

编号: XHKJ2226

核技术利用建设项目
松山湖材料实验室
核技术利用建设项目
环境影响报告表

送审版



环境保护部监制

核技术利用建设项目
松山湖材料实验室
核技术利用建设项目
环境影响报告表

建设单位名称：松山湖材料实验室（盖章）

建设单位法人代表（签名或签章）：



方忠

通讯地址：广东省东莞市松山湖材料实验室 C1

邮政编码：523801

联系人：胡金亮

电子邮箱：

联系电话：

编制单位和编制人员情况表

项目编号	bqzqee		
建设项目名称	松山湖材料实验室核技术利用建设项目		
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)	松山湖材料实验室		
统一社会信用代码	12441900MB2C76288D2		
法定代表人 (签章)	方忠		
主要负责人 (签字)	张博		
直接负责的主管人员 (签字)	张博		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	广州星环科技有限公司		
统一社会信用代码	91440106MA59DAA73A		
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
魏来	201905035430000004	BH024228	魏来
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
马雯茹	项目基本情况、环境质量和辐射现状、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理	BH042474	马雯茹
魏来	评价依据及评价标准、项目工程分析与源项、结论	BH024228	魏来

编制主持人环境影响评价工程师资格证书

	<h2>环境影响评价工程师</h2> <p>Environmental Impact Assessment Engineer</p>		
<p>本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、生态环境部批准颁发，表明持证人通过国家统一组织的考试，具有环境影响评价工程师的职业水平和能力。</p>			<p>姓名： <u>魏来</u> 证件号码： <u>430104198811124339</u> 性别： <u>男</u> 出生年月： <u>1988年11月</u> 批准日期： <u>2019年05月19日</u> 管理号： <u>201905035430000004</u></p>
<p>中华人民共和国 人力资源和社会保障部</p>	<p>中华人民共和国 生态环境部</p>		

目 录

表 1 项目基本情况.....	-1-
表 2 放射源.....	-14-
表 3 非密封放射性物质.....	-14-
表 4 射线装置.....	-14-
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	-15-
表 6 评价依据.....	-16-
表 7 保护目标与评价标准.....	-19-
表 8 环境质量和辐射现状.....	-23-
表 9 项目工程分析与源项.....	-31-
表 10 辐射安全与防护.....	-44-
表 11 环境影响分析.....	-61-
表 12 辐射安全管理.....	-73-
表 13 结论与建议.....	-83-
表 14 审 批.....	-85-
附件 1 辐射安全许可证.....	-86-
附件 2 建设项目环境影响登记表.....	-90-
附件 3 上一年度辐射安全年度评估报告.....	-92-
附件 4 环境 γ 辐射现状检测报告.....	-95-
附件 5 射线装置相关技术参数说明.....	-101-
附件 6 辐射安全管理规章制度.....	-102-

表 1 项目基本情况

建设项目名称		松山湖材料实验室核技术利用建设项目			
建设单位		松山湖材料实验室			
法人代表	方忠	联系人	胡金亮	联系电话	
注册地址		东莞市松山湖大学创新城 A1 栋			
项目地点		东莞市大朗镇屏东路 333 号松山湖材料实验室 2 号实验楼一层			
建设项目总投资 (万元)	100	项目环保投 资(万元)	10	投资比例(环保投 资/总投资)	10%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积 (m ²)	35
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 type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input 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 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" 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		
	其它	/			
<p>1.1 项目概况</p> <p>1.1.1 建设单位情况</p> <p>松山湖材料实验室(下称:建设单位)成立于 2018 年,坐落于粤港澳大湾区重要节点城市东莞,注册地址为东莞市松山湖大学创新城 A1 栋。是广东省首批启动建设的四家省实验室之一,以中国科学院物理研究所为牵头单位,广东省科技厅为指导单位,东莞市政府、中国科学院高能物理研究所为共建单位。实验室总人数近千人,拥有中子科学团队、微加工与器件团队、材料计算与数据库团队、空间材料团队、光电子材料与器件团队等。其中空间材料团队以张博研究员为团队负责人,目前拥有成员十余人,其中高级职称 9 人。</p>					

空间材料团队关注空间环境的独特性，聚焦空间材料的关键问题，主要开展空间环境下先进的材料制备技术以及空间极端环境下材料物理新现象探索等方向的研究。在非晶合金等材料的开发与应用、高温金属熔体的原子扩散行为研究等方面积累了丰富的研究经验，拥有大量的研究成果。

1.1.2 项目来由和目的

为了获得精确可靠的金属熔体扩散系数，松山湖材料实验室空间材料团队拟在 2 号实验楼一层绿色非晶团队实验室西南侧生产（组装，调试）、使用 1 台 X 射线实验装置，配套使用 1 台 YXLON 公司 FXE 160.50 型 X 射线管及其组件（最大管电压 160kV、最大管电流 1mA）。松山湖材料实验室空间材料团队采用基于商业化的实验室微焦点 X 射线管和高空间分辨率探测器来对扩散样品进行成像，通过扩散样品的 X 射线吸收衬度的变化反演获得扩散过程中的实时成分谱，最后利用获得的成分谱，结合 Fick 定律得到相应的扩散系数。

本项目射线装置的用途本质上是 X 射线无损检测，可归为工业用 X 射线探伤装置，根据《关于发布射线装置分类的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，第 66 号）对射线装置的分类，工业用 X 射线探伤装置分为自屏蔽式 X 射线探伤装置和其他工业用 X 射线探伤装置，本项目属于生产、使用其他工业用 X 射线探伤装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日实施），本项目应编制环境影响报告表。受松山湖材料实验室委托，广州星环科技有限公司对松山湖材料实验室核技术利用建设项目进行环境影响评价。

1.1.3 项目规模

松山湖材料实验室空间材料团队拟在 2 号实验楼一层绿色非晶团队实验室西南侧生产（组装，调试）、使用 1 台 X 射线实验装置，配套使用 1 台 YXLON 公司 FXE160.50 型高功率微焦点 X 射线管及其组件，用于测量扩散样品熔体的扩散系数。FXE 系列包括：高压发生器、控制柜、探测器，其他配套设施还有：X 射线防护柜、真空腔等。该射线装置属于定向机，X 射线管、真空腔和 X 射线探测器固定在 X 射线防护柜内使用。

建设单位负责真空腔实验装置的设计、制作和实验图像的后处理分析。X 射线防护柜由丹东中晟射线仪器有限公司负责设计、制作。康姆艾德公司提供 X 射线管及其组件，操作系统和成像系统均是由康姆艾德公司研发和提供的，随 X 射线管及其组件配套使用。

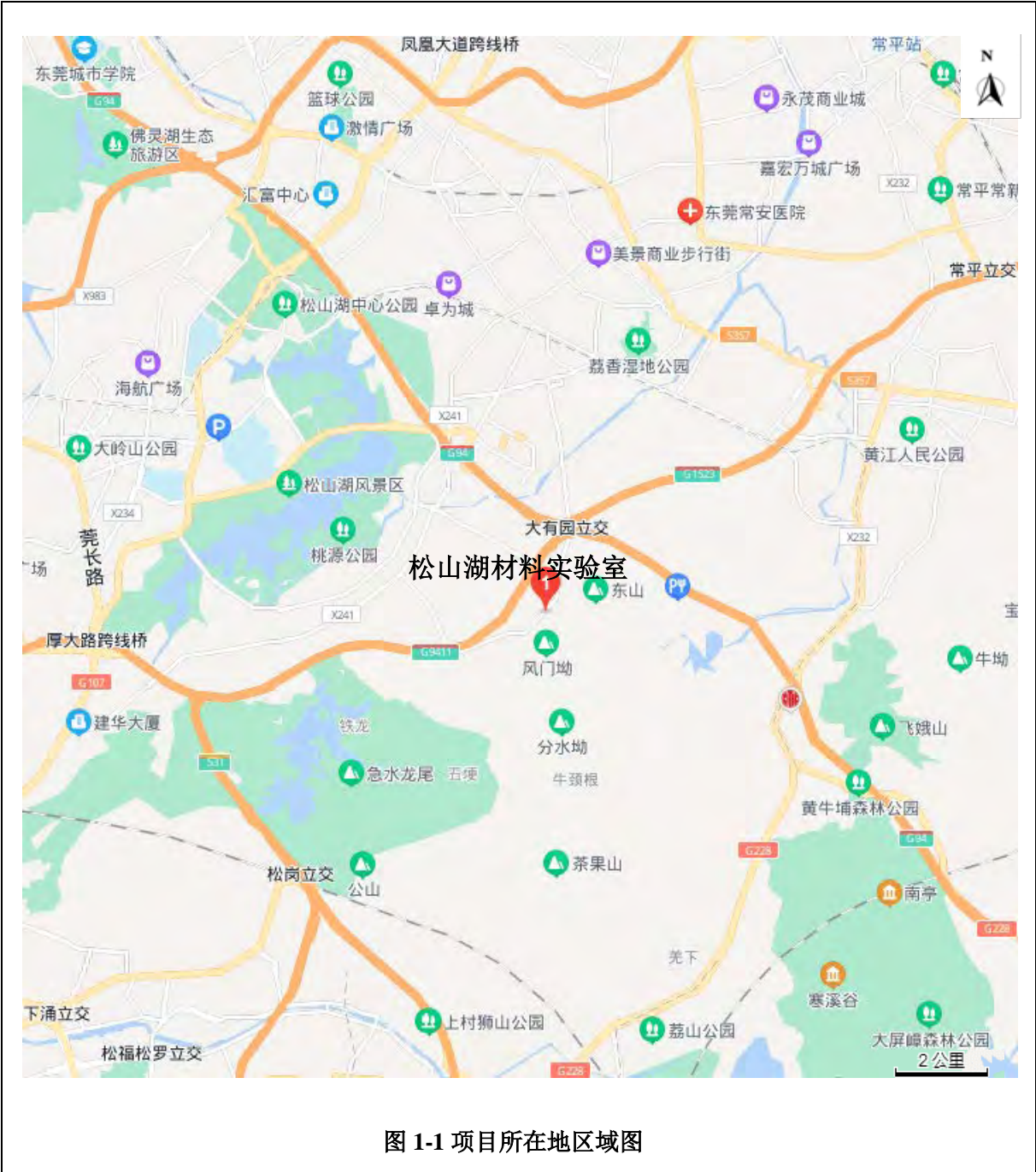
本项目涉及到射线装置的组装、性能和屏蔽测试等环节，由建设单位负责。建设单位生产（组装，调试）的 X 射线实验装置仅自用，数量仅 1 台，不对外从事生产销售活动。

本项目拟使用的射线装置不具有 CT 功能。拟使用射线装置的型号、规格等信息见表 1-1。

表 1-1 拟使用射线装置信息一览表

名称	型号	最大管电压	最大管电流	数量	类别	类型
X 射线管	YXLON 公司 FXE160.50 型	160kV	1mA	1 台	II 类	定向机

项目所在区域图见图 1-1，松山湖材料实验室园区平面布置图见图 1-2。



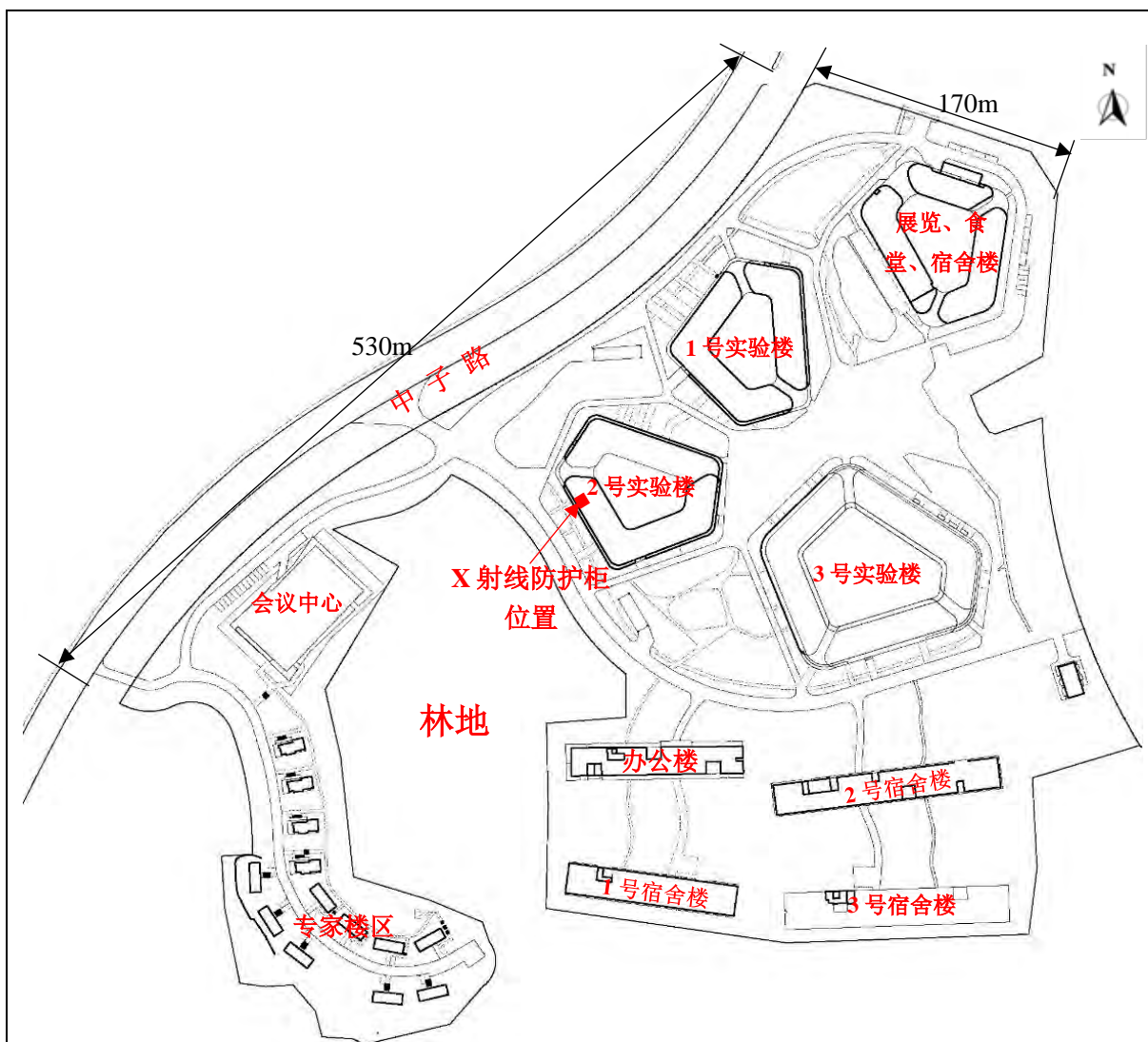


图 1-2 园区平面布置图

1.2 项目选址和周边关系

本项目选址位于松山湖材料实验室 2 号实验楼一层绿色非晶团队实验室，2 号实验楼位于园区的西南侧位置，四周主要分布有 3 号实验楼、1 号实验楼、中子路、园区道路及绿化带等。目前 2 号实验楼主体框架已建成，正在进行内部建设阶段。项目选址楼外东侧 109m 处是 3 号实验楼，西南侧 16m 处是园区道路、131m 处是会议中心，南侧 144m 处是办公楼，西北侧 112m 处是中子路，东北侧 108m 处是 1 号实验楼。项目周边关系图见图 1-3。

本项目选址所在主体为地上三层、地下一层的建筑；一二三层主要是实验室，地下一层是停车场。2 号实验楼一层平面布置图见图 1-4，二层平面布置图见图 1-5，

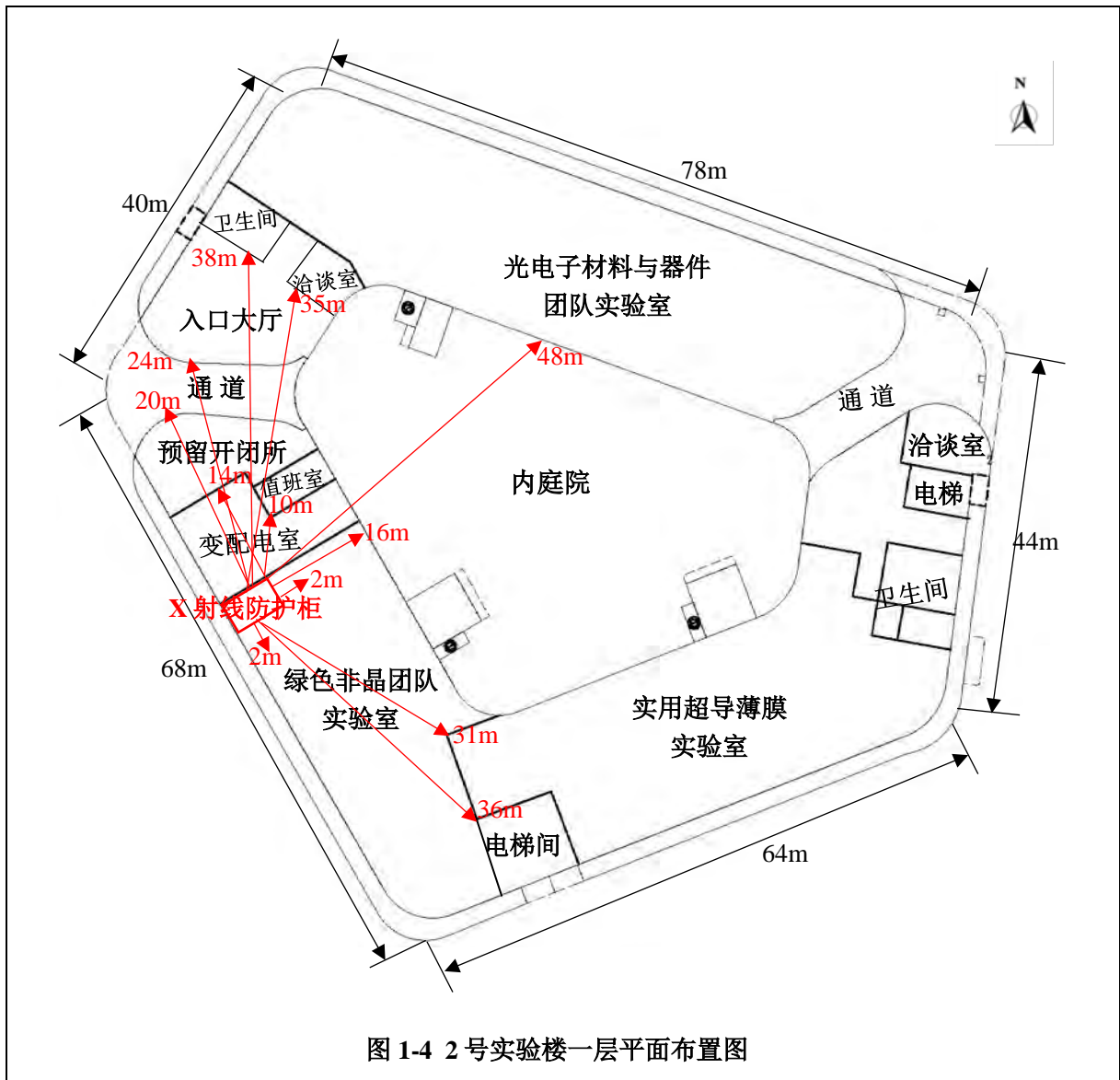
三层平面布置图见图 1-6，地下一层平面布置图见图 1-7。本项目拟使用的工作场所设在 2 号实验楼绿色非晶团队实验室的西南侧角落，X 射线防护柜外东北侧 2m 是绿色非晶团队实验室、16m 处是内庭院、48m 处是光电子材料与器件团队实验室；东南侧 2m 是绿色非晶团队实验室、31m 处是实用超导薄膜实验室、36m 处是电梯间；西南侧 16m 处是园区道路；西北侧相邻是变配电室、10m 处是值班室、14m 处是预留开闭所、20m 处是通道、24m 处是入口大厅；北侧 35m 处是洽谈室、38m 处是卫生间；正上方（楼上二层）5m 处是绿色非晶合金团队实验室、三层 10m 处是仿生控冰团队实验室；正下方（地下一层）5m 处是停车场。项目选址四周场所一览表见表 1-2。

绿色非晶团队实验室除了本项目的射线装置还有其他分析设备，X 射线管固定在 X 射线防护柜内使用，按要求设置专门的辐射工作区域。本项目选址位于 2 号实验楼一层非晶团队实验室西南侧角落，可避免人员混杂，有利于分区管理。项目选址 50m 范围内无住宅区、商业区等人群密集场所，200m 范围内无中小学、幼儿园等环境敏感点，综上可判断本项目的选址合理。

表 1-2 项目选址四周场所分布一览表

方位	场所
东北侧	绿色非晶团队实验室、内庭院、光电子材料与器件团队实验室
东南侧	绿色非晶团队实验室、电梯间、实用超导薄膜实验室
西南侧	园区道路
西北侧	变配电室、值班室、预留开闭所、通道、入口大厅
北侧	卫生间、洽谈室
楼上二层	绿色非晶合金团队实验室
楼上三层	仿生控冰团队实验室
地下一层	停车场





