核技术利用建设项目

苏州复力克智能制造有限公司
生产、销售、使用工业X射线探伤装置项目生态环境影响报告表
（公示版）

苏州复力克智能制造有限公司

2026年11月

生态环境部监制

打印编号：1782091929000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	2zdp7p
建设项目名称	苏州复力克智能制造有限公司生产、销售、使用工业X射线探伤装置项目
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）	苏州复力克智能制造有限公司
统一社会信用代码	91320594MAD2TM924A
法定代表人（签章）	仲阳
主要负责人（签字）	仲阳
直接负责的主管人员（签字）	仲阳
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	苏州杜班环境安全技术有限公司
统一社会信用代码	91320594MA1YD2TUXP
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
陈宝兰	20180503532000003 4	BH027453	陈宝兰

2. 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
杨志敏	辐射安全管理、附图、附件等	BH061464	杨志敏
陈宝兰	项目基本情况、放射源等	BH027453	陈宝兰
李慧敏	评价依据、环境质量和辐射现状等	BH021580	李慧敏

建设项目环境影响报告书（表）
编制情况承诺书

本单位 苏州杜班环境安全技术有限公司 （统一社会信用代码 91320594MA1YD2THXP ）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（属于/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 苏州复力克智能制造有限公司生产、销售、使用工业X射线探伤装置项目 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 陈宝兰 （环境影响评价工程师职业资格证书管理号 2018050353200000034 ，信用编号 BH027453 ），主要编制人员包括 陈宝兰 （信用编号 BH027453 ）、李慧敏 （信用编号 BH021580 ）、杨志敏 （信用编号 BH061464 ）（依次全部列出）等 3 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）：

2026 年 6 月 22 日

环境影响评价工程师

Environmental Impact Assessment Engineer



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。

姓　　名：陈宝兰

证件号码：

性　　别：女

出生年月：1988年03月

批准日期：2018 年 05 月 20 日

管 理 号：20180503532000034

中华人民共和国
人力资源和社会保障部

中华人民共和国
生态环境部

江苏省社会保险权益记录单
（参保人员）

请使用官方江苏智慧人社APP扫描验证

姓名	陈宝兰	公民身份号码（社会保障号）		性别	女

参加社会保险基本情况				
险种	养老保险	工伤保险	失业保险	
参保状态	参保缴费	参保缴费	参保缴费	
现参保单位全称	苏州杜班环境安全技术有限公司		现参保地	苏州工业园区

出具证明前4个月缴费情况（202603-202606）

年	月	单位全称	养老保险		失业保险		工伤保险	备注
			缴费基数（元）	个人缴费（元）	缴费基数（元）	个人缴费（元）	缴费基数（元）	
2026	03	苏州杜班环境安全技术有限公司	***	***	***	***	***	
2026	04	苏州杜班环境安全技术有限公司	***	***	***	***	***	
2026	05	苏州杜班环境安全技术有限公司	***	***	***	***	***	

说明：
1.本权益单信息为打印时参保情况，供参考，由参保人员自行保管。
2.本权益单已签具电子印章，不再加盖鲜章。
3.本权益记录单出具后有效期（6个月）内，如需核对真伪，请使用江苏智慧人社APP，扫描右上方二维码进行验证（可多次验证）。

打印时间：2026年6月4日

江苏省社会保险（ ）电子专用章

目　录

表 1 项目基本情况 1
表 2 放射源 5
表 3 非密封放射性物质 5
表 4 射线装置 5
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 6
表 6 评价依据 7
表 7 保护目标与评价标准 10
表 8 环境质量和辐射现状 15
表 9 项目工程分析与源项 19
表 10 辐射安全与防护 34
表 11 环境影响分析 48
表 12 辐射安全管理 67
表 13 结论与建议 74
表 14 审批 79
辐射污染防治措施“三同时”措施一览表 80

附图：
附图1 项目地理位置图
附图2 厂区平面布置及周边环境图
附图3-1 车间平面布置图
附图3-2 X射线装置剖面布局图
附图4 辐射安全与防护设计图
附图5 江苏省生态环境分区管控综合服务系统定位截图
附图6 工程师现场踏勘照片

附件：

附件1：委托书

附件2：本项目辐射环境现状检测报告

附件3：核技术利用项目承诺书

附件4：建设单位拟采购X射线系统的企业的辐射安全许可证

附件5：建设单位拟采购屏蔽体的企业的营业执照和辐射安全许可证

附件6：房屋租赁合同及房产证

附件7：辐射工作安全责任书

附件8：生产情况告知书

附件9：营业执照

附件10：X射线管性能参数说明书

附件11：项目备案证

附件12：江苏省生态环境分区管控综合查询报告

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">苏州复力克智能制造有限公司生产、销售、使用工业 X 射线探伤装置项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">苏州复力克智能制造有限公司</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>仲阳</td><td>联系人</td><td colspan="2">仲阳</td><td>联系电话</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">中国（江苏）自由贸易试验区苏州片区苏州工业园区兴浦路 333 号现代工业坊 6-1-1</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">中国（江苏）自由贸易试验区苏州片区苏州工业园区兴浦路 333 号现代工业坊 6-1-1</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">苏州工业园区行政审批局</td><td>批准文号</td><td colspan="2">苏园行审备〔2026〕1054 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>500</td><td colspan="2">项目环保投资（万元）</td><td>20</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>4%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">☑新建☐改建☐扩建☐其他（迁建）</td><td>占地面积（㎡）</td><td>72</td></tr>
<tr><td rowspan="10">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="5">☐I类☐II类☐III类☐IV类☐V类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="5">☐I类（医疗使用）☐II类☐III类☐IV类☐V类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="5">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="5">☐乙☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☑生产</td><td colspan="5">☐II类☑III类</td></tr>
<tr><td>☑销售</td><td colspan="5">☐II类☑III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑II类☐III类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
<tr><td colspan="8">1、建设单位基本情况、建设项目规模、任务由来
苏州复力克智能制造有限公司成立于 2023 年 11 月 13 日，经营范围是：一般项目：通用设备制造（不含特种设备制造）；智能基础制造装备制造；工业机器人制造；电子专用设备制造；计算器设备制造；半导体器件专用设备制造；货物进出口；技术进出口（除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动）。</td></tr>
</table>

苏州复力克智能制造有限公司拟通过购买X射线管、屏蔽体、管线、内部监控等部件，与自行研发的计算机系统组装生产工业X射线探伤装置，并对工业X射线探伤装置进行调试，调试完毕后对外销售，并在客户指定使用场所进行培训，同时提供售后维护维修服务。另设置一间调试铅房用于研发配套的计算机系统及其调试。

本项目为新建项目，拟开展工业用X射线探伤装置的生产、使用、销售工作。本项目设备仅有平面成像功能，不涉及立体成像。设备出厂前会进行调试。设备出厂后，在客户厂内对设备进行调试演示、检维修工作。

公司拟为本项目配备4名辐射工作人员和1名辐射防护负责人，辐射防护负责人仅负责辐射安全管理，不参与工业X射线探伤装置的操作，两名辐射工作人员负责厂内设备调试及调试铅房调试，另外两名辐射工作人员负责设备出厂后的调试、维护、维修。本项目厂内每周开机曝光时间不超过0.625小时，年曝光总时间不超过31小时；厂外每周开机曝光时间不超过1.5小时，年曝光总时间不超过75小时。

本项目对新增的工业X射线探伤装置及调试铅房（搭载X射线管）（II类射线装置）开展环境影响评价，核技术利用情况表见表1-1。

表1-1　本项目核技术应用情况一览表

序号	射线装置型号名称	数量（台/年）	最大管电压kV	最大管电流mA	射线装置类别	工作场所名称	活动种类
1	FX-13T型工业用X射线探伤装置	50	130	0.3	III	设备调试间	生产、销售、使用
2	FX-18T型工业用X射线探伤装置	50	180	0.5	III	设备调试间	生产、销售、使用
3	L9181-05型X射线管	1	130	0.3	II	设备调试间（调试铅房）	使用
	L14351-02型X射线管	1	180	0.5	II	设备调试间（调试铅房）	

FX-13T及FX-18T型工业用X射线探伤装置为自屏蔽设备，本项目设置的调试铅房（搭载X射线管）为II类射线装置，生产的工业用X射线探伤装置为III类射线装置。

根据《中华人民共和国生态环境法典》、《建设项目环境保护管理条例》、《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许可管理办法》等法律法规的规定，本项目需进行环境影响评价。根据《射线装置分类办法》，本项目工业用X射线探伤装置属于III类射线装置，调试铅房（搭载X射线管）属于II类射线装置，依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第16号，2021

年版），本项目为生产、销售、使用II类射线装置，属于“五十五、核与辐射”中“172核技术利用建设项目”的“生产、使用II类射线装置的”，应编制环境影响报告表。受苏州复力克智能制造有限公司委托，苏州杜班环境安全技术有限公司承担该项目的环境影响评价工作。我单位通过资料调研、现场监测、评价分析，编制该项目环境影响报告表。

2、项目周边保护目标及项目选址情况

苏州复力克智能制造有限公司厂址位于中国（江苏）自由贸易试验区苏州片区苏州工业园区兴浦路333号现代工业坊6-1-1。企业地理位置见附图1。

根据现场踏勘，产业园东侧为中心河，中心河以东为苏州纳米城II区；南侧为霞盛路，道路以南为莱顿汽车部件苏州公司、特贝西（苏州）精密部件有限公司；西侧为唯胜路，道路以西为青秋浦，青秋浦以西为苏春工业坊；北侧为友谊河，友谊河以北为现代大道及公共绿地。厂区平面布置见附图2。

本项目工业用X射线探伤装置生产、调试场所及调试铅房位于6号厂房一楼西侧设备调试间，6号厂房南部为办公区，共三层，北部为车间区，共两层。本项目所在设备调试间楼上（二楼）车间目前空置，下方为土层，无地下建筑。苏州复力克智能制造有限公司租赁厂房四周情况：东侧依次为苏州合美嘉制药有限公司、产业园内部道路、帕玛自动化科技(苏州)有限公司，南侧依次为产业园内部道路、霞盛路，西侧依次为产业园内部道路、唯胜路、青秋浦，北侧为产业园内部道路、1号厂房。设备调试间50m范围内平面布局情况：东侧依次为生产车间、洁净车间、苏州合美嘉制药有限公司，南侧依次为生产车间、门厅、产业园内部道路、霞盛路，西侧依次为产业园内部道路、绿化带，北侧为生产车间、产业园内部道路。

企业平面布局见附图3-1。

本项目周围环境保护目标主要为从事工业用X射线探伤装置及调试铅房操作的辐射工作人员及装置周围公众。本项目周围50m内没有居民区、学校等环境敏感目标。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号）、《江苏省自然资源厅关于苏州市生态空间管控区域评估优化成果的复函》(苏自然资函〔2026〕487号)、《江苏省生态空间管控区域管理办法》（苏

政办规〔2026〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。对照《江苏省生态环境分区管控综合查询报告书》，本项目拟建址不涉及生态保护红线、生态空间管控区域。

3、产业政策相符性

对照《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目为生产、销售、使用工业用X射线探伤装置，属于国家鼓励类产业，不属于限制类、淘汰类，故本项目的建设符合国家现行产业政策。

4、实践正当性

苏州复力克智能制造有限公司生产、销售、使用工业用X射线探伤装置，符合公司的发展规划。项目建成后，产品广泛应用于5G/车载电气部件无损检查、航空航天、元件插入工艺、SMT工艺、半导体领域，具有良好的社会效益和经济效益。在落实本次环评辐射防护和辐射安全管理要求后，其获得的效益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

5、原有核技术利用项目许可情况

本次为苏州复力克智能制造有限公司首次开展核技术利用建设项目，尚未申领辐射安全许可证。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活度种类	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）	额定电流（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（台/年）	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	工业用 X 射线探伤装置	III类	50	FX-13T 型	130	0.3	生产、使用、销售	设备调试间	最大功率 39W
			50	FX-18T 型	180	0.5	生产、使用、销售	设备调试间	最大功率 90W
2	X 射线机	II类	1	L9181-05 型 X 射线管	130	0.3	使用	设备调试间（调试铅房）	最大功率 39W
			1	L14351-02 型 X 射线管	180	0.5			最大功率 90W

（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（Bq）	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	通风排放	排入大气，臭氧在 50 分钟后自动分解
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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/m^3；年排放总量用 kg。

2.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/m^3）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日第十四届全国人民代表大会第四次会议通过）； （2）《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订本），国务院令第682号，2017年10月1日起实施； （3）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年修改版），生态环境部令第16号，自2021年1月1日起施行； （4）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019年修改），国务院令709号，2019年3月2日起实施； （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环境保护部令第18号，自2011年5月1日起施行； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），中华人民共和国生态环境部令第20号修正，自2021年1月4日起施行； （7）关于发布《射线装置分类办法》的公告，态环境部、国家卫生健康委，2026年第44号公告，2026年10月14日； （8）《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》，环发〔2006〕145号，2006年9月26日； （9）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年9月20日公布，自2019年11月1日起施行； （10）《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》（生态环境部公告2019年第39号，2019年11月1日起启用）； （11）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》（生态环境部公告2019年第38号）； （12）《江苏省辐射污染防治条例》（2026年修正本），2026年7月31日修订； （13）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019年第57号，2019年12月24日印发，2020年1月1日起施行； （14）《江苏省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日； （15）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕

	1号，2020年1月8日； （16）《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域管理办法的通知》，江苏省人民政府办公厅苏政办规〔2026〕01号，自2026年3月1日起施行； （17）《江苏省自然资源厅关于苏州市生态空间管控区域评估优化成果的复函》(苏自然资函〔2026〕487号)； （18）《省政府办公厅关于印发江苏省生态空间管控区域调整管理办法的通知》，江苏省人民政府办公厅苏政办规〔2021〕3号，自2021年2月1日起施行； （19）《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年12月1日经国家发展改革委第6次委务会通过 2023年12月27日国家发展改革委令第7号公布 自2024年2月1日起施行）。
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （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）； （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （4）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （5）《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）及第1号修改单； （6）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （7）《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）； （8）《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）； （9）《无损检测仪器 固定式和移动式工业X射线探伤机》（GB/T 26837-2011）； （10）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）。

其他	**与本项目有关的文件** 附图1 项目地理位置图 附图2 厂区平面布置及周边环境图 附图3-1 车间平面布置图 附图3-2 X射线装置剖面布局图 附图4 辐射安全与防护设计图 附图5 江苏省生态环境分区管控综合服务系统定位截图 附图6 工程师现场踏勘照片 附件1：委托书 附件2：本项目辐射环境现状检测报告 附件3：核技术利用项目承诺书 附件4：建设单位拟采购X射线系统的企业的辐射安全许可证 附件5：建设单位拟采购屏蔽体的企业的营业执照和辐射安全许可证 附件6：房屋租赁合同及房产证 附件7：辐射工作安全责任书 附件8：生产情况告知书 附件9：营业执照 附件10：X射线管性能参数说明书 附件11：项目备案证 附件12：江苏省生态环境分区管控综合查询报告

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目为生产、销售、使用II类射线装置，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》（HJ10.1-2016），放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外50m范围。本项目的评价范围为设备调试间外50m范围内的区域，评价范围详见附图2。

保护目标

本项目周围50m范围内涉及企业所在产业园内的6号厂房，无居民点、学校和医院等环境敏感目标。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。

对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号）、《江苏省自然资源厅关于苏州市生态空间管控区域评估优化成果的复函》(苏自然资函〔2026〕487号)、《江苏省生态空间管控区域管理办法》（苏政办规〔2026〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。

根据本项目评价范围确定本项目环境保护目标为：

1、从事X射线装置操作的辐射工作人员；

2、X射线装置项目拟建址周围公众。

本项目保护目标情况一览表见表7-1，本项目工业X射线装置周围环境保护目标平面布置图见图7-1。

表7-1　X射线装置周边环境保护目标一览表

序号	环境保护目标			方位	距离	规模（数量）	人员性质
1	工业用X射线探伤装置及调试铅房	辐射工作人员	X射线装置操作位	邻近	约0.3m	2人	职业人员
2		厂内工作人员	洁净车间	东侧	约9m	4人	公众
3			更衣室	东南	约16.6m	流动人员	公众
4			办公区	南侧	约24m	20人	公众
5			门厅	南侧	约24m	流动人员	公众
6			卫生间	北侧	约32m	流动人员	公众

7			操作间	北侧	约26m	2人	公众
8			实验室	北侧	约30m	2人	公众
9			设备调试间东、南、北侧（车间）	东侧	约1m	20人	公众
				南侧	约1m		
				北侧	邻近		
10			设备调试间上方空置车间	上方	约3.2m	0人	公众
11		其他企业工作人员	6号楼东侧企业（苏州合美嘉制药有限公司）	东侧	约27m	30人	公众
12			西侧道路	西侧	约1m	流动人员	公众

