂量报警仪；为所有辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。此外，。
规章制度	制定了辐射安全与防护管理制度，具体有《辐射安全与防护管理领导小组及工作职责》《辐射安全与防护管理制度》《辐射工作人员辐射安全与防护培训考核制度》《辐射监测制度》《设备台账管理制度》《设备操作规程》《放射设备维修维护制度》，以及辐射事故应急预案。
人员培训考核	本项目配备 3 名辐射工作人员，为现有的辐射工作人员，已通过辐射安全与防护考核并在有效期内。
应急预案	建立有应急预案，并进行过辐射事故（件）应急演练。

表 13 结论与承诺

13.1 结论

1. 为了克服传统 X 射线查验在重元素物质穿透能力不足、轻元素物质区分能力弱、缺乏精准物质识别能力，中心团队拟研制一套基于伴随 α 粒子技术的小型化快中子无损检测系统，以期能够对爆炸物、毒品等违禁品，以及被屏蔽的核材料等管制物品进行高效查验。本项目目的明确，理由正当。

2. 拟建项目周围辐射环境现状调查结果表明：评价区的环境 γ 辐射剂量水平与北京市的环境 γ 辐射剂量率水平基本一致。

3. 正常运行情况下，不存在放射性废水和放射性固体废物，少量活化气体高空排放，对环境影响轻微。

4. 本项目主要的环境影响是中子和 γ 射线的贯穿辐射。保守估计结果表明，公众和职业人员年受照剂量分别低于 0.1mSv/a 和 2mSv/a 的剂量约束值。

5. 本项目拟配置 3 名辐射工作人员为现有辐射工作人员，今后专职从事本项目核技术活动，均已通过辐射安全与防护培训考核，并在有效期内。

6. 辐射安全与防护管理。单位设有辐射防护管理领导小组，负责中心的辐射安全管理和监督工作。建立有较健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和人员管理及安全培训考核制度、设备检修维护制度、台帐管理制度以及个人剂量监测和辐射监测制度。中心针对人员误照事件制定了应急预案。

综上所述，国家核安保技术中心新建 II 类射线装置调试机房建设项目理由正当。该项目实施后预计有良好的经济和社会效益。在正常运行情况下，不产生放射性“三废”，X 射线装置对工作人员和公众所致的剂量均小于剂量约束值，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响，符合环境保护的要求。故该项目从环境保护角度考虑是可行的。

13.2 承诺

为了保护环境，保障人员健康，中心承诺：

1. 严格按照相关法规、标准要求开展辐射作业。不违规操作，不弄虚作假。
2. 发生或发现辐射事故后，立即向生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。
3. 不断加强全所的辐射安全管理工作，进一步完善辐射安全管理规章制度，落实

辐射安全管理责任。

4. 加强辐射工作人员管理，全部辐射工作人员参加辐射安全与防护考核，考核合格后，持证上岗。

5. 及时办理辐射安全许可证重新申领手续。在项目建设投入运行后，及时自行组织竣工环境保护验收。运行过程中，并接受生态环境管理部门的监督检查。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：		
公 章		
经办人	年	月 日

审批意见：		
公 章		
经办人	年	月 日