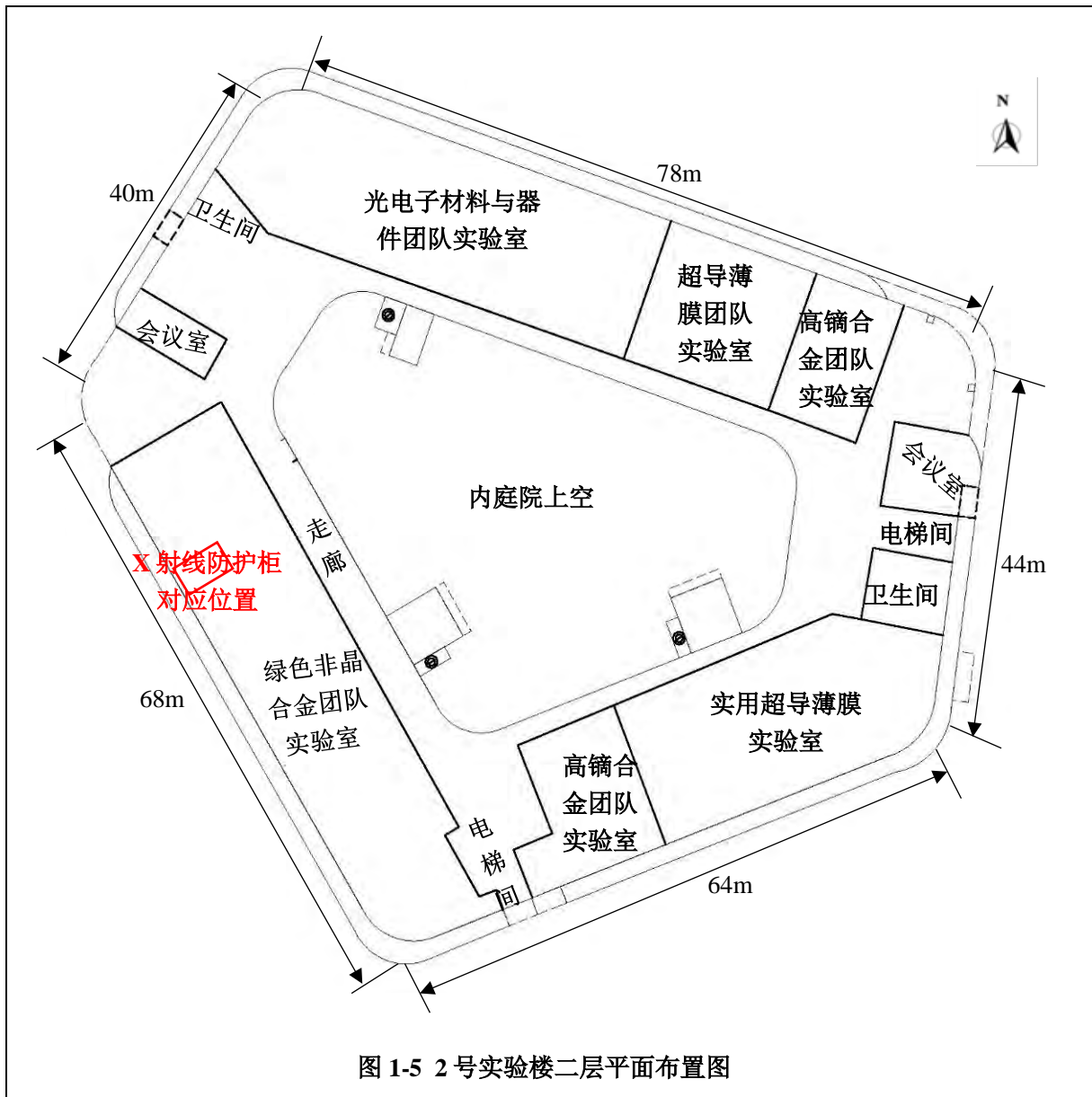


图 1-5 2号实验楼二层平面布置图

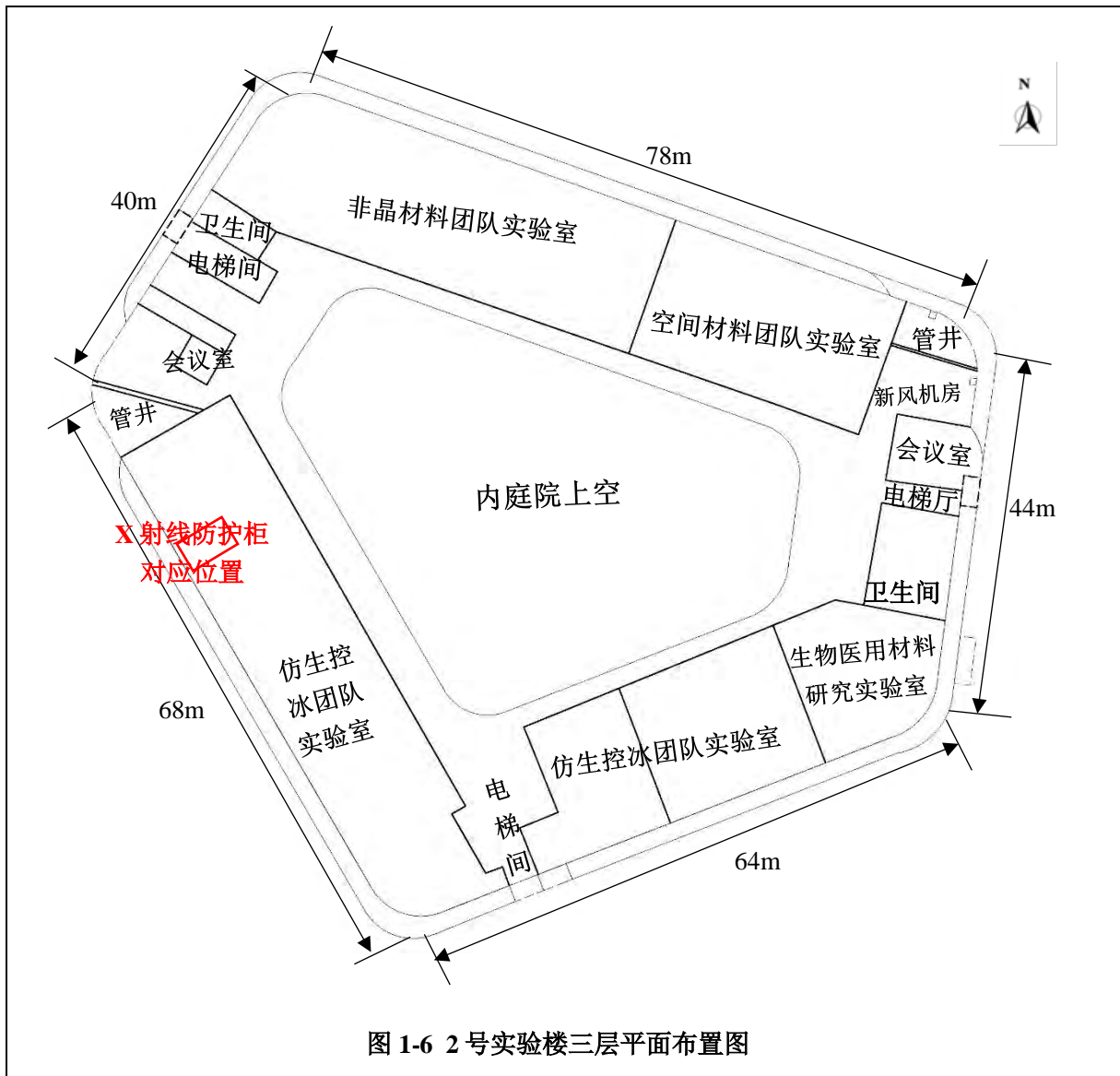


图 1-6 2号实验楼三层平面布置图

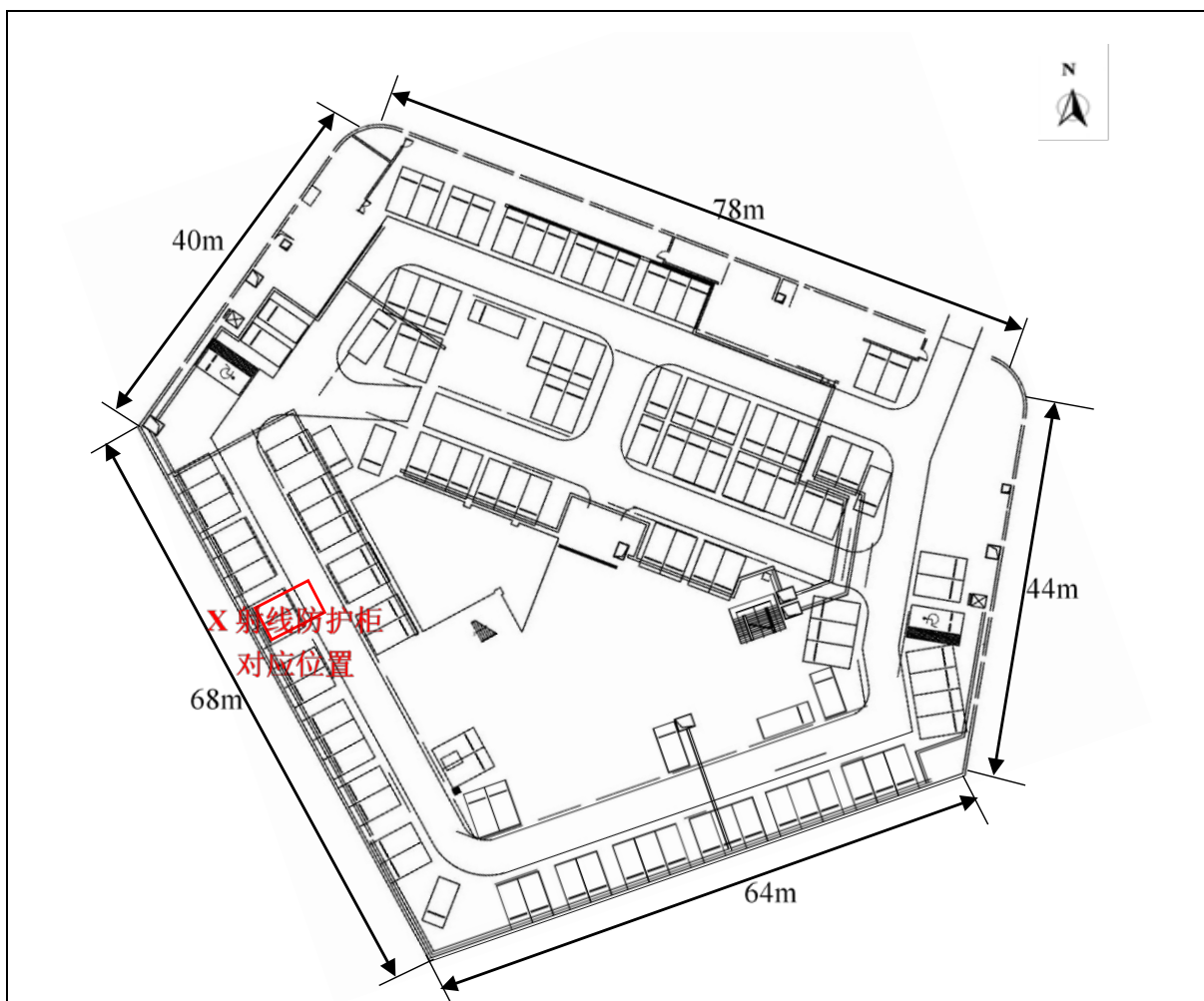


图 1-7 2 号实验楼地下一层平面布置图

1.3 实践的正当性分析

对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

本项目的投产有助于实验室空间材料团队研发空间环境下先进的材料制备技术以及空间极端环境下材料物理新现象探索等方向的研究，在非晶合金等材料的开发与应用、高温金属熔体的原子扩散行为研究等方面积累了更加丰富的研究经验。

本项目采取了合理、可靠的工作场所辐射屏蔽设计，具有安全联锁装置、紧急停机等辐射安全与防护措施，辐射影响控制在可合理达到的尽可能低的水平。从而，以较小的环境影响获得较大的科学效益，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于辐射“实践的正当性”的要求。

1.4 原有核技术利用项目许可情况

建设单位现持有辐射安全许可证（见附件 1），证书编号：粤环辐证[S0359]，种类和范围为：使用V类放射源；使用III类射线装置；有效期至 2025 年 1 月 30 日。建设单位现有放射源 2 种，III类射线装置 1 台，现有放射源基本情况见表 1-3，射线装置基本情况见表 1-4。建设单位现有核技术利用项目环保手续完善，建设项目环境影响登记表见附件 2。

表 1-3 现有放射源明细表

序号	核素	类别	活度×枚数	备案号	使用场所	用途
1	Cf-252	V类	$1.8 \times 10^8 \text{Bq}$ ×1 枚	201944190100 051068	大学创新城 C1 栋地下室	测试闪烁体 材料的发光 性能
2	Cs-137	V类	$3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ ×1 枚			

表 1-4 现有射线装置明细表

序号	型号名称	类别	数量	备案号	使用场所	用途
1	X-eye 5000N	III类	1 台	202144190100001 478	大学创新城 A1 栋	检测器件内 部结构

松山湖材料实验室遵守《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规开展核技术利用建设项目，按要求落实了各项环保手续，申领了辐射安全许可证；设置了辐射安全管理机构，明确了管理职责，制定了辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案，并在实际工作中严格执行各项规章制度，辐射安全管理各项工作落实情况见表 1-5。

表 1-5 辐射安全管理各项工作落实情况一览表

管理措施	制定情况	落实情况
辐射安全管理机构及职责	已制定	设置了辐射安全管理机构，明确了管理职责
操作规程	已制定	已在各个辐射工作场所张贴操作规程
岗位职责	已制定	已在各个辐射工作场所张贴岗位职责
辐射防护和安全保卫制度	已制定	在日常管理中执行了辐射防护和安全保卫制度的各个条款
辐射监测方案	已制定	制定了辐射监测方案，辐射工作场所定期进行环境辐射水平检测，检测结果小于剂量约束

		值；部分工作人员进行了个人剂量监测，监测结果小于职业照射剂量约束值
辐射工作人员培训计划	已制定	辐射工作人员定期参加了辐射安全与防护培训，持有培训合格证上岗
射线装置维修维护制度	已制定	落实了射线装置维修维护制度
辐射事故应急处理预案	已制定	成立了辐射事故应急领导小组，暂未进行事故应急人员培训和演习
辐射安全年度评估	已制定	建设单位落实了辐射安全年度评估，年度评估报告按要求上传到了“全国核技术利用辐射安全申报系统”，上一年度辐射安全年度评估报告见附件3

经分析，建设单位现有核技术利用项目环保手续落实情况和日常管理情况总体良好，但辐射安全管理不够完善，存在以下问题：

（1）部分辐射工作人员未配备个人剂量计，未按要求建立个人剂量档案；部分辐射工作人员存在个人剂量监测数据缺失的情况；

（2）暂未进行事故应急人员培训和演习；

（3）辐射安全年度评估报告内容不够完善。

建议进一步做好以下工作：

（1）建设单位应对所有辐射工作人员加强管理，委托有资质的第三方检测机构对辐射工作人员进行个人剂量监测，工作人员按要求佩戴检测机构发放的个人剂量计上岗，定期回收读出个人有效剂量，按要求建立个人剂量档案及职业健康档案；

（2）建设单位定期组织辐射事故应急人员培训和应急演练；

（3）年度评估报告严格按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定完善相关内容；

（4）结合后期运行和管理情况，建设单位应不断完善辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案，使之更具有实操性和针对性。

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

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)	年最大操作量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点

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)	额度电流 (mA) / 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	最大管电流	用途	工作场所	备注
1	X 射线管	II类	1 台	YXLON 公司 FXE160.50 型	160kV	1mA	测量扩散样品熔体的扩散系数	2 号实验楼一层绿色非晶团队实验室西南侧角落	生产 (组装, 调试); 使用 (固定在 X 射线防护柜内使用)

(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 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度	贮存方式	数量	

表 5 废弃物（感光材料废弃物）

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 O ₃ 、NO _x 等	气体	-	-	-	微量	-	直接排放	将通过动力换气装置排出，进一步通过通风管道由绿色非晶团队实验室延伸到室外

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。

2.含有放射性的废弃物要注明，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

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(1989年12月26日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过; 2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订, 2015年1月1日施行)</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2002年10月28日通过, 中华人民共和国主席令第77号公布, 自2003年9月1日起施行; 2016年7月2日第一次修正; 2018年12月29日第二次修正)</p> <p>(3) 《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第六号, 2003年10月1日实施)</p> <p>(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 第449号公布, 2014年7月29日经国务院令 第653号修改, 2019年3月2日经国务院令 第709号修改)</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》(1998年11月29日中华人民共和国国务院令 第253号发布施行; 2017年7月16日中华人民共和国国务院第682号令修订, 自2017年10月1日起施行)</p> <p>(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, 国家环境保护总局令 第31号公布, 2008年12月6日经环境保护部令 第3号修改, 2017年12月20日经环境保护部令 第47号修改, 2019年8月22日经生态环境部令 第7号修改, 2021年1月4日经生态环境部令 第20号修改)</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(2006年1月18日环境保护总局令 第31号公布, 2008年12月6日环境保护部令 第3号第一次修正, 根据2017年12月20日《环境保护部关于修改部分规章的决定》第二次修正, 根据2019年8月22日《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》第三次修正, 根据2021年1月4日《关于废止、修改部</p>
------------------	--

	<p>分生态环境规章和规范性文件的决定》第四次修正)</p> <p>(8)《关于发布射线装置分类的公告》(国家环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告第 66 号, 2017 年 12 月 6 日发布)</p> <p>(9)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(生态环境部部令第 16 号, 2021 年 1 月 1 日起施行)</p> <p>(10)《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(生态环境部令第 9 号, 2019 年 11 月 1 日起施行)</p> <p>(11)《广东省未成年人保护条例》(2009 年 1 月 1 日实施)</p> <p>(12)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部 2019 年 12 月 24 日印发)</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1)《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)</p> <p>(2)《辐射环境保护管理导则——核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)</p> <p>(3)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)</p> <p>(4)《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)</p> <p>(5)《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)</p> <p>(6)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)</p> <p>(7)《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)</p> <p>(8)《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)</p> <p>(9)《<工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范>(GBZ/T250-2014)第 1 号修改单》(国卫通[2017]23 号)</p> <p>(10)《500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》(GB22448-2008, 2009 年 9 月 1 日实施)</p> <p>(11)《辐射防护用 X、γ 辐射剂量当量(率)仪和监测仪检定规程》</p>

	<p>(JJG 393-2003)</p> <p>(12) 《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T244-2017)</p> <p>(13) 《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》(GBZ/T301-2017)</p>
其他	<p>(1) 《广东省环境天然贯穿辐射水平调查研究》(广东省环境监测中心站, 1995年)</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目涉及到射线装置出束的各个环节均在 X 射线防护柜内进行。参考《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)对核技术利用建设项目环境影响报告书的评价范围和保护目标的相关规定：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，本报告将 X 射线防护柜边界外 50m 的范围内的区域作为评价范围，评价范围示意图如图 7-1 所示。

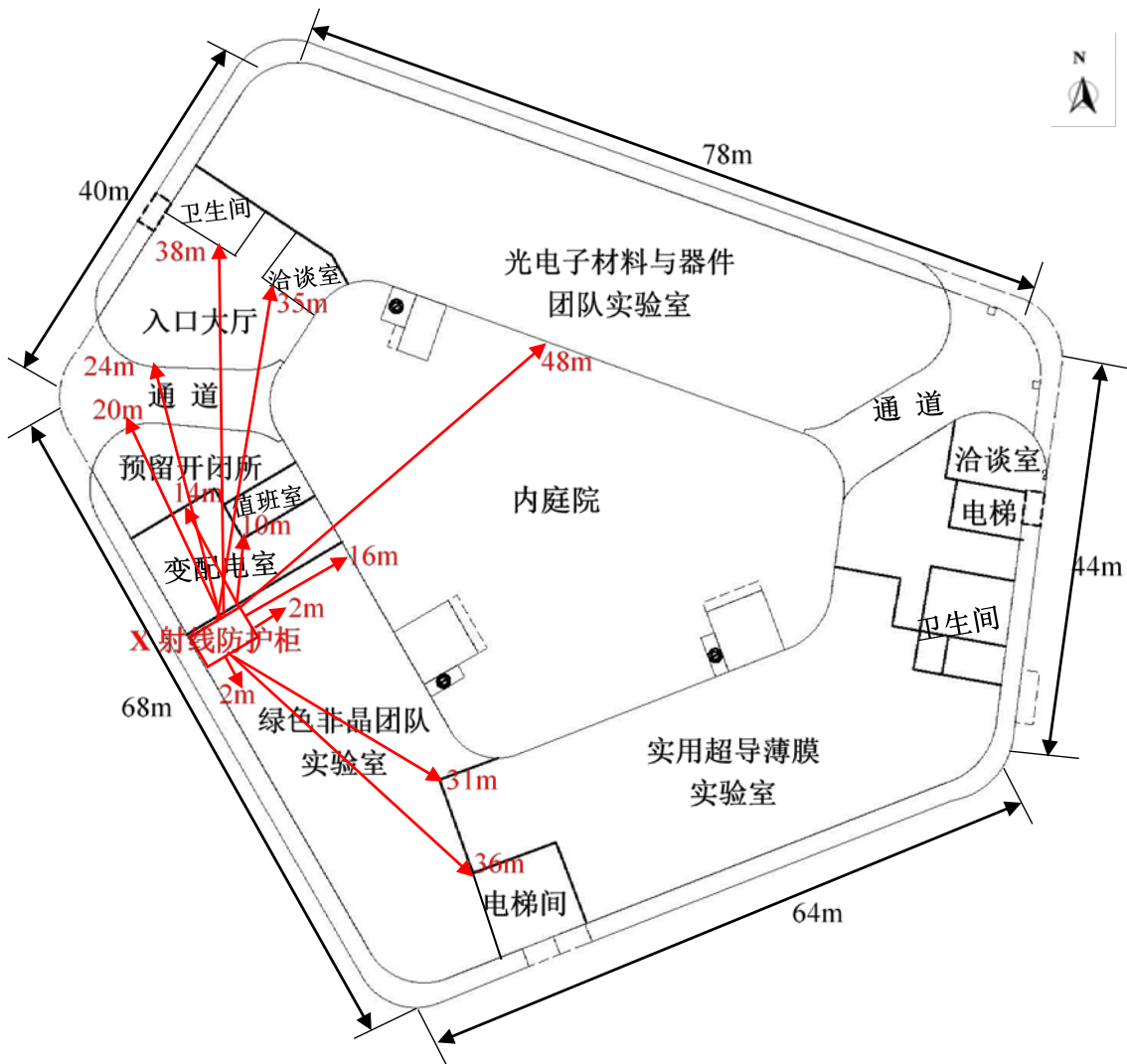




图 7-1 评价范围示意图

7.2 保护目标

结合本项目的评价范围，本项目将评价范围内的辐射工作人员和公众列为保护目标。本项目涉及到 X 射线实验装置的组装、性能和屏蔽测试等环节均在建设单位辐射工作区域内进行。具体保护目标分布情况见表 7-1。

表 7-1 评价范围内保护目标分布情况

方位	场所	距离	保护目标	影响人数	剂量约束值
-	绿色非晶团队实验室-辐射工作区域	-	辐射工作人员	2	$\leq 5\text{mSv/a}$
东北侧	绿色非晶团队实验室	2m	公众	10	$\leq 0.25\text{mSv/a}$
	内庭院	16m	公众	流动人员	
	光电子材料与器件团队实验室	48m	公众	12	

东南侧	绿色非晶团队实验室	2m	公众	10
	电梯间	36m	公众	流动人员
	实用超导薄膜实验室	31m	公众	12
西南侧	园区道路	16m	公众	流动人员
西北侧	变配电室	相邻	公众	流动人员
	值班室	10m	公众	1
	预留开闭所	14m	公众	流动人员
	通道	20m	公众	流动人员
	入口大厅	24m	公众	流动人员
北侧	卫生间	38m	公众	流动人员
	洽谈室	35m	公众	流动人员
楼上二层	绿色非晶合金团队实验室	5m	公众	10
楼上三层	仿生控冰团队实验室	10m	公众	10
地下一层	停车场	5m	公众	流动人员

注：“距离”是指 X 射线防护柜边界外至各个环境保护目标边界的距离。

7.3 评价标准

7.3.1 职业照射及公众照射剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》(GB22448-2008) 规定:

(1) 工作人员的职业照射水平不应超过下述限值:

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量 (但不可作任何追溯性平均), 20mSv;

c) 眼晶体的年当量剂量, 150mSv;

d) 四肢 (手和足) 或皮肤的年当量剂量, 500mSv。

(2) 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值: 年有效剂量, 1mSv。

本报告取职业照射年平均有效剂量限值的四分之一作为本项目的职业照射剂量约束

值，即本项目的辐射工作人员的年有效照射剂量应不超过 5mSv；取公众年平均有效剂量限值的四分之一作为本项目的公众照射剂量约束值，即公众的年有效照射剂量不超过 0.25mSv。

7.3.2 工作场所辐射剂量率控制要求

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)，探伤室墙和入口门外周围辐射剂量率和每周周围剂量当量应满足：

(1) 周剂量参考控制水平 (H_c) 和导出剂量率参考控制水平 ($\dot{H}_{c,d}$):

A、对于职业工作人员， $H_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；对于公众 $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

B、相应的导出剂量率参考控制水平（参数的意义和计算方法详见表 11）：

$$\dot{H}_{c,d} = \frac{H_c}{t \times U \times T}$$

(2) 关注点最高剂量率参考控制水平：

$$\dot{H}_{c,max} = 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$$

(3) X 射线探伤房墙和入口门的辐射屏蔽关注点周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 选取 $\dot{H}_{c,d}$ 和 $\dot{H}_{c,max}$ 中的较小值。

(4) 探伤房上方已建、拟建建筑物或探伤房旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤房房顶内表面边缘所张立体角区域内时，距探伤房顶外表面 30cm 处和（或）在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，辐射屏蔽的剂量参考控制水平亦选取 $\dot{H}_{c,d}$ 和 $\dot{H}_{c,max}$ 中的较小值。

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)，探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

(1) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对公众场所，其值应不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

(2) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目选址位于东莞市大朗镇屏东路 333 号松山湖材料实验室，项目地理位置见图 8-1。为了解项目场址的环境现状，本项目的建设场所位于 2 号实验楼一层，目前工作场所暂未建成，X 射线管、X 射线防护柜等未安装使用，四周的环境性质主要是楼房和道路，场址现状照片见图 8-2。



图 8-1 项目地理位置图



西南侧角落-拟建 X 射线防护柜位置

东南侧-绿色非晶团队实验室

东北侧-内庭院

2 号实验楼

图 8-2 环境现状照片

8.2 检测方案

8.2.1 检测方法和因子和检测仪器

为调查本项目所在区域及周围环境辐射水平现状，本项目委托广州星环科技有限公司于 2022 年 7 月 11 日对项目场址周围进行环境 γ 辐射现状检测，检测方法和因子见表 8-1，检测仪器信息见表 8-2。

表 8-1 检测方法和因子

检测方法	检测因子
《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)	环境 γ 辐射空气吸收剂量率

表 8-2 检测仪器信息

仪器名称	X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪	仪器型号	BG9511 型
生产厂家	中广核贝谷科技有限公司	仪器编号	1SB07Y5R
校准日期	2021 年 11 月 25 日	有效期	1 年
测量范围	10nGy/h-600 μ Gy/h	能量响应	48keV-3MeV
校准单位	深圳市计量质量检测研究院	证书编号	214708220

8.2.2 项目概述

项目名称：松山湖材料实验室核技术利用建设项目场所环境 γ 辐射剂量率检测

受检单位：松山湖材料实验室

建设地点：东莞市大朗镇屏东路 333 号松山湖材料实验室 2 号实验楼一层

检测日期：2022 年 7 月 11 日

环境条件：天气：晴；气温：34℃；湿度：64%

测量目的：获得环境 γ 辐射天然现状水平和人为活动所引起环境 γ 辐射水平变化的资料。

8.2.3 布点原则

本项目的环境辐射现状监测点位主要位于室内和道路，按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）的辐射环境质量监测布点要求，开展道路测量时，点位应设置在道路中心线；开展室内测量时，点位应设置在人员停留时间最长的位置或者室内中心位置。参考《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）5.3 核技术利用辐射环境监测的布点要求，以工作场所为中心，半径 50m 内布点，测量点覆盖控制区和监督区，并覆盖 50m 范围内的办公区、商业区等周围环境及敏感点。

本项目的测点布设进一步根据保护目标的分布及评价范围来选取，原则上项目评价范围内及楼上楼下层，有保护目标分布场所的里面均至少布设一个点位。根据以上布点原则，本次共布设 20 个检测点位，检测布点见图 8-3。

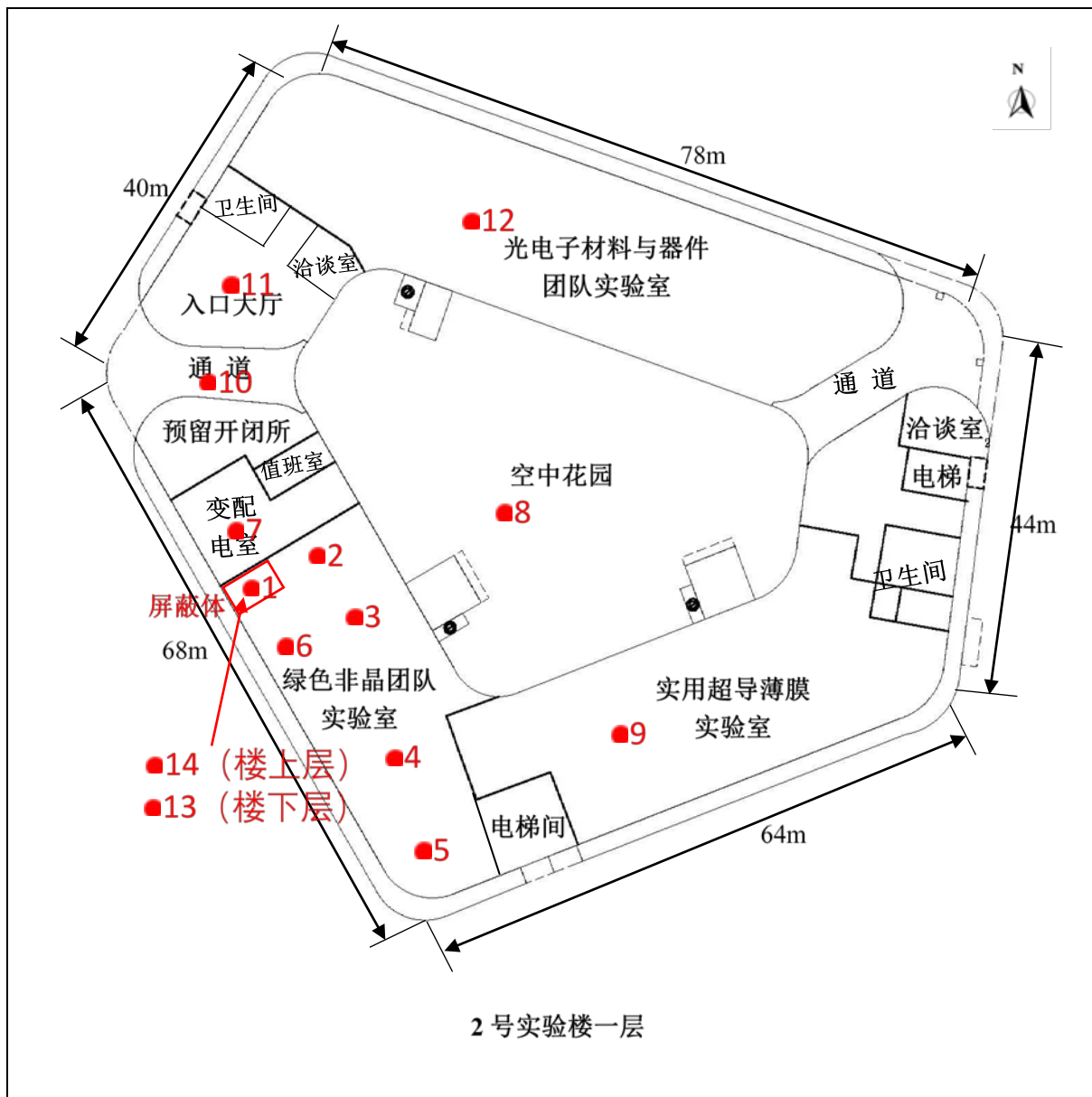




图 8-3 检测布点图

8.3 质量保证措施

(1) 承担本项目环境辐射现状检测的检测机构具备检验检测机构资质认定证书，依据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021) 的标准，检测人员具备从事环境辐射监测的工作经验，充分了解环境 γ 辐射的特点，掌握辐射检测技术和技术标准，具备对检测结果做出正确判断的能力，熟悉本单位检验检测质量管理程序。