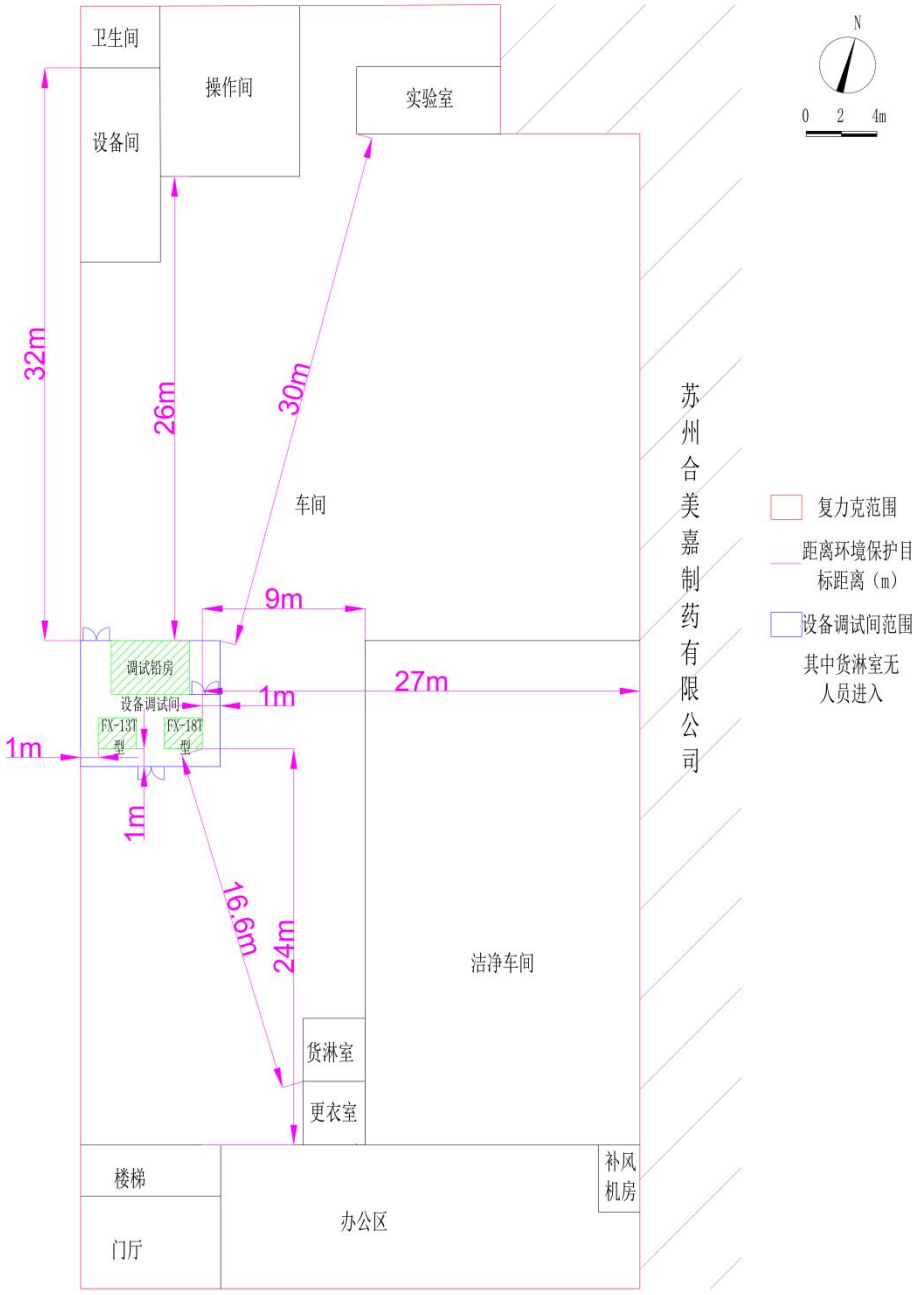

图 7-1　　X 射线装置周边环境保护目标平面布置图

评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

表7-2　工作人员职业照射和公众照射剂量限值

	剂量限值
职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①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； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②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。

（2）《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

6.1 探伤室放射防护要求

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。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X射线探伤室的屏蔽计算方法参见GBZ/T250。

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。

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30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于2.5μSv/h。

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6.1.3；

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100μSv/h。

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。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。

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，并与探伤机联锁。“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。“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“照射”和“预备”信号意义的说明。

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。

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志和中文警示说明。

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。

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。

（3）《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）

本标准规定了工业X射线探伤室辐射屏蔽要求。本标准适用于500kV以下的工业X射线探伤装置的探伤室。

3.2 需要屏蔽的辐射

3.2.1 相应有用线束的整个墙面均考虑有用线束屏蔽，不须考虑进入有用线束区的散射辐射。

3.2.2 散射辐射考虑以0°入射探伤工件的90°散射辐射。

3.2.3 当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄漏辐射和各项散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个什值层厚度（TVL）或更大时，采用其中较厚的屏蔽，当相差不足一个TVL时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层厚度（HVL）。

3.3 其他要求

3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的工件门。对于探伤可人工搬运的小型工件探伤室，可以仅设人员门。探伤室人员门宜采用迷路形式。

3.3.2 探伤装置的控制室应置于探伤室外，控制室和人员门应避开有用线束照射的方向。

3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。

3.3.4 当探伤室使用多台X射线探伤装置时，按最高管电压和相应该管电压下的常用最大管电流设计屏蔽。

（4）江苏省天然贯穿辐射水平

来自《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第13卷第2期，1993年3月），江苏省环境监测站。

表7-3 江苏省全省环境天然γ辐射空气吸收剂量率调查结果 单位：nGy/h

项目	原野	道路	室内
测值范围	33.1～72.6	18.1～102.3	50.7～129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（S）	7.0	12.3	14.0

注：评价时参考“均值±3s”数值：原野为（50.4±21.0）nGy/h；道路为（47.1±36.9）nGy/h；室内为（89.2±42.0）nGy/h。

（5）本项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022），确定本项目管理目标为：

①本项目职业人员剂量约束值取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员年有效剂量值的1/4，即5mSv/a；公众活动区域相关人员剂量约束值取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众年有效剂量值的1/10，即0.1mSv/a；

②本项目设置的调试铅房及生产的工业X射线探伤装置四周屏蔽体外辐射屏蔽应同时满足：

a）四周及顶部屏蔽体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）四周屏蔽体、门外30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于2.5μSv/h。

③本项目调试铅房及工业X射线探伤装置顶部外表面30cm处的周围剂量当量率参考控制水平应不大于2.5μSv/h。

（6）参考资料

①《辐射防护导论》，原子能出版社，1991年6月，方杰主编。

②《辐射防护手册》（第三分册），原子能出版社，1990年3月，李德平、潘自强主编。

表 8 环境质量和辐射现状

1、项目地理位置和场所位置

苏州复力克智能制造有限公司位于中国（江苏）自由贸易试验区苏州片区苏州工业园区兴浦路333号现代工业坊6-1-1，地理位置见附图1。企业所在产业园东侧为中心河，中心河以东为苏州纳米城II区；南侧为霞盛路，道路以南为莱顿汽车部件苏州公司、特贝西（苏州）精密部件有限公司；西侧为唯胜路，道路以西为青秋浦，河流以西为苏春工业坊；北侧为友谊河，友谊河以北为现代大道及公共绿地。企业所在厂区平面布置见附图2。

本项目所在6号厂房南部为办公区，三层建筑，层高为2.9米；北部为车间区，两层建筑，层高6米，企业位于6号厂房北部西侧。本项目车间布置于车间区一楼，办公区布置于一楼及二楼。设备调试间位于企业车间区西部中间位置，用于本项目工业用X射线探伤装置的生产、调试（使用）以及调试铅房（搭载X射线管）的调试。设备调试间西侧为车间墙体，北、东、南侧为生产车间，用于其他不涉及辐射类产品的组装。设备调试间楼上为闲置车间。设备调试间下方为土层，无地下建筑。设备调试间外50m范围内没有居民区、学校等环境敏感目标。

企业平面布局见附图3-1。



设备调试间拟建位置

注：目前尚未开始建设，厂址及四周均为空厂房。

2、环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

评价对象：设备调试间拟建址及周围辐射环境

监测因子：γ辐射空气吸收剂量率

监测点位：在拟建设备调试间区域及周围布置检测点位，共7个点位。

3、监测方案、质量保证

监测方案：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）在拟建设备调试间区域及四周、楼上处布设监测点位，测量拟建设备调试间区域及周围环境γ辐射空气吸收剂量率。

质量保证措施：检测单位已通过CMA计量认证，具备相应的检测资质和检测能力；检测单位制定有质量管理体系文件，实施全过程质量控制；检测单位所用监测仪器均经过计量部门检定并在检定有效期内，使用前后进行校准或检查，定期参加权威部门组织的仪器比对活动；实施全过程质量控制，全程实验数据及监测记录等均进行存档；检测人员持证上岗规范操作；检测报告实行三级审核。

4、监测结果与环境现状调查结果评价

监测单位：江苏海尔森检测技术服务有限公司

仪器设备：X-γ剂量率仪

型号/规格：FH40G+FHZ672E-10

能量响应范围：48keV-6MeV；

剂量率测量范围：1nSv/h~100μSv/h；

检定有效期：2025-10-9至2026-10-8

监测时间：2026年04月27日

评价方法：参考表7-3江苏省全省环境天然γ辐射空气吸收剂量率调查结果，评价该项目周围环境辐射水平

环境条件：天气晴、温度22℃、湿度55%RH

监测结果：本项目拟建设备调试间区域及周围环境γ辐射空气吸收剂量率监测结果见表8-1，监测布点示意图见图8-1。

表 8-1　本项目设备调试间拟建址周围环境γ辐射空气吸收剂量率

序号	检测点位	测量结果（nGy/h）	备注
1	拟建设备调试间区域中部	122	室内
2	拟建设备调试间区域北侧（车间区域）	128	室内
3	拟建设备调试间区域东侧（车间区域）	122	室内
4	拟建设备调试间区域南侧（办公区）	121	室内
5	拟建设备调试间区域西侧（厂内道路）	104	道路
6	拟建设备调试间区域正上方（二层空厂房）	152	室内
7	厂房东侧（苏州合美嘉制药有限公司）	95.1	室内

注：1.测量时仪器探头中心距离地面约1m;

2.每个监测点测量10个数据取平均值，以上监测结果均已对宇宙射线的响应值修正；

环境γ辐射剂量率=读数平均值×校准因子k_1×仪器检验源效率因子k_2÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子k_3×测量点宇宙射线响应值Dc，校准因子k1为1.17,仪器使用^{137}Cs进行校准，效率因子k2取1，换算系数为1.20Sv/Gy,k3楼房取0.8、道路取1.0，仪器对宇宙射线的响应值为15.0nGy/h。

由表8-1的监测结果可知，苏州复力克智能制造有限公司拟建设备调试间区域及周围检测点位环境γ辐射空气吸收剂量率在95.1~152nGy/h范围内。

室内点位（1~4、6、7号）：拟建设备调试间内部及周边车间、办公区、二层厂房、东侧邻企室内γ辐射空气吸收剂量率数值在121~152nGy/h；江苏省建筑物室内γ辐射剂量率本底水平为50.7nGy/h～129.4nGy/h，其中设备调试间正上方二层厂房152nGy/h略高于区域室内本底波动上限，其余室内点位均处于江苏省室内天然辐射本底正常波动区间内。厂内道路点位（5号）：拟建设备调试间西侧厂内道路γ辐射空气吸收剂量率为104nGy/h，该数值完全落在江苏省建筑物室内及厂区露天天然γ辐射本底正常波动范围之内，厂区道路现状辐射本底正常。

整体来看，项目选址周边天然环境γ辐射水平整体稳定，仅二层空厂房点位小幅超出室内本底上限，仍属于天然辐射正常波动范畴，无异常人工辐射本底。

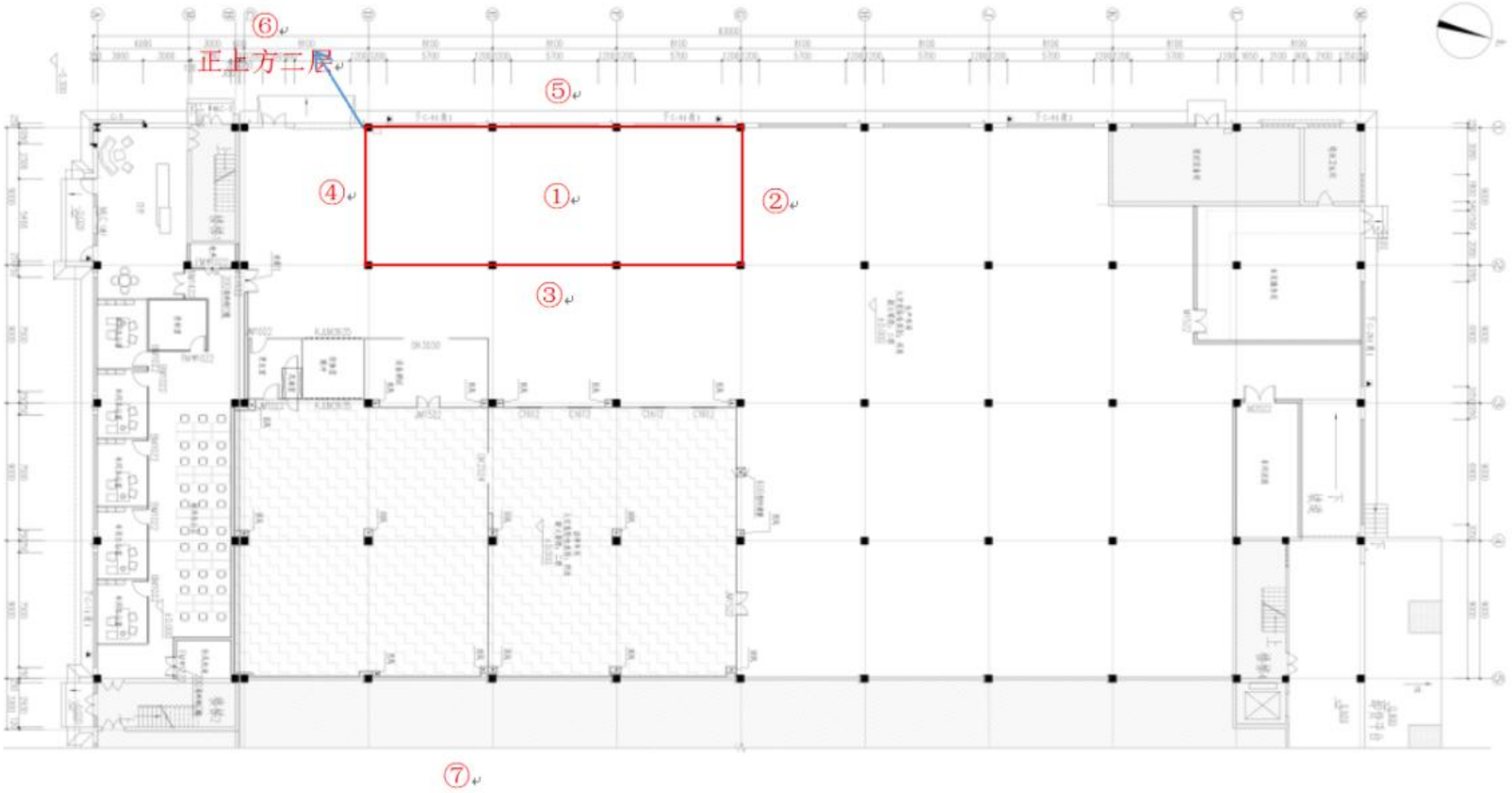

图 8-1 环境辐射现状检测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

1、设备组成

企业生产、使用（调试）、销售的 FX-13T 型及 FX-18T 型工业用 X 射线探伤装置为自屏蔽式射线装置，仅有平面成像功能，不涉及立体成像，其主要设备组成包括：X 射线机系统、影像接收器、内部结构件、屏蔽体、操作台等。本项目两种型号工业用探伤装置均为探伤工件固定，X 射线管沿上下及前后、左右移动。两种型号工业用 X 射线探伤装置外观尺寸相同：长 2m、宽 2.45m（包含 0.45m 的电箱层，不在屏蔽体内）、高 2m，X 射线管的移动范围相同：左右±300mm、前后±257.5mm、上下 100mm。两种型号工业用 X 射线探伤装置在出束检测时，距各方向屏蔽体距离相同：X 射线管距离右侧屏蔽体最近距离为 0.7m，距离左侧屏蔽体最近距离为 0.7m，距离后侧屏蔽体 0.7425m，距离前侧屏蔽体 0.7425m，距离顶部屏蔽体最近距离为 1.35m，距离底部屏蔽体最近距离为 0.55m。本项目 130kV 的 X 射线管的主射线辐射角度为 100°，180kV 的 X 射线管的主射线辐射角度为 90°。X 射线管与影像接收器距离约 40~360mm，X 射线管与探伤工件距离约 10mm~100mm。工件距离顶部屏蔽体 1.25m~1.34m。左右两侧设工件门，均可进出工件，尺寸约为 530×150 毫米，正面设检修门，工件门、检修门均设置有门-机联锁装置。工业用 X 射线探伤装置外观示意图见图 9-1，内部结构件示意图见图 9-3，常规 X 射线管见图 9-5，设备和电脑连接，放置电脑的台面为操作台。

本项目所用调试铅房用于研发调试，仅有平面成像功能，不涉及立体成像，其主要设备组成包括：X 射线机系统、影像接收器、内部结构件、操作台等。探伤工件固定，X 射线管沿上下及前后、左右移动。调试铅房尺寸为：长 4m、宽 5m、高 2.8m。X 射线管的移动范围为：左右±1m、前后±1.5m、上下 100mm。在出束检测时，X 射线管距离南侧（左）屏蔽体最近距离为 1m，距离北侧（右）屏蔽体最近距离为 1m，距离西侧（后）屏蔽体 1m，距离东侧（前）屏蔽体 1m，距离顶部屏蔽体最近距离为 2.15m，距离底部混凝土地面最近距离为 0.55m。X 射线管与影像接收器距离约 40~360mm，X 射线管与探伤工件距离约 10mm~100mm。工件距离顶部屏蔽体 2.05m~2.14m。搭载的 X 射线管与生产、使用（调试）、销售的 FX-13T 型及 FX-18T 型工业用 X 射线探伤装置的相同，每次开机只使用一种型号的 X 射线管，不同时运

行，在左侧设置人员门（兼工件门），人员门（工件门）为一扇对开门，尺寸约为 2500mm（宽）×2000mm（高），人员门（工件门）设置有门-机联锁装置。设备和电脑连接，放置电脑的台面为操作台。调试铅房外观示意图见图 9-2，内部结构件示意图见图 9-4。