(2) 实施检测前，确认使用仪器的检测因子、测量范围和能量相应等参数均满足检测要求，核实检测现场的操作环境均满足所使用仪器的操作环境要求。提前开启检测仪器预热至少 1 分钟，并确认仪器的电量充足后，再进行检测。所有检测点位，读数稳定后，连续读取 10 个值，并经校正后求出测量值和标准偏差。除此之外

还应做好以下质量保证措施：

(3) 测量人员经环境 γ 辐射剂量率测量相关专业培训并考核合格；环境 γ 辐射剂量率测量仪器定期校准，每年至少 1 次送到计量检定机构校准环境 γ 辐射剂量率测量仪器；在两次校准之间进行一次设备期间核查。

(4) 更新仪器和方法时，在典型的和极端的辐射场条件下与原仪器和方法的测量结果进行对照，以保持数据的前后一致性。

(5) 环境 γ 辐射剂量率测量应选用相对固有误差小的仪器 ($< \pm 15\%$)。

(6) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性，同时满足标准要求。

(7) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。质量保证活动按要求做好记录，并确保所有记录信息的完整性、充分性和可追溯性。

(8) 监测报告严格执行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

8.4 检测结果

检测结果参照 (HJ1157-2021) 的方法处理得到：

$$\dot{D}_\gamma = k_1 \times k_2 \times R_\gamma - k_3 \times \dot{D}_c$$

其中：

\dot{D}_γ ：测量值；

k_1 ：仪器校准因子，0.915；

k_2 ：仪器检验源效率因子，本仪器无检验源，该值取 1；

R_γ ：读数值的平均值；

k_3 ：建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1；

\dot{D}_c ：测点处宇宙射线响应值，测点处的海拔高度差别 $\leq 200\text{m}$ ，经度差别 $\leq 5^\circ$ ，纬度差别 $\leq 2^\circ$ ，可不进行修正， 35nGy/h 。

检测数据见表 8-3，检测报告见附件 4。

表 8-3 建设项目场所环境 γ 辐射现状检测结果

点位编号	点位描述	距离(m)	表面介质	测量值(nGy/h)	标准差(nGy/h)	环境性质
1	拟建屏蔽体位置	-	混凝土	122	3	楼房
2	东北侧绿色非晶团队实验室	9	混凝土	114	3	楼房
3	东南侧绿色非晶团队实验室	14	混凝土	124	2	楼房
4	东南侧绿色非晶团队实验室	22	混凝土	125	3	楼房
5	东南侧绿色非晶团队实验室	34	混凝土	128	3	楼房
6	东南侧绿色非晶团队实验室	8	混凝土	132	3	楼房
7	西北侧变配电室	5	混凝土	122	2	楼房
8	东北侧空中花园	23	混凝土	92	3	道路
9	东南侧实用超导薄膜实验室	49	混凝土	124	3	楼房
10	西北侧通道	24	混凝土	119	3	楼房
11	西北侧入口大厅	33	混凝土	120	3	楼房
12	东北侧光电子材料与器件团队实验室	51	混凝土	134	3	楼房
13	地下一层停车场	5	混凝土	132	2	楼房
14	楼上二层绿色非晶合金团队实验室	5	混凝土	137	2	楼房
15	西南侧 2 号实验楼旁	16	混凝土	92	3	道路
16	西南侧 2 号实验楼旁	18	混凝土	88	3	道路
17	西南侧 2 号实验楼旁	33	混凝土	94	3	道路
18	东南侧 2 号实验楼旁	66	混凝土	94	3	道路
19	东北侧 2 号实验楼旁	72	混凝土	99	3	道路
20	西北侧 2 号实验楼旁	70	混凝土	97	3	道路

注：(1) 检测时仪器探头垂直地面，距地约 1m，待读数稳定后，每个测量点测量 10 个读数；

(2)“距离”是指 X 射线防护柜边界外至各个监测点位的距离。

从表 8-3 中的数据可见，本项目建设场地及周围区域的室内环境 γ 辐射空气吸收剂量率为 114~137nGy/h，室外道路环境 γ 辐射空气吸收剂量率为 88~99nGy/h。

根据当时行政区域划分，东莞原隶属于惠州市，参考《广东省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（广东省环境监测中心站，1995 年）报道的广东省惠州市的环境 γ 辐射空气吸收剂量率的调查结果，广东省惠州市的室内 γ 辐射剂量率调查水平在 77.4~264.1nGy/h 之间，室外道路 γ 辐射剂量率调查水平在 50.0~160.4nGy/h。对比表明，项目选址周围的环境 γ 辐射剂量率在该调查水平范围内，建设项目场所环境 γ 辐射现状未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 设备组成和工作方式

本项目配套使用的 YXLON 公司 FXE160.50 型 X 射线管及其组件，组件包括：高压发生器、控制柜、探测器。X 射线实验装置的其他配套设施还有：X 射线防护柜、真空腔等。X 射线管实物图如图 9-1 所示，设备内部结构示意图见图 9-2，真空腔主要由电机和铝盒组成，结构示意图如图 9-3 所示。

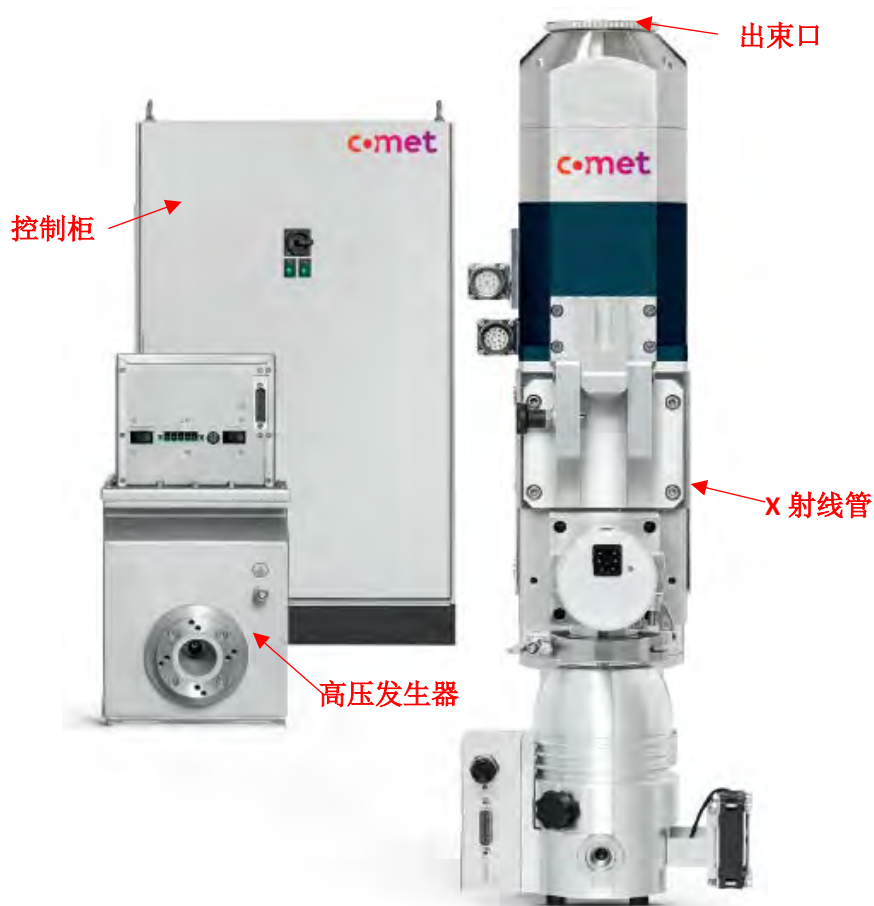


图 9-1 X 射线管实物图

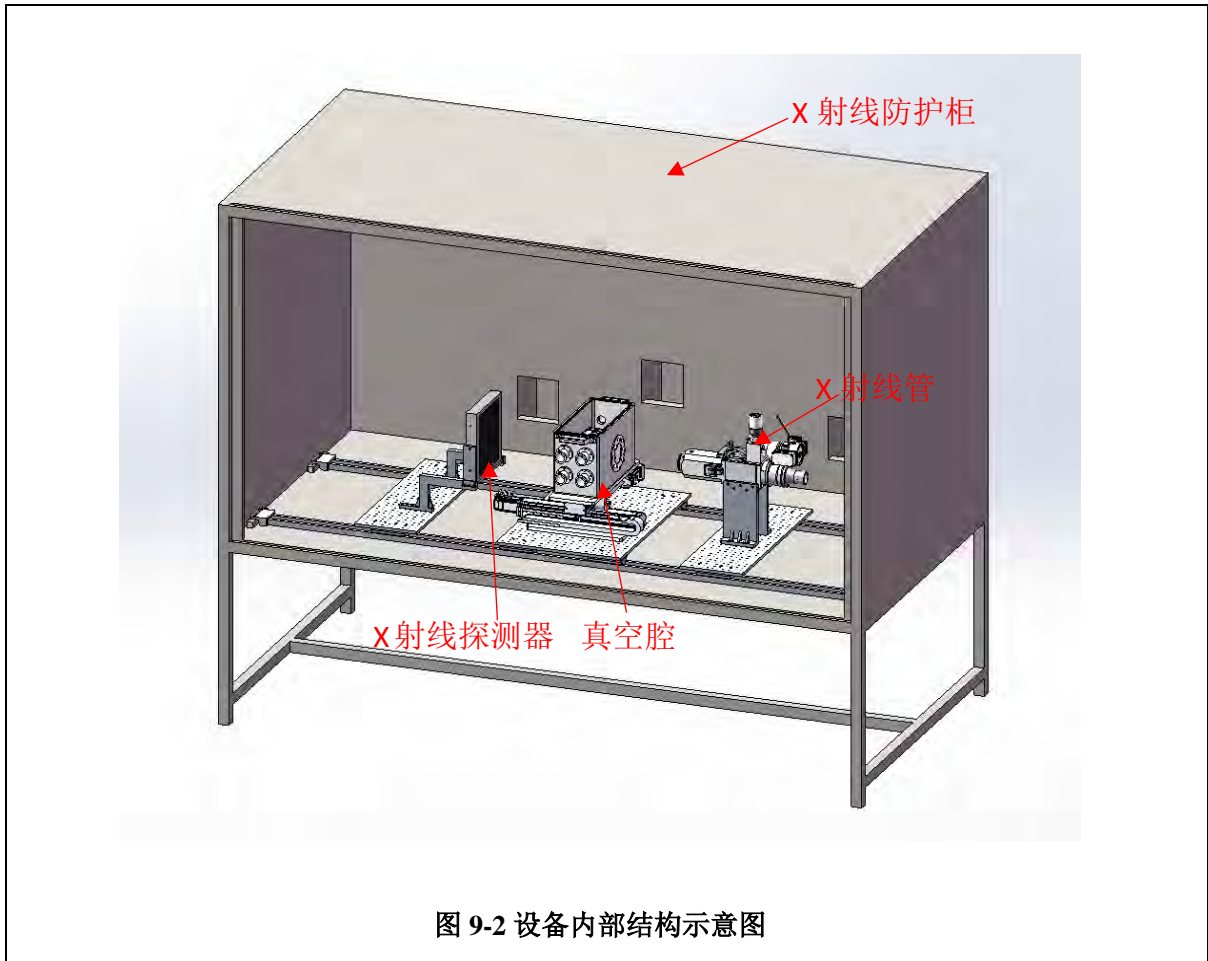


图 9-2 设备内部结构示意图

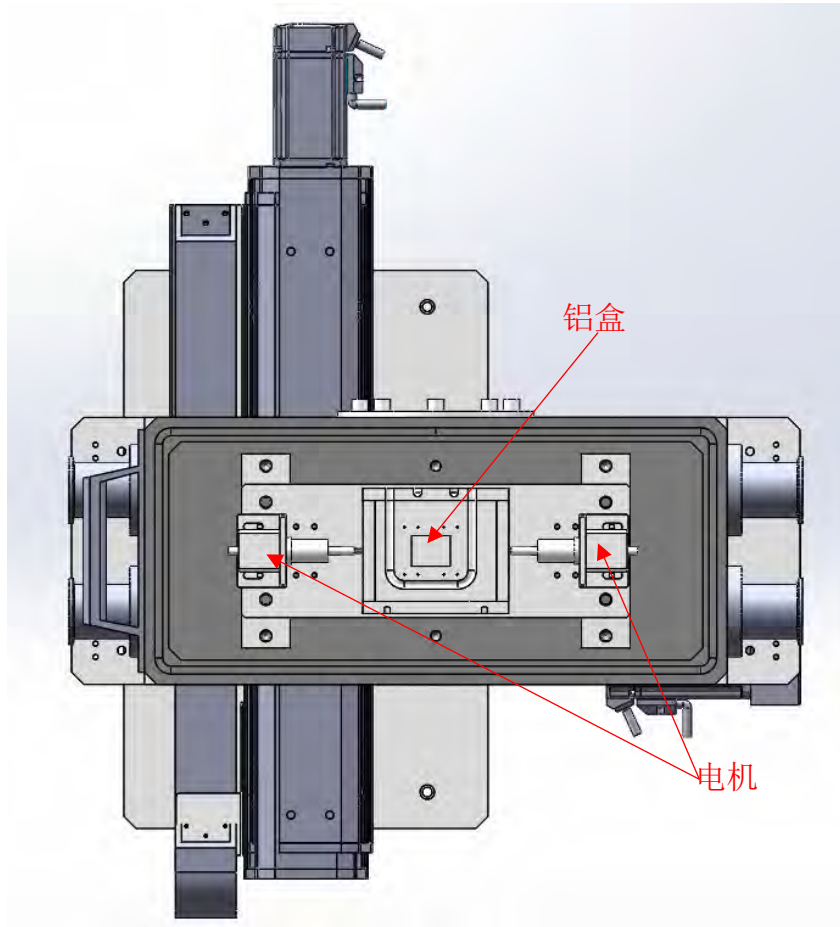


图 9-3 真空腔结构示意图

本项目拟使用的 X 射线管、真空腔及 X 射线探测器等配套设施固定在 X 射线防护柜内使用，操作台设在 X 射线防护柜外正面一侧。松山湖材料实验室空间材料团队拟测量的实验样品最大尺寸为直径 1.5mm、高 30mm 的圆柱体，使用射线装置进行扩散测量操作步骤为：将扩散样品放入真空腔铝盒内，对真空腔抽真空，当真空达到 10^{-3}Pa 量级后，对扩散样品进行加热，当温度接近样品熔点，并且达到指定扩散温度及系统温度后，开启 X 射线装置进行成像，实时记录实验过程中扩散样品随着时间变化的吸收衬度。通过内部电机对扩散进行剪切，实现扩散样品的对接，进行扩散实验。扩散实验进行 0.5h 左右，随后利用电机对样品进行第二次剪切，持续 0.5h，结束扩散过程。随后关闭射线装置，切断电源，待样品冷却至室温后取出样品，结束实验。

本项目的射线管发射 X 射线经样品后由 X 射线探测器接收，采用数字成像的方

式，一次扩散系数测量实验射线曝光时间一般约 1 小时。

9.2 工作原理

本项目的工作原理是根据不同的元素对于 X 射线的吸收能力不同，因此在 X 射线透过样品后发生衰减的强度不同，得到能够反映样品成分的灰度图像。

从 X 射线机发射出来的 X 射线透过样品时，由于样品对 X 射线的吸收能力随着成分的变化而变化，因此，穿过样品后的 X 射线强度不同。将工件放置在 X 射线管另一侧合适位置，入射射线在闪烁体内损耗并沉积能量，引起闪烁体中粒子的电离激发，之后受激粒子退激发出波长接近于可见光的闪烁光子。闪烁光子通过光射入光电倍增管的光阴极并打出光电子，光电子受打拿级之间强电场的作用加速运动并轰击下一打拿级，打出更多光电子，由此实现光电子的倍增，直到最终到达阳极并在输出回路中产生电信号。电信号经连接笔记本电脑图像软件的处理，形成能够反映样品成分分布的数字图像，实验人员据此获得扩散样品的成分分布，经过数据处理后可以得到相应的扩散系数情况。

为了获得精确可靠的金属熔体扩散系数，建设单位采用基于商业化的实验室微焦点 X 射线管和高空间分辨率探测器来对扩散样品进行成像，通过扩散样品的 X 射线吸收衬度的变化反演获得扩散过程中的实时成分谱，最后利用获得的成分谱，结合 Fick 定律得到相应的扩散系数。由于 X 射线可以实时、原位观测扩散样品的状态，如扩散过程中是否存在对流、气泡、自由表面等因素的影响，因此本项目不仅可以用于测量熔体的扩散系数，还能够保证测量的扩散系数的精确性。

X 射线成像系统采用投影几何放大光路（如图 9-4 所示），即 X 放射源位置固定不动，待测样品在光路中可根据需要灵活调整位置，也可以后期配置相应的多维位移台，实现样品的多维运动。样品放置于加热系统中，以实现电加热下样品的原位实时 X 射线成像。

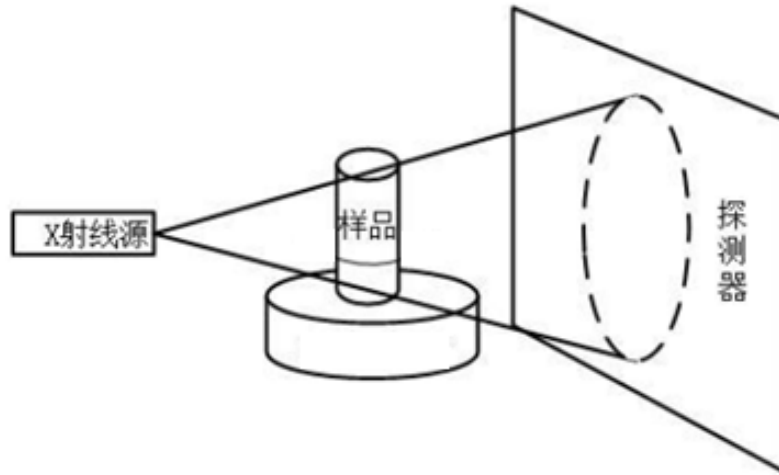


图 9-4 射线装置成像原理

9.3 工艺流程和产污环节

建设单位拟生产（组装，调试）、使用射线装置，各个环节的工艺流程如下：

9.3.1 组装测试

组装测试阶段在 X 射线防护柜内进行，期间 X 射线管出束产生 X 射线，组装测试阶段工艺流程如下：

- ① 建设单位进行真空腔实验装置的设计、制作。
- ② 购买 X 射线管、X 射线探测器、X 射线防护柜等相关零部件，收货后检查 X 射线管和其他相关零部件是否合格。
- ③ 调试前，先让非辐射工作人员离开现场，设置警戒线，辐射工作人员按要求佩戴好个人剂量计和个人剂量报警仪。
- ④ 工作人员根据设计方案，将 X 射线管、真空腔、X 射线探测器等固定防护柜内导轨上的指定位置，通过不断调整 X 射线管、真空腔及 X 射线探测器的相对位置，保证成像能获得良好的空间分辨率及足够大的视场，同时检查位移台是否能完全锁紧。
- ⑤ 随后对设备进行电缆线的连接：安装接地电缆，连接光管到高压发生器、高压发生器到供电箱到接地线桩、高压发生器到光源控制箱的接地电缆，注意拧紧接地桩螺丝；连接光管的其它电缆（光管到防护柜）：灯丝供电、电子束聚焦和对准

控制电缆、真空规传感器和分子泵电源和信号电缆；连接高压发生器到控制柜之间的电缆；高压发生器电源和控制电缆；连接光源安全警示灯电缆、防护柜安全联锁和急停线等接入光源。在上电前，检查所有电缆是否已连接，所有电缆连接是否有松动。

⑥ 在组装过程中，电闸断电，不会产生 X 射线，不会产生电离辐射影响。组装完成后，对设备进行外观和机械构造检查；检查完成后，对 X 射线防护柜整体进行调试。

⑦ 通电后，检查 X 射线防护柜内照明、通风是否正常；检查电动升降门、开关限位、各项安全联锁等是否正常。辐射安全防护设施设置了安全联锁功能，安装不到位无法接通高压电源。

⑧ 辐射工作人员在防护柜外的操作台控制 X 射线出束，不断调整管电压和管电流等参数，通过扩散样品的 X 射线吸收衬度的变化反演获得扩散过程中的实时成分谱，以实现扩散过程中的实时成分谱，利用获得的成分谱，结合 Fick 定律得到相应的扩散系数。

⑨ 重复测试，直到各项指标达到预定要求。在 X 射线防护柜内完成测试后，关闭 X 射线源、断电，保持防护柜和工作环境的通风。

以上工作流程最终目的是得到 1 台成品且带屏蔽体的 X 射线实验装置。

工艺流程和产污环节如图 9-5 所示。

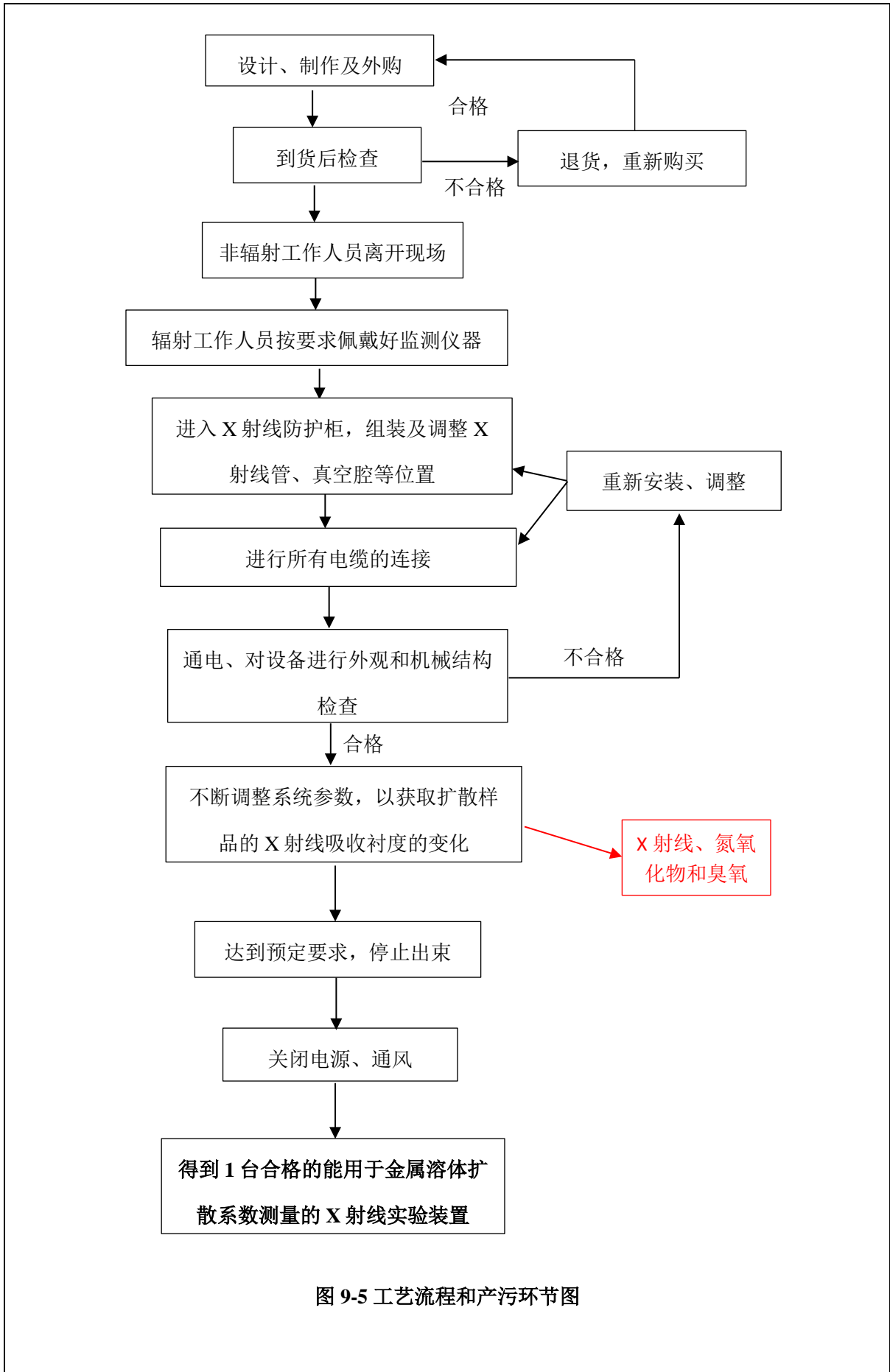


图 9-5 工艺流程和产污环节图

9.3.2 性能和屏蔽测试

① 测试前，先让非辐射工作人员离开现场，设置警戒线，辐射工作人员佩戴好个人剂量计和个人剂量报警仪；

② 检查 X 射线防护柜的各项辐射安全措施是否正常；通过电缆线将设备与操作台链接，测试过程中使用操作台进行控制，人员无需进入防护柜内操作；

③ 对机械系统进行测试，包括设备的机械传动结构、控制升降装置、铅防护门是否可以正常开关等，此过程不用出束；

④ 对辐射安全系统进行测试，依次进行辐射泄露测试（遵循从低功率到高功率的原则）、安全联锁测试、急停按钮测试、警示灯测试，此过程 X 射线管出束；

⑤ 对工作性能进行测试，放入待测工件，测试遵循从低功率到高功率的原则测试成像系统和操作系统是否正常，此过程 X 射线管出束；

⑥ 完成测试后，关闭 X 射线源、断电。

以上工作流程最终目的是得到 1 台合格的能用于金属熔体扩散系数测量的 X 射线实验装置。

工艺流程和产污环节如图 9-6 所示。

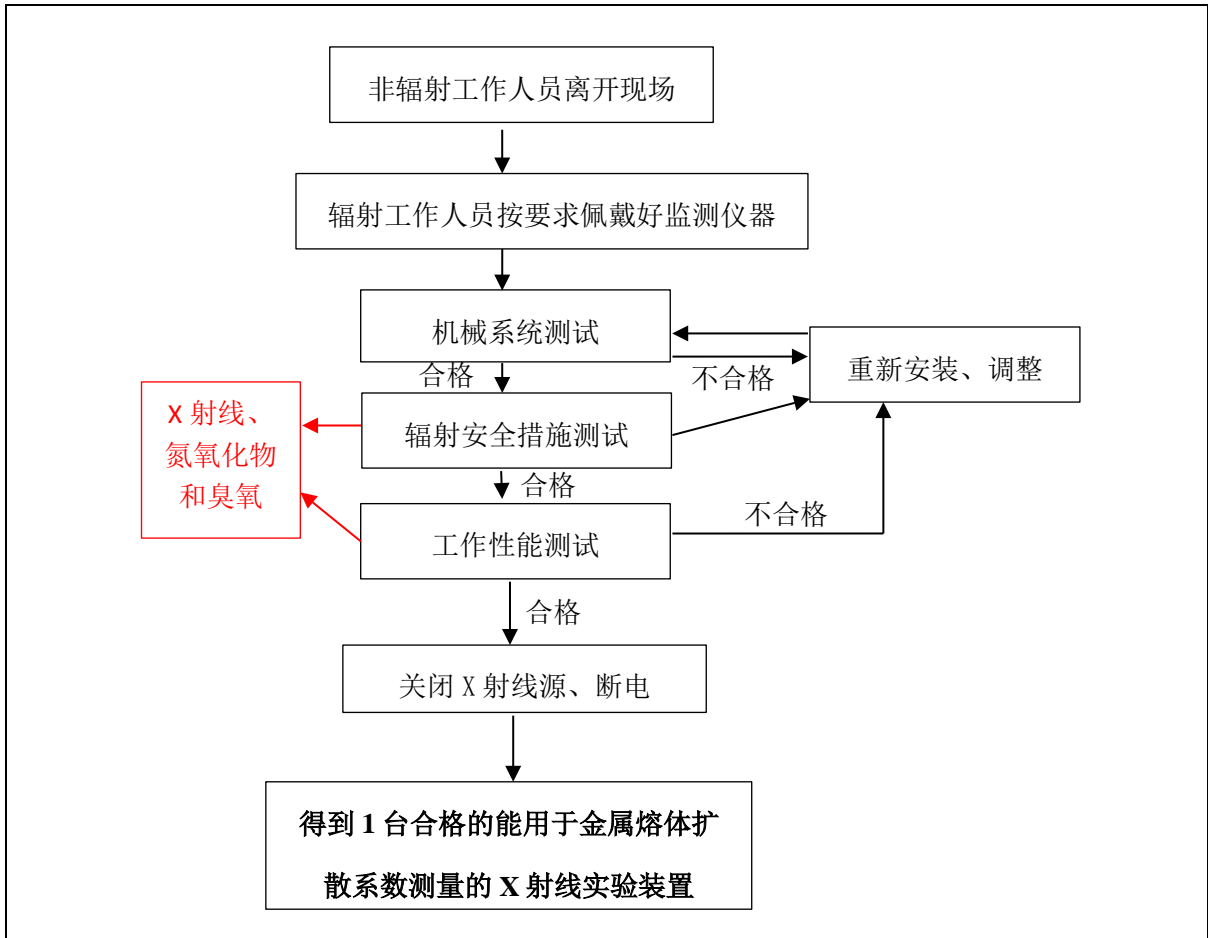


图 9-6 工艺流程和产污环节图

9.3.3 使用射线装置

本项目使用射线装置进行 X 射线金属熔体扩散系数测量的工艺流程和产污环节见图 9-7。

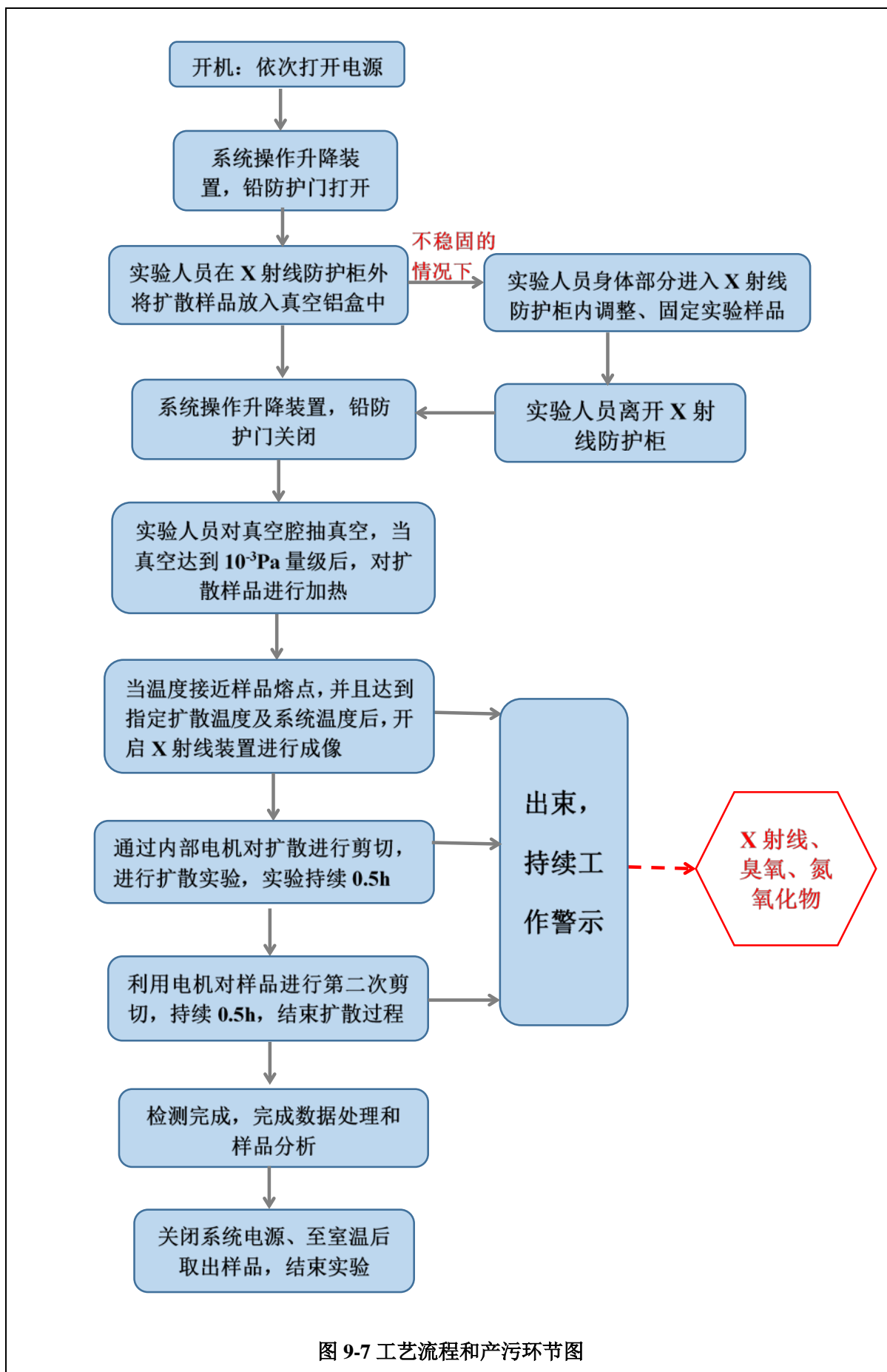


图 9-7 工艺流程和产污环节图

结合本项目的工作方式和操作流程，可分析得出本项目的产污环节、污染源、污染途径、受本项目污染源影响的主要人群，见表 9-1。

表 9-1 产污环节分析一览表

产污环节	生产（组装，调试）、使用 X 射线出束、成像过程时
污染源	X 射线、臭氧、氮氧化物
受本项目污染源影响的主要人群	生产（组装，调试）、操作该装置的实验人员（辐射工作人员）

9.4 人员配置和工作负荷

建设单位拟安排 2 名实验人员，经辐射安全与防护培训和考核合格后成为辐射工作人员，负责操作兼管理该射线装置，因辐射工作人员的年操作时长不同，为保守估算，辐射工作人员单人的工作负荷保守取全年负荷值。

本项目涉及到射线装置的组装测试、性能和屏蔽测试等环节，预计出束时间为 2 小时。该装置投入使用后，预计每天检测和分析实验样品 2 个，一次扩散系数测量实验射线出束时间约 1 小时，每周 5 个工作日，全年工作时间约 261 天，因此使用该装置全年累计 X 射线出束时间约 522 小时。人员配置和工作负荷一览表见表 9-2。

表 9-2 人员配置和工作负荷一览表

工作类型	人员配置	年出束时间	合计
组装测试、性能和屏蔽测试	2 人	2 小时	524 小时/年
使用		522 小时	

9.5 污染源项描述

9.5.1 辐射源

(1) 正常工况

本项目的污染因子是 X 射线。由射线装置的工作原理可知，X 射线是随着高压电源的开、关而产生并消失的。只有在 X 射线管通电后，进行测试、实验过程

中，才会产生 X 射线。在测试和实验过程中产生的射线可以得到 X 射线防护柜的有效屏蔽，但由于 X 射线的直射、漏射及散射，可能有衰减后的射线对外部的辐射工作人员和周围的公众产生辐射影响，影响途径为 X 射线外照射。

(2) 事故工况

本项目在事故工况下可能造成的辐射影响包括以下几点：

① 装置组装调试中，安全联锁装置发生故障，屏蔽体防护设施不完善的情况下开启射线装置，导致在场的所有人员受到误照射；

② 设备检修维护时，没有采取可靠的断电措施导致意外开启射线装置，使在场所有人员受到意外照射；

③ 装置使用过程中，安全联锁装置发生故障，防护门未关闭的情况下开启射线装置，导致在场的所有人员受到误照射。

9.5.2 其他污染源

X 射线照射会使周围的空气电离而产生少量臭氧和氮氧化物，保持工作场所的良好通风可避免辐射工作场所空气中的有害气体含量增加。

9.6 源强分析和参数

本项目拟使用的射线装置距辐射源点 1m 处的剂量率值由设备厂家给出，射线装置相关参数说明见附件 5，泄漏线束距辐射源点 1m 处的剂量率参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）取值，源强有关参数见表 9-3。

表 9-3 源强参数

型号	YXLON 公司 FXE160.50
最大管电压	160kV
最大管电流	1mA
滤过条件	2mmAl+碳纤维
有用线束距辐射源点（靶点）1m 处剂量率	0.65mGy/s
有用线束角	60°

距靶点 1m 处 X 射线管组 装体的泄漏辐射剂量率	$2.5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$
-------------------------------	----------------------------------

表 10 辐射安全与防护

10.1 辐射屏蔽设计

10.1.1 主体设计

X 射线防护柜三视图如图 10-1 至图 10-3 所示，结构和屏蔽参数见表 10-1。为了满足辐射防护的要求，X 射线防护柜各面侧板接缝处搭接 5mm 铅板，防止射线从缝隙泄露。防护柜各侧板接缝处屏蔽补偿结构示意图如图 10-4 所示。

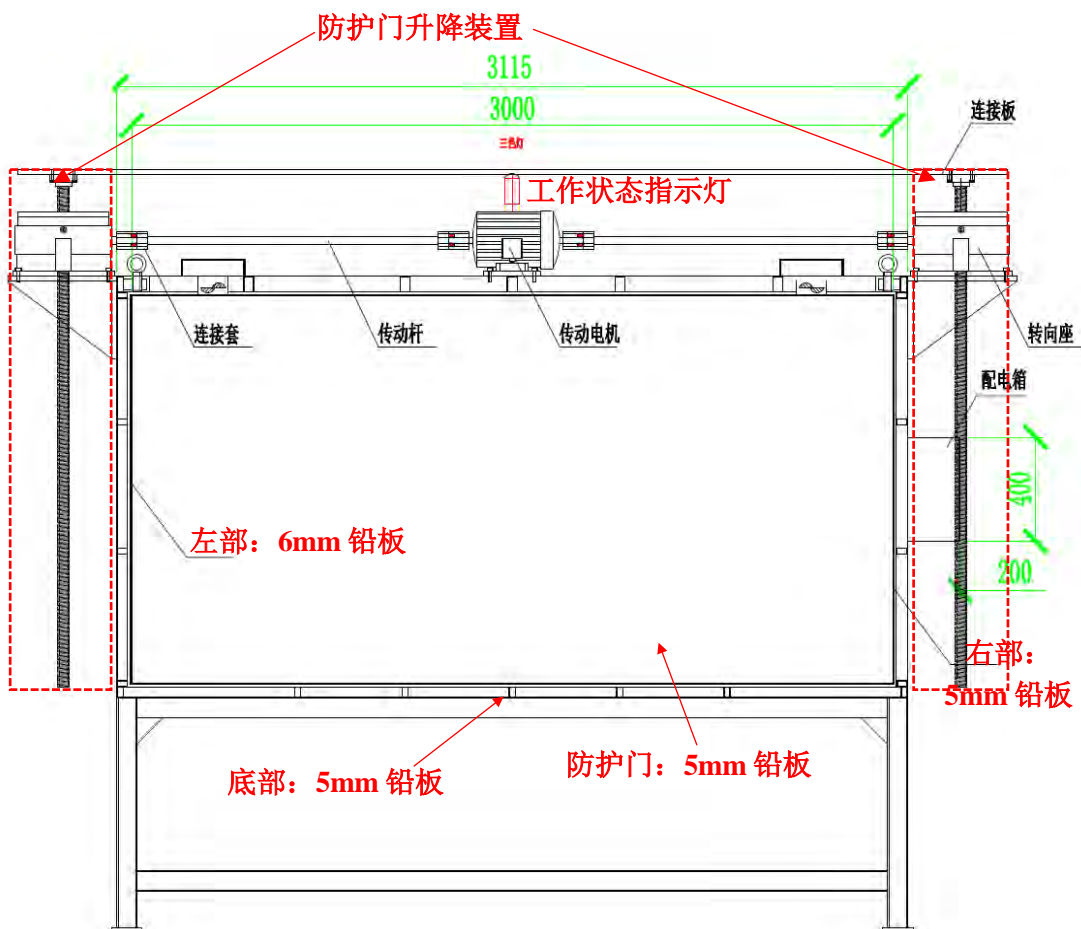


图 10-1 X 射线防护柜主视图

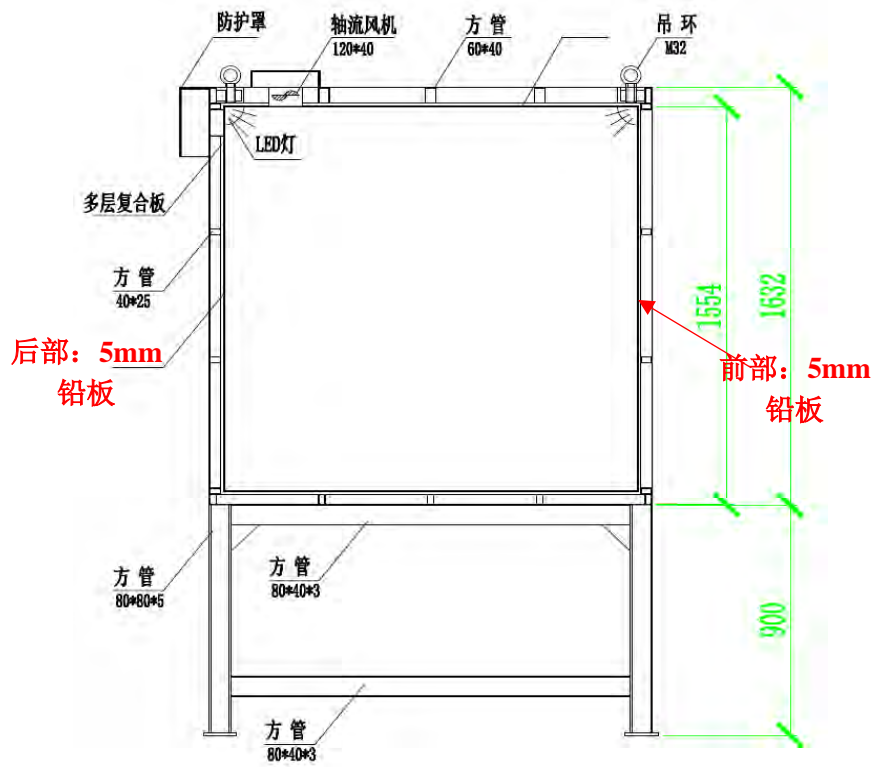


图 10-2 X 射线防护柜左视图



图 10-3 X 射线防护柜俯视图

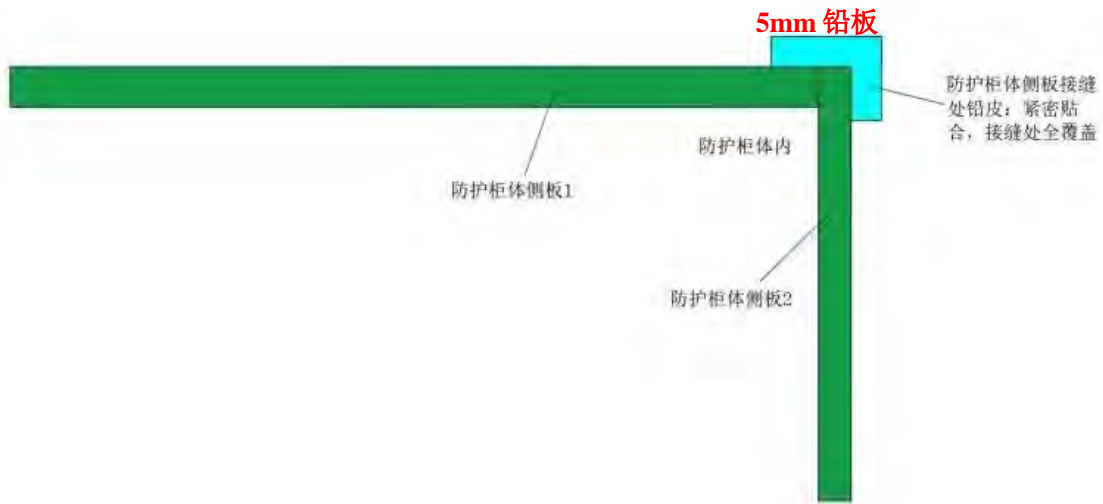


图 10-4 X 射线防护柜各侧板接缝处屏蔽补偿结构示意图

表 10-1 X 射线防护柜结构和屏蔽参数一览表

项目	设计情况	等效铅当量
X 射线防护柜外尺寸	长×宽×高=3115mm×1612mm×1632mm	
X 射线防护柜内尺寸	长×宽×高=3000mm×1500mm×1554mm	
防护门	长×高=3000mm×1554mm 门洞尺寸：长×高=2880mm×1394mm	
前部	多层复合板内衬 5mm 铅板	5mmPb
后部	多层复合板内衬 5mm 铅板	5mmPb
左部	多层复合板内衬 6mm 铅板	6mmPb（主射面）
右部	多层复合板内衬 5mm 铅板	5mmPb
顶部	多层复合板内衬 5mm 铅板	5mmPb
底部	多层复合板内衬 5mm 铅板	5mmPb
电缆线口防护罩	多层复合板内衬 5mm 铅板	5mmPb
送风口防护罩	多层复合板内衬 5mm 铅板	5mmPb
出风口防护罩	多层复合板内衬 5mm 铅板	5mmPb

10.1.2 防护门的设计

本项目通过系统控制升降装置实现对防护门的开闭状态。实验人员进行扩散样品的测试分析和设备维修维护工作均通过前部防护门来进行，前部防护门采用整扇门设计方式、多层复合板内衬 5mm 铅板，为防止射线泄漏，防护门采用上下沉入式结构+柜内两侧溢出结构（铅板上下搭接宽度 80mm，铅板左右两侧搭接宽度 60mm）来阻断射线，铅防护门设计示意图见图 10-5。

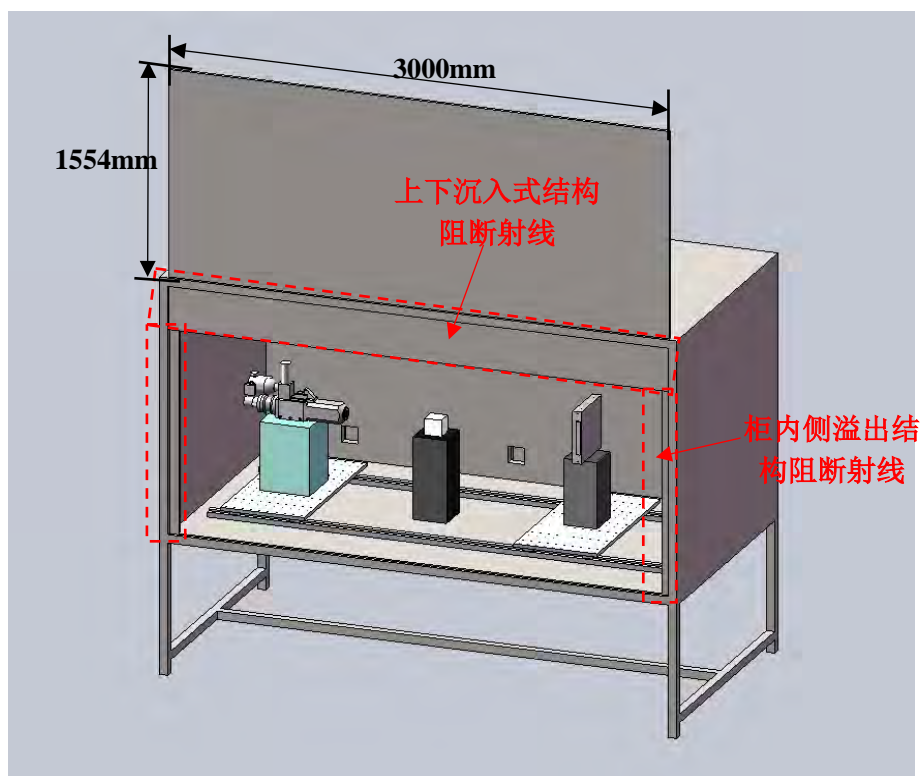


图 10-5 铅防护门设计示意图

10.1.3 管线穿墙屏蔽补偿

本项目的 X 射线防护柜顶部设置了 1 个动力排风装置，在进出风口处防护罩内铺铅板 5mm，辐射屏蔽补偿示意图见图 10-6。

X 射线防护柜内部后侧设置了 2 个电缆线口，电缆线从 X 射线防护柜外穿进 X 射线防护柜内，电缆线穿 X 射线防护柜处设有防护罩，内铺铅板 5mm，下沿与柜体开口下沿高度差约为 100mm，辐射屏蔽补偿示意图见图 10-7。射线经铅板衰减并经 U 型槽管多次散射后，X 射线防护柜外的辐射泄露可忽略不计，综上所述说明本项目的