图 9-1　工业用 X 射线探伤装置外观示意图

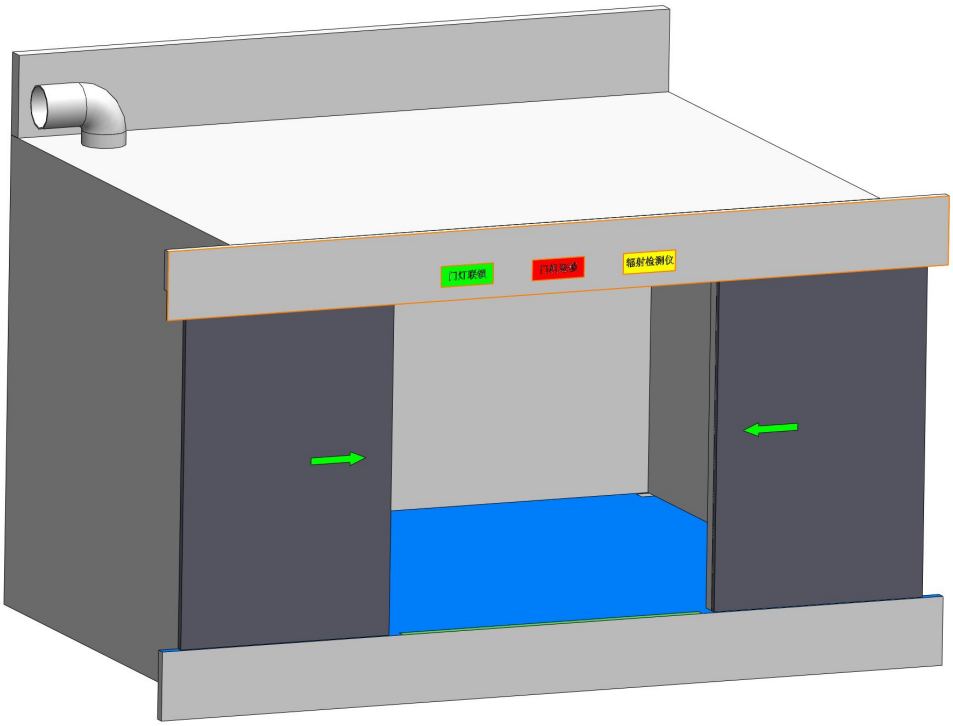

图 9-2　调试铅房外观示意图

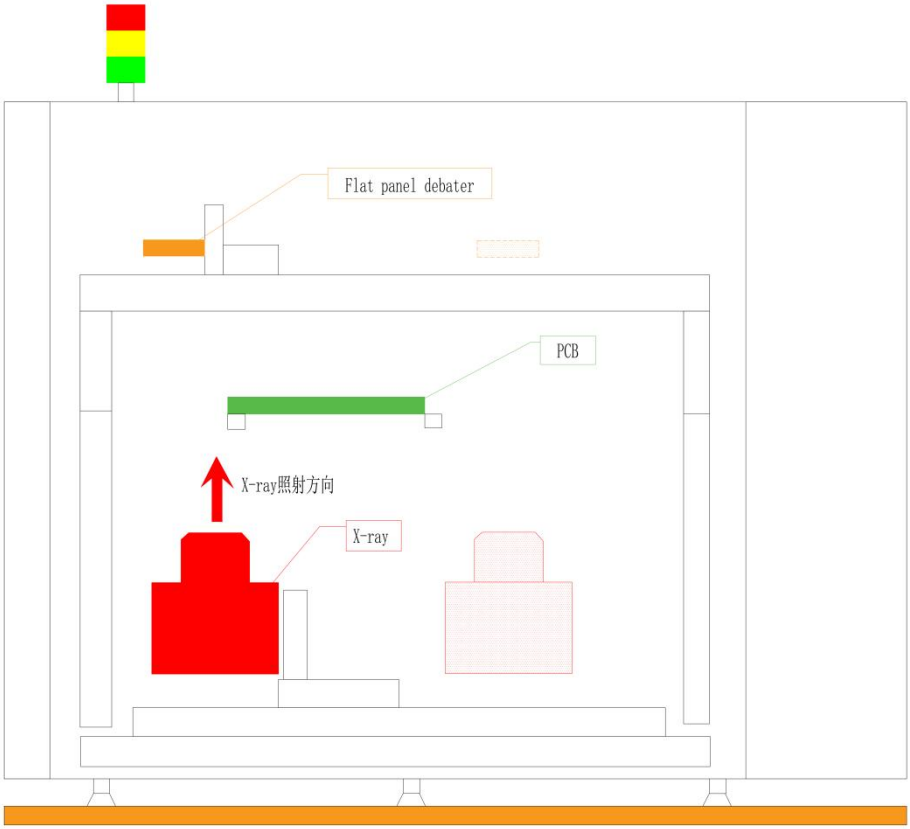

图 9-3　内部结构件示意图（工业用 X 射线探伤装置）

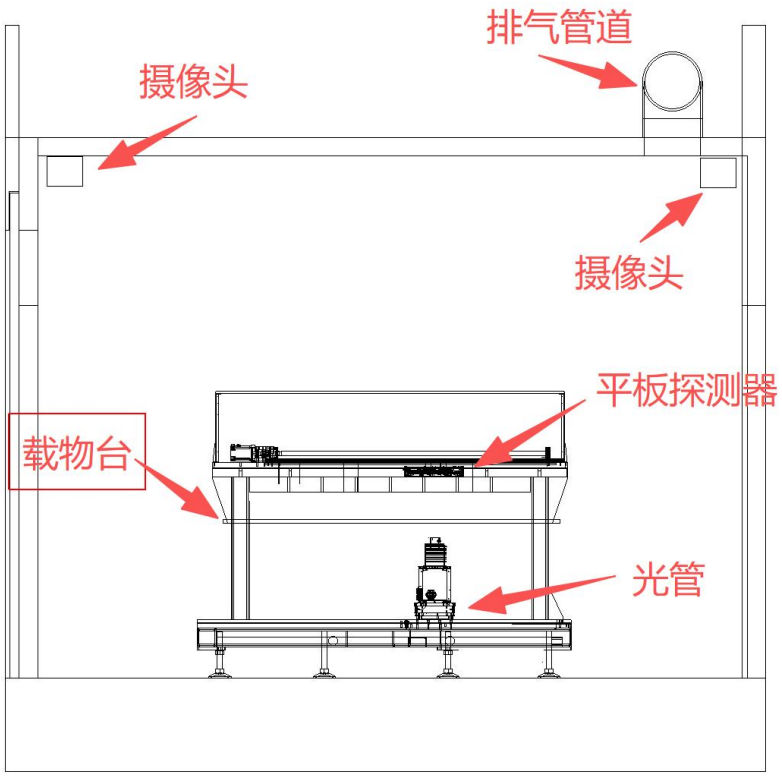

图 9-4　内部结构件示意图（调试铅房）

X射线机系统，主要由X射线管以及连接线缆组成。本项目生产调试的每台设备内置1个X射线机系统。企业生产、使用、销售的工业用X射线探伤装置及调试铅房的X射线源的设计参数见表9-1。

表 9-1　工业用 X 射线探伤装置及调试铅房的设计参数

型号	最大管电压kV	最大管电流mA	射线方向	备注
FX-13T型	130	0.3	固定垂直向上	最大功率39W
FX-18T型	180	0.5	固定垂直向上	最大功率90W
L9181-05型X射线管	130	0.3	固定垂直向上	最大功率39W
L14351-02型X射线管	180	0.5	固定垂直向上	最大功率90W

FX-13T型及FX-18T型工业用X射线探伤装置为自屏蔽设备，为III类射线装置。调试铅房（搭载X射线管）为II类射线装置。

2、工作原理

本项目工业用X射线探伤装置属于III类射线装置，调试铅房（搭载X射线管）属于II类射线装置，非工作状态下不产生X射线，进行检测工作时接通设备，发射X射线。

X射线发生器的核心部件为X射线管，X射线管由安装在真空包壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在X射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面被靶突然阻挡从而产生X射线。X射线管基本结构如图9-5所示。

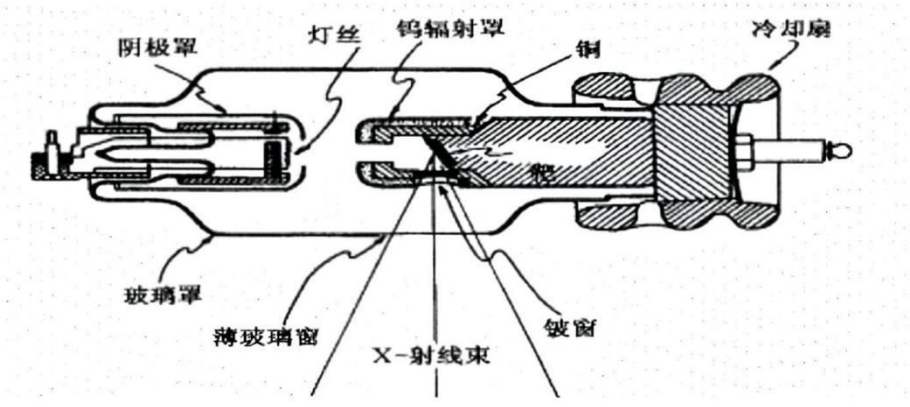

图 9-5　典型 X 射线管结构图

本项目使用的工业用X射线探伤装置属于III类射线装置，调试铅房（搭载X射线管）为II类射线装置，工业用X射线探伤装置用于检测各种金属、非金属工件，通过检测可确定工件内部结构及其缺陷。调试铅房用于研发配套的计算机系统及其调试，本

项目工业用X射线探伤装置及调试铅房由X射线系统、图像显示及处理系统、操作台、机械运动系统、射线防护系统及运动控制系统组成。

在X射线无损检测过程中，由于被检工件内部结构密度不同，其对射线的阻挡能力也不一样，物质密度越大，射线强度衰减越大。而当工件内部存在缺陷时，射线穿过有缺陷的路径比没有缺陷的路径透过的物质密度要小得多，其强度减弱较小，即穿透的射线强度较大，透射X射线被平板探测器所接收，平板探测器把不可见的X射线检测信息转换为电子图像，变成视频图像信号传输至操作台，在显示器上实时显示。

3、X射线检测技术实践可行性

X射线检测是一种常见的非破坏性检测方法，它广泛应用于工业生产中，用于检测物体内部的缺陷、异物、裂纹等问题。主要应用于汽车、航空、电子、钢铁、医疗等行业。X射线检测在工业生产中占有非常重要的地位，可以提高生产效率、保障产品质量，减少安全事故和人员伤害。

4、工艺流程

本项目工业用X射线探伤装置的生产、使用、销售流程主要如下：

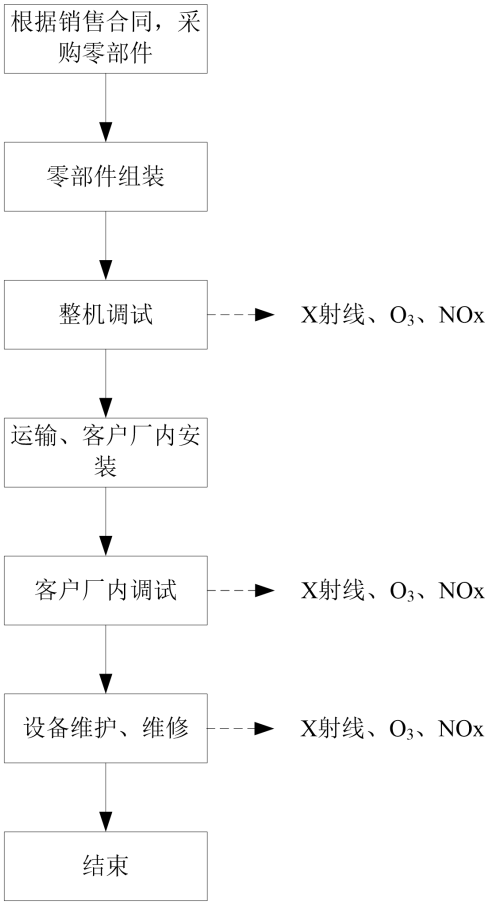

图 9-6　本项目工业用 X 射线探伤装置的生产、使用、销售工艺流程图

（1）采购零部件：根据销售合同，采购组装需要的各个系统。

（2）组装：零部件进厂检验合格后，在生产车间组装成整机。

（3）调试（使用）：在设备调试间对设备整机进行调试。企业厂内调试内容主要为调试前检查、性能调试、辐射防护措施调试、影像接收器调试。

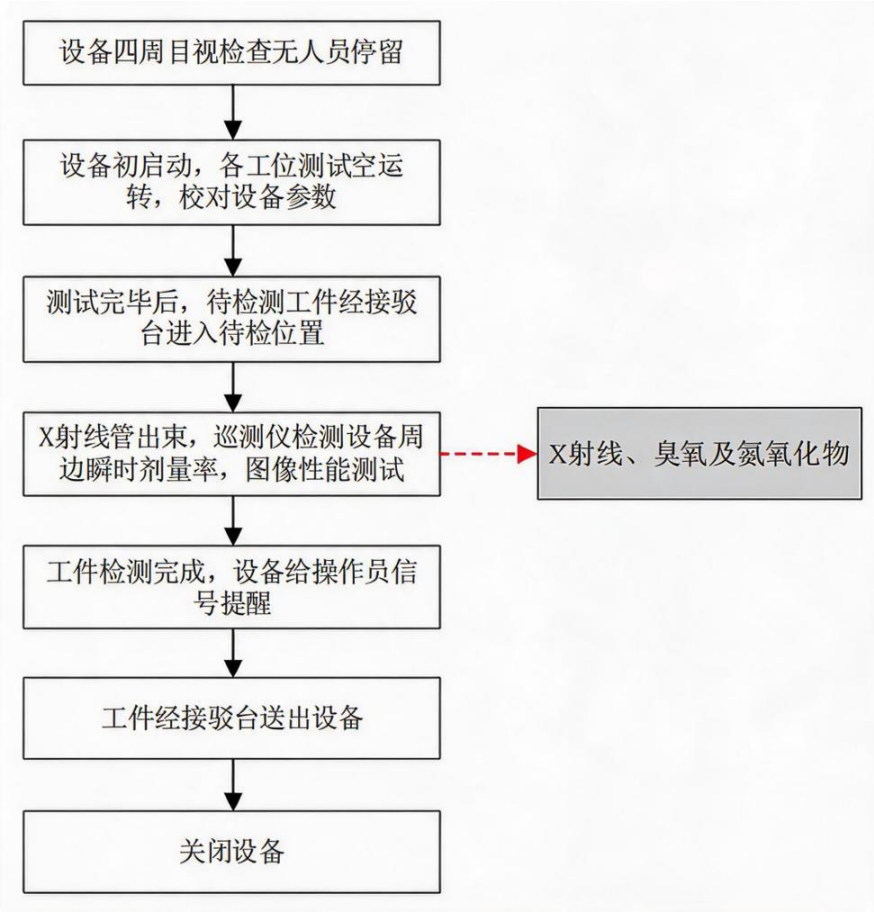

图 9-7　设备调试工艺流程图

调试过程中进行的调试内容包括以下部分：

①安全联锁测试流程：首先，测试人员依次打开工业用X射线探伤装置的各个门，随后打开设备开关测试设备能否正常通电，如能正常通电则对应门的联锁装置无效；随后，在设备正常通电情况下（不开启射线源），依次打开各个门模拟工件门及检修门意外开启，如门打开时，设备未切断电源，则对应联锁装置无效。确定各个门的联锁装置能正常工作后完成安全联锁测试。

②设备自检内容包括：设备湿度正常，无冷凝水；信号灯显示正常；开机前检测各运动轴，进行回零；将测试完的样品拿出；整理检测间物料；设备内部无破损，外观良好；线束正常，无破损，无拖拽，无夹死。

③电气安全包括：检查设备（包含电缆电线）绝缘有无破损、老化；检查设备保

护接地装置是否正确、可靠，保护装置是否满足使用要求；检查设备安全联锁、指示灯电压是否满足相关要求；检查设备运行是否良好，包括绝缘、声音、接地正常。

④测试条件选择流程：首先根据样品区域穿透率选择射线源电压，根据测试分辨率及射线源固有技术指标选择射线源电流；根据无样品区域平均灰度值及探测器位深设置单帧曝光时间，设置单帧合并帧数；设置总扫描帧数。

⑤辐射泄漏测试流程：检测人员在设备正常通电，射线源开启时，手持辐射剂量检测仪器，在设备外壳30cm处进行整体设备检测。

⑥成像测试：了解测试需求制定测试方案，固定好待测样品，将待测样品放置于样品台上。根据待测区域调节X射线管和平板探测器位置，调节系统设定测试条件。放入的工件由工件平台将工件移动至射线管照射位置，射线出束对该工件进行无损检测；确定无干涉发生，开始测试。测试完成后，取出样品，完成测试。

调试过程中，通电检测调试时有X射线出束，同时产生极少量的臭氧及氮氧化物，其他情况无X射线出束，不会对相关人员造成外照射影响，也无其他放射性固体、气体、液体废物产生。调试时，辐射工作人员佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

机电调试、电气调试、系统参数设置、系统稳定性调试过程无需开启X射线。辐射安全防护措施调试、影像接收器调试需要开启X射线，单台设备曝光时间为3~15min（本评价以15min计）。

辐射安全防护措施调试、影像接收器调试过程会产生X射线，少量臭氧、氮氧化物。在设备出厂前，企业应参考《无损检测仪器 固定式和移动式工业X射线探伤机》（GB/T 26837-2011），对生产的工业用X射线探伤装置进行出厂检查。

（4）运输、客户厂内安装：设备调试（使用）结束后，公司将X射线系统、影像接收器、显示器、操作台、控制电缆等部件设备运输至客户现场，由公司派出本项目辐射工作人员去客户厂区进行安装。

（5）客户厂内调试：设备进场前，客户单位需履行环评手续，取得环评批复后再将设备进场安装，客户取得相应辐射安全许可后，再出束调试。在客户厂内许可的调试区域内，由本项目调试设备的辐射工作人员进行安装调试，满足要求并通过验收后提交给客户。安装调试结束后，本项目辐射工作人员会进行设备的操作演示，以及对客户进行培训。设备安装后调试、演示、培训均需要开启X射线，单台设备曝光时间约为3~15min（本评价以15min计）。

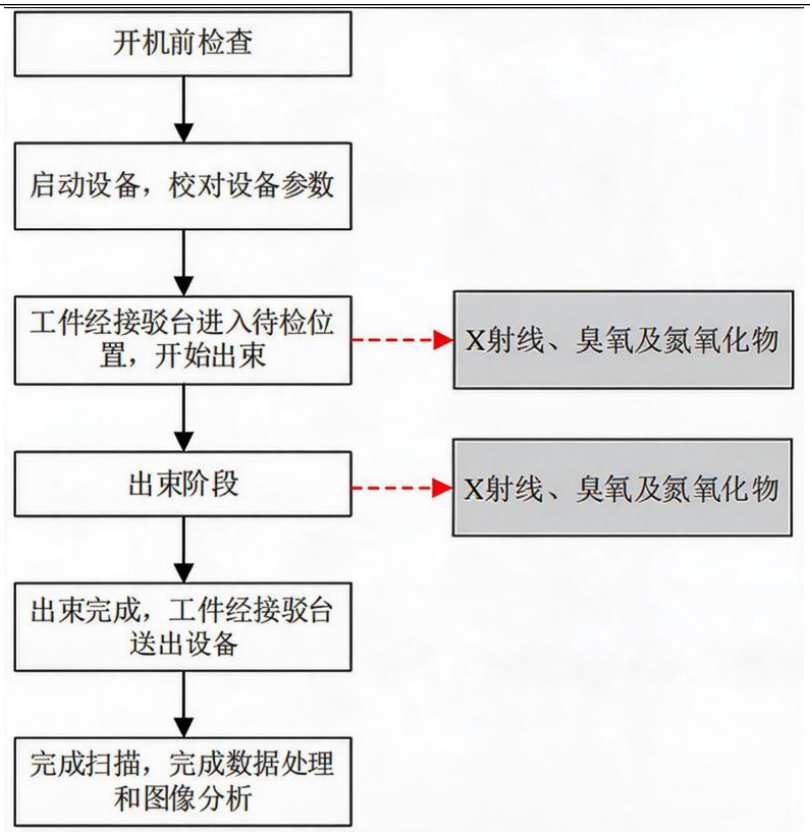

图 9-8　设备培训及客户现场调试工艺流程及产污环节

（6）设备维护、维修：客户厂内的辐射设备定期维护，不定期进行检查、维修，由本项目厂外调试设备的辐射工作人员负责。设备维护及维修过程需要开启X射线。每台设备维护过程的曝光时间约为3~15min（本评价以15min计）。每台设备维修过程，曝光时间约为3~15min（本评价以15min计）。

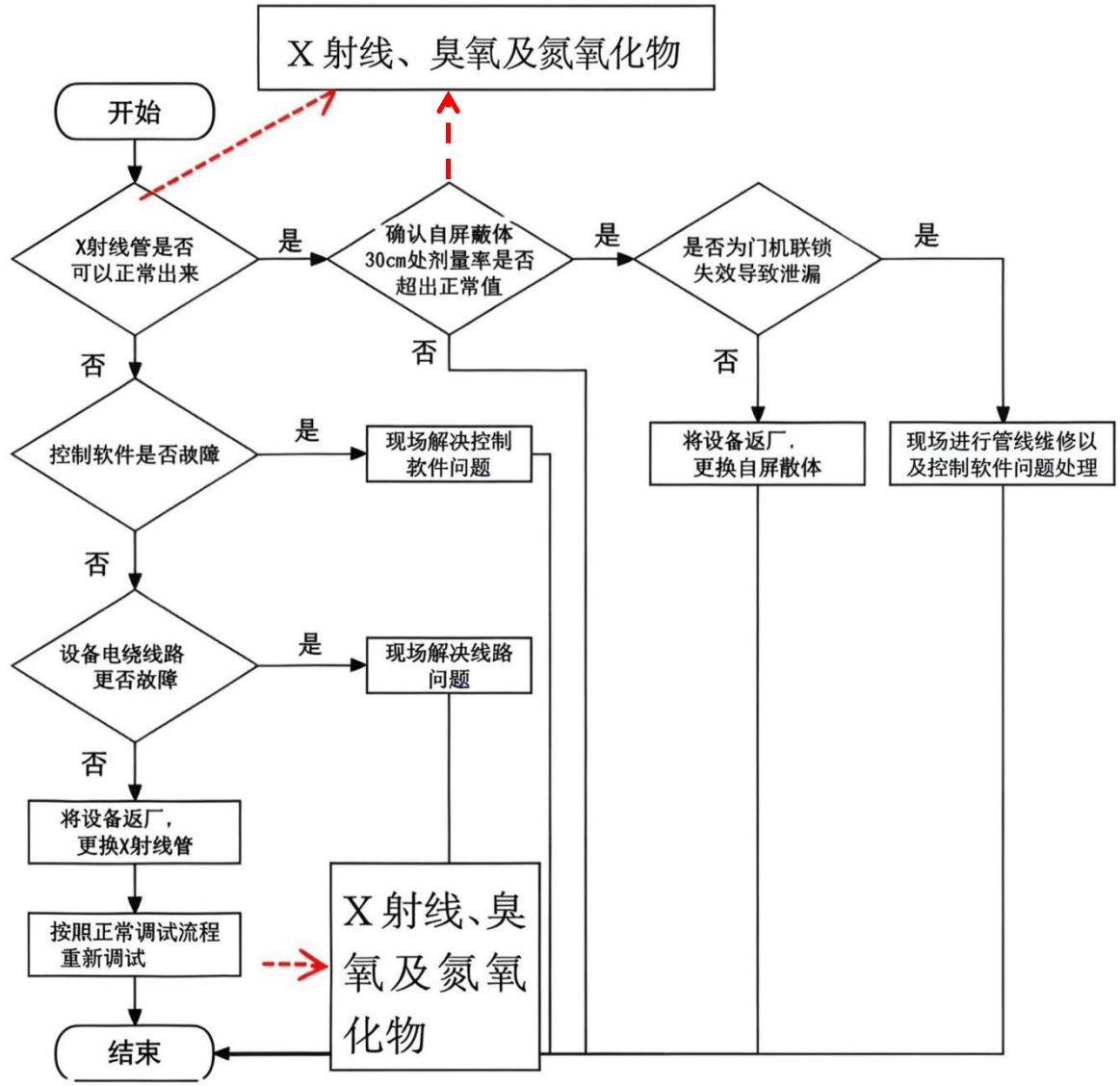

图 9-9　设备维修过程工艺流程及产污环节

本项目调试铅房的使用流程主要如下：

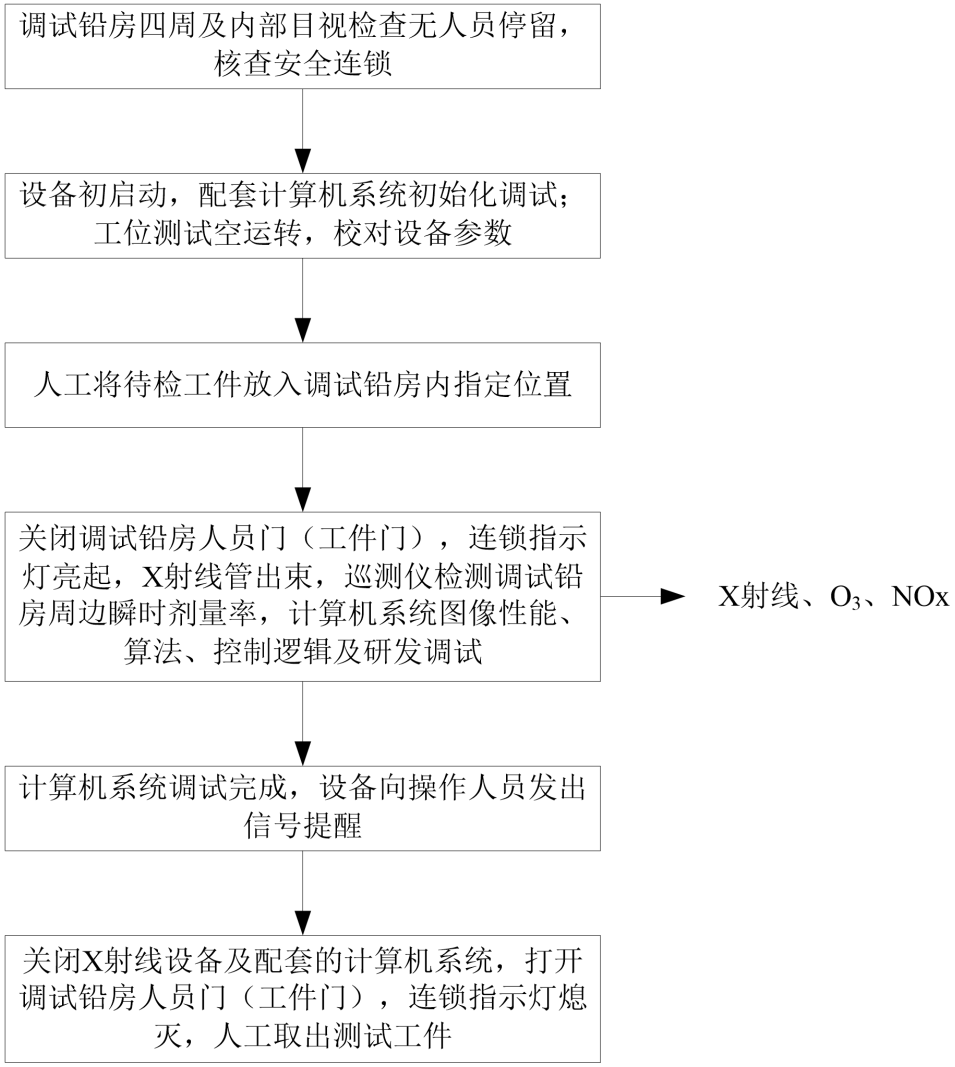

图 9-10　调试铅房设备调试工艺流程图

①安全联锁测试流程：首先，测试人员打开调试铅房的人员门(兼工件门)，连锁指示灯熄灭，关闭调试铅房的人员门(兼工件门)，连锁指示灯亮起，此时则表示安全联锁正常。如能打开人员门模拟人员门意外开启，联锁指示灯未熄灭，则对应联锁装置无效。确定人员门的联锁装置能正常工作后完成安全联锁测试。

②设备自检内容包括：设备湿度正常，无冷凝水；信号灯显示正常；开机前检测各运动轴，进行回零；将测试完的样品拿出；整理检测间物料；设备内部无破损，外观良好；线束正常，无破损，无拖拽，无夹死。

③电气安全包括：检查设备（包含电缆电线）绝缘有无破损、老化；检查设备保护接地装置是否正确、可靠，保护装置是否满足使用要求；检查设备安全联锁、指示灯电压是否满足相关要求；检查设备运行是否良好，包括绝缘、声音、接地正常。

④测试条件选择流程：为验证计算机系统成像算法、图像采集逻辑，依据样品区域穿透率选定X射线管电压；结合研发调试所需测试分辨率及射线源固有技术指标选定射线源电流；依据无样品区域平均灰度值及探测器位深，设置单帧曝光时间、单帧合并帧数，设置总扫描帧数，完成计算机系统调试所需的射线参数配置。

⑤辐射泄漏测试流程：每季度监测一次，检测人员穿着铅防护服，在设备正常通电，射线源开启时，手持辐射剂量检测仪器，在设备外壳30cm处进行整体设备检测。

⑥成像测试：围绕计算机系统图像采集、算法及控制逻辑开展研发调试，制定对应调试方案；固定待测工件放置于样品台；根据调试验证区域调节 X 射线管和平板探测器位置，调用前述配置完成的测试条件；工件平台带动工件移动至射线管照射位置，X 射线管出束，在确认机构无运动干涉后开展成像采集，重点对计算机系统图像性能、算法、控制逻辑进行验证、调试与优化；调试结束后取出工件，完成本次研发调试作业。

调试过程中，通电检测调试时有X射线出束，同时产生极少量的臭氧及氮氧化物，其他情况无X射线出束，不会对相关人员造成外照射影响，也无其他放射性固体、气体、液体废物产生。调试时，辐射工作人员穿铅防护服，佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

机电调试、电气调试、系统参数设置、系统稳定性调试过程无需开启X射线。辐射安全防护措施调试、影像接收器调试需要开启X射线，单台设备曝光时间为3~15min（本评价以15min计）。

辐射安全防护措施调试、影像接收器调试过程会产生X射线、少量臭氧和氮氧化物。

本项目企业拟配备4名调试工程师作为辐射工作人员，企业厂内调试工作由2名辐射工作人员共同完成，且不在本公司范围内给客户进行演示；厂外调试、维护、维修工作由另外2名辐射工作人员共同完成。企业设备调试间内设置2个工业用X射线探伤装置调试工位以及1个调试铅房，不同时运行，单班运行。两个固定调试工位位于设备调试间南侧，东西各一个，其中西侧为FX-13T型设备的试工位，东侧为FX-18T型设备的调试工位。工位边界与设备边界一致，具体分布见图11-4~11-7。

本项目工业用X射线探伤装置拟年产量为100台，平均每周生产2台。调试铅房每年运行约24次，平均每月各调试一台180kV及130kV的X射线管。

企业厂内：每台设备曝光时间15min，每位辐射工作人员周受照时间为30min，年受照时间25h。调试铅房曝光时间每次为15min，每位辐射工作人员年受照时间6h。

客户厂内：每台设备曝光时间为45min（调试、演示、培训约15min，维护约15min，维修约15min），每位辐射工作人员周受照时间为90min，年受照时间为75h。

5、设备操作方式

工业用X射线探伤装置：

辐射工作人员将被检测工件放置在样品台上，由样品台自动流转进工业用X射线探伤装置，关闭工件门后，在操作台进行操作，在对检测工件无损伤条件下，以数字平板实时平面成像的方式，清晰、准确、直观地展示被检测工件的缺损状况，其工作流程如下：

（1）工作前检查现场环境及辐射安全与防护措施的有效性。

（2）打开电源开关，启动电脑，打开电脑软件。

（3）通过操作台的控制按钮打开工件门。

（4）辐射工作人员站在工件门外，将被检测工件放至载物台上。

（5）按下关门按钮关闭工件门，辐射工作人员在操作台处通过控制系统调节载物台，将待测工件的载物台调整到合适的位置后将工件放置于工件盘上。

（6）辐射工作人员在操作台上操作，按下开启按钮进行无损检测。此过程会产生X射线及少量的臭氧和氮氧化物。

（7）通过操作台上的显示器观察工件内部是否有缺陷。

（8）观察结束，停止出束。

（9）打开工件门，载物台自动将工件流转出工件门，辐射工作人员在工件门门口取出工件。

（10）关闭工件门，关闭电脑，关闭电源开关。

调试铅房：

辐射工作人员人力将工件从工件门运至调试铅房内指定位置，关闭人员门（工件门）后，在操作台进行操作，在对检测工件无损伤条件下，以数字平板实时平面成像的方式，清晰、准确、直观地展示被检测工件的缺损状况，其工作流程如下：

（1）辐射工作人员工作前需要开展各项检查，重点检查调试铅房人员门（工件门）门-机联锁装置、照射信号指示灯、固定式辐射探测报警装置等防护安全措施。进

入调试铅房时，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。使用便携式X-γ剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式X-γ剂量率仪不能正常工作，则不应开始调试工作。

（2）打开电源开关，启动电脑，打开电脑软件。

（3）通过操作台的控制按钮打开人员门（工件门）。

（4）辐射工作人员人力将被检测工件放至调试铅房内的工件盘上后离开调试铅房。

（5）辐射工作人员在操作台上操作，按下开启按钮进行无损检测。此过程会产生X射线及少量的臭氧和氮氧化物。

（6）通过操作台上的显示器观察工件内部是否有缺陷。

（7）观察结束，停止出束。

（8）打开工件门，辐射工作人员进入调试铅房取出工件。

（9）关闭工件门，关闭电脑，关闭电源开关。

其他：

（1）不同型号探伤装置接电功率不同，配套供电线路、配电容量与设备一一匹配，供电点位固定，故探伤调试工位固定，设备不跨工位调换使用。

（2）调试时需要使用的Calibraton kit标定套件（包含Wire IQI / Hole IQI 像质计、Aluminum Step Wedge 铝阶梯试块、Geometric Calibration Phantom 几何标定碳纤板、Reference BGA Test PCB、Reference Thickness PCB、Carbon Fixture Base + Locating Pin Set 碳纤载板+定位Pin工装、Calibration Report Template & SOP、Hard carrying case 防震航空箱）价格高昂，公司只配备了一套，故无法实现多台设备同时调试。

污染源项描述

1.放射性污染源分析

由工业用X射线探伤装置的工作原理可知，X射线是随X射线管的开、关而产生和消失。因此，正常工况时，在开机曝光期间，放射性污染物为X射线及其散射线、漏射线。本项目调试期间X射线是主要污染物。本项目X射线辐射类型主要分为以下三类：

有用线束辐射：工业用X射线探伤装置及调试铅房（搭载X射线管）发出的用于工件检测的辐射束，又称为主射线束。

本项目管电压分别为130kV及180kV，滤过条件均为0.5mm铍。根据厂家提供的资料，本项目所用130kV的X射线管距辐射源点（靶点）1m处输出量H_0=2.6μSv•m^2/(mA•h），180kVX射线管距辐射源点（靶点）1m处输出量H_0为3.5μSv•m^2/(mA•h）。

泄漏射线辐射：由辐射源点在各个方向上从屏蔽装置中泄漏出来的射线称为漏射线。根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表1，本项目130kV的X射线距辐射源点（靶点）1m处的泄漏辐射剂量率为1×10^{3}μSv/h，180kV的X射线距辐射源点（靶点）1m处的泄漏辐射剂量率为2.5×10^{3}μSv/h。

散射线辐射：当主射线照射到检测工件时，会产生散布于各个方面上的散射辐射，根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表2，原始X射线为180kV时，X射线90°散射辐射最高能量相应的kV值为150kV；原始X射线为130kV时，可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量E与入射的初级X射线能量E_0之比值E/E_0=1/[1+E_0（1-cosθ）/0.511]，X射线90°散射辐射最高能量相应的kV值为104kV。详细参数见表9-2。

表 9-2　工业用 X 射线探伤装置及调试铅房放射性源项参数表

射线装置型号	FX-13T型	FX-18T型	调试铅房
最大管电压	130kV	180kV	180kV
最大管电流	0.3mA	0.5mA	0.5mA
最大功率	39W	90W	90W
主射线剂量率输出量H_0	2.6μSv•m^2/(mA•h）	3.5μSv•m^2/(mA•h）	3.5μSv•m^2/(mA•h）
有用线束范围	有用线束方向：向上：最大出束角度：100°	有用线束方向：向上：最大出束角度：90°	有用线束方向：向上：最大出束角度：90°
距靶点1m处的泄漏辐射剂量率H_L	1×10^{3}μSv/h	2.5×10^{3}μSv/h	2.5×10^{3}μSv/h
90°散射辐射最高能量	104kV	150kV	150kV
注：调试铅房搭载两种型号的X射线管，本次仅对搭载L14351-02型X射线管（180kV）时的情况进行预测			

2.非放射性污染源分析

本项目产生的废气主要是X射线电离空气产生的少量臭氧和氮氧化物，工业用X射线探伤装置运行过程产生的废气在开启工件门时排出至设备调试间，通过设备调试间排风扇将少量臭氧和氮氧化物排至厂房外。调试铅房设置机械排风装置将少量臭氧和氮氧化物排至厂房外。臭氧50分钟后在大气中自然分解为氧气，这部分废气对环境

影响较小，不做定量分析。

本项目所有设备均通过显示器成像，不洗片，无洗片废水。

本项目辐射工作人员在工作过程中将产生生活污水和生活垃圾。生活污水接入市政污水管网，生活垃圾委托环卫部门处理。辐射工作人员产生的生活污水和生活垃圾不会对周围环境产生影响。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