管线穿墙设计合理。

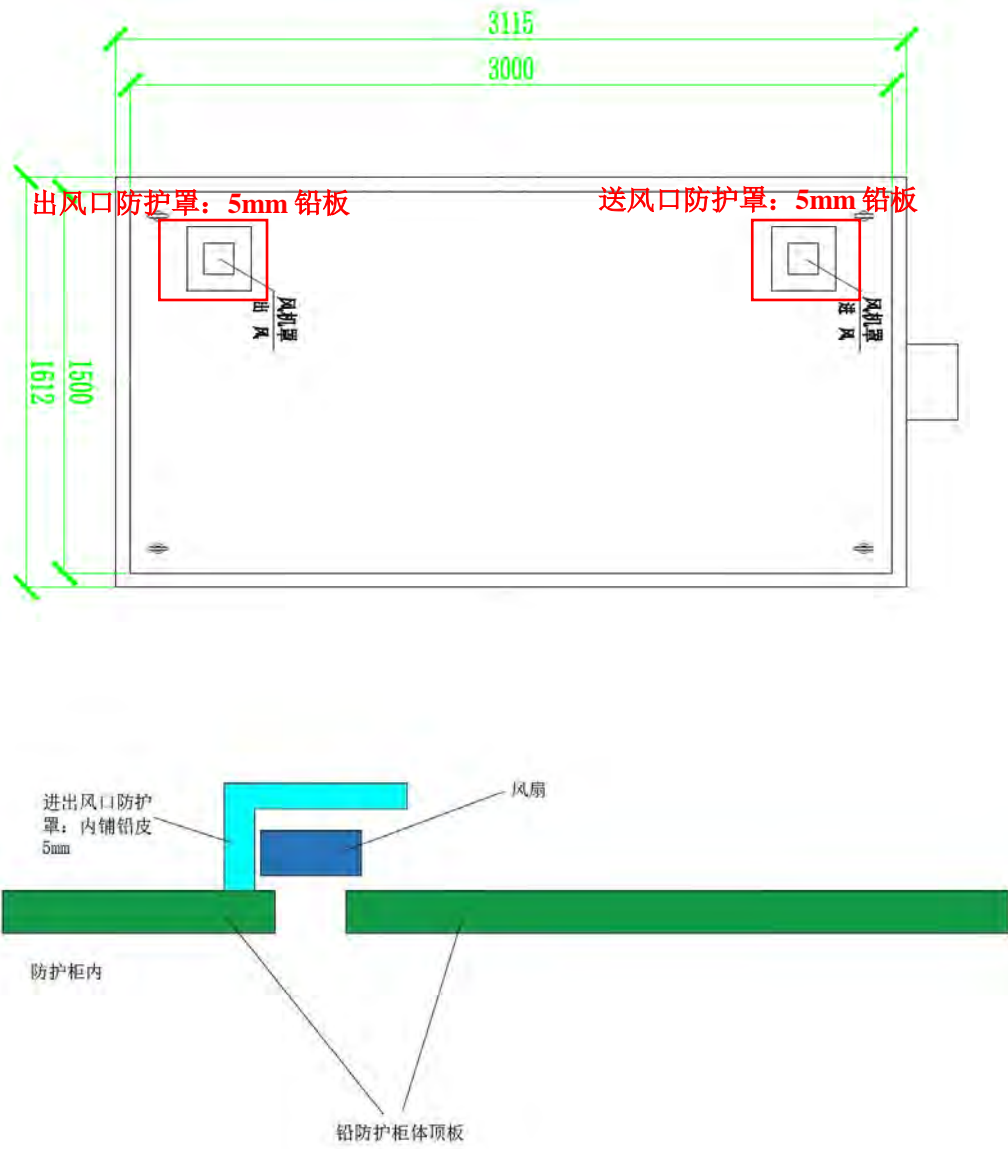


图 10-6 通风口屏蔽补偿示意图

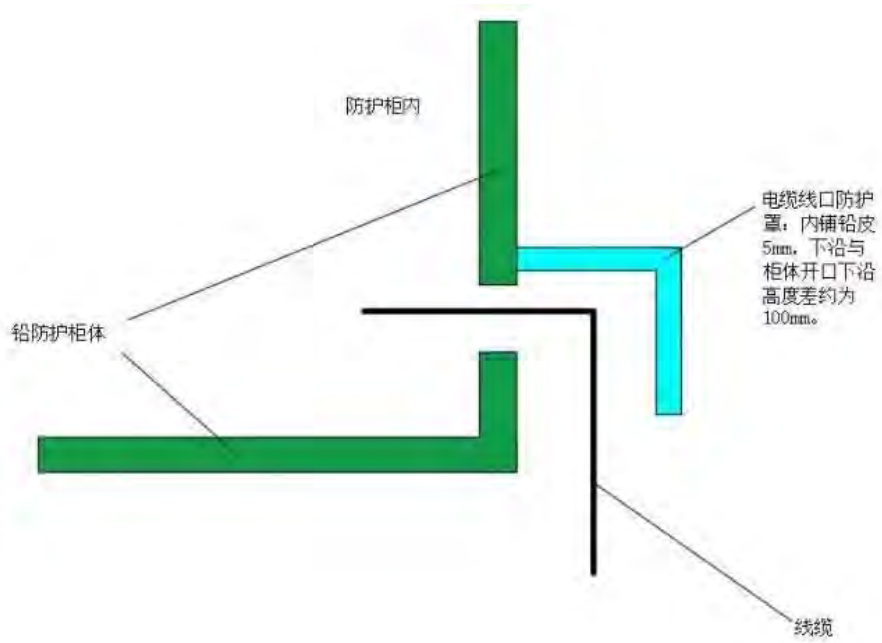
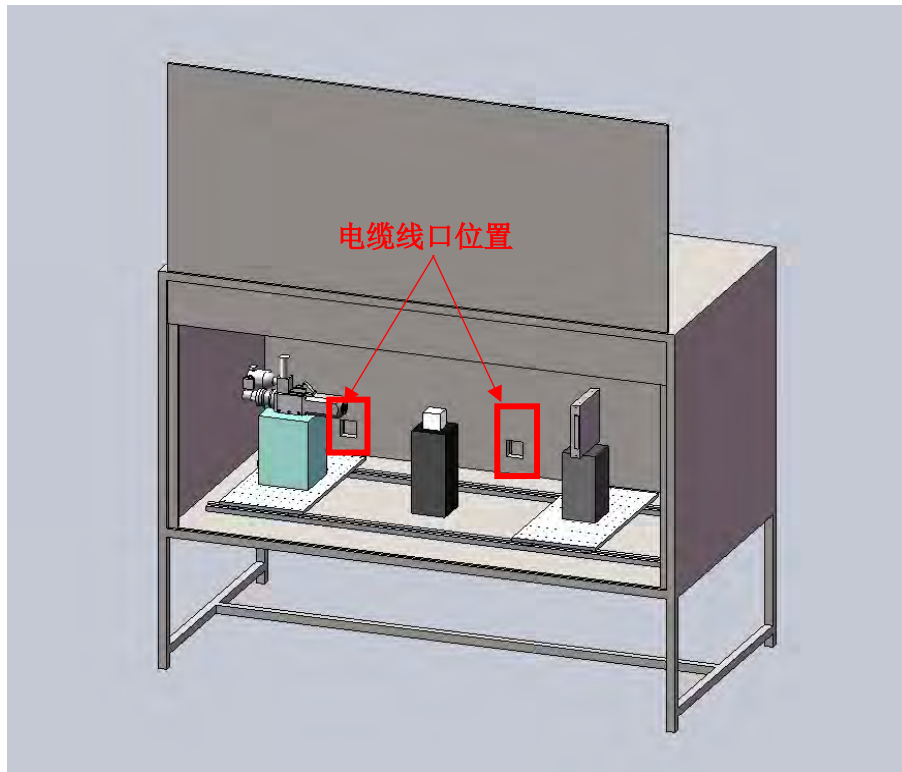


图 10-7 辐射屏蔽补偿示意图

10.2 辐射安全与防护措施

10.2.1 警示标志

建设单位拟在 X 射线防护柜正面张贴电离辐射警示标志和中文警示说明，按照 GB18871-2002 的规范制作，标志的单边尺寸不小于 50cm。辐射工作区域监督区边界树立“辐射工作场所，无关人员工作期间禁止进入”的警示牌。控制台上方拟张贴电离辐射标志和非授权禁止使用的说明。X 射线防护柜中部设有工作状态指示灯，X 射线出束时工作指示灯将闪动进行警示，工作指示灯位置见图 10-1。本项目拟在 X 射线防护柜的内外均设置工作状态指示灯，目前 X 射线防护柜外部设有工作状态指示灯，建设单位在后续将在 X 射线防护柜内设置工作状态指示灯。具有三种工作状态的指示：绿灯（装置准备就绪，可以出束），黄灯（防护门未关闭状态），红灯（X 射线正在出束），X 射线防护柜内、外醒目位置将张贴三种工作状态指示信号意义的说明。

10.2.2 安全联锁装置

本项目的铅防护门将设置安全联锁功能：铅防护门的打开与关闭均需要实验人员通过操作台控制方可进行开闭，否则无法手动打开铅防护门。当系统操作升降装置打开铅防护门时，触发门锁开关，通过切断光源模块的主电源开关来打开防护门。操作台设有高压连通指示灯，当铅防护门重新关上且关闭到位后，触发光源模块的主电源开关，高压电源才能接通，射线装置才能开启。一旦铅防护门有打开的趋势，射线装置高压电源将被切断，重新关上铅防护门后射线装置不会自动开启。安全联锁要求钥匙开关闭合、急停按钮复位、防护门正常关闭、警示装置正常的情况下射线装置才能重新启动，安全联锁逻辑图见图 10-8。

当铅防护门打开，突然发生停电或其它故障时，因传动结构使用的是丝杠升降，在没有驱动的情况下，升降装置会进行自锁。当发生停电或其他故障时，铅防护门只停留在断电（或故障时）所在位置，不会发生坠落。

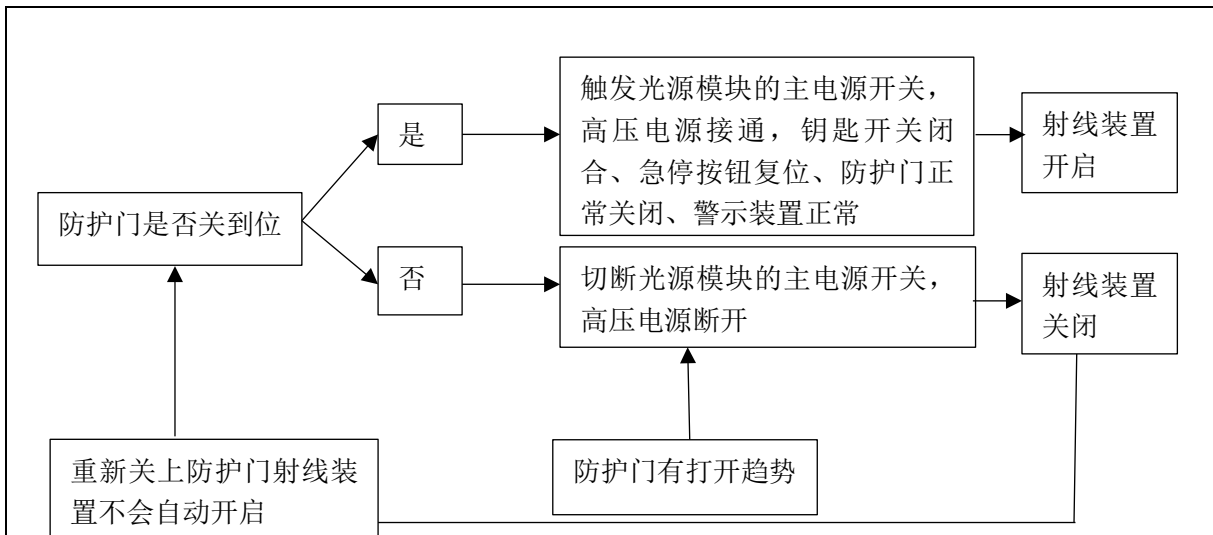


图 10-8 安全联锁逻辑图

10.2.3 紧急停机

射线装置在操作台位置和 X 射线防护柜右侧均设有 1 个急停按钮（见图 10-9），急停按钮将标明功能和使用方法，发生紧急事故时可以迅速切断射线装置多项部件的电源。

10.2.4 多重开关

本项目的射线装置操作台设有钥匙开关及其他关门、开门、停止等多重开关（见图 10-9），只有同时打开后射线装置才能连接高压电源，关闭任意一道开关 X 射线都将无法正常出束；钥匙由专人保管，无关人员无法使用射线装置。

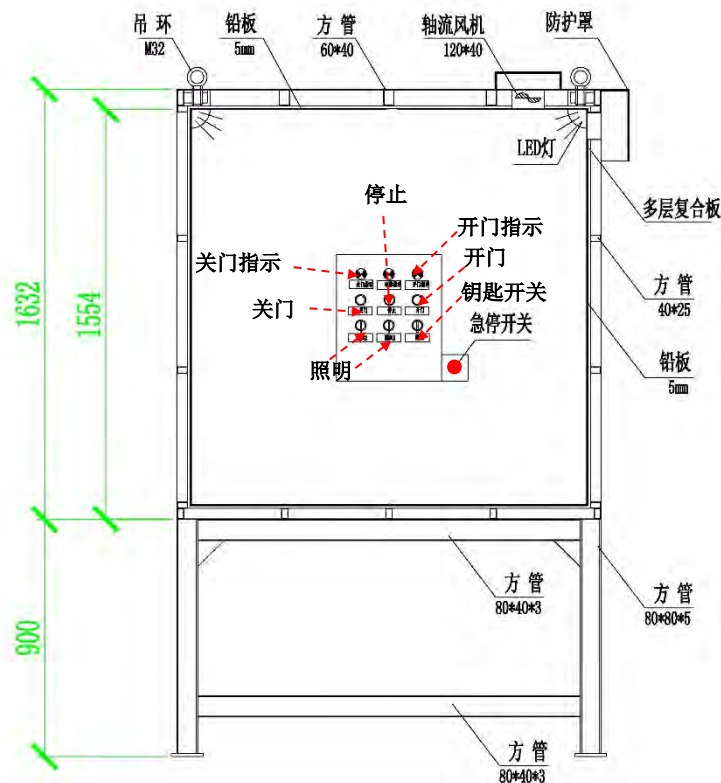


图 10-9 控制柜辐射安全与防护设施分布图

10.2.5 密码管控

本项目拟使用的射线装置操作台设有密码，只有授权的实验人员才能打开控制台，通过电脑操作控制面板，射线装置才能打开连接高压电源。

10.2.6 辐射监测设施

建设单位拟为辐射工作人员配备 1 个人剂量计和 1 台个人剂量报警仪，并在工作期间佩戴好，个人剂量报警仪具有报警功能和实时辐射剂量率监测显示功能，可满足辐射工作人员日常工作时的辐射监测和自我防护的要求。当个人剂量报警仪报警时，辐射工作人员应立即停止工作，同时阻止其他人进入辐射工作区域，并立即向辐射工作负责人报告。

为日常监测配备 1 台便携式剂量率仪，使用便携式剂量率仪定期（每个季度 1 次）对 X 射线防护柜外周围剂量当量率进行巡测，做好巡测记录。

10.3 辐射工作场所布局和分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，应把辐

射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

对于控制区：应采用实体边界划定控制区，在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合相关规定的警告标志；运用行政管理程序，如进入控制区的工作许可证制度和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区。

对于监督区：采用适当的手段划出监督区的边界；在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）第 6.1.2 的规定：应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。

布局：本项目的 X 射线防护柜拟放置在 2 号实验楼绿色非晶团队实验室的西南侧角落，装置靠绿色非晶团队实验室的西北墙和西南墙，将东北面和东南面外 2m 的范围规划为辐射工作区域，边界用警戒绳作为管控措施。辐射工作区域里只放置射线装置、操作台及配套设施，不作其他用途，操作台设在射线装置正面一侧，有用线束方向朝西南侧照射，避开了有用线束的直接照射。

分区：本项目的辐射工作场所布局和分区示意图如图 10-10 所示，建设单位拟将 X 射线防护柜内部区域划为控制区，将 X 射线防护柜外整个辐射工作区域（设备东北面和东南面外 2m）划为监督区。

本项目控制区通过辐射屏蔽、安全连锁装置等进行控制，监督区通过警示标志、地面黄色标志线和警戒绳等进行管理。综上所述可以说明本项目的工作场所分区方案有利于场所分区管理，可有效隔离非辐射工作人员进入监督区。由上可知，该辐射工作场所的布局和分区合理。

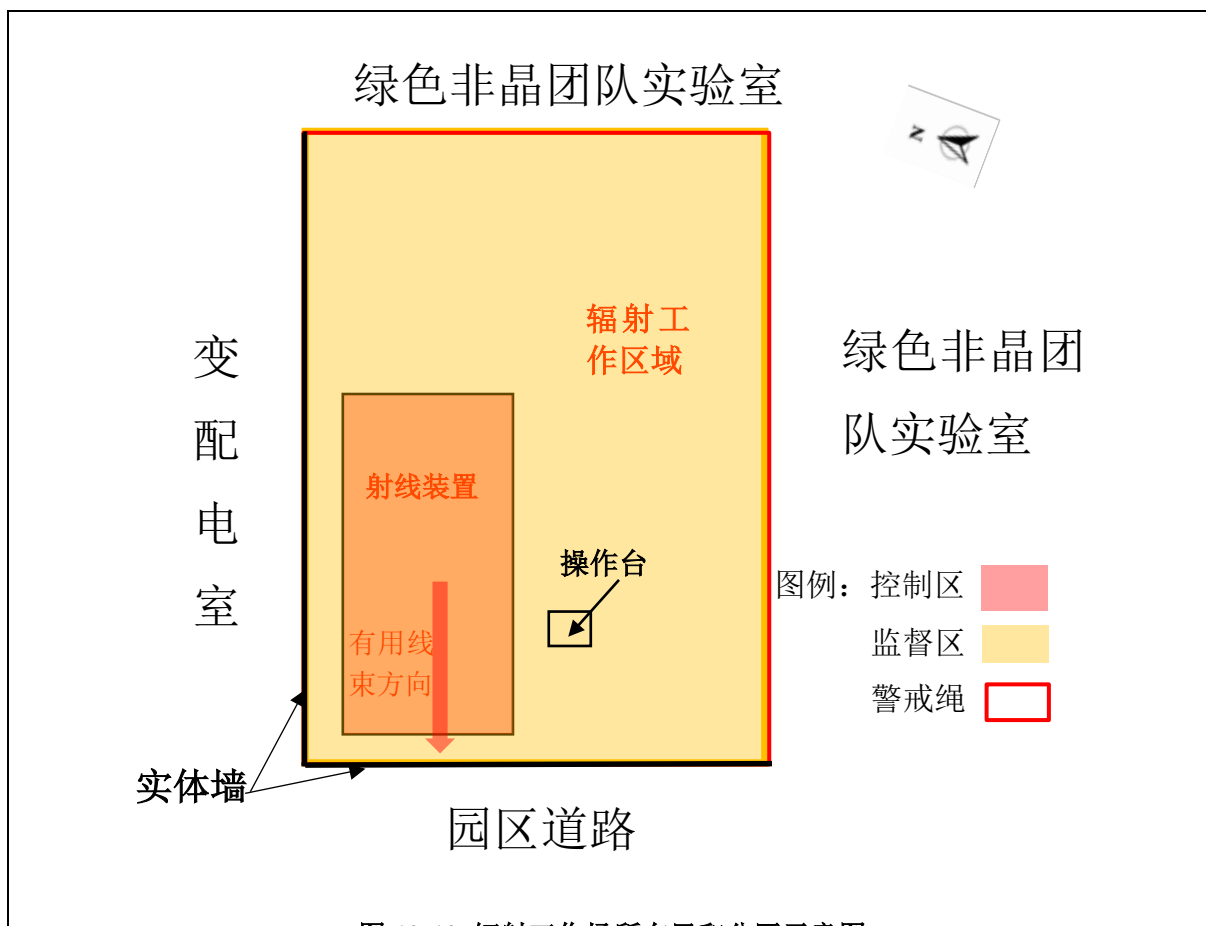


图 10-10 辐射工作场所布局和分区示意图

10.4 与标准的对照分析

按照《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)对本项目的辐射工作场所布局和分区、辐射屏蔽、各项辐射安全与防护措施、安全操作要求进行分析,对照分析表见表 10-2 和表 10-5。

表 10-2 辐射工作场所布局和分区要求对照分析表

(GBZ117-2022) 的辐射工作场所布局和分区要求	辐射工作场所布局和分区实施计划
6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全,操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。	本项目操作台设在射线装置正面一侧,有用线束方向朝西南侧照射,避开了有用线束的直接照射。
6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理,分区管理应符合 GB18871 的要求。	建设单位对辐射工作场所实施分区管理,将 X 射线防护柜内部区域划为控制区,将 X 射线防护柜外整个辐射工作区域(设备东北面

和东南面外 2m) 划为监督区。

表 10-3 工作场所辐射屏蔽要求对照分析表

(GBZ117-2022) 的工作场所辐射屏蔽要求	工作场所辐射屏蔽实施计划
<p>6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 100μSv/周，对公众场所，其值应不大于 5μSv/周；b) 屏蔽体外 30m 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5μSv/h。</p>	<p>根据表 11 的理论计算，射线装置屏蔽体和防护门的辐射屏蔽均同时满足人员在关注点的周剂量控制要求和关注点周围剂量当量率控制要求。</p>
<p>6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 4.1.3；b) 对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取为 100μSv/h。</p>	<p>本项目屏蔽体顶部的辐射屏蔽要求同上； 根据表 11 的理论计算，屏蔽体顶部的辐射屏蔽同时满足人员在关注点的周剂量控制要求和关注点周围剂量当量率控制要求。</p>

表 10-4 各项辐射安全与防护措施对照分析表

(GBZ117-2022) 的辐射安全与防护安全要求	辐射安全与防护实施计划
<p>6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。</p>	<p>本项目的铅防护门将设置安全联锁功能：铅防护门的打开与关闭均需要工作人员通过操作台控制方可进行开闭，否则无法手动打开铅防护门。当系统操作升降装置打开铅防护门时，触发门锁开关，通过切断光源模块的主电源开关来打开防护门。当铅防护门重新关上且关闭到位后，高压电源才能接通，射线装置才能开启。样品不稳固的情况下，人员身体部分进行 X 射线防护柜内进行调整、固定样品。当铅防护门打开，突然发生停电或其它故障时，因传动结构使用的是丝杠升降，在没有驱动的情况下，升降装置会进行自锁。当发生</p>

	<p>停电或其他故障时，铅防护门只停留在断电（或故障时）所在位置，不会发生坠落，方便人员在紧急情况下离开。一旦铅防护门有打开的趋势，射线设置高压电源将被切断，重新关上铅防护门后射线装置不会自动开启。</p>
<p>6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机连锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。</p> <p>“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“预备”和“照射”信号意义的说明。</p>	<p>X 射线防护柜内外均设有工作状态指示灯，X 射线出束时工作指示灯将闪动进行警示，本项目的射线装置自带有工作状态指示灯，具有三种工作状态的指示：绿灯（装置准备就绪，可以出束），黄灯（防护门未关闭状态），红灯（X 射线正在出束）。X 射线防护柜内、外醒目位置将张贴三种工作状态指示信号意义的说明。</p>
<p>6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。</p>	<p>样品不稳固的情况下，人员身体部分进行 X 射线防护柜内进行调整、固定样品，当铅防护门打开，突然发生停电或其它故障时，因传动结构使用的是丝杠升降，在没有驱动的情况下，升降装置会进行自锁。当发生停电或其他故障时，铅防护门只停留在断电（或故障时）所在位置，不会发生坠落，方便工作人员离开。因此本项目未安装专用的监视器。</p>
<p>6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB18871 要求的电离辐射警告标识和中文警示说明。</p>	<p>本项目拟在 X 射线防护柜正面张贴电离辐射警示标志和中文警示说明，按照 GB18871-2002 的规范制作，标志的单边尺寸不小于 50cm。辐射工作区域监督区边界树立“辐射工作场所，无关人员工作期间禁止进入”的警示牌。操作台上方拟张贴辐射警告、出束指示和禁止非授权使用的说明。</p>
<p>6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或</p>	<p>样品不稳固的情况下，人员身体部分进行 X 射线防护柜内进行调整、固定样品，当</p>

<p>拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。</p>	<p>铅防护门打开，突然发生停电或其它故障时，因传动结构使用的是丝杠升降，在没有驱动的情况下，升降装置会进行自锁。当发生停电或其他故障时，铅防护门只停留在断电（或故障时）所在位置，不会发生坠落，方便人员离开。因此射线装置在操作台位置和 X 射线防护柜外右侧均设有 1 个急停按钮，发生紧急事故时可以迅速切断设备多项部件的电源，立即终止出束。急停按钮将标明功能和使用方法。急停按钮设在防护柜外，人员不需要穿过主射线束就能够使用。</p>
<p>6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。</p>	<p>本项目拟使用的射线装置在 X 射线防护柜上方设置了 1 个动力排风装置，设计排放量不小于 0.01m³/s，X 射线防护柜的体积为 6.99m³，工作期间排风装置保持开启，可计算得到每小时有效换气次数为 5.15 次，即每小时有效换气次数不少于 3 次。</p>
<p>6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。</p>	<p>建设单位拟为辐射工作人员各配备 1 个人剂量报警仪，个人剂量报警仪具有实时显示和报警功能，可以满足实时监测和报警的要求。</p>

表 10-5 安全操作要求及实施计划对照表

<p>(GBZ117-2022) 的安全操作要求</p>	<p>安全操作实施计划</p>
<p>6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门-机连锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。</p>	<p>辐射工作人员作业前检查铅防护门安全连锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施，发现异常立刻停止工作并查找原因，排查异常后才能继续工作。</p>

<p>6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X-γ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。</p>	<p>建设单位拟为辐射工作人员配备 1 个人剂量计和 1 台个人剂量报警仪，并在工作期间佩戴好。当个人剂量报警仪报警时，工作人员应立即离开工作区域，向辐射防护负责人报告并查找原因。</p>
<p>6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应当与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。</p>	<p>建设单位拟配备 1 台便携式剂量率仪用于日常辐射监测，使用便携式剂量率仪定期对 X 射线防护柜外周围剂量当量率进行巡测（每个季度 1 次），做好巡测记录。当测量值高于参考控制水平时，需立刻停止工作并向辐射防护负责人报告并查找原因。计划每年一次委托有资质的第三方检测机构对 X 射线防护柜外的环境辐射水平进行年度检测。</p>
<p>6.2.4 交接班或当班使用便携式 X-γ 剂量率仪前，应检查是否正常工作。如发现便携式 X-γ 剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。</p>	<p>工作人员作业前需检查个人剂量报警仪是否正常工作，如发现个人剂量报警仪不能正常工作，则不能开始辐射工作。</p>
<p>6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。</p>	<p>在每次照射前，操作人员将进行以下确认：铅防护门已关闭且关闭到位后，各项安全联锁装置安全装置正常的情况下，射线装置才能启动、才能出束，将潜在的辐射降到最小。</p>
<p>6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。</p>	<p>辐射工作人员需要在辐射工作前确认各项安全联锁系统正常的情况下射线装置才能启动，才能开始辐射工作。</p>
<p>小结：综上所述，建设单位拟采取的各项辐射安全与防护措施、辐射安全操作要求等满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求。</p>	

10.5 生产的辐射安全工作要求

(1) 组装测试、性能和屏蔽测试期间，非辐射工作人员离开现场、设置警戒线。

(2) 辐射工作人员按要求佩戴好个人剂量计和个人剂量报警仪。

(3) 辐射工作人员应严格按照操作流程组装、调试该射线装置，不得擅自改变操作程序：

进行组装测试时，工作人员在操作台控制，不能进入 X 射线防护柜。若个人剂量报警仪发出报警信号，应立刻停止工作，并寻找原因，进行整改。整改好、并经检测确认辐射水平合格后，方可继续工作。

进行性能和屏蔽测试时，为实现测试时的辐射防护最优化，测试只能在 X 射线防护柜进行，操作台设在防护柜外面，工作人员在防护柜外操作。

进行铅防护门安全联锁功能、急停按钮等的测试时，通过人为方式使铅防护门不能正常关闭、按下急停按钮，测试能否出束等。

(4) 完成全部测试工作，关闭 X 射线源、断电、通风。

10.6 三废的治理

X 射线照射会使周围的空气电离而产生少量臭氧和氮氧化物，如果不做处理会使辐射工作场所空气中的有害气体含量增加。参照国家标准《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 的相关规定：X 射线探伤场所每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。

本项目拟使用的射线装置在 X 射线防护柜上方设置了 1 个动力排风装置，X 射线防护柜的进风口和出风口防护罩位于 X 射线防护柜上方，设计排放量不小于 $0.01\text{m}^3/\text{s}$ ，X 射线防护柜的体积为 6.99m^3 ，工作期间排风机保持开启，可计算得到每小时有效换气次数为 5.15 次，即每小时有效换气次数不少于 3 次。X 射线防护柜内空气电离产生的少量臭氧和氮氧化物将通过动力换气装置排出，进一步通过通风管道由绿色非晶团队实验室延伸至室外道路。在常温常压下，臭氧和氮氧化物的稳定

性较差，可自行分解为无害物质。本项目的 X 射线防护柜排风装置设计排风量可满足 X 射线防护柜内每小时有效换气次数不少于 3 次，不会在室内累积，可确保 X 射线防护柜内产生的少量有害气体能够及时迅速地排出，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求。

本项目采用数字成像方式，在显示屏上直接显示检测结果，不涉及胶片、影液等感光材料废物。无放射性废物及其他废气、废水和固体废物产生。

表 11 环境影响分析

建设阶段环境影响分析

本项目只有在生产（组装，调试）、使用射线装置过程中才会产生 X 射线，建设阶段不会对周围环境产生电离辐射影响。

本项目对绿色非晶团队实验室工作场所进行施工，会有一些的固废、噪声、施工废水等非电离辐射因素的环境影响，如建筑垃圾、建筑废水、扬尘、施工噪声等。施工单位应按照规定对建设期产生的一般环境污染进行治理，如：建筑垃圾应分类堆放并及时处理；如扬尘较大、应洒水抑尘，设置防尘布；如需使用噪声较大的工具进行施工，应尽量选择在人员较少的时间内短施工，通过以上措施使本项目在施工阶段对周围环境的影响降低到最小。

本项目在施工阶段非电离辐射因素的环境影响时间是短暂的，影响范围小，随着施工期的结束而消除，且周围无环境敏感点，因此对环境的影响不大。

运行阶段对环境的影响

11.1 辐射剂量率控制值分析

本项目拟使用的射线装置最大管电流为 1mA，管电压可调。项目建成后预计每天分析实验样品 2 个，每个样品的出束时间约 1 小时，每周 5 个工作日，可计算周工作负荷 W 为 600mA · min。

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），探伤房墙和入口门外周围辐射剂量率和每周周围剂量当量应满足：

对于职业工作人员， $H_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对于公众 $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。相应的导出剂量率参考控制水平：

$$\dot{H}_{c,d} = \frac{H_c}{t \times U \times T} = \frac{H_c \times 60 \times I}{W \times U \times T} \quad (11-1)$$

式中：

t 相应探伤装置的周照射时间，h/周；

- W 相应探伤装置的周工作负荷，mA·min/周；
- I 探伤装置在最高管电压下常用的最大管电流，mA；
- U 探伤装置向关注点方向照射的使用因子；
- T 人员在相应关注点驻留的居留因子。

本项目拟使用的射线装置属于固定式定向机，有用线束方向朝西南侧照射，有用线束方位的使用因子取 1，其他方向受到泄漏线束和散射线束的影响，泄漏线束和散射线束方位均取 1，居留因子的选取参照国家标准（GBZ/T250-2014）附录 A，四周场所分布图见图 11-1。

由以上计算所得的 $\dot{H}_{c,d}$ ，凡不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的，以其值作为关注点的剂量率控制值，否则选取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 作为该关注点的剂量率控制值，相关计算参数和剂量率参考控制值的选取结果见表 11-1。

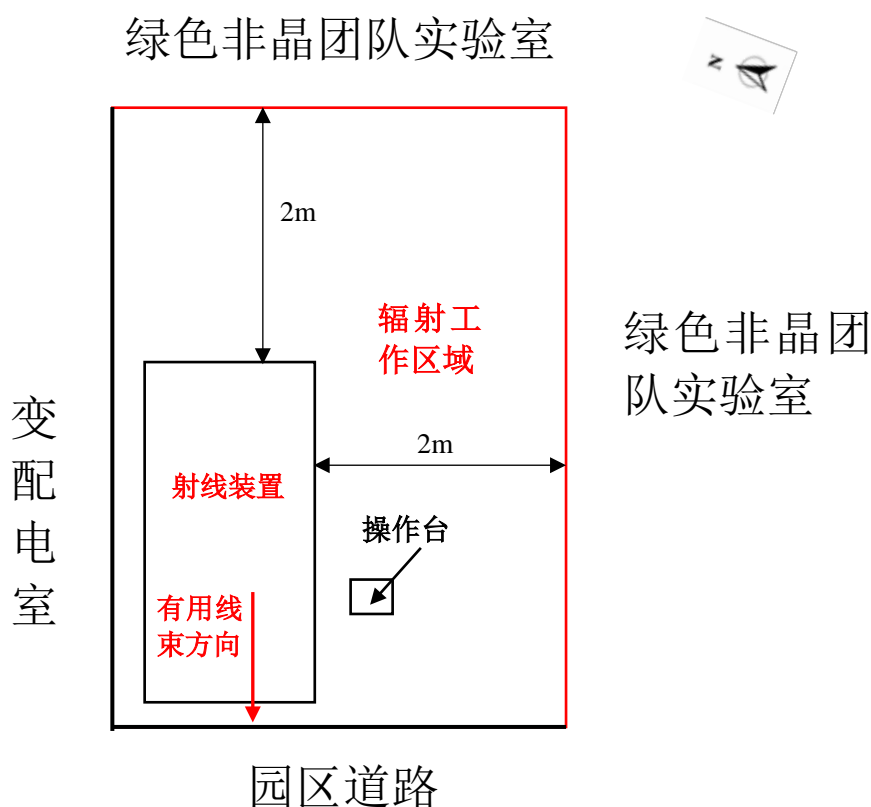


图 11-1 四周场所分布图

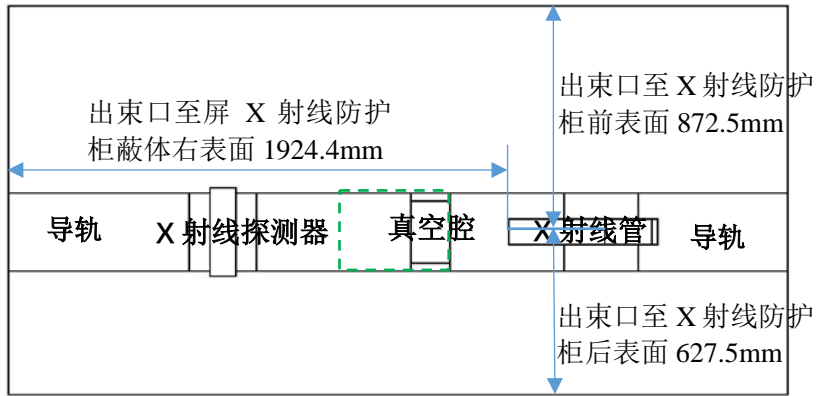
表 11-1 关注点剂量率控制水平

场所	保护目标	U	T	$\dot{H}_{c,d}$	\dot{H}_c
绿色非晶团队实验室-辐射工作区域	辐射工作人员	1	1	10 μ Sv/h	2.5 μ Sv/h
东北侧	公众	1	1/5	2.5 μ Sv/h	2.5 μ Sv/h
东南侧	公众	1	1/5	2.5 μ Sv/h	2.5 μ Sv/h
西南侧	公众	1	1/20	10 μ Sv/h	2.5 μ Sv/h
西北侧	公众	1	1/40	20 μ Sv/h	2.5 μ Sv/h
顶部	公众	1	1/5	2.5 μ Sv/h	2.5 μ Sv/h
底部	公众	1	1/10	5 μ Sv/h	2.5 μ Sv/h

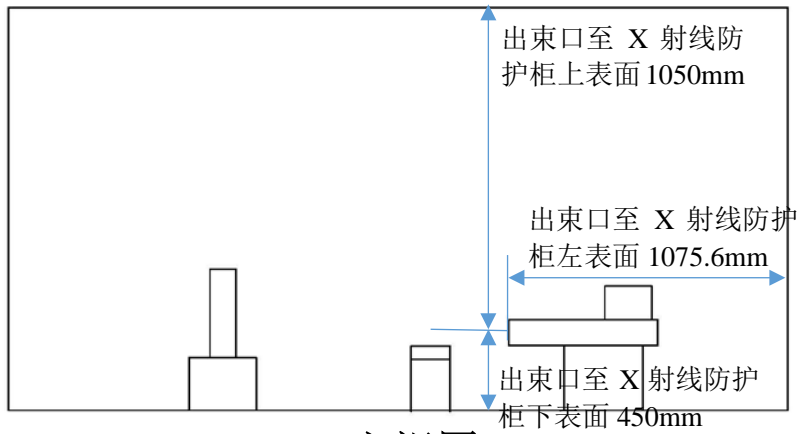
11.2 辐射剂量率估算

本项目拟使用的射线装置最大管电压为 160kV，最大管电流为 1mA。为了分析本项目运行时对周围环境的影响，参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）的相关公式，估算 X 射线出束时，X 射线防护柜外四周周围剂量当量率水平。

X 射线管位于设备内部右下位置，射线源位置固定，根据扩散系数测量实验所需的源项参数进而调整真空腔、X 射线探测器的位置，本项目按照“距离最近”原则来进行计算。X 射线防护柜放置在绿色非晶团队实验室的西南侧角落，有用线束方向朝西南侧照射。本报告选取 X 射线防护柜外 0.3m 处为辐射水平关注点，射线装置布置示意图见图 11-2，关注点分布示意图见图 11-3。



俯视图



主视图


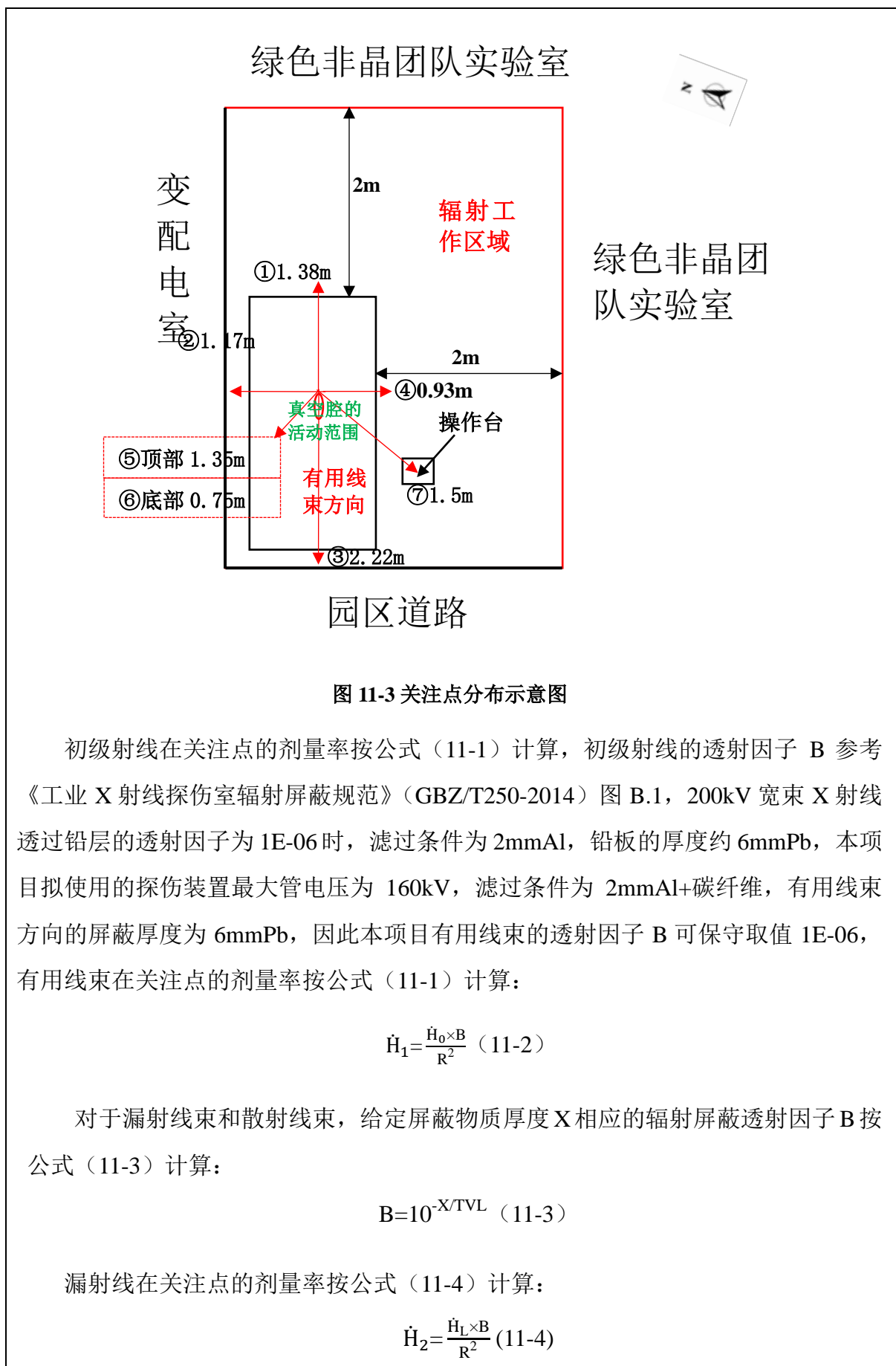
 真空腔的活动范围，距离为 0.5m

图 11-2 射线装置布置示意图



90°散射线在关注点的辐射剂量率按公式（11-5）计算：

$$\dot{H}_3 = \frac{\dot{H}_0 \times B}{R_s^2} \times \frac{F \times a}{R_0^2} \quad (11-5)$$

式中：

- \dot{H}_0 距辐射源点（靶点）1m处剂量率，单位为 mGy/s；
- B 屏蔽透射因子；
- R 辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为 m；
- R_s 散射体至关注点的距离，单位为 m；
- X 屏蔽物质厚度，单位为 mm；
- TVL 屏蔽物质的什值层，单位为 mm；
- \dot{H}_L 距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；
- F R_0 处的辐射野面积，单位为 m^2 ；
- a 散射因子，入射辐射被单位面积（ 1m^2 ）散射体到其 1m 处的散射辐射剂量率的比，根据（GBZ/T250-2014）附录 B 表 B.3 保守取值 $1.90\text{E-}03 \times 10000/400$ ；
- R_0 辐射源点至样品的距离，单位为 m。

该射线装置的有用线束方向朝西南侧照射，对关注点③考虑有用线束的辐射影响，其余关注点主要考虑泄露线束和散射线束的辐射影响。

计算有关参数的选取列于表 11-2，透射因子有关参数的选取列于表 11-3，源项参数列于表 11-4，各屏蔽面外关注点的辐射剂量率估算结果列于表 11-5。

表 11-2 计算参数一览表

关注点	R(m)	R_s (m)	F(m^2)	a	R_0 (m)	I(mA)
①（东北侧）	1.38	1.68	0.09	0.0475	0.3	1
②（西北侧）	1.17	1.21	0.09	0.0475	0.3	1
③（西南侧）	2.22	-	-	-	-	1
④（东南侧）	0.93	0.98	0.09	0.0475	0.3	1
⑤（顶部）	1.35	1.38	0.09	0.0475	0.3	1
⑥（底部）	0.75	0.81	0.09	0.0475	0.3	1

⑦（操作位）	1.5	1.53	0.09	0.0475	0.3	1
--------	-----	------	------	--------	-----	---

注： R_s 的取值通过几何关系得出。F的取值根据有用线束张角 60° 和 R_0 可计算出 R_0 处的半径为0.17m，可求出面积 $0.09m^2$ 。

表 11-3 透射因子计算参数一览表

关注点	屏蔽厚度	射线类型	TVL 值	透射因子 B
①（东北侧）	5mmPb	泄漏线束	1.4mm	2.7E-04
		散射线束	0.96mm	6.2E-06
②（西北侧）	5mmPb	泄漏线束	1.4mm	2.7E-04
		散射线束	0.96mm	6.2E-06
③（西南侧）	6mmPb	有用线束	-	1E-06
④（东南侧）	5mmPb	泄漏线束	1.4mm	2.7E-04
		散射线束	0.96mm	6.2E-06
⑤（顶部）	5mmPb	泄漏线束	1.4mm	2.7E-04
		散射线束	0.96mm	6.2E-06
⑥（底部）	5mmPb	泄漏线束	1.4mm	2.7E-04
		散射线束	0.96mm	6.2E-06
⑦（操作位）	5mmPb	泄漏线束	1.4mm	2.7E-04
		散射线束	0.96mm	6.2E-06

注：按照（GBZ/T250-2014），泄漏线束的 TVL 值取 200kV 对应值；散射线束 TVL 值取 150kV 对应值。

表 11-4 源项参数一览表

射线类型	距靶 1m 处剂量率
有用线束	0.65mGy/s
泄漏线束	$2.5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$

表 11-5 关注点辐射剂量率水平估算结果（单位： $\mu\text{Sv/h}$ ）

关注点	控制值	\dot{H}_1	\dot{H}_2	\dot{H}_3	\dot{H}
①（东北侧）	2.5	-	0.35	0.027	0.37
②（西北侧）	2.5	-	0.49	0.052	0.54

③（西南侧）	2.5	0.47	-	-	0.47
④（东南侧）	2.5		0.77	0.079	0.85
⑤（顶部）	2.5	-	0.37	0.040	0.41
⑥（底部）	2.5	-	1.19	0.11	1.3
⑦（操作位）	2.5	-	0.30	0.03	0.33

注：参照（GBZ121-2020）天空反射的定义：某些辐射屏蔽设施在设计时无屏蔽或屏蔽薄弱，此种情况下，辐射源射向天空的射线，因受大气的反散射作用而造成辐射源屏蔽墙周围地面附近辐射场增强的现象；本项目的 X 射线防护柜带有实体屏蔽，可不考虑天空散射对周围的辐射影响。

从表 11-5 可以看到，X 射线防护柜外 0.3m 处各关注点处辐射剂量率估算值最高约 1.30 μ Sv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）规定的辐射剂量率控制要求。

11.3 人员受照剂量分析

11.3.1 公众受照剂量

根据表 11-5 的关注点辐射剂量率估算结果，本报告评价范围内公众的受照剂量率按照“辐射水平与距离平方成反比”来估算。结合表 9.4 节的工作负荷介绍（全年 X 射线出束时间约 524 小时），按照公式（11-6）可进一步估算出各保护目标的年有效受照剂量，估算结果见表 11-6。

$$E = \frac{\dot{H}/1000 \cdot r_g^2}{r_b^2} \times t \times T \quad (11-6)$$

式中：

E——保护目标的受照剂量，mSv/a；

\dot{H} ——关注点的辐射剂量率， μ Sv/h；

r_g ——关注点至辐射源的距离，m；

r_b ——保护目标分布场所边界至辐射源的距离，m；

t——本项目全年出束时间，h；

T——保护目标的居留因子，选取参照（GBZ/T250-2014）附录 A 中表 A.1。

表 11-6 公众受照剂量估算结果

方位	场所	$r_g(m)$	$r_b(m)$	T	受照剂量率 ($\mu Sv/h$)	受照剂量 (mSv/a)
东北侧	绿色非晶团队实验室	0.65	3.4	1/5	6.3E-02	6.6E-03
	内庭院	0.65	17.4	1/10	2.4E-03	1.3E-04
	光电子材料与器件团队实验室	0.65	49.4	1/5	3.0E-04	3.1E-05
东南侧	绿色非晶团队实验室	0.62	2.9	1/5	8.6E-02	9.0E-03
	电梯间	0.62	31.9	1/20	7.3E-04	1.9E-05
	实用超导薄膜实验室	0.62	36.9	1/5	5.4E-04	5.7E-05
西南侧	园区道路	1.92	17.9	1/8	7.3E-03	1.8E-04
西北侧	变配电室	1.48	1.2	1/40	5.4E-01	7.1E-03
	值班室	1.48	11.2	1	5.9E-03	3.1E-03
	预留开闭所	1.48	15.2	1/20	3.2E-03	8.4E-05
	通道	1.48	21.2	1/10	1.7E-03	8.7E-05
	入口大厅	1.48	25.2	1/10	1.2E-03	6.1E-05
北侧	卫生间	1.48	39.2	1/10	4.8E-04	2.5E-05
	洽谈室	1.48	36.2	1/8	5.7E-04	3.7E-05
楼上二层	绿色非晶合金团队实验室	1.35	6.4	1/5	1.8E-02	1.9E-03
楼上三层	仿生控冰团队实验室	1.35	11.4	1/5	5.8E-03	6.1E-04
地下一层	停车场	0.75	5.8	1/10	2.2E-02	1.2E-03

11.3.2 工作人员受照剂量

(1) 有效受照剂量

本报告以关注点⑦（操作位）剂量率作为绿色非晶团队实验室辐射工作区域-辐射工作人员的受照剂量率，根据表 9.4 节的工作负荷介绍（生产环节全年 X 射线出束时间约 2 小时，使用环节全年 X 射线出束时间约 522 小时），根据公式（11-5）可估算出辐射工作人员的受照剂量，辐射工作人员受照剂量估算结果见表 11-7。

表 11-7 辐射工作人员受照剂量估算结果

工作类型	受照剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间(小时)	年受照剂量(mSv/a)	叠加受照剂量(mSv/a)
生产（组装测试、性能和屏蔽测试）	0.33	2	6.6E-04	1.7E-01
使用	0.33	522	1.7E-01	

表 11-6 和 11-7 估算结果显示，本项目所致评价范围内辐射工作人员年有效最大受照剂量为 1.7E-01mSv/a，公众年有效最大受照剂量为 9.0E-03mSv/a，以上估算结果满足“辐射工作人员不超过 5mSv/a，公众不超过 0.25mSv/a”的剂量约束要求，满足国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

(2) 眼晶体、皮肤的当量剂量

本项目 X 射线的最大能量为 160keV，参考《辐射防护用 X、 γ 辐射剂量当量（率）仪和监测仪检定规程》（JJG 393-2003）表 A1，窄谱系列过滤 X 参考辐射的周围剂量当量率与吸收剂量率转换系数，在 150kV 时 Sv/Gy=1.58。

保守用操作位的周围剂量当量率 0.33 $\mu\text{Sv/h}$ 作为眼晶体的剂量率，根据上面的转换系数，相应的吸收剂量率为 0.21 $\mu\text{Gy/h}$ ，年受照时间为 524 小时，根据《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017）4.3.1 有辐射场空气比释动能率信息时，眼晶体的吸收剂量用公式（11-7）进行估算，计算结果见表 11-8。

$$D_L = C_{KL} \dot{k} \cdot 10^{-3} \times t \quad (11-7)$$

式中：

D_L ——眼晶体吸收剂量，单位为 mGy；

\dot{k} ——X、 γ 辐射场的吸收剂量率，单位为 $\mu\text{Gy/h}$ ；

C_{KL} ——空气比释动能到眼晶体吸收剂量的转换系数（保守取表 A.4 中 0.15MeV 对应最大值 1.39），单位为 Gy/Gy；

t——人员累计受照时间，单位为 h；

10^{-3} ——微戈瑞转换成毫戈瑞的转换系数。

保守用操作位的周围剂量当量率 0.33μSv/h 作为皮肤处的剂量率，根据上面的转换系数，相应的吸收剂量率为 0.21μGy/h，根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）4.3.1 有辐射场空气比释动能率信息时，皮肤的吸收剂量用公式（11-8）进行估算，计算结果见表 11-8。

$$D_s = C_{Ks} \dot{k} \cdot 10^{-3} \times t \quad (11-8)$$

式中：

D_s ——皮肤吸收剂量，单位为 mGy；

\dot{k} ——X、γ 辐射场的吸收剂量率，单位为 μGy/h；

C_{Ks} ——空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数（保守取表 A.4 和 A.5 中对应最大值 1.095），单位为 Gy/Gy；

t ——人员累计受照时间，单位为 h；

10^{-3} ——微戈瑞转换成毫戈瑞的转换系数。

表 11-8 辐射工作人员眼晶体、皮肤的剂量当量估算结果

部位	C_K	年吸收剂量	年当量剂量
眼晶体	1.39	0.15mGy	0.15mSv
皮肤	1.095	0.12mGy	0.12mSv

注：根据《辐射防护导论》，对于 X、γ 射线，吸收剂量与当量剂量的权重因子为 1。

以上分析结果表明，本项目辐射工作人员眼晶体、皮肤的受照剂量当量均小于年当量剂量限值，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》（GB22448-2008）的剂量限值要求。

11.4 事故影响分析

11.4.1 辐射事故类型

（1）装置组装调试中，安全联锁装置发生故障，屏蔽体防护设施不完善的情况下开启射线装置，导致在场的所有人员受到误照射；

（2）设备检修维护时，没有采取可靠的断电措施导致意外开启射线装置，使在场所有人员受到意外照射；

(3) 装置使用过程中，安全连锁装置发生故障，防护门未关闭的情况下开启射线装置，导致在场的所有人员受到误照射。

11.4.2 事故预防措施

(1) 辐射工作人员应严格按照操作流程组装、调试该射线装置，不得擅自改变操作程序。

(2) 组装、调试过程应严格佩戴好个人剂量和个人剂量报警仪；开始作业前应仔细检查辐射工作区域内有没有无关人员滞留。

(3) 通电调试前应确保 X 射线防护柜的各项安全连锁、急停按钮等已正常启动，确保防护柜内无人员滞留，严禁在辐射安全设施未启动、防护柜内有人员滞留的情况下开启射线装置。

(4) 检修时应采取可靠的断电措施，并经启动复查确认无电后，在电源开关处挂上“正在检修禁止合闸”安全标志。一旦发生辐射事故，应第一时间切断射线装置的电源。

(5) 本项目可能发生的辐射事故风险主要是在管理上出问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进入辐射工作区域前应检查是否佩戴好个人剂量报警仪；定期检查铅防护门的性能及各项辐射安全与防护设施是否正常工作，避免无关人员误入正在出束的辐射工作区域。

综上所述，建设单位如能严格采取以上事故预防措施，加强管理，让辐射工作人员提高安全意识，可最大程度降低辐射事故的影响，避免辐射事故的发生。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定，使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 II 类射线装置的工作单位，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。

空间材料团队成立了辐射安全管理小组，小组成员构成及职责如下：

组 长：林伟坚

成 员：张博、胡金亮、徐立明

管理小组职责：

(1) 结合单位实际负责拟定辐射防护工作计划和实施方案，制定相关工作制度，并组织实施；

(2) 做好工作人员的辐射防护与安全培训、防护设施的供应与管理以及辐射防护档案的建立与管理等工作；

(3) 组织实施辐射工作人员的职业健康检查和个人剂量监测，按要求建立个人剂量档案；

(4) 定期对辐射安全与防护工作进行检查，检查本公司辐射工作人员的辐射安全操作情况，指导做好操作人员的辐射防护，确保不发生辐射安全事故。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急措施。

为规范管理本单位的辐射工作，有效预防和控制可能发生的辐射事故，强化辐射事故危害意识和责任意识，建设单位制定了《辐射安全管理规章制度》（详情见附件 6），包括：

辐射安全管理机构

辐射防护和安全保卫制度

岗位职责

安全操作规程

辐射工作人员培训制度

监测方案

辐射工作人员职业健康检查和个人剂量管理要求

射线装置维修维护制度

放射性同位素使用登记制度

辐射事故应急预案

针对本次扩建项目，建设单位进一步完善了操作规程、辐射事故应急处理预案等内容。

建设单位制定的《辐射安全管理规章制度》较完善，可规范管理辐射工作，一旦发生辐射事故时，可以实现迅速和有效的应对，满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求。