1.辐射工作场所分区管理

企业在厂房内划分出一块独立的设备调试间，用于开展工业用X射线探伤装置以及调试铅房的开机调试工作。企业将辐射工作场所进行分区管理，以工业用X射线探伤装置及调试铅房边界作为控制区边界，以设备调试间作为监督区边界。控制区严格控制人员进出，并在调试铅房人员门（工件门）及工业用X射线工件门与检修门上粘贴电离辐射警告标志和中文警示说明；在监督区入口处的适当地点设立标明监督区的标牌。本项目数据处理系统是独立的电脑，放置在操作台上，操作台设于屏蔽体外的正面（定义操作工位所在面为正面），避开有用线束照射方向（有用线束方向朝上）。因此，本项目布局设计满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中关于操作室避开有用线束方向及操作室与探伤室分开设置的要求，本项目布局设计合理。

辐射工作场所平面布置见图10-1，管理措施如下：

控制区边界（屏蔽体）显著位置设置电离辐射警告标识及工作状态指示灯，设备开启调试期间任何人不得打开调试铅房的人员门（工件门）、工业用X射线探伤装置的工件门及检修门。

监督区边界为固定的实体房间，设备调试间外墙上挂警示标识，进出大门上锁，钥匙由辐射工作人员保管，设备调试期间禁止公众进入，辐射工作人员进入监督区必须携带合格的个人剂量报警仪、个人剂量计、便携式X-γ剂量率仪。正常情况下屏蔽体具备对射线的有效屏蔽作用，屏蔽体边界外30cm处的剂量当量率会控制在2.5μSv/h以下，起到对周围人员的保护作用。调试时，工作人员居留在工业用X射线探伤装置及调试铅房周围进行操作或测试。

企业对于辐射工作场所的分区管理措施是合理可行的，可有效加强辐射安全管理。

表10-1　本项目辐射工作场所两区划分情况

两区	控制区	监督区
两区划分范围	工业用X射线探伤装置、调试铅房	设备调试间
划分依据	①根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）：6.1.2应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合GB	①根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）：6.1.2应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合GB

	18871中6.4.1.1要求。 ②根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：6.4.1.1注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区。	18871中6.4.2.1要求。 ②根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：6.4.2.1注册者或者许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。
分区管理措施	对控制区进行严格控制，工业用X射线探伤装置严禁任何人进入。调试铅房在曝光过程中严禁任何人进入。	设备调试间禁止无关人员进入，并且有明显警示牌。
辐射防护措施	工业用X射线探伤装置工件门及检修门、调试铅房人员门（工件门）上粘贴电离辐射警告标识。	设备调试间出入口处的适当地点设立标明监督区的标牌。

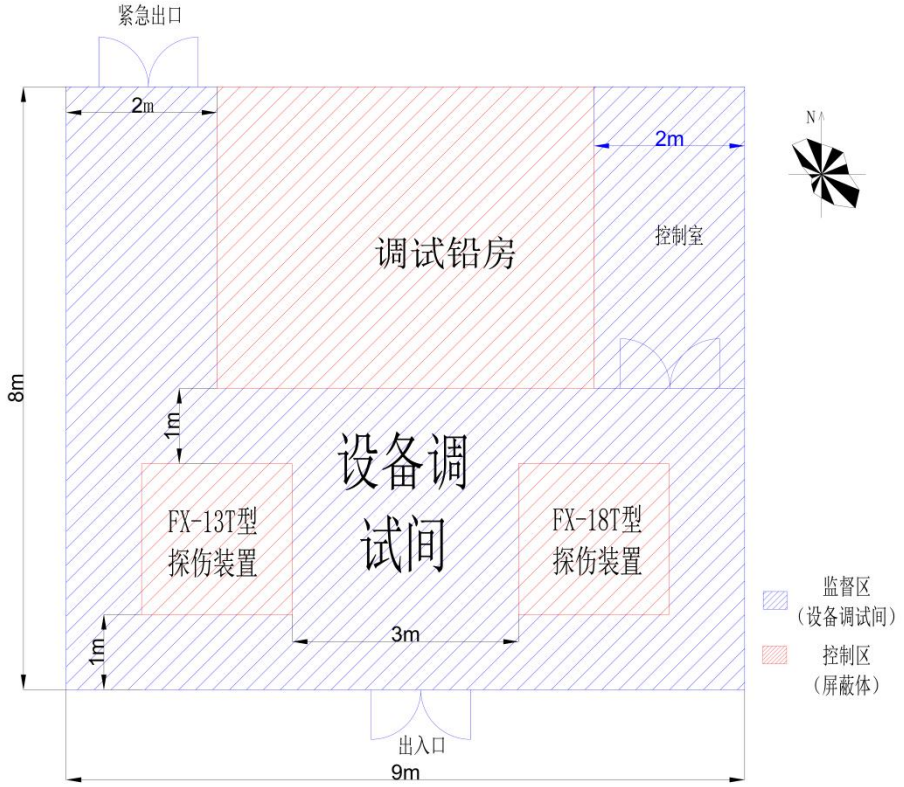

图10-1　辐射工作场所平面布置图

2. 辐射工作场所屏蔽设计方案

企业生产、销售、使用的工业用X射线探伤装置为自屏蔽结构，四周、顶部及防护门（工件门、检修门）均为5.5mm（FX-13T型）或10mm（FX-18T型）铅板，可有效屏蔽和降低屏蔽体周围的辐射水平。本项目调试铅房通过铅板对射线进行屏蔽，四周、顶部及人员门（工件门）均为10mm铅板，可有效屏蔽和降低屏蔽体周围的辐射水平。理论预测，企业设置的调试铅房及生产、销售、使用的工业用X射线探伤装置满

足辐射防护要求。屏蔽设计参数见表10-2，装置的屏蔽结构见图10-2~图10-7。

表10-2　工业用X射线探伤装置及调试铅房的屏蔽设计参数

型号	屏蔽设计		设备尺寸（mm）	射线方向
	位置	材料		
FX-13T型工业用X射线探伤装置	左侧、正面、背面、右侧、顶部和底部	5.5mm铅板	2000×2450×2000（包含450mm厚的电箱层，屏蔽体：2000×2000×2000）	X射线出束方向垂直向上
	出线口	出线口尺寸16cm×13cm，开孔位置位于右侧屏蔽体的右下角，在出线口位置的屏蔽体外采用5.5mm厚的“L”形铅罩进行屏蔽补偿，穿孔处的空隙填充铅橡胶。		
	工件门	工件门的门缝处为阶梯状拼接，屏蔽体与工件门之间为“之”字形的拼接。工件门铅板厚度为5.5mm。工件门的搭接方式是100mm重叠，重叠位置间隙为0~1mm。“之”字形拼接的厚度和宽度分别为：5.5mm、50mm。工作人员不进入设备内部。		
	检修门	检修门的门缝处为阶梯状拼接，屏蔽体与检修门之间为“之”字形的拼接。检修门铅板厚度为5.5mm。检修门的搭接方式是50mm重叠，重叠位置间隙为0~1mm。“之”字形拼接的厚度和宽度分别为：5.5mm、50mm。工作人员不进入设备内部。		
FX-18T型工业用X射线探伤装置	左侧、正面、背面、右侧、顶部和底部	10mm铅板	2000×2450×2000（包含450mm厚的电箱层，屏蔽体：2000×2000×2000）	X射线出束方向垂直向上
	出线口	出线口尺寸16cm×13cm，开孔位置位于右侧屏蔽体的右下角，在出线口位置的屏蔽体外采用10mm厚的“L”形铅罩进行屏蔽补偿，穿孔处的空隙填充铅橡胶。		
	工件门	工件门的门缝处为阶梯状拼接，屏蔽体与工件门之间为“之”字形的拼接。工件门铅板厚度为10mm。工件门的搭接方式是100mm重叠，重叠位置间隙为0~1mm。“之”字形拼接的厚度和宽度分别为：10mm、100mm。工作人员不进入设备内部。		
	检修门	检修门的门缝处为阶梯状拼接，屏蔽体与检修门之间为“之”字形的拼接。检修门铅板厚度为10mm。检修门的搭接方式是50mm重叠，重叠位置间隙为0~1mm。“之”字形拼接的厚度和宽度分别为：10mm、100mm。工作人员不进入设备内部。		
调试铅房	左侧、正面、背面、右侧、顶部	10mm铅板	4000×5000×2800	X射线出束方向垂直向上
	底部	混凝土		
	出线口	调试铅房北侧墙与操作室之间拟设两个U型地下穿墙电缆管道，电缆管道直径100mm，埋地深度分别为100mm、150mm，穿孔处的空隙填充铅橡胶。		
	通风孔	屏蔽体设置1个通风孔，位于屏蔽体顶部，设置铅防护罩（13mm铅板），通风孔直径为10cm。		
	人员门（工件门）	人员门（工件门）的门缝处为阶梯状拼接，屏蔽体与人员门（工件门）之间为“之”字形的拼接。人员门（工件门）铅板厚度为10mm。人员门（工件门）的搭接方式是100mm重叠，重		