12.3 辐射工作人员

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照生态环境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。对于从事使用II类射线装置活动的辐射工作人员，应当接受初级辐射安全培训。

根据生态环境部 2019 年 12 月 24 日印发的《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》的规定：自 2020 年 1 月 1 日起，辐射安全上岗培训应通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识、报名并参加考核，考核成绩单有效期

5年。

建设单位为本项目配置2名辐射工作人员，经辐射安全与防护培训和考核合格后成为辐射工作人员，负责操作兼管理该射线装置。其中1名辐射工作人员已通过了“国家核技术利用辐射安全与防护平台”参加辐射安全上岗培训和考核，持有成绩报告单。

在原有的核技术利用项目管理中，建设单位定期安排本单位的辐射工作人员参加了广东省辐射安全与防护知识培训，持有培训合格证，辐射工作人员情况一览表见表12-1。

表 12-1 辐射工作人员名单

序号	姓名	考核时间/培训时间	培训证号/成绩单号	备注
1	胡金亮	2022年5月	FS22GD2300130	本项目人员
2	王采林	2019年10月08日至10月11日	粤辐防协第S190465	原有项目人员
3	陈龙飞	2019年10月08日至10月11日	粤辐防协第S190464	
4	赖健聪	2019年11月18日至11月21日	粤辐防协第S190510	

建设单位制定的辐射工作人员培训计划满足相关法律法规的要求，在原有的核技术利用项目管理中，建设单位按要求执行了辐射工作人员培训计划。在后续的管理中，定期组织本公司的辐射工作人员通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”参加辐射安全与防护知识培训和考核，考核通过后方可从事辐射工作。

12.4 辐射监测计划

12.4.1 工作人员个人剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案；

个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。辐射工作人员有权查阅和复制本人的个人剂量档案；辐射工作人员调换单位的，原用人单位应当向新用人单位或者辐射工作人员本人提供个人剂量档案的复制件。

根据《职业病防治法》的规定：用人单位须组织接触职业病危害因素的劳动者进行上岗前、在岗期间、离岗时职业健康检查。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的规定：

8.2.1 个人剂量档案除了包括放射工作人员平时正常工作期间的个人剂量记录外，还包括其在异常状态（事故或应急）下受到的过量照射记录；

8.2.2 职业照射个人剂量档案终身保存。

建设单位将按照有关要求，对辐射工作人员上岗前进行职业健康检查，经检查合格后方可从事辐射工作，委托有资质的第三方检测机构对辐射工作人员进行个人剂量监测，工作人员按要求佩戴检测机构发放的个人剂量计上岗，定期回收读出个人有效剂量，监测周期为3个月，按要求建立个人剂量档案及职业健康档案。

在原有的核技术利用项目管理中，建设单位落实了工作人员个人剂量监测，人员受照剂量统计表见表 12-2。

表 12-2 工作人员受照剂量统计表（单位：mSv）

序号	姓名	21年3季	21年4季	22年1季	22年2季	累计
1	赖健聪	0.05	0.05	-	0.06	0.16

评价和建议：在原有的核技术利用项目管理中，建设单位部分辐射工作人员未配备个人剂量计，未按要求建立个人剂量档案；部分辐射工作人员存在22年1季个人剂量监测数据缺失的情况。建设单位在后续的管理中加强对所有辐射工作人员的管理，委托有资质的第三方检测机构对辐射工作人员进行个人剂量监测，工作人员按要求佩戴检测机构发放的个人剂量计上岗，定期回收读出个人有效剂量，按要求建立个人剂量档案及职业健康档案。

12.4.2 工作场所辐射监测计划

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：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。

委托有资质的第三方检测机构对在用的射线装置的环境辐射水平进行年度检测，年度检测数据应作为本单位的射线装置的安全和防护状况年度评估报告的一部分，于每年1月31日前上报环境行政主管部门。

建设单位拟为辐射工作人员各配备1个人剂量计和1台个人剂量报警仪，个人剂量报警仪具有报警功能和实时辐射剂量率监测显示功能，可满足辐射工作人员日常工作时的辐射监测和自我防护的要求。为日常监测配备1台便携式剂量率仪，使用便携式剂量率仪定期（每个季度1次）对X射线防护柜外周围剂量当量率进行巡测，做好巡测记录。辐射监测仪器配置一览表见表12-3。

表 12-3 辐射监测设备一览表

名称	型号	数量
个人剂量计	热释光式	2个
个人剂量报警仪	待定	2台
便携式剂量率仪	待定	1台

12.4.3 辐射安全年度评估计划

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：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日前向相关机关提交上一年度的评估报告。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

- (1) 辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- (2) 辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- (3) 辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- (4) 放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账；

- (5) 场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- (6) 辐射事故及应急响应情况；
- (7) 核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- (8) 存在的安全隐患及其整改情况；
- (9) 其他有关法律、法规规定的落实情况。

评价和建议：在原有的核技术利用项目管理中，建设单位执行了年度检查和年度评估计划，年度评估报告按要求上传到了“全国核技术利用辐射安全申报系统”。但报告内容存在不够完善的问题：辐射安全和防护设施的运行与维护情况、辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况、存在的安全隐患及其整改情况等内容的欠缺，建设单位应在后续的年度评估报告上严格按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定完善报告内容。

12.4.4 竣工环境保护验收监测

根据《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（国务院令 第 682 号）第十一条：将第二十条改为第十七条，修改为：“编制环境影响报告书、环境影响报告表的建设项目竣工后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。建设单位应承担本项目竣工环境保护验收的主体责任。

本项目竣工后，建设单位应按照相关程序和要求，在项目竣工后组织自主竣工环保验收，除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，验收报告公示期满 20 个工作日后应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台进行备案。

主要验收依据：

关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告（国环规环评〔2017〕4 号，2017 年 11 月 20 日发布）；

《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告 2018 年第 9 号）；

其他：本报告表 6 所列评价依据。

验收项目明细表见表 12-4。

表 12-4 验收项目明细表

序号	验收项目	验收要求
1	项目建设情况	按照本报告和环评批复文件的要求
2	三废治理措施落实情况	
3	辐射安全与防护各项措施落实情况	
4	辐射安全管理机构成立和运行情况	
5	辐射安全管理制度和辐射事故应急预案制定和落实情况	
6	个人剂量监测和辐射工作场所监测情况	
7	环评文件及其批复的其他要求	

12.5 工作场所辐射监测方案

12.5.1 剂量率控制要求

本项目 X 射线防护柜外 0.3m 处的周围剂量当量率的控制水平不超过 2.5 μ Sv/h。

12.5.2 检测布点要求及位置

射线装置的放射防护检测应工作在额定工作条件下、没有工件，应首先进行装置整体的辐射水平巡测，以发现可能出现的高辐射水平区，然后再定点检测。定点位置应包括：

- a) 通过巡测，发现辐射水平异常高的位置；
- b) X 射线防护柜外 30cm，门的左、中、右侧 3 个点和门缝四周；
- c) X 射线防护柜外或邻室墙外 30cm 离地面高度为 1m 处，每个墙面至少测 1 个点；
- d) 操作位；
- e) 人员经常活动的位置。

12.5.3 检测异常处理

日常监测时，一旦发现辐射水平超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 应立即停止辐射工作，查找原因，进行整改。整改好、并经检测确认辐射水平合格后，方可继续工作。验收监测发现超过控制水平的，应整改合格后方可通过竣工环境保护验收。

建设单位制定的辐射工作场所监测周期一览表见表 12-5。

表 12-5 辐射工作场所监测和检查周期一览表

类型	检测项目	频率	方式
年度检测	X 射线防护柜外周围剂量当量率	1 次/年	委托检测
日常检测	X 射线防护柜外周围剂量当量率	定期检测（每季度一次）	自行检测
验收监测	X 射线防护柜外周围剂量当量率	竣工后（一次）	委托检测

小结：建设单位制定的工作场所环境辐射监测计划满足相关法律法规的要求。在原有的核技术利用项目管理中，建设单位执行和落实了各项辐射监测计划。本项目正常运行时，建设单位应继续严格按照辐射监测计划做好工作场所环境辐射监测工作。

12.6 日常检查与维护

12.6.1 日常检查

每次作业时对正在使用中的 X 射线防护柜应检查铅防护门-机联锁装置，以及工作状态指示灯等安全措施，发现异常应停止辐射工作，排除异常后才能继续工作。

12.6.2 设备维护

(1) 建设单位应对射线装置维护负责，每年至少维护一次。设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行。

(2) 设备维护包括射线装置的彻底检查和所有零部件的详细检查。

(3) 当设备有故障或损坏，需更换零部件时，应保证所更换的零部件均来自设备制造商。

(4) 做好设备维护记录。

12.7 辐射事故应急

为使本单位一旦发生紧急辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，保护工作人员、公众及环境的安全，建设单位制定了《辐射事故应急预案》，该《预案》包括：辐射事故应急处理机构与职责、预警机制、事故应急处理程序、事故调查和后期处理等，具有可操作性，保证在发生辐射事故时，做到责任和分工明确，能够迅速、有序处理。

12.7.1 辐射事故应急机构

空间材料团队成立了辐射事故应急小组，小组成员如下：

组 长：林伟坚

成 员：张博、胡金亮、徐立明

12.7.2 人员培训和演习计划

为使参加应急处理的人员能熟悉和掌握应急预案的内容，保持迅速、正确、有效地执行应急技能和知识，提高辐射工作人员应付突发事件的能力，应进行培训和演练。

(1) 人员培训

培训对象包括应急预案成员、辐射工作人员；

培训内容包括应急原则和实施程序，辐射安全与防护专业知识，可能出现的辐射事故及辐射事故经验和教训，辐射监测仪器、通讯及防护设施的使用和应急预案执行步骤等。

(2) 演练计划

辐射安全事故应急处理小组须定期（每年一次）组织应急演练，提高辐射事故应急能力，并通过演练逐步完善应急预案。

在原有的核技术利用项目的辐射事故应急中，建设单位执行了《辐射事故应急处理预案》，暂未进行事故应急人员培训和演习，应在后续的管理中加强落实。

12.8 与标准的对照分析

按照《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022),对辐射安全管理进行分析,对照分析表见表 12-6。

表 12-6 使用单位辐射安全管理对照分析表

《工业探伤放射防护标准》 (GBZ117-2022)的要求	实施计划
4.2 应建立放射防护管理组织,明确放射防护管理人员及其职责,建立和实施放射防护管理制度和措施。	建设单位成立了辐射安全管理小组,明确了机构的成员及其职责,制定了《辐射安全管理规章制度》。
4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ 128 的要求进行个人剂量监测,按 GBZ 98 的要求进行职业健康监护。	建设单位将委托有资质的第三方检测机构对辐射工作人员进行个人剂量监测,工作人员按要求佩戴检测机构发放的个人剂量计上岗,定期回收读出个人有效剂量,按要求建立个人剂量档案。
4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。	建设单位拟为每位辐射工作人员配备 1 台个人剂量报警仪,为日常监测配备 1 台便携式剂量率仪。
4.6 应制定辐射事故应急预案。	建设单位制定了《辐射事故应急预案》。

表 13 结论与建议

13.1 结论

松山湖材料实验室空间材料团队拟在 2 号实验楼一层绿色非晶团队实验室西南侧生产（组装，调试）、使用 1 台 X 射线实验装置，配套使用 1 台 YXLON 公司 FXE160.50 型 X 射线管及其组件，用于测量扩散样品熔体的扩散系数。本项目属于核技术利用扩建项目，项目选址合理。

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

辐射安全与防护措施分析表明，本项目拟生产、使用的射线装置的辐射屏蔽设计方案、工作场所布局和分区、各项辐射安全与防护措施等均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）等国家相关标准的要求。辐射安全管理措施分析表明，建设单位制定了较完善的辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，人员培训和辐射监测计划等均符合相关法规的要求。

13.1.2 环境影响分析结论

理论分析表明，本项目正常运行时射线装置屏蔽体外关注点的辐射水平满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）规定的周围剂量当量率控制要求；工作人员及公众的有效受照剂量低于职业照射和公众照射剂量约束值，满足国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

13.1.3 可行性分析结论

本项目的投产有助于松山湖材料实验室空间材料团队研发空间环境下先进的材料制备技术以及空间极端环境下材料物理新现象探索等方向的研究。在落实有效的辐射安全与防护措施、管理措施后能最大程度减少对周围环境的影响，从代价和利益的角度考虑，符合辐射实践的正当性。

建设单位应对本项目进行严格管理，按照辐射安全与防护要求工作。在落实了本报告提出的各项措施后，本项目对环境的辐射影响能够满足国家有关法规和标准的要求，从环境保护的角度考虑，建设单位本次核技术利用建设项目是可行的。

13.2 建议:

1、建设单位应对所有辐射工作人员加强管理，委托有资质的第三方检测机构对辐射工作人员进行个人剂量监测，工作人员按要求佩戴检测机构发放的个人剂量计上岗，定期回收读出个人有效剂量，按要求建立个人剂量档案及职业健康档案；

2、建设单位定期组织辐射事故应急人员培训和应急演练；

3、年度评估报告严格按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定完善报告内容；

4、结合后期运行和管理情况，建设单位应不断完善辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案，使之更具有实操性和针对性。

表 14 审 批

<p>下一级环保部门预审意见</p> <p style="text-align: right;">公章</p> <p style="text-align: center;">经办人 年 月 日</p>
<p>审批意见</p> <p style="text-align: right;">公章</p> <p style="text-align: center;">经办人 年 月 日</p>

附件 1：辐射安全许可证



根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	松山湖材料实验室		
地 址	东莞市松山湖大学创新城 A1 栋		
法定代表人	方忠	电话	[REDACTED]
证件类型	身份证	号码	[REDACTED]
涉源 部门	名 称	地 址	负责人
	中子科学平台— 中子散射项目	东莞市松山湖大学创新城 C1 栋	王采林
	SiC 功率模块团 队	东莞市松山湖大学创新城 A5 栋	张浩
种类和范围	使用V类放射源；使用III类射线装置***		
许可证条件			
证书编号	粤环辐证（S0359）		
有效期至	2025 年	01 月	30 日
发证日期	2021 年	07 月	23 日（发证机关章）



附件 2：建设项目环境影响登记表

建设项目环境影响登记表

填报日期：2019-12-18

项目名称	松山湖材料实验室使用V类密封放射源环境影响备案		
建设地点	广东省东莞市东莞市松山湖大学创新城C1栋地下室	占地面积(m ²)	30
建设单位	松山湖材料实验室	法定代表人或者主要负责人	方忠
联系人	王采林	联系电话	
项目投资(万元)	200	环保投资(万元)	30
拟投入生产运营日期	2020-05-01		
建设性质	新建		
备案依据	该项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中应当填报环境影响登记表的建设项目，属于第191核技术利用建设项目（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不低于已许可范围等级的核素或射线装置）项中销售I类、II类、III类、IV类、V类放射源的；使用IV类、V类放射源的；医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的；销售非密封放射性物质的；销售II类射线装置的；生产、销售、使用III类射线装置的。		
建设内容及规模	拟购买V类放射源用于科研实验：1.Cs-137，活度为3.7×10 ⁵ （贝可）；2.Co-60，活度为3.7×10 ⁵ （贝可）；3.Cf-252，活度为1.8×10 ⁸ （贝可）		
主要环境影响	辐射环境影响	采取的环保措施及排放去向	环保措施： 1.新建实验室防护墙，辐射剂量达到防护标准；2.工作人员佩戴个人剂量计；3.工作人员培训合格后持证上岗；4.建立健全的辐射安全管理制度；5.建立辐射事故应急预案。
<p>承诺：松山湖材料实验室方忠承诺所填写各项内容真实、准确、完整，建设项目符合《建设项目环境影响登记表备案管理办法》的规定。如存在弄虚作假、隐瞒欺骗等情况及由此导致的一切后果由松山湖材料实验室方忠承担全部责任。</p> <p style="text-align: right;">法定代表人或主要负责人签字：方忠</p>			
备案回执	该项目环境影响登记表已经完成备案，备案号：201944190100051068。		

建设项目环境影响登记表

填报日期：2021-07-14

项目名称	松山湖材料实验室使用III类射线装置环境影响备案		
建设地点	广东省东莞市东莞市松山湖大学创新城A5栋6楼601	建筑面积(m²)	96
建设单位	松山湖材料实验室	法定代表人或者主要负责人	方忠
联系人	赖健聪	联系电话	
项目投资(万元)	200	环保投资(万元)	30
拟投入生产运营日期	2021-08-02		
建设性质	新建		
备案依据	该项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中应当填报环境影响登记表的建设项目，属于第172 核技术利用建设项目项中销售 I 类、II 类、III 类、IV 类、V 类放射源的；使用 IV 类、V 类放射源的；医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的；销售非密封放射性物质的；销售 II 类射线装置的；生产、销售、使用 III 类射线装置的。		
建设内容及规模	拟购买 III 类射线装置用于科研实验：X-eye 5000N，设备工作场所外照射剂量率平均值 0.10uGy/h，符合不超过 2.5uGy/h 的限值要求。		
主要环境影响	辐射环境影响	采取的环保措施及排放去向	环保措施： 环保措施：环保措施：1. 新建实验室设立射线装置安全区，辐射剂量达到防护标准；2. 工作人员佩戴个人剂量计；3. 工作人员培训合格后持证上岗；4. 建立健全的辐射安全管理制度；5. 建立辐射事故应急预案。
承诺： 松山湖材料实验室方忠承诺所填写各项内容真实、准确、完整，建设项目符合《建设项目环境影响登记表备案管理办法》的规定。如存在弄虚作假、隐瞒欺骗等情况及由此导致的一切后果由松山湖材料实验室方忠承担全部责任。 法定代表人或主要负责人签字：			
备案回执			
该项目环境影响登记表已经完成备案，备案号：202144190100001478。			

放射源与射线装置安全和防护年度评估报告表 (2021 年度)

一、辐射工作单位基本信息

单位名称:	松山湖材料实验室		
法定代表人(或负责人):	方忠	电话:	
单位地址:	东莞市松山湖大学创新城 A1 栋		
联系人:	陈龙飞	电话:	
传真:		E-mail:	
辐射安全许可证号:	粤环辐证【S0359】		
许可种类与范围:	使用 V 类放射源; 使用 III 类射线装置	有效期至:	2025.01.30

二、辐射安全与防护

辐射安全与防护管理机构名称:		中子科学平台; SIC 功率模块团		负责人:	王采林; 张浩
学历:	博士	专业:	核科学	电话(手机):	
辐射工作人员数量:	4	取得相应环保培训合格证书人数:	4	个人剂量监测人数:	4

三、放射源及射线装置

在用放射源: Cf-252, Cs-137	总数:	2 (枚)			
其中 I 类源: 枚	II 类源: 枚	III 类源: 枚	IV 类源: 枚	V 类源: 2 枚	
废旧放射源: I 类、II 类、III 类源: 枚	处理情况:	无			
废旧放射源: IV 类、V 类源: 枚	处理情况:	无			
在用射线装置: 总数: 1 台	I 类: 台	II 类: 台	III 类: 台	IV 类: 1 台	V 类: 1 台
销售放射源或射线装置情况:	2021 年共销售 <input type="checkbox"/> 放射源/ <input type="checkbox"/> 射线装置 枚/台 (<input type="checkbox"/> 内打√)				

四、年度评估自查(自查评估自查(自查评估必仔细核对! 填报务必确保真实! 隐患务必及时整改!))

自查项目: (在“是”“否”栏打√)	是	否
(一) 辐射防护管理机构与辐射工作人员情况		
1. 辐射防护机构是否设立, 并指定专人负责	√	
2. 辐射工作人员及培训过期满的人员是否参加辐射工作人员培训	√	
3. 操作人员是否落实个人剂量检测与职业健康体检	√	
(二) 档案与台账情况		
1. 单位名称、地址、法人是否变更	√	
变更后是否办理许可证变更手续		√
2. 是否有新建、改建、扩建核技术应用项目未办理环评手续	√	
3. 是否有改建、扩建项目未变更《辐射安全许可证》	√	
4. 是否有新建、改建、扩建核技术应用项目未申请环保“三同时”验收	√	
5. 管理所需的台账是否有正常记录(维修记录、计量检测等)	√	
(三) 规章制度执行情况		
1. 辐射安全管理规定	√	
2. 操作规程	√	
3. 设备维护与维修制度	√	
4. 监测方案	√	
5. 辐射工作人员健康管理制度	√	
6. 辐射工作人员个人剂量管理制度	√	
7. 辐射工作人员培训/再培训管理制度	√	
8. 辐射事故应急预案	√	
(四) 辐射应急预案的执行情况		
1. 有否发生过辐射事故和照射事故	是	否

伽马源	Cs-137	3.7E+5	0121CS002295	大学创新城 C1栋地下室
(七) 开放性放射源工作场所的安全与防护情况 (无开放源的单位不需填写)				
1. 放射性废物是否使用标准的废物桶妥善盛放				
2. 是否将废物分类存放				
3. 存放时间是否达到十个半衰期				
4. 是否配备监测仪器				
5. 是否定期自行监测或委托环监监测机构监测				
6. 是否建立放射性废物存放与排放台账				
7. 开放性放射性同位素清单: (表格不够可增行)				
放射源核素名称	操作场	物理/化学形态	简要使用流程	计划处理方案
(八) 射线装置的安全与防护情况 (无射线装置的单位不需填写)				
1. 射线装置的变更是否报环保部门批准或备案				
2. 防护设施、警示设备 (声光报警)、联锁设施、紧急停机设施是否满足要求				
3. 医用 X 射线机房通风是否良好 机房内是否留存不相关的废物				
4. 生产、销售射线装置是否建立销售台账				

无 无

2. 辐射工作人员是否熟悉环保部门应急电话 12369、公安部门应急电话 110、卫生部门应急电话 120				
3. 是否配备并能正常使用辐射监测仪器和防护用品 (无须配备的选否)				
4. 有否发现辐射污染与辐射异常情况				
5. 是否进行过应急演练				
6. 最近一次辐射监测是何时: 2022年1月0日				
(五) 警示标志与安全防护装置的情况				
1. 是否正确悬挂规范、醒目的电离辐射警示标志				
2. 屏蔽设施、安全连锁、工作指示灯等安全防护装置是否正常				
3. 移动、使用放射源与射线装置时是否设置控制区与监督区				
(六) 放射源的安全与防护 (无放射源的单位不需填写)				
1. 放射源的保管是否有专人负责				
2. 是否建立放射源使用台账				
3. 不在用的放射源是否有安全暂存设施				
4. 放射源库是否设置双人双锁				
5. 是否曾有过现有退役的放射源				
6. 退役的放射源是否安全送贮 (上一项选“否”的该项也选“否”)				
7. 是否安装使用放射源在线监控系统				
8. 放射源清单: (表格不够可增行)				
装置名称 (测厚仪/料位计/核子秤等)	放射源核素名称	活度	放射源编码	使用场所
中子源	Cf-252	1.7E+8	US20CF005365	大学创新城 C1栋地下室

5、销售射线装置的对象是否持证、是否在许可范围内					<input checked="" type="checkbox"/>	
如无相应许可证，是否已取得环评批文						
6、射线装置清单：（表格不够可增行）						
序号	射线装置名称	型号	装置类别	数量	用途	
1	X-ray 检测设备	X-eye 5000	Ⅲ类射线装置	1	科研	
(九) 报告单位还须提交以下材料：						
<ol style="list-style-type: none"> 1、核技术应用项目环境影响评价文件审批批复（复印件）； 2、核技术应用项目竣工验收验收意见（复印件）； 3、辐射安全许可证 正、副本（复印件）； 4、辐射工作场所环境监测情况（复印件）； 5、辐射工作人员本年度个人剂量检测数据（复印件）； 6、辐射工作人员培训合格证（复印件）。 						

附件 4: 环境 γ 辐射现状检测报告



检 测 报 告

任务编号: XHJC22041

项目名称:	核技术利用建设项目场所环境 γ 辐射剂量 率检测
委托单位:	松山湖材料实验室
检测类型:	环评检测
报告日期:	2022 年 7 月 27 日



广州星环科技有限公司



第 1 页 / 共 6 页

说 明

- 1、本公司保证检测结果的公正性、独立性、准确性和科学性，对委托单位所提供的资料保密。
- 2、检测操作按照相关国家、行业、地方标准和本公司的程序文件及作业指导书执行。
- 3、本报告只适用于本报告所写明的检测目的及范围。
- 4、本报告未盖本公司“CMA 资质认定章”、“检测专用章”及“骑缝章”无效。
- 5、复制本报告未重新加盖本公司“CMA 资质认定章”、“检测专用章”无效，报告部分复制无效。
- 6、本报告无编制人、审核人、批准人签字无效。
- 7、本报告经涂改无效。
- 8、自送样品的委托测试，其监测结果仅对来样负责；对不可复现的监测项目，结果仅对采样（或监测）当时所代表的时间和空间负责。
- 9、本报告未经本公司同意不得用于广告、商品宣传等商业行为。
- 10、对本报告若有异议，请于报告发出之日起十五日内向本公司提出，逾期不申请的，视为认可检测报告。

地 址：广州市海珠区南洲路 365 号二层 236

邮政编码：510289

电 话：020-38343515

网 址：www.foyoco.com



广州星环科技有限公司检测报告

受检单位	松山湖材料实验室
检测地点	东莞市大朗镇屏东路 333 号松山湖材料实验室 2 号实验楼一层
检测参数	环境 γ 辐射剂量率
检测方式	现场检测
仪器名称	X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪
检测仪器信息	厂家、型号: 中广核贝谷科技有限公司、BC9511 型 出厂编号: 1SB07Y5R 能量响应: 48keV~3MeV 测量量程: 10nGy/h~600 μ Gy/h 相对固有误差: -9.3%
仪器校准证书	214708220 校准单位: 深圳市计量质量检测研究院 校准日期: 2021 年 11 月 25 日; 复校日期: 2022 年 11 月 24 日
检测依据	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)
检测日期	2022 年 7 月 11 日
环境条件	天气: 晴, 气温 34 $^{\circ}$ C, 湿度 64%
建设项目概况	建设单位拟在松山湖材料实验室 2 号实验楼一层绿色非晶团队实验室安装 1 间铅房, 在铅房内配套使用 1 台 YXLON 公司 FXE 160.50 型固定式 X 射线探伤装置, 用于测量扩散样品熔体的扩散系数, 保证测量扩散系数的实验精确性。
检测结果	检测结果见附表 1, 检测布点图见附图 1。