		叠位置间隙为 0~1mm。“之”字形拼接的厚度和宽度分别为：13mm、100mm。工作状态下工作人员不进入设备内部。

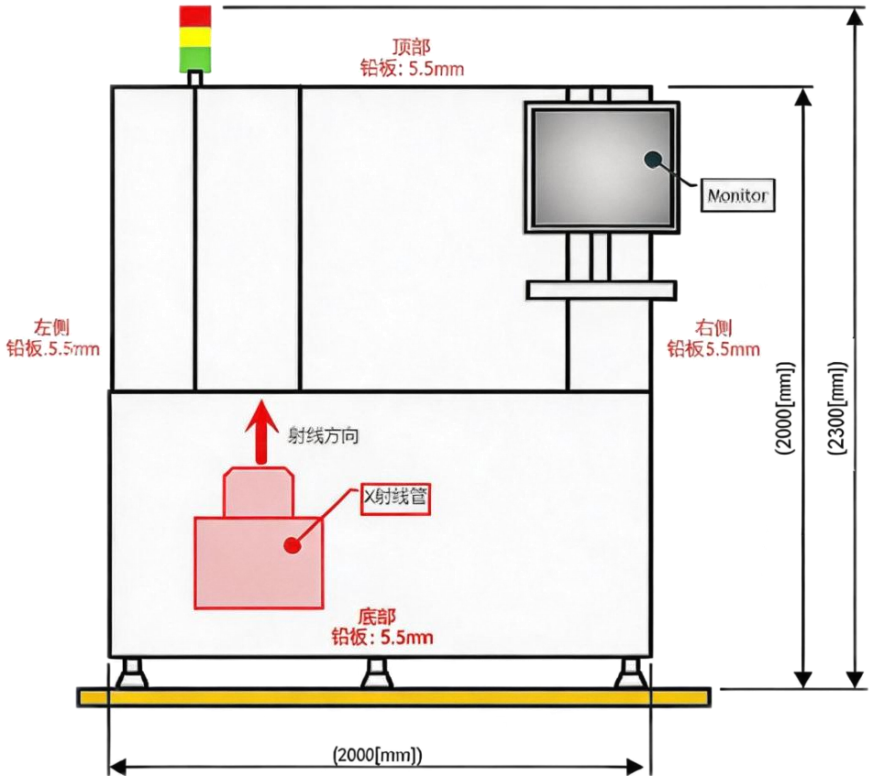

图 10-2　FX-13T 型工业用 X 射线探伤装置正视图（立面图）（单位：mm）

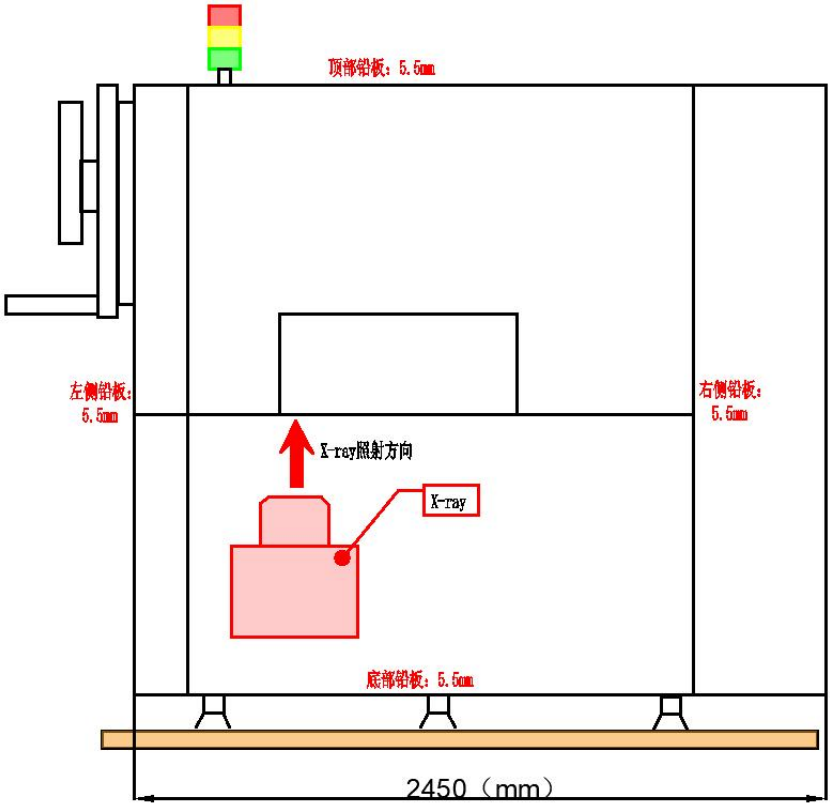

图10-3　FX-13T型工业用X射线探伤装置右视图（单位：mm）

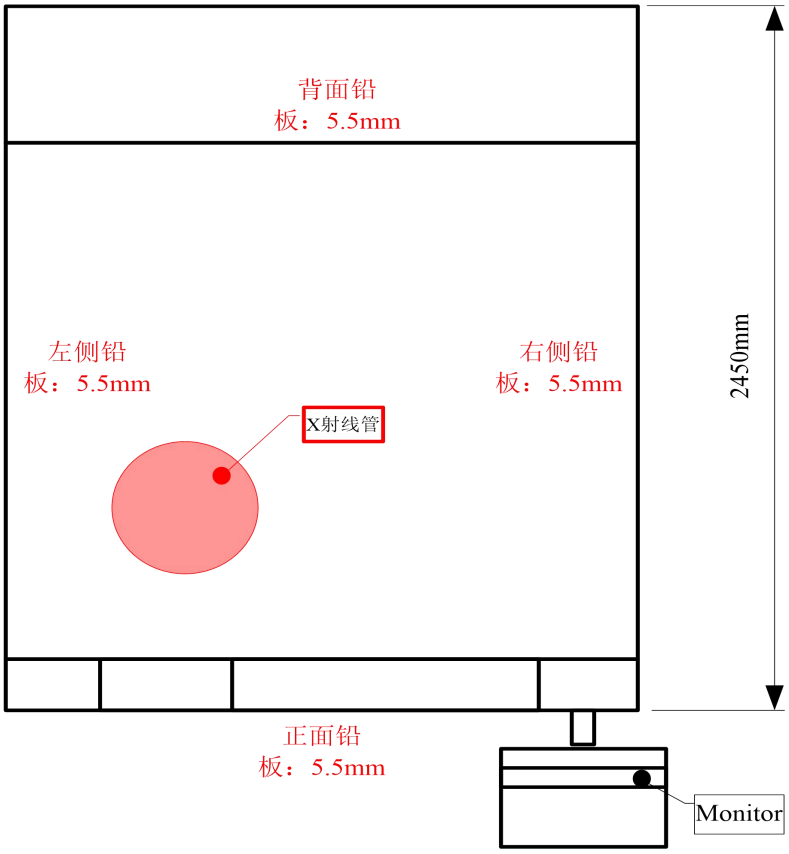

图10-4　FX-13T型工业用X射线探伤装置俯视图（单位：mm）

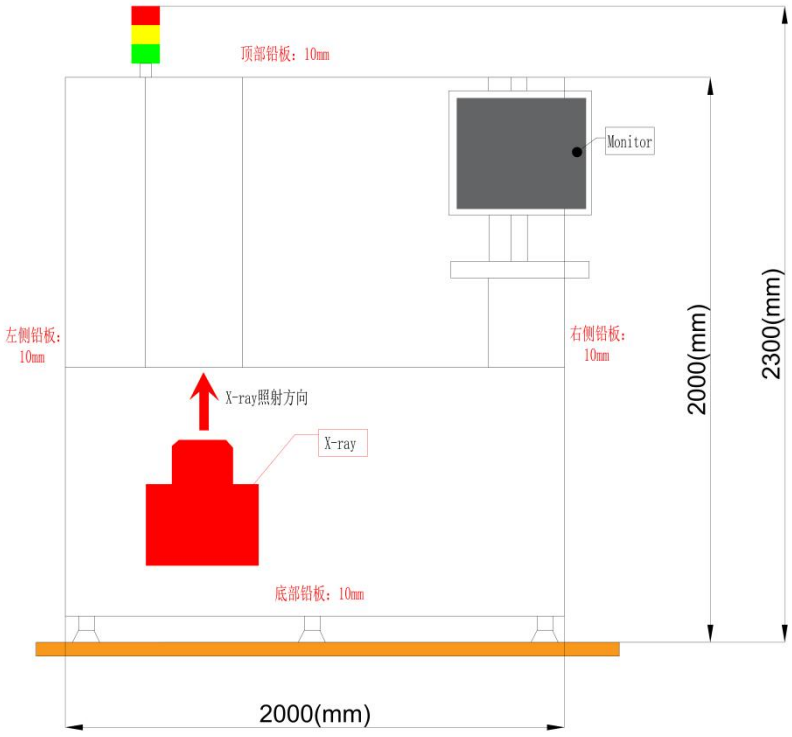

图 10-5　FX-18T 型工业用 X 射线探伤装置正视图（立面图）（单位：mm）

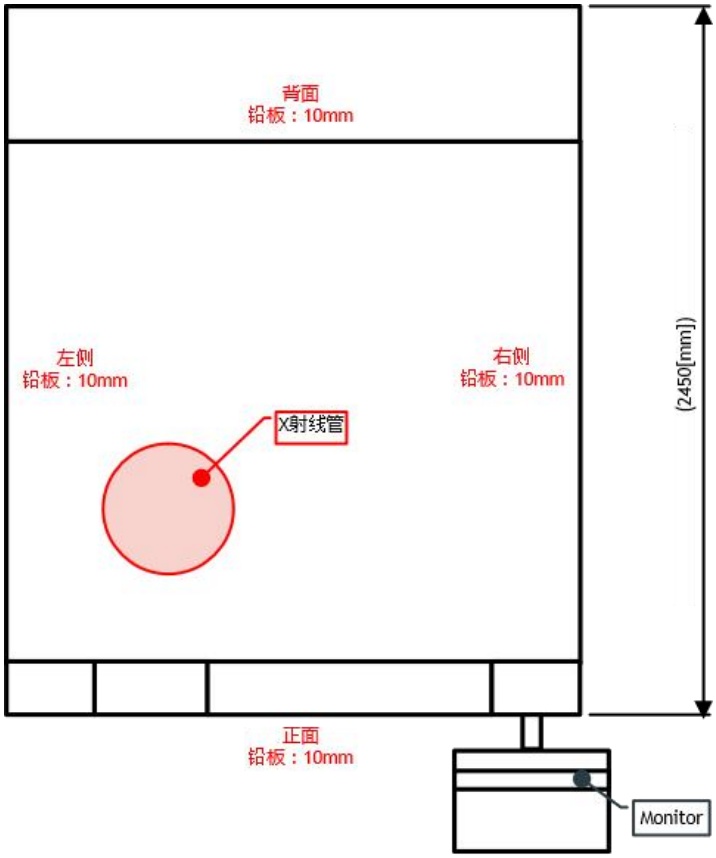

图10-6　FX-18T型工业用X射线探伤装置俯视图（单位：mm）

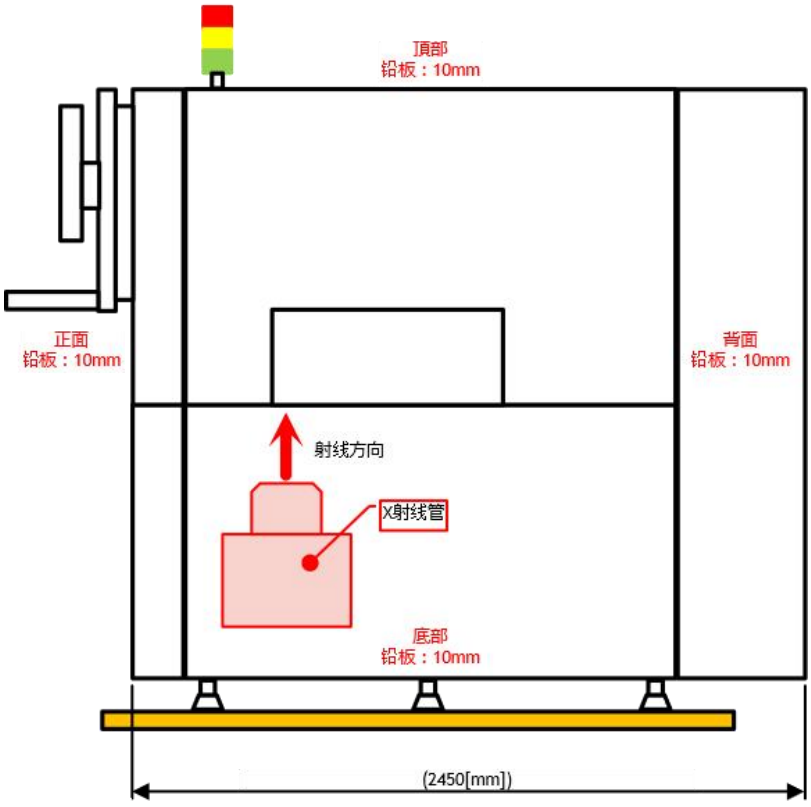

图10-7　FX-18T型工业用X射线探伤装置右视图（单位：mm）

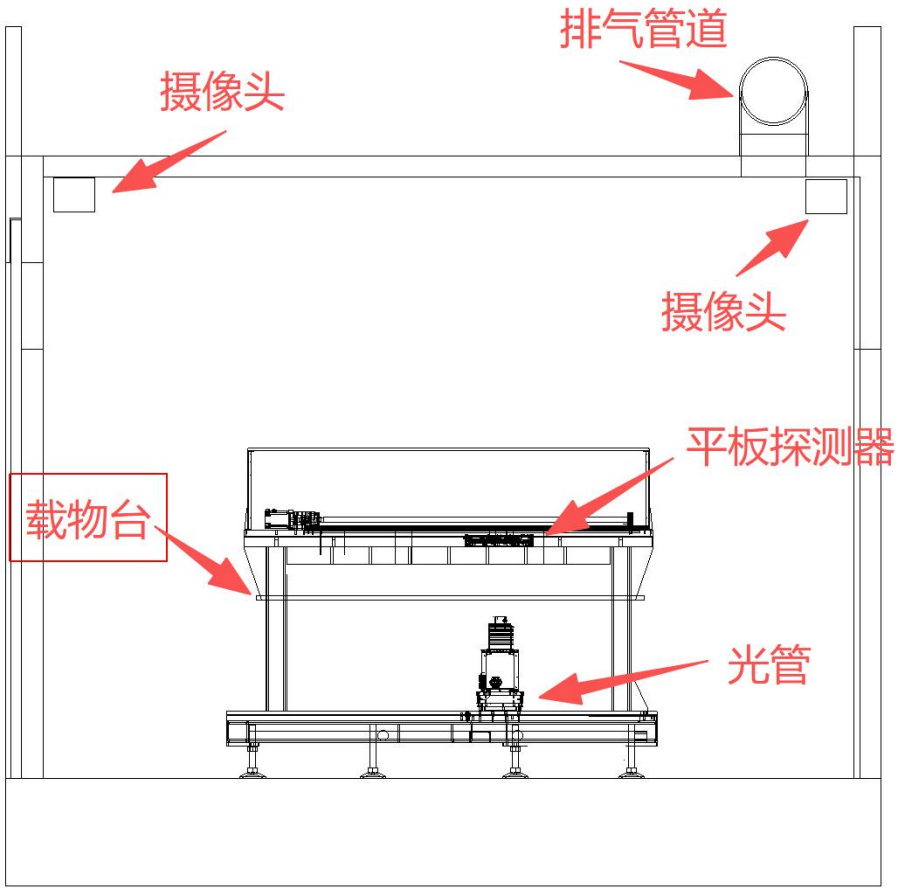

图 10-8　调试铅房正视图（立面图）（单位：mm）

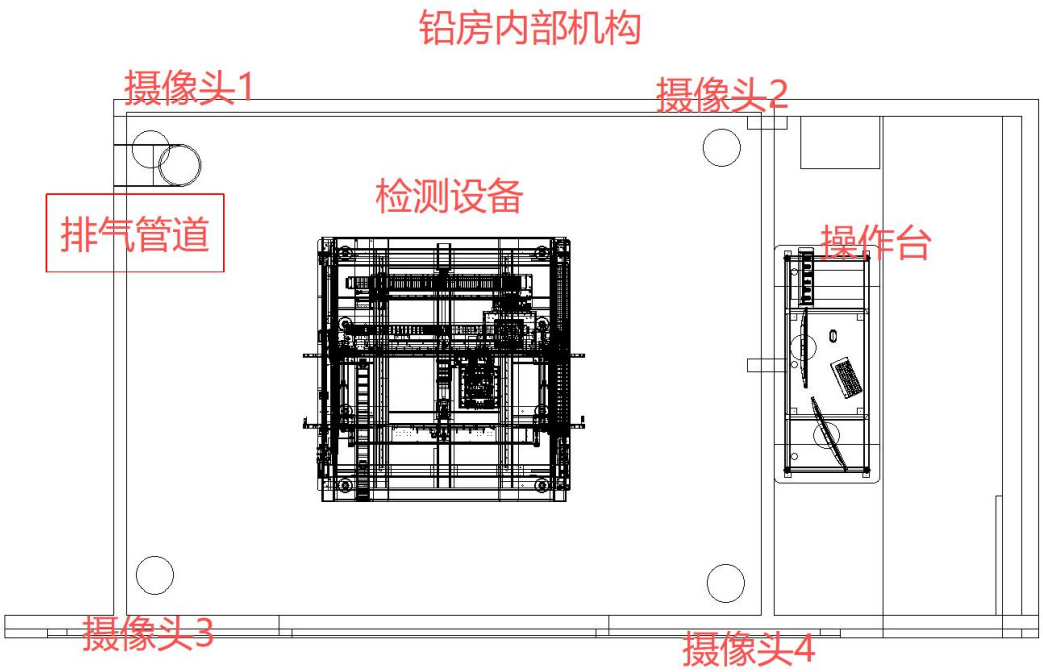

图10-9　调试铅房俯视图（单位：mm）

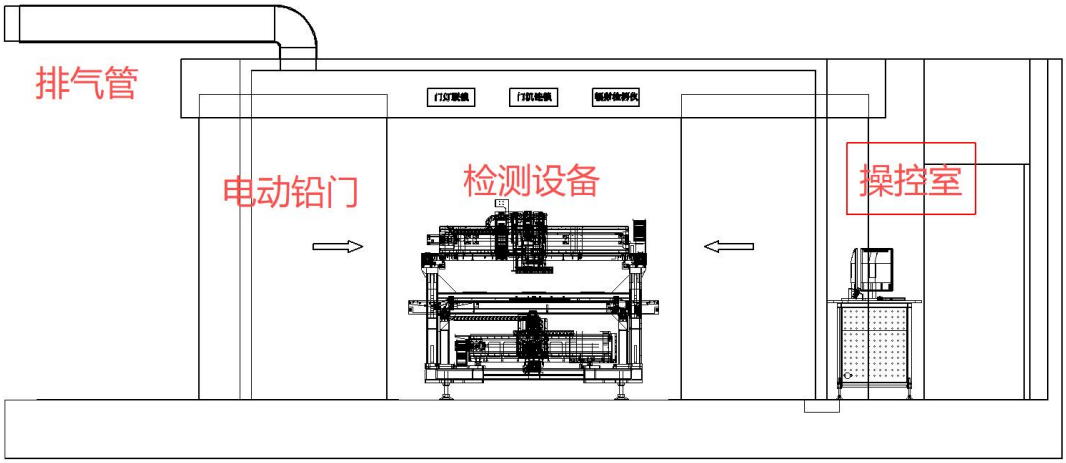

图10-10　调试铅房左视图（单位：mm）

穿屏蔽体管线的屏蔽补偿

本项目工业用X射线探伤装置电线电缆通过屏蔽体开孔穿过屏蔽体，开孔位置位于右侧屏蔽体的右下角，出线口大小16cm×13cm，位置示意图见图10-11，该位置为X射线管主射方向的反向，且距离X射线管距离较远。线缆穿墙后，FX-13T型和FX-18T型工业用X射线探伤装置在穿孔位置的屏蔽体外分别采用5.5mm、10mm厚的“L”形铅罩进行屏蔽补偿，屏蔽补偿示意图见图10-12。调试铅房北侧墙与操作室之间拟设两个U型地下穿墙电缆管道，电缆管道直径100mm，埋地深度分别为100mm、150mm。穿孔处的空隙填充铅橡胶进行补偿。

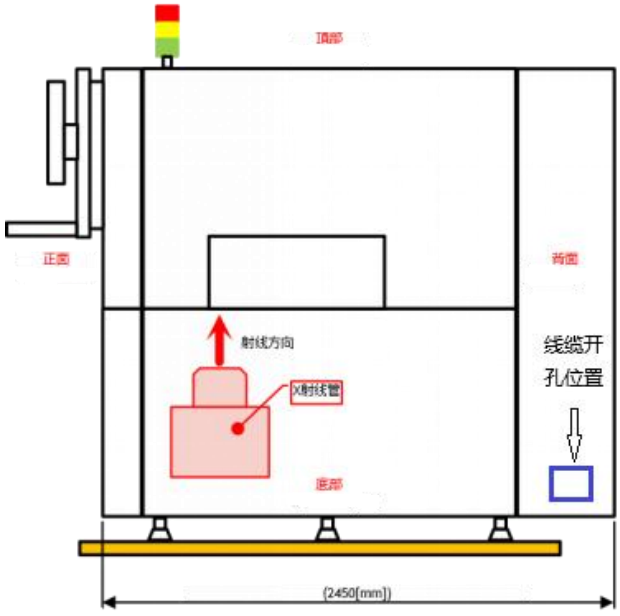

图10-11　线缆开孔位置示意图

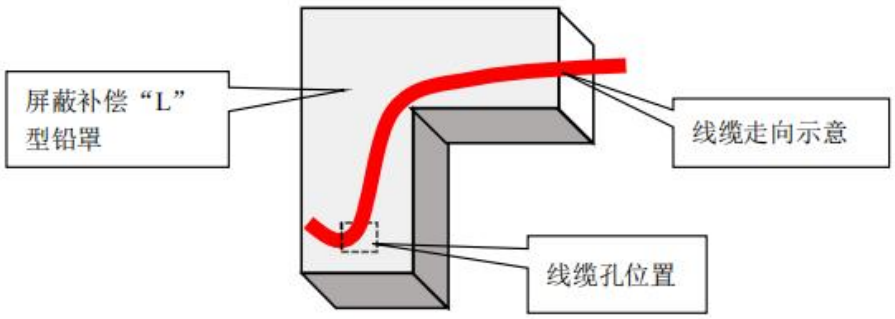

图 10-12　工业用 X 射线探伤装置线缆孔屏蔽补偿示意图

通风的屏蔽补偿

本项目调试铅房通风口设置在屏蔽体顶部，通风口直径约10cm，位置示意图见图10-8及图10-10。小型通风风机安装在屏蔽体顶部的内部，排风管外设置13mm“倒U”字形铅板进行屏蔽补偿。

防护门的优化

本项目防护门包括工业用X射线探伤装置的工件门、检修门以及调试铅房的人员门（工件门）。

工业用X射线探伤装置的工件门、检修门均为对开式防护门，两种型号设备分别采用5.5mm、10mm铅板，防护门的门缝处做成了阶梯状的拼接，屏蔽体与门之间也做了“之”字形的拼接，可以有效防止射线的泄漏。

调试铅房的人员门（工件门）为对开式防护门，采用10mm铅板，防护门的门缝处做成了阶梯状的拼接，屏蔽体与门之间也做了“之”字形的拼接，可以有效防止射线的泄漏。门缝处的搭接措施见图10-13。

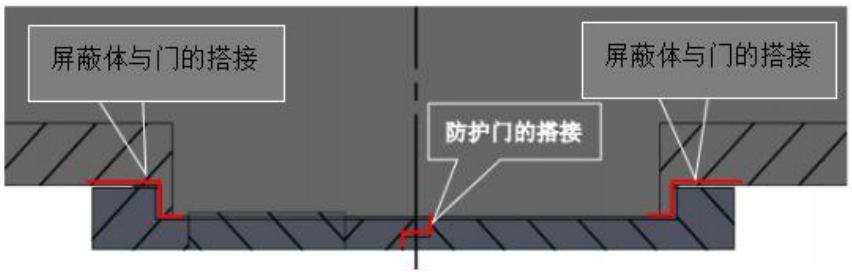

图10-13　防护门与屏蔽体的搭接

本项目工业用X射线探伤装置的工件门、调试铅房的人员门（工件门）的搭接方式是100mm重叠，工业用X射线探伤装置的检修门的搭接方式是50mm重叠，重叠位置间隙为0~1mm。FX-13T型工业用X射线探伤装置“之”字形拼接的厚度和宽度分别为：5.5mm、50mm，FX-18T型工业用X射线探伤装置“之”字形拼接的厚度和宽度分别为：

10mm、100mm，调试铅房“之”字形拼接的厚度和宽度分别为：13mm、100mm。射线经过多次散射后才能出门缝隙，可推断防护门缝隙处的辐射剂量率能够满足标准要求。

3. 辐射安全设施描述及评价

为确保辐射安全，保障本项目安全运行，公司拟根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）设置安全防护措施。

本项目设备调试间的辐射安全防护措施如下：

①设备调试间门口设置符合GB18871要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。

②设备调试间内装设固定式辐射探测报警装置。

③设备调试间设置排风口，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。

本项目两种型号工业用X射线探伤装置辐射防护措施相同，具体辐射安全防护措施如下：

（1）辐射防护措施

①安装门-机联锁装置：操作台或X射线管头组装体上的接口与防护门（工件门、检修门）联锁，只有当防护门（工件门、检修门）完全关闭后才能接通X射线管电压。在探伤过程中，防护门（工件门、检修门）被意外打开时，应能立刻停止出束，关上门不能自动开始X射线照射。

本项目辐射安全联锁逻辑关系图见图10-14。

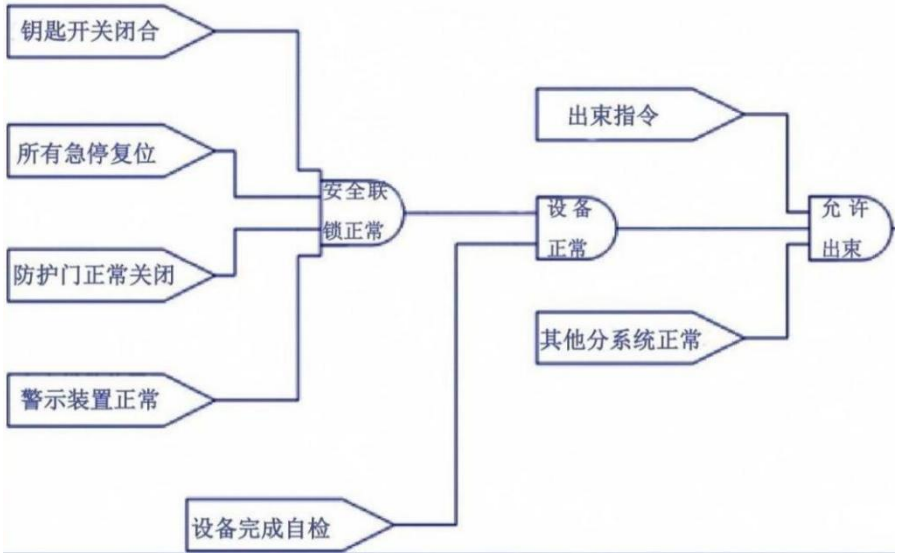

图10-14　本项目辐射安全联锁逻辑关系图

②工业用X射线探伤装置左上部设置工作状态指示灯，与X射线装置联锁。X射线出束期间工作状态指示灯亮，并具备声光报警功能。

绿色：系统电源指示灯，整个系统接通电源一直保持亮；

黄色：防护门（工件门、检修门）关闭时亮起，允许出束；

红色：出束时亮起，闪动。

③工业用X射线探伤装置内安装监视装置（1个视频监控摄像头），见附图4，操作台设置专用的监视器（显示器屏幕），操作人员能够在操作台监视器上观察到工业用X射线探伤装置内各个位置的情况。

④工业用X射线探伤装置上设置符合GB18871要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。装置外设固定式辐射探测报警装置。

⑤在操作台上安装1个急停开关，工业用X射线探伤装置的操作台上安装1个急停开关，发生紧急状况时按下急停开关，可立即终止X射线的出束，急停开关需复位后方可进行下一次检测工作。急停开关带有标签，标明使用方法。人员不进入工业用X射线探伤装置内。具体安装位置见图10-15。



图10-15　工业用X射线探伤装置内急停安装位置示意图

⑥操作台上设有钥匙开关，只有在打开操作台钥匙开关后，X射线管才能出束，在长时间停机或待机时钥匙需要及时拔出，拔出后的钥匙由辐射工作人员保管，防止误开机。

（2）操作防护措施

①辐射工作人员正常使用X射线装置时应检查门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。

②辐射工作人员配备个人剂量计（每人1枚）、个人剂量报警仪（共4台）、1台便携式X-γ剂量率仪。

③工业用X射线探伤装置每次运行时，辐射工作人员均需测量屏蔽体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，应终止调试工作并向辐射防护负责人报告。

④交接班或当班使用便携式X-γ剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式X-γ剂量率仪不能正常工作，则不应开始调试工作。

⑤辐射工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，把潜在的辐射降到最低。

⑥在每一次照射前，辐射工作人员都应该确认关闭防护门（工件门、检修门）。只有在防护门（工件门、检修门）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，才能开始调试工作。

（3）探伤设施的退役

本项目生产的工业用X射线探伤装置，全部外售至客户，不涉及探伤设施的退役。当设备销售至客户处，应当告知探伤设施退役的相关要求。

当工业用X射线探伤装置不再使用时，应实施退役程序。

①工业用X射线探伤装置应处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。

②当所有辐射源从现场移走后，使用单位按监管机构要求办理相关手续。

③清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

本项目调试铅房辐射安全与防护设施及措施与标准对照情况见表10-3。

表10-3　本项目调试铅房辐射安全与防护设施及措施与标准对照情况一览表

执行标准章节	标准要求	拟采取措施	是否满足要求
6.1 探伤室放射防护要求	6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，控制室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧	本项目调试铅房的X射线出束方向垂直向上，操作室设置在调试铅房的东侧，避开了有用线束照射方向。	是

	墙的防护性能。X 线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T 250。		
	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。	将调试铅房划为辐射防护控制区，严格控制人员进出，并在人员门（工件门）上粘贴电离辐射警告标志和中文警示说明；将设备调试间划为监督区，在监督区入口处的适当地点设立标明监督区的标牌，符合 GB18871 的要求。	是
	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。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。	人员门（工件门）电动开合，拟设置门机联锁装置，只有当人员门（工件门）完全关闭后才能开机检测。在检测过程中，人员门（工件门）被意外打开时，射线管能立刻停止出束。在人员门（工件门）内侧拟设置紧急开门开关以方便调试铅房内部的人员在紧急情况下离开。	是
	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，并与探伤机联锁。“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。“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“照射”和“预备”信号意义的说明。	人员门（工件门）上方及调试铅房内部拟设置显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与 X 射线管联锁。调试铅房工作时，指示灯和声音提示装置开启，警告无关人员勿靠近或在调试铅房外做不必要的逗留。“预备”信号拟持续足够长的时间，以确保调试铅房内人员安全离开，“预备信号”和“照射”信号应有明显的区别，并且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“照射”和“预备”信号意义的说明。	是
	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。	拟在调试铅房内设置 4 个视频监控，分别位于调试铅房四角，在调试铅房外设置 1 个视频监控，位于人员门（工件门）上方，以便辐射工作人员在操作台处通过专用监视器，可观察到调试铅房内外的情况。	是
	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志和中文警示说明。	人员门（工件门）外拟设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明，提醒无关人员勿在其附近出入和逗留。	是
	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	拟在调试铅房内四周墙体离地 1.2m 处各设置 1 个紧急停机按钮，操作	是

	照射。按钮或拉绳的安装，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。	台设置 1 个紧急停机按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止照射，使辐射工作人员处在调试铅房内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。紧急停机按钮拟带有标签，标明使用方法。	
	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。	本项目调试铅房内配置机械通风，有效通风换气次数不小于 3 次/小时。	是
	6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。（5.1.2 工作前检查项目应包括：g）机房内安装的固定辐射检测仪是否正常。）。	拟在调试铅房内设置 1 个固定式辐射探测报警装置，操作室内操作台上方拟设置对应报警灯及剂量率显示界面。	是
6.3 探伤设施的退役	当工业探伤设施不再使用，应实施退役程序。包括以下内容：c）X 射线发生器应处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。e）当所有辐射源从现场移走后，使用单位按监管机构要求办理相关手续。f）清除所有电离辐射警告标志和安全告知。	当调试铅房不再使用，建设单位会实施退役程序。包括以下内容：c）委托厂家将 X 射线发生器处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。e）当射线装置从现场移走后，会按监管机构要求办理相关手续。f）将清除所有电离辐射警告标志和安全告知。	是

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

三废的治理

本项目不产生放射性废物。在X射线管工作时，会产生少量的臭氧和氮氧化物。本项目单次开机时间和全年开机时间均较短，臭氧、氮氧化物的产生、排放量少。

本项目工业用X射线探伤装置不设置机械排风装置，运行过程产生的臭氧和氮氧化物，在开启工件门时进入设备调试间，通过设备调试间西侧排风排出厂房外，设备调试间西侧窗户设置排风口和排风风机，风机风量约1200立方米/小时。设备调试间去除调试铅房体积约为（设备调试间长8m、宽9m、高6m，其中调试铅房尺寸为：长4m、宽5m、高2.8m）376m^3，风机风量能够满足每小时有效通风换气次数不少于3次的需求。

本项目调试铅房单独设置机械排风装置，风机风量约200立方米/小时，调试铅房体积为56m^3，风机风量能够满足每小时有效通风换气次数不少于3次的需求。

本项目辐射工作人员在工作过程中产生的生活污水接入市政污水管网，生活垃圾委托环卫部门处理，不会对周围环境产生影响。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

企业租用中新苏州工业园区开发集团股份有限公司位于中国（江苏）自由贸易试验区苏州片区苏州工业园区兴浦路333号的现代工业坊6-1-1厂房开展核技术利用项目，调试铅房施工过程中产生的扬尘、噪声、废水、固废，主要是通过施工管理等措施来进行控制。具体施工流程产污环节如下所示：

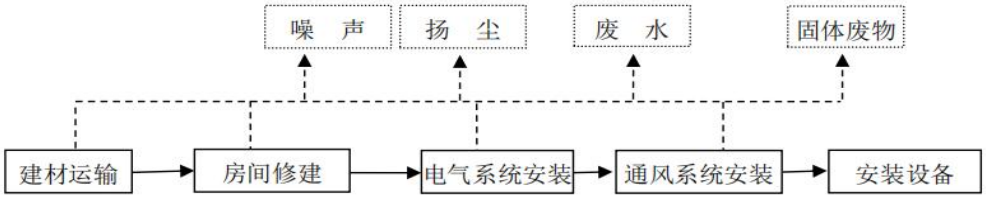

图 11-1　施工期工艺流程及产污环节图

（一）施工期扬尘

施工过程中会产生一定扬尘，属于无组织排放，针对上述大气污染拟采取以下措施：a、及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b、车辆在运输建筑材料时采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c、施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（二）施工期噪声

施工期噪声包括土建施工过程、通风及电气设备安装过程中机械产生的噪声，由于项目评价范围内均为企业，公众活动较少，施工噪声对周围环境的影响较小。在施工时拟严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）的标准，尽量使用噪声低的先进设备。

（三）施工期废水

施工期废水主要为施工人员的生活污水和施工废水。施工废水拟先经简易沉淀设施进行沉淀处理后，用于施工场地泼洒或水泥砂浆的配制；施工人员产生的生活污水拟通过厂区化粪池收集后排入污水管网。

（四）施工固废

项目施工期间，产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。该单位在施工期间认真搞好组织工作，文明施工，切实落实各种环保措施，将施工期的影响控制在公司内局部区域，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

1.运行期环境辐射水平估算

工业用X射线探伤装置及调试铅房工作时产生的X射线将对周围环境造成一定的辐射影响。

本项目辐射防护目标是符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的辐射防护三原则：即“实践的正当性，防护与安全的最优化和个人剂量限值”。

本项目辐射照射途径为外照射，即X射线装置产生的有用线束辐射、泄漏辐射及散射辐射，不涉及气态途径和液态途径。本项目工业用X射线探伤装置采用了自屏蔽结构，调试铅房通过铅板、人员门（工件门）对辐射进行防护，报告通过理论计算，预测当工业用X射线探伤装置及调试铅房按最大工况运行时，屏蔽体设计的屏蔽厚度是否能满足屏蔽要求。

本项目X射线探伤装置及铅房运行时，主射线固定竖直向上照射，130kV的X射线管的有用线束张角100°，180kV的X射线管的有用线束张角90°，100°的主射线范围更广，故本次均按100°进行预测，如图11-2~11-3所示，计算时保守将屏蔽体的四周、顶部屏蔽体按照有用线束照射进行预测计算，其底部按照非有用线束照射进行预测计算。

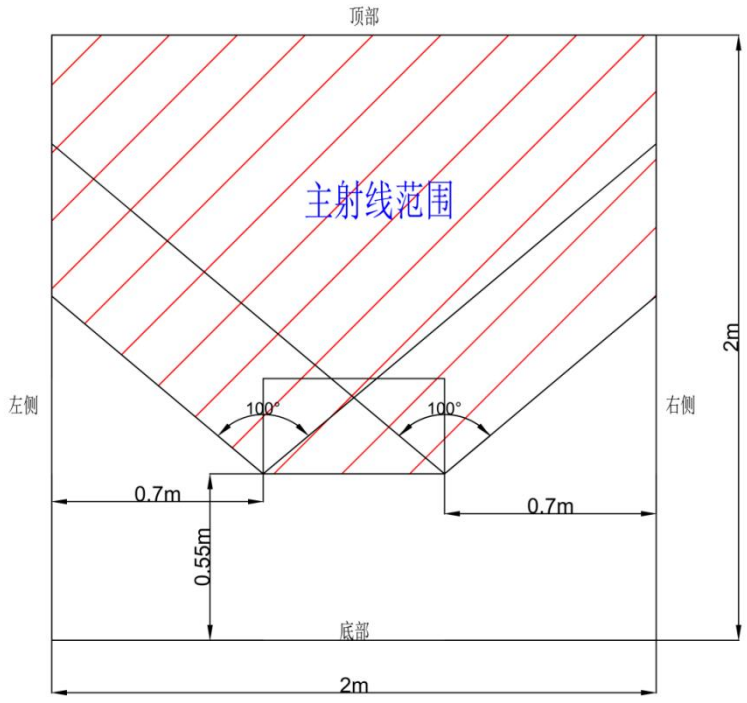

图 11-2　工业用 X 射线探伤装置（按 100°张角）主射线范围示意图

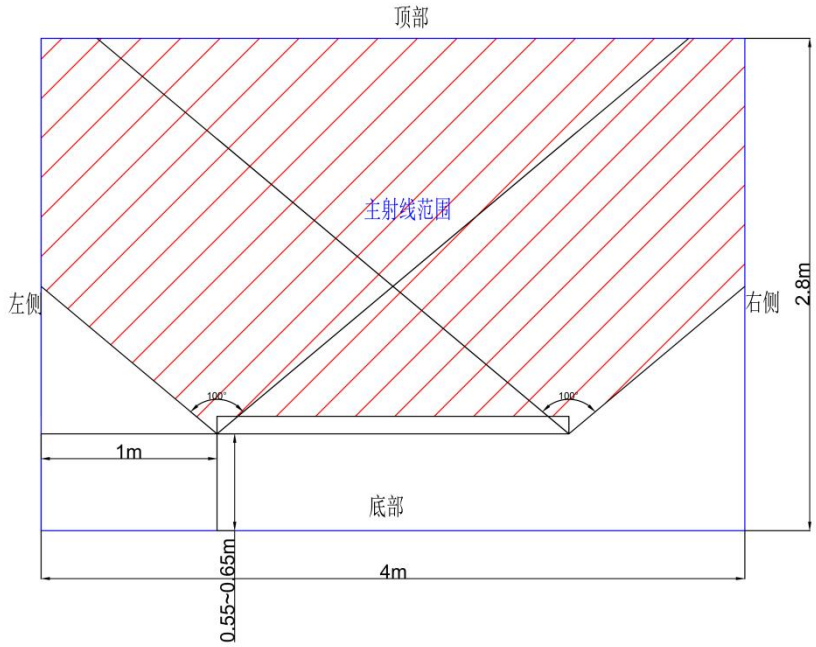

图 11-3　调试铅房（按 100°张角）主射线范围示意图

人员受照剂量率可根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的公式进行计算，各类周围剂量当量率计算方式如下：

（1）有用线束方向屏蔽效果预测

$$H=I•H_0•B/R^2$$

式中：H：关注点辐射剂量率，μSv/h；

I：工业用 X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA；

H_0：距辐射源点 1m 处输出量，μSv•m²/(mA•h），以 mSv•m²/（mA•min）为单位的值乘以 6*10⁴；根据厂家提供的资料，本项目所用 130kV 的 X 射线管距辐射源点（靶点）1m 处输出量 H_0=2.6μSv•m²/(mA•h），180kVX 射线管距辐射源点（靶点）1m 处输出量 H_0 为 3.5μSv•m²/(mA•h）。

R：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

其中：

$$B=10^{-X/TVL}$$

B：屏蔽透射因子；

X：屏蔽物质厚度，mm；

TVL：屏蔽物质的什值层厚度，查《辐射防护手册 第三分册》表3.19，采用内插法求得，在130kV管电压下，铅取0.91mm；查GBZ/T 250-2014中表B.2可知：150kV时铅取0.96mm；200kV时铅取1.4mm；使用插值法可知180kV时铅取1.22mm（注：此值

为X射线经强衰减后的值）。

（2）非有用线束方向屏蔽效果预测

①泄漏辐射

$$H=H_L \cdot B/R^2$$

式中：H：关注点泄漏辐射剂量率，μSv/h；

H_L：距靶点1m处X射线管泄漏辐射剂量率，在X射线管电压＜150kV时，取1×10^3μSv/h，在X射线管电压150≤kV≤200时，取2.5×10^3μSv/h；

R：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

其中：

$$B=10^{-X/TVL}$$

B：屏蔽透射因子；

X：屏蔽物质厚度，mm；

TVL：屏蔽物质的什值层厚度，查《辐射防护手册 第三分册》表3.19，采用内插法求得，在130kV管电压下，铅取0.91mm；150kV时铅取0.96mm；200kV时铅取1.4mm；使用插值法可知180kV时铅取1.22mm（注：此值为X射线经强衰减后的值）。

②散射辐射

$$H=(I \cdot H_0 \cdot B/Rs^{2)} \cdot (F \cdot \alpha/R_0^2)$$

式中：H：关注点散射辐射剂量率，μSv/h；

I：X射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA；

H_0：距辐射源点1m处输出量，μSv•m²/(mA•h)，保守同有用线束距辐射源点（靶点）1m处输出量计算；

Rs：散射体至关注点的距离，m；本项目取探伤工件为散射体；

F：R_0处的辐射野面积平方米（m^2），本项目放置检测工件的托盘尺寸为610mm×515mm，F=0.314m^2；本项目有用线束张角保守取100°，半张角为50°，辐射野由线束张角及源-工件距离R_0几何关系确定，计算公式$F=\pi(R_0\tan50°)^2$；X射线管可移动，靶点至工件距离R_0范围0.01～0.10 m；当R_0=0.10m时辐射野面积达到最大值，计算得F≈0.0446m^2，该值小于托盘面积0.610m×0.515m=0.314m^2，因此实际辐射野面积取0.0446m^2。

将$F=\pi(R_0\tan50°)^2$代入散射公式后，R_0^2相互抵消，在0.01～0.10 m范围内，X-射线源移动不会改变工件散射辐射剂量；

$$H=(I\cdot H_0\cdot B/Rs^{2)}\cdot(\pi\cdot\alpha\cdot\tan 50^{\circ 2})$$

α：散射因子，入射辐射被单位面积（1m²）散射体散射到距其1m处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比，取值参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中的附录B表B.3，经查，本项目$\alpha=1.6\times10^{-3}\times10000/400=0.04$；

R_0：辐射源点（靶点）至探伤工件的距离，本项目辐射源点（X射线管）位置可移动，探伤工件位置固定。探伤工件至辐射源点距离约0.01~0.1m。

$$B=10^{-X/TVL}$$

B：屏蔽透射因子；

X：屏蔽物质厚度，mm；

TVL：屏蔽物质的什值层厚度，当原始X射线在130kV管电压下时，90°散射辐射最高能量取104kV，查《辐射防护手册 第三分册》表3.19，采用内插法求得，铅取0.85mm；当原始X射线150≤kV≤200时，90°散射辐射最高能量取150kV，查GBZ/T250-2014中表2和表B.2，铅的什值层厚度取0.96mm（注：此值为X射线经强衰减后的值）。