编制: 马惠茹

审核: 黄锦熙

签发: 张子奇

签发日期: 2022.7.27

附表 1: 检测结果

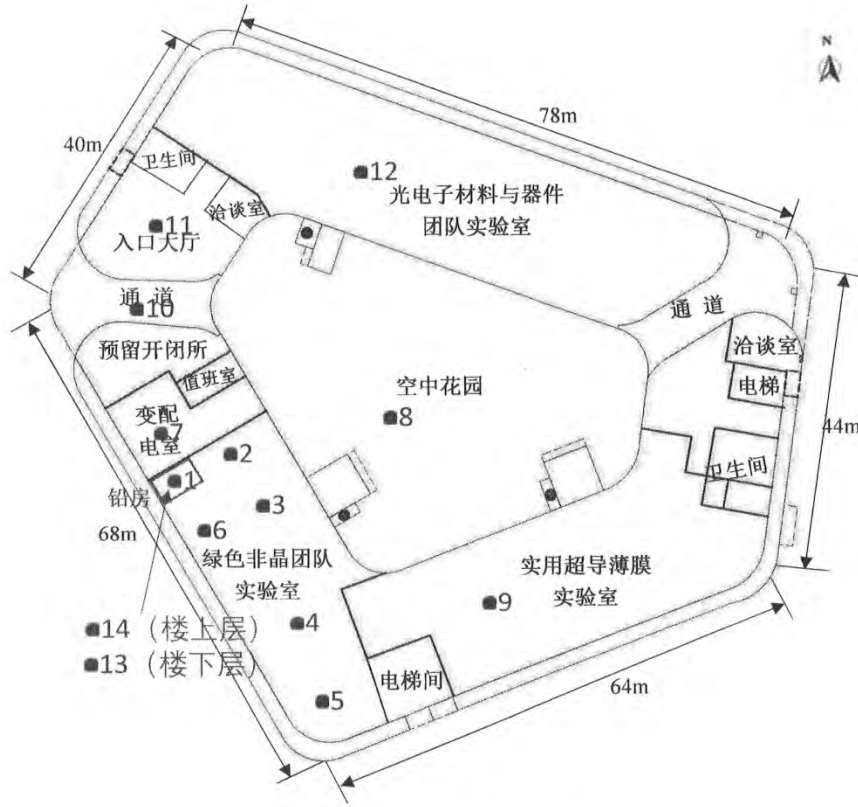
点位编号	点位描述	距离(m)	表面介质	平均值(nGy/h)	标准差(nGy/h)	环境性质
1	拟建铅房位置	—	混凝土	122	3	楼房
2	东北侧绿色非晶团队实验室	9	混凝土	114	3	楼房
3	东南侧绿色非晶团队实验室	14	混凝土	124	2	楼房
4	东南侧绿色非晶团队实验室	22	混凝土	125	3	楼房
5	东南侧绿色非晶团队实验室	34	混凝土	128	3	楼房
6	东南侧绿色非晶团队实验室	8	混凝土	132	3	楼房
7	西北侧变配电室	5	混凝土	122	2	楼房
8	东北侧空中花园	23	混凝土	92	3	道路
9	东南侧实用超导薄膜实验室	49	混凝土	124	3	楼房
10	西北侧通道	24	混凝土	119	3	楼房
11	西北侧入口大厅	33	混凝土	120	3	楼房
12	东北侧光电子材料与器件团队实验室	51	混凝土	134	3	楼房
13	地下一层停车场	5	混凝土	132	2	楼房
14	楼上二层绿色非晶合金团队实验室	5	混凝土	137	2	道路
15	西南侧 2 号实验楼旁	16	混凝土	92	3	道路
16	西南侧 2 号实验楼旁	18	混凝土	88	3	道路
17	西南侧 2 号实验楼旁	33	混凝土	94	3	道路
18	东南侧 2 号实验楼旁	66	混凝土	94	3	道路
19	东北侧 2 号实验楼旁	72	混凝土	99	3	道路
20	西北侧 2 号实验楼旁	70	混凝土	97	3	道路

注: 1、以上数据已校准, 校准系数为 0.915;

2、检测时仪器探头垂直地面, 距地约 1m, 待读数稳定后, 每个测量点测量 10 个读数;

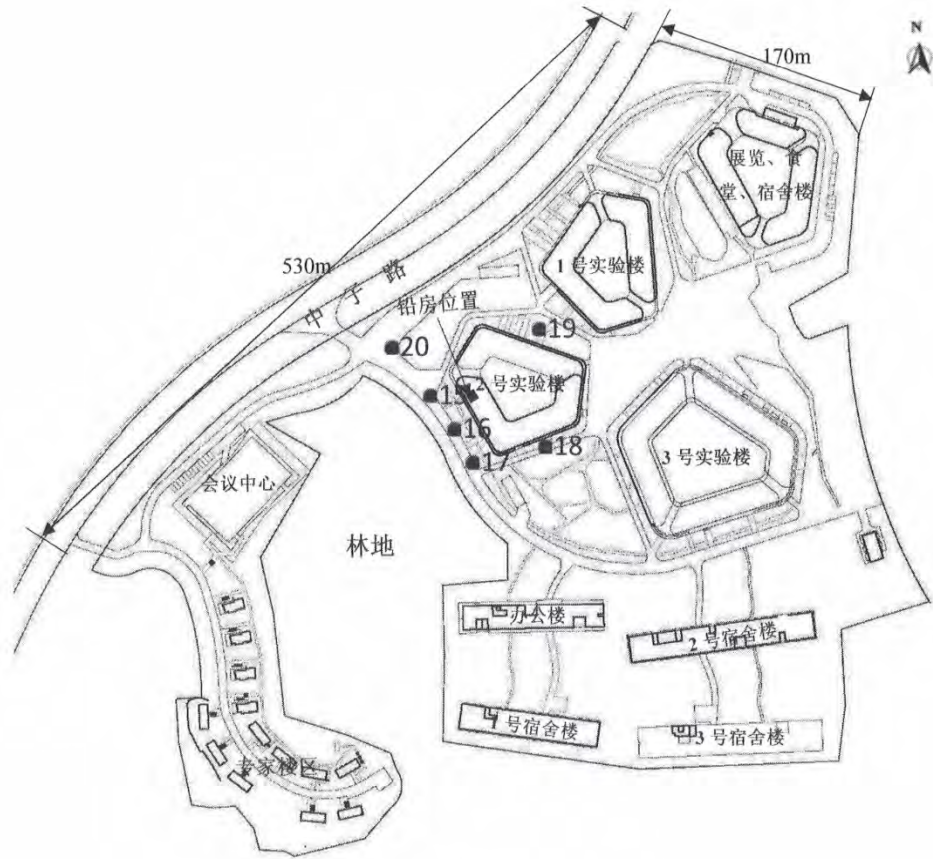
3、检测结果扣除了仪器对宇宙射线的响应部分 (35nGy/h); 建筑物对宇宙射线的屏蔽因子: 楼房取值为 0.8, 平房取为 0.9, 原野、道路取值为 1。

附图 1: 检测布点图



2号实验楼一层布点示意图

附件五



园区布点示意图

附件 5：射线装置相关技术参数说明

关于射线装置相关参数说明

根据我单位绿色非晶团队研发空间环境下先进的材料制备技术以及空间极端环境下材料新现象探索等方向研究发展要求，我单位拟购置 1 台 YXLON 公司 FXE160.50 型 X 射线管及其组件，用于测量扩散样品熔体的扩散系数。根据设备厂家提供的资料，上述射线装置的主要技术参数见表 1。

表 1 我单位拟使用的射线装置主要参数一览表

产品名称	YXLON 公司 FXE160.50 型 X 射线管及其组件
产品型号	FXE160.50 型
X 射线管	最大管电压 160kV、最大管电流 1mA
高压范围	20-160kV
最大管电流	1000 μ A
最高管功率	64W
最高靶功率	10W
最高分辨率	<2 μ m
束角	60°
有用线束距辐射源点 (靶点) 1m 处剂量率	0.65mGy/s
滤过条件	2mmAl+碳纤维
光管尺寸	W×H×L=183mm×319mm×505mm
光管重量	23kg
高压电源尺寸	W×H×L=210mm×425mm×534mm
高压电源重量	39kg
高压线缆接口	R24 接口

以上设备参数已确认无误，特此说明。

松山湖材料实验室
2023 年 2 月 8 日

附件 6：辐射安全管理规章制度

松山湖材料实验室辐射安全管理制度

为贯彻环境主管部门对使用射线装置安全管理的有关要求，根据国务院《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、生态环境部《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等法规文件，为保护辐射工作人员及场所周围公众的健康权益，制定本制度。

1、管理安全管理机构

成立管理安全小组，人员组成如下：

组 长：林伟坚

成 员：张博、胡金亮、徐立明

管理小组职责：

- (1) 结合单位实际定期完善辐射安全管理规章制度，并组织实施；
- (2) 组织落实工作场所日常辐射监测工作；
- (3) 做好工作人员的辐射防护与安全培训，组织实施辐射工作人员的职业健康检查和个人剂量监测，按要求建立个人剂量档案；
- (4) 定期对辐射安全与防护工作进行检查，检查本单位辐射工作人员的辐射安全操作情况，指导做好操作人员的辐射防护，确保不发生辐射安全事故。

2、辐射防护和安全保卫制度

(1) 辐射工作人员及辐射安全管理人员应持证上岗，按时按计划参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的辐射防护相关培训，加强理论学习，掌握基本的辐射安全防护知识，并取得《辐射安全考核合格成绩单》。

(2) 严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，委托检测机构对直接操作射线装置的辐射工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，监测周期为3个月，建立个人剂量档案和职业健康档案。

(3) 对本单位非辐射工作人员进行辐射安全宣传教育，管控非辐射工作人员接近辐射工作场所监督区域。

(4) 做好辐射工作场所分区设置，将 X 射线防护柜内部区域划为控制区，将整个辐射工作区域划为监督区，按要求进行分区管理。控制区通过实体屏蔽、门机连锁装置等进行控制，监督区通过警示标志、实体边界等进行管理。

(5) 辐射工作区域只能摆放射线装置、操作台及其他辅助设施，不作其他用途，非辐射工作人员不应在该区域进行固定岗位作业。

(6) 辐射工作场所按要求张贴电离辐射警示标志，按照 GB18871-2002 的规范制作，标志的单边尺寸不小于 50cm，辐射工作场所监督区设置工作指示牌和警示说明。

(7) 射线装置操作台宜设置紧急停机按钮，X 射线出束过程中，一旦出现异常，按动紧急止动按钮，可停止 X 射线出束。辐射工作场所应有声光警示装置，X 射线出束时，声音警示装置可发出警示声和光。

(8) 射线装置屏蔽门应设置门-机连锁装置，并保证在门关闭后射线装置才能出束。门打开时可立即停止 X 射线照射，关上门不能自动开始 X 射线照射。

(9) 辐射工作场所应配备辐射监测仪器，按要求开展辐射水平日常监测、定期巡测，做好记录。

(10) 严格遵守放射性物品转移环节中的管理规定，杜绝违反放射性物品管理规定的行为，对产生放射性废物及闲置废弃放射源由供应商及时回收或送城市放射性废物库贮存。

3、岗位职责

操作人员

(1) 射线装置在组装过程中严禁通电；测试过程中出现辐射水平异常，应立刻通知辐射安全管理小组；测试完成后对装置进行辐射检测，并做好检测记录。

(2) 每天工作前先检查射线装置的辐射安全设施状态（主要包括防护门、辐射监测仪器、急停等能否正常工作），并记录于“辐射安全日常检查表”中，任何辐射安全设施不能正常工作时，不允许使用该射线装置；

(3) 按照操作规程操作射线装置，未经辐射安全与防护培训和考核，不能操作射线装置；

(4) 保管好个人剂量计和个人剂量报警仪，并按要求正确佩戴；

(5) 出现异常，如设备故障、辐射水平异常，立即通知设备管理员。

管理人员

(1) 结合单位实际定期完善辐射安全管理规章制度，并组织实施；

(2) 组织落实工作场所日常辐射监测工作；

(3) 做好工作人员的辐射防护与安全培训，组织实施辐射工作人员的职业健康检查和个人剂量监测，按要求建立个人剂量档案；

(4) 定期对辐射安全与防护工作进行检查，检查本单位辐射工作人员的辐射安全操作情况，指导做好操作人员的辐射防护，确保不发生辐射安全事故。

4、安全操作规程

组装测试阶段在 X 射线防护柜内进行，期间 X 射线管出束产生 X 射线，组装测试阶段工艺流程如下：

(1) 组装测试

① 建设单位进行真空腔实验装置的设计、制作。

② 购买 X 射线管、X 射线探测器、X 射线防护柜等相关零部件，收货后检查 X 射线管和其他相关零部件是否合格。

③ 调试前，先让非辐射工作人员离开现场，设置警戒线，辐射工作人员按要求佩戴好个人剂量计和个人剂量报警仪。

④ 工作人员根据设计方案，将 X 射线管、真空腔、X 射线探测器等固定防护柜内导轨上的指定位置，通过不断调整 X 射线管、真空腔及 X 射线探测器的相对位置，保证成像能获得良好的空间分辨率及足够大的视场，同时检查位移台是否能完全锁紧。

⑤ 随后对设备进行电缆线的连接：安装接地电缆，连接光管到高压发生器、高压发生器到供电箱到接地线桩、高压发生器到光源控制箱的接地电缆，注意拧紧接地桩螺丝；连接光管的其它电缆（光管到防护柜）：灯丝供电、电子束聚焦和对准控制电缆、真空规传感器和分子泵电源和信号电缆；连接高压发生器到控制柜之间的电缆：高压发生器电源和控制电缆；连接光源安全警示灯电缆、防护柜安全联锁和急停线等接入光源。在上电前，检查所有电缆是否已连接，所有电缆连接是否有松动。

⑥ 在组装过程中，电闸断电，不会产生 X 射线，不会产生电离辐射影响。组装完成后，对设备进行外观和机械构造检查；检查完成后，对 X 射线防护柜整体进行调试。

⑦ 通电后，检查 X 射线防护柜内照明、通风是否正常；检查电动升降门、开关限位、各项安全联锁等是否正常。辐射安全防护设施设置了安全联锁功能，安装不到位无法接通高压电源。

⑧ 辐射工作人员在防护柜外的操作台控制 X 射线出束，不断调整管电压和管电流等参数，通过扩散样品的 X 射线吸收衬度的变化反演获得扩散过程中的实时成分谱，以实现扩散过程中的实时成分谱，利用获得的成分谱，结合 Fick 定律得到相应的扩散系数。

⑨ 重复测试，直到各项指标达到预定要求。在 X 射线防护柜内完成测试后，关闭 X 射线源、断电，保持防护柜和工作环境的通风。

以上工作流程最终目的是得到 1 台成品且带屏蔽体的 X 射线实验装置。

(2) 性能和屏蔽测试

① 测试前，先让非辐射工作人员离开现场，设置警戒线，辐射工作人员佩戴好个人剂量计和个人剂量报警仪；

② 检查 X 射线防护柜的各项辐射安全措施是否正常；通过电缆线将设备与操作台链接，测试过程中使用操作台进行控制，人员无需进入防护柜内操作；

③ 对机械系统进行测试，包括设备的机械传动结构、控制升降装置、铅防护门是否可以正常开关等，此过程不用出束；

④ 对辐射安全系统进行测试，依次进行辐射泄露测试（遵循从低功率到高功率的原则）、安全联锁测试、急停按钮测试、警示灯测试，此过程 X 射线管出束；

⑤ 对工作性能进行测试，放入待测工件，测试遵循从低功率到高功率的原则测试成像系统和操作系统是否正常，此过程 X 射线管出束；

⑥ 完成测试后，关闭 X 射线源、断电。

以上工作流程最终目的是得到 1 台合格的能用于金属熔体扩散系数测量的 X 射线实验装置。

(3) 使用射线装置

① 射线装置需由通过了辐射安全与防护考核的操作人员操作；

② 操作人员每天上班后仔细检查设备和防护的完好情况，各种辐射监测仪表应在检定周期内，检查其工作是否正常可靠；

③ 检查安全防护装置，如防护门关闭状态是否正常，工作指示灯、声音报警装置、急停装置等是否正常，如有异常，不得进行辐射工作；

④ 开始工作前操作人员要做好个人防护工作，安全防护门没关好前不得开机；

⑤ 射线装置操作人员应熟练掌握射线装置的性能和技术参数，严格按照厂家提供的操作流程进行操作；

⑥ 射线装置正常使用，管电压和管电流不能超过机器最大允许值；

⑦ X 射线出束时，如设备、仪表或其它安全防护装置等发生故障，应立即停机并报告，待故障排除后方可继续操作；

⑧ 完成当天的辐射工作后，应关闭射线装置总电源，拔掉射线装置的钥匙开关，并由专人保管好。

5、工作人员培训制度

(1) 辐射工作人员培训的目标是使工作人员了解辐射的基本知识、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法规文件，以及辐射安全知识和辐射事故应急知识。

根据生态环境部 2019 年 12 月 24 日印发的《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》的规定：自 2020 年 1 月 1 日起，辐射安全上岗培训应通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址 <http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识、报名并参加考核。

(2) 辐射工作人员及辐射安全管理人员应持证上岗，按时按计划参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的辐射防护相关培训，加强理论学习，掌握基本的辐射安全防护知识。考核通过后方可从事辐射工作。

(3) 对于新增辐射工作人员，应进行岗前职业健康体检，体检合格后方可参加辐射安全与防护培训。

(4) 建立辐射安全与防护培训档案，妥善保存档案，培训档案应包括每次培训的内容、培训时间、考核成绩等资料。

6、监测方案

(1) 个人剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案；个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。辐射工作人员有权查阅和复制本人的个人剂量档案；辐射工作人员调换单位的，原用人单位应当向新用人单位或者辐射工作人员本人提供个人剂量档案的复制件。根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的规定，职业照射个人剂量档案应终身保存。

委托检测机构对辐射工作人员进行个人剂量监测，工作人员按要求佩戴检测机构发放的个人剂量计上岗，定期回收读出个人有效剂量，监测周期为 3 个月，按要求建立个人剂量档案及职业健康档案。

（2）辐射监测计划

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定：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，并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。

委托检测机构对运行的核技术利用项目进行辐射防护年度检测，每年一次，年度检测数据应作为本单位的射线装置、含源设备的安全和防护状况年度评估报告的一部分，于每年 1 月 31 号前上报环境行政主管部门。

为辐射工作场所配备辐射监测仪器，按要求开展辐射水平日常监测、定期巡测，做好记录。

7、辐射工作人员职业健康检查和个人剂量管理要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关要求，制定该要求。

（1）职业健康检查要求

凡辐射工作人员上岗前，必须进行上岗前的职业健康检查，建立职业健康档案，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。定期组织上岗后

的辐射工作人员进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 5 年，必要时可增加临时性检查。

辐射工作人员脱离辐射工作岗位时，应当对其进行离岗前的职业健康检查；发生应急照射或事故照射情况应及时组织健康检查和必要的医学处理。

(2) 个人剂量管理要求

按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，委托具备资质的个人剂量监测技术服务机构对辐射工作人员进行个人剂量监测，监测周期最长不超过 3 个月，按要求建立个人剂量档案。发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。

(3) 档案管理要求

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求，职业照射的记录必须为每一位工作人员都保存职业照射记录，职业照射记录应包括：

①涉及职业照射的工作的一般资料；达到或超过有关记录水平的剂量和摄入量等资料，以及剂量评价所依据的数据资料；对于调换过工作单位的工作人员，其在各单位工作的时间和所接受的剂量和摄入量等资料；

②因应急干预或事故所受到的剂量和摄入量等记录，这种记录应附有有关的调查报告，并应与正常工作期间所受到的剂量和摄入量区分开；

③应按国家审管部门的有关规定报送职业照射的监测记录和评价报告，准许工作人员和健康监护主管人员查阅照射记录及有关资料；当工作人员调换工作单位时，向新用人单位提供工作人员的照射记录的复制件；

④当工作人员停止工作时，应按审管部门或审管部门指定部门的要求，为保存工作人员的职业照射记录做出安排；停止涉及职业照射的活动时，应按审管部门的规定，为保存工作人员记录做出安排；

⑤根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)的要求：个人剂量档案除了包括放射工作人员平时正常工作期间的个人剂量记录外，还包括其在异常情况（事故或应急）下受到的过量照射记录；职业照射个人剂量档案终身保存。

8、射线装置维修维护制度

(1) 建设单位应对射线装置进行维修维护，每年至少维修一次。设备维修应当由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行。设备的检修和维护应实行严格的岗位责任制，建立健全设备的操作、使用和维护保养的管理制度。

(2) 建立设备检修及维护保养记录，填写《射线装置维修台帐》。定期对射线装置进行维护，使其保持最佳性能。

(3) 设备维护包括射线装置的彻底检查和所有零部件的详细检测，当设备有故障或损坏、需更换零部件时，应保证所更换的零部件都来自设备制造商。

(4) 建立设备检修及维护保养记录，填写《射线装置维修台帐》。定期对射线装置进行维护，使其保持最佳性能。

(5) 辐射安全管理机构负责对台帐登记进行监督。

(6) 射线装置的检修和维护由厂家专业人员负责，由管理员做好检修和维护记录。

(7) 维修维护工作必须两人以上参与，佩戴好个人剂量报警仪，在防护安全的情况下进行维修维护工作。

(8) 射线装置检修和维护时应采取可靠的断电措施，切断需检修设备上的电器电源，并经启动复查确认无电后，在电源开关处挂上“正在检修禁止合闸”安全标志。

9、放射性同位素使用登记制度

(1) 含放射源设备管理人员对含放射源设备的保管、使用、防护负全面责任；

(2) 含放射源设备管理技术人员负责管理含放射源设备的使用，达到国家规定的安全防护要求，确保放射防护工作符合国家有关规定；

(3) 使用部门负责管理含放射源设备的使用、存放，达到国家规定的安全防护要求，确保放射防护工作符合国家有关规定；

(4) 按照有关规定对放射性同位素许可登记，对维护、使用工作人员作定期体检，确保相关人员身体健康；

(5) 含放射源设备维护技术人员负责对含放射源设备进行校准及日常维护工作，建立相关台账；

(6) 放射源退役应交由有资质的单位回收，建立相关转移台账，转移应符合国家规范并记录备查。

松山湖材料实验室辐射事故应急处理预案

一、总则

为有效处理辐射事故，强化辐射事故应急处理责任，最大限度地控制事故危害，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，制定本预案。

二、应急救援机构

空间材料团队成立辐射事故应急小组，辐射事故应急小组成员如下：

管理机构	姓名	职务	部门	电话
组长	林伟坚	科研部部长	科研部	
成员	张博	团队负责人	空间材料团队	
	胡金亮	副研究员	空间材料团队	
	徐立明	工程师	空间材料团队	

环保应急联系电话：12369、12345

三、应急处理要求

(一) 发生下列情况之一，应立即启动本预案：

射线装置：

1、装置组装调试中，安全联锁装置发生故障，屏蔽体防护设施不完善的情况下开启射线装置，导致在场的所有人员受到误照射；

2、设备检修维护时，没有采取可靠的断电措施导致意外开启射线装置，使在场所有人员受到意外照射；

3、装置使用过程中，安全联锁装置发生故障，防护门未关闭的情况下开启射线装置，导致在场的所有人员受到误照射。

含放射源设备：

1、放射源丢失、被盗；

2、源的破损或泄漏超过了技术规格书的规定；

3、放射源失控、个人剂量报警仪报警，辐射监测值超标；

(二) 事故发生后，当事人应立即报告辐射事故应急小组，进行受照剂量估算，然后进行身体检查，应急小组有关部门和人员进行辐射事故应急处理，负责辐射事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作。

(三) 向环境行政部门及时报告事故情况。

(四) 辐射事故中人员受照时，要通过个人剂量报警仪或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量。

(五) 负责迅速安置受照人员就医，及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延，防止演变成公共事件。

四、辐射事故分类与应急原则

辐射事故根据人员受照剂量和伤亡人数分为一般辐射事故、较大辐射事故、严重辐射事故和重大辐射事故：

事故等级	事故情形
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限制的照射。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致9人以下（含9人）急性重度放射病、局部器官残疾。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致2人以下（含2人）急性死亡或者10人（含10人）以上急性重度放射病、局部器官残疾。
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致3人以上（含3人）急性死亡。

辐射事故应急救援应遵循的原则：

- 1、迅速报告原则；
- 2、主动抢救原则；
- 3、生命第一的原则；
- 4、科学施救，防止事故扩大的原则；

5、保护现场，收集证据的原则。

五、辐射事故应急处理程序及报告制度

（一）一旦发生辐射事故，当事人应立即通知工作场所的所有人员离开，并立即上报辐射事故应急小组；

（二）对相关受照人员进行受照剂量估算再进行身体检查，确定对人身是否有损害，以便采取相应的救护措施，其次对设备、设施进行检查，确定其功能和安全性能。

（三）放射源发生突发辐射事故时，现场人员需第一时间撤离现场，等候专业人员前来处理。

（四）应急小组组长应立即召集成员，根据具体情况迅速制定事故处理和善后方案。事故处理必须在单位负责人的领导下，在经过培训过的辐射事故应急人员的参与下进行。

除上述工作外，辐射事故应急人员还应进行以下几项工作：

1、根据现场辐射强度，估算工作人员在现场工作的时间，估算事故人员的受照剂量。

2、对严重剂量事故，应尽可能记下现场辐射强度和有关情况，对现场重复测量，估计当事人所受剂量，根据受照剂量情况决定是否送医院进行医学处理或治疗。

3、各种事故处理以后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生原因，从中吸取经验教训，采取措施防止类似事故重复发生。

（四）发生辐射事故后，当事人员应第一时间上报辐射事故应急小组。小组成员接到报告后应在两小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

六、人员培训和演习计划

培训对象包括应急预案成员、辐射工作人员；

1、培训内容包括应急原则和实施程序，辐射安全与防护专业知识，可能出现的辐射事故及辐射事故经验和教训，辐射监测仪器、通讯及防护设施的使用和应急预案执行步骤等。

2、辐射安全事故应急处理小组须定期（每年一次）组织应急演练，提高辐射事故应急能力，并通过演练逐步完善应急预案。

七、辐射事故的调查

（一）本单位发生辐射事故后，应立即成立由安全第一责任人或主要负责人为组长的，有工会负责人、安全部负责人参加的事故调查组、善后处理组。

（二）调查组要遵循实事求是的原则对事故的发生时间、地点、起因、过程和人员伤害情况及财产损失情况进行细致的调查分析，并认真做好调查记录，记录要妥善保管。

（三）配合应急救援小组编写、上报事故报告书方面的工作，同时，协助环境行政部门、公安部门进行事故调查、处理等各方面的相关事宜。