本项目屏蔽计算点位见图11-4~图11-7。

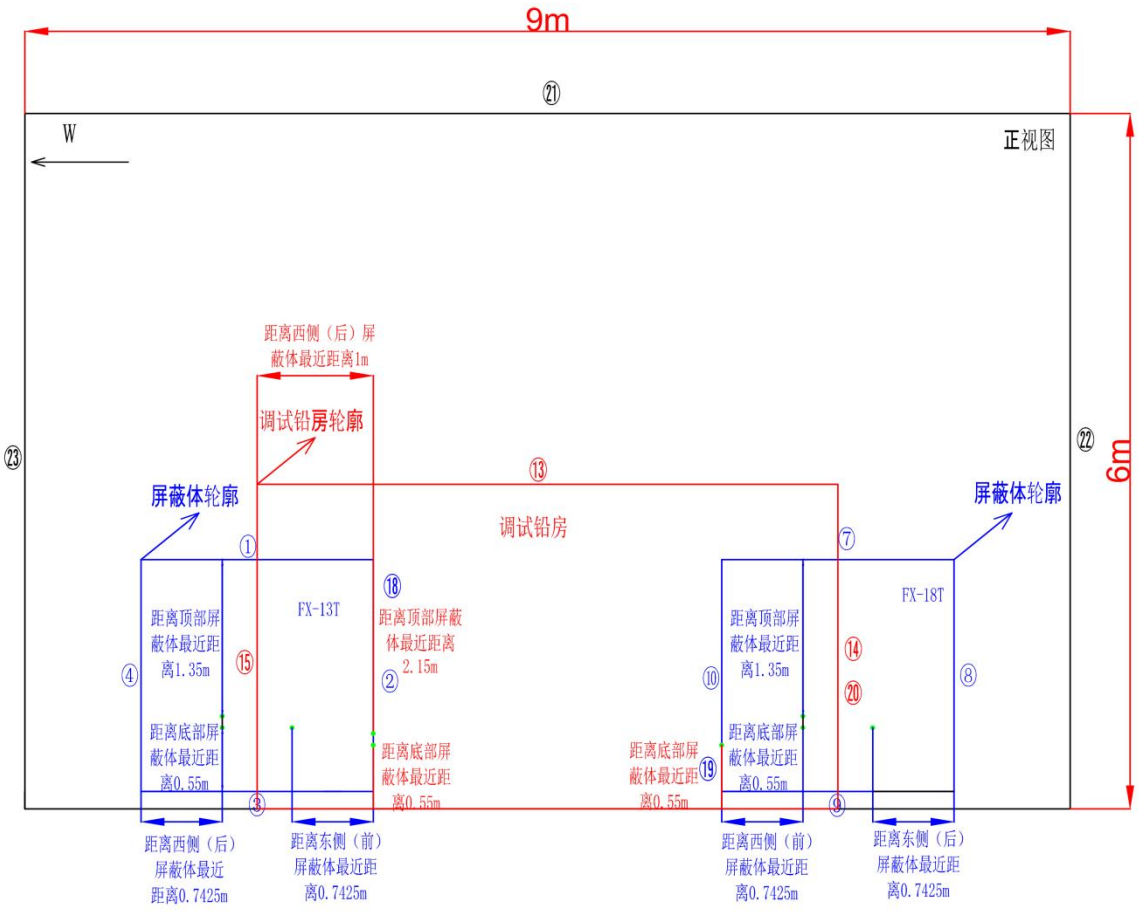

图 11-4　本项目工业用 X 射线探伤装置及调试铅房计算点位分布示意图（正视图）

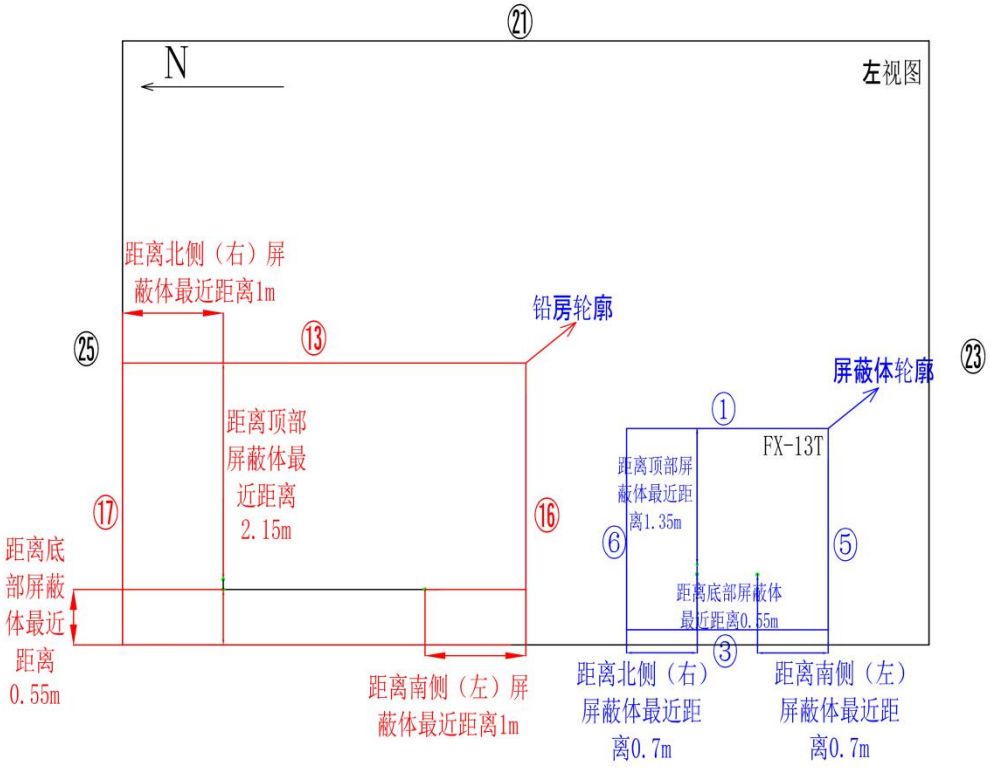

图 11-5　本项目工业用 X 射线探伤装置及调试铅房计算点位分布示意图（左视图）

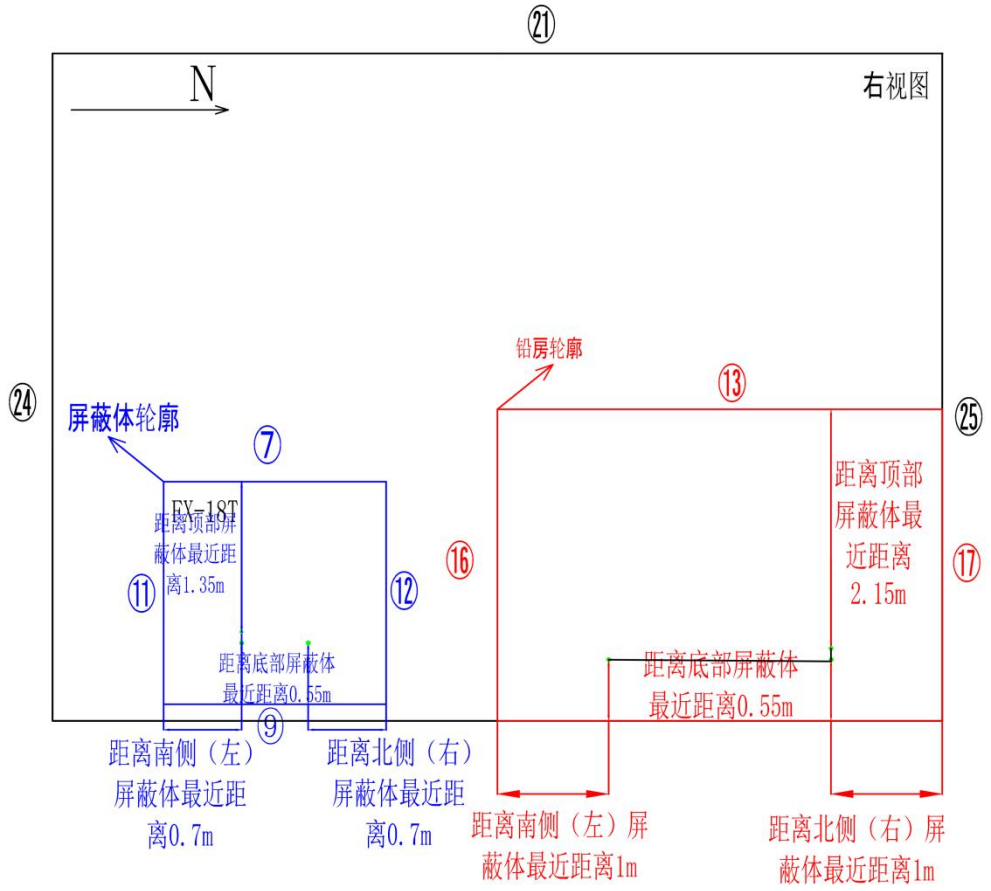

图 11-6　本项目工业用 X 射线探伤装置及调试铅房计算点位分布示意图（右视图）

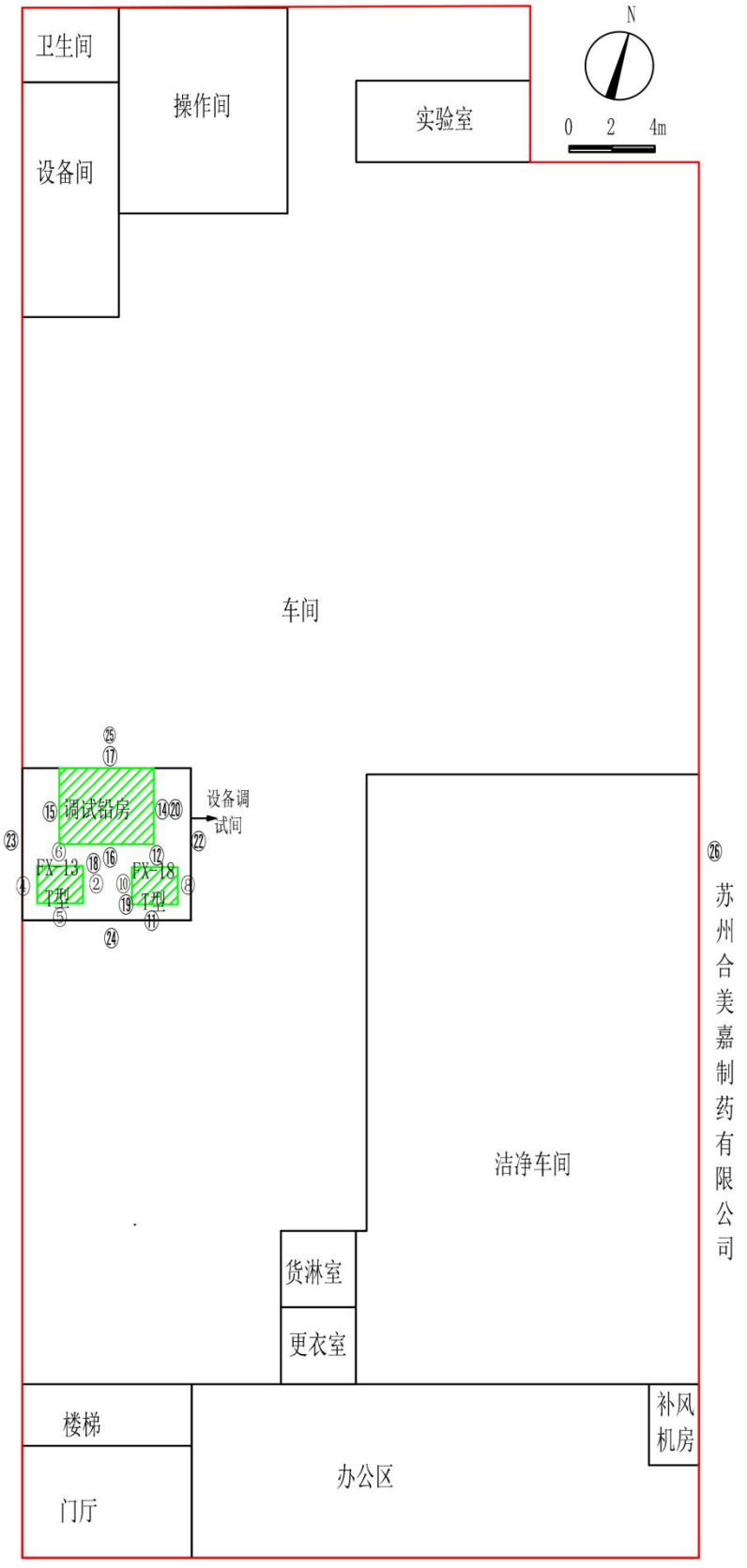

图11-7　本项目设备调试间周围计算点位分布示意图

工业用X射线探伤装置周围的辐射环境剂量率计算结果详见表11-1~表11-3。

表11-1　有用线束方向屏蔽体屏蔽效果预测表

序号	关注点	设计厚度	I (mA)	H_0 μSv·m²/(mA.h)	B	R*(m)	H (μSv/h)	剂量率参考控制水平（μSv/h）	评价
1	FX-13T型屏蔽体顶部	5.5mm铅	0.3	2.6	9.0E-07	1.65	2.59E-07	2.5	满足
2	FX-13T型屏蔽体东侧	5.5mm铅	0.3	2.6	9.0E-07	1.0425	6.49E-07	2.5	满足
4	FX-13T型屏蔽体西侧	5.5mm铅	0.3	2.6	9.0E-07	1.0425	6.49E-07	2.5	满足
5	FX-13T型屏蔽体南侧	5.5mm铅	0.3	2.6	9.0E-07	1	7.05E-07	2.5	满足
6	FX-13T型屏蔽体北侧	5.5mm铅	0.3	2.6	9.0E-07	1	7.05E-07	2.5	满足
7	FX-18T型屏蔽体顶部	10mm铅	0.5	3.5	6.4E-09	1.65	4.09E-09	2.5	满足
8	FX-18T型屏蔽体东侧	10mm铅	0.5	3.5	6.4E-09	1.0425	1.02E-08	2.5	满足
10	FX-18T型屏蔽体西侧	10mm铅	0.5	3.5	6.4E-09	1.0425	1.02E-08	2.5	满足
11	FX-18T型屏蔽体南侧	10mm铅	0.5	3.5	6.4E-09	1	1.11E-08	2.5	满足
12	FX-18T型屏蔽体北侧	10mm铅	0.5	3.5	6.4E-09	1	1.11E-08	2.5	满足
13	调试铅房屏蔽体顶部	10mm铅	0.5	3.5	6.4E-09	2.45	1.85E-09	2.5	满足
14	调试铅房屏蔽体东侧	10mm铅	0.5	3.5	6.4E-09	1.3	6.58E-09	2.5	满足
15	调试铅房屏蔽体西侧	10mm铅	0.5	3.5	6.4E-09	1.3	6.58E-09	2.5	满足
16	调试铅房屏蔽体南侧	10mm铅	0.5	3.5	6.4E-09	1.3	6.58E-09	2.5	满足
17	调试铅房屏蔽体北侧	10mm铅	0.5	3.5	6.4E-09	1.3	6.58E-09	2.5	满足

***注：结合图11-4~图11-7，取装置表面外0.3m为关注点。**

调试铅房搭载 130kV 或 180kV 的 X 射线管，本次仅预测 180kV 的剂量率。

表11-2　非有用线束方向屏蔽墙屏蔽效果预测表（FX-18T型）

关注点		9	取值
			屏蔽体底部
屏蔽材料			10mm铅
泄漏辐射	B		$6.4*10^{-9}$
	$\dot{H}_L$(μSv/h)		2.5×10^{3}
	R(m)		0.85
	$\dot{H}$(μSv/h)		2.20E-05
散射辐射	散射后能量对应kV值		150kV
	B		3.8×10^{-11}
	I(mA)		0.5
	H_0(μSv·m²/(mA·h))		3.5
	α		0.04
	R_s(m)		0.86
	$\dot{H}$(μSv/h)		1.62E-11
泄漏辐射和散射辐射的复合作用（μSv/h）			2.2E-05
剂量率参考控制水平（μSv/h）			2.5
评价			满足

注：结合图11-4~图11-7取装置表面外0.3m为关注点。

表 11-3　非有用线束方向屏蔽墙屏蔽效果预测表（FX-13T 型）

关注点		3	取值
			屏蔽体底部
屏蔽材料			5.5mm铅
泄漏辐射	B		$9.0*10^{-7}$
	$\dot{H}_L$(μSv/h)		1×10^{3}
	R(m)		0.85
	$\dot{H}$(μSv/h)		1.25E-03
散射辐射	散射后能量对应kV值		104kV
	B		$3.4*10^{-7}$
	I(mA)		0.3
	H_0(μSv·m²/(mA·h))		2.6
	α		0.04
	R_s(m)		0.86
	$\dot{H}$(μSv/h)		6.36E-08
泄漏辐射和散射辐射的复合作用（μSv/h）			1.25E-03
剂量率参考控制水平（μSv/h）			2.5
评价			满足

注：结合图11-4~图11-7取装置表面外0.3m为关注点。

根据上述理论计算，在最大工况下，屏蔽体周围30cm处辐射剂量率均小于2.5μSv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）及《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中的限值要求。

2、天空反散射辐射影响分析

根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中“3.1.2b)1）穿过探伤室顶的辐射与室顶上方空气作用产生的散射辐射对探伤室外地面附近公众的照射。该项辐射和穿出探伤室墙的辐射在相应关注点的剂量率总和，应按3.1.1c）的剂量率参考控制水平Hc（μSv/h）加以控制。”

根据表11-1，本项目FX-13T型、FX-18T型工业用探伤装置及调试铅房顶部屏蔽体外30cm处辐射剂量率分别为2.59E-07μSv/h、4.09E-09μSv/h、1.85E-09μSv/h，均小于2.5μSv/h，经天空反散射到达地面辐射剂量率小于2.5μSv/h，能够满足《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中辐射屏蔽剂量率参考控制水平要求，因此不考虑天空反散射。

产生的X射线穿透设备调试间及调试铅房地面后，会与下方土壤、建筑结构等介质发生相互作用，产生底面散射辐射。本项目中，FX-13T型、FX-18T型工业用探伤装置及调试铅房在正常工作工况下，经地面屏蔽后，地面散射辐射在关注点位的剂量率水平极低。结合现有屏蔽设计及检测数据，底面散射辐射剂量率远低于规范中剂量率参考控制水平H_C（2.5μSv/h），不会对下方区域人员造成额外辐射影响，满足辐射防护要求，因此可不单独考虑底面散射辐射的屏蔽设计与剂量约束。

3、电缆口、通风口、防护门辐射影响分析

本项目工业用X射线探伤装置电线电缆的开孔位置位于装置的右下角，该位置为X射线管主射方向的反向，且距离X射线管距离较远。线缆穿过屏蔽体后，在穿孔位置的屏蔽体外采用“L”形的铅罩进行屏蔽补偿。穿孔处的空隙填充铅橡胶进行补偿。利用散射降低电缆管道口的辐射水平，X射线至少经过三次散射才能到达管道口，根据《辐射防护导论》P189“如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全。这时，迷道口也只需采用普通门”，本项目X射线检测装置电缆管道设计能够满足辐射防护要求。

本项目调试铅房的电线电缆的开孔位置位于北侧墙与操作室之间的下方，该位置为X射线管主射方向的反向，且距离X射线管距离较远。采用U型管设计，利用散射降

低管道口的辐射水平，避免直接照射电缆口，X射线进入电缆管道后散射示意图如图11-9。X射线进入电缆管道需至少经过三次散射才能到达管道口。根据《辐射防护导论》P189“如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全。这时，迷道口也只需采用普通门”，本项目电缆管道设计能够满足辐射防护要求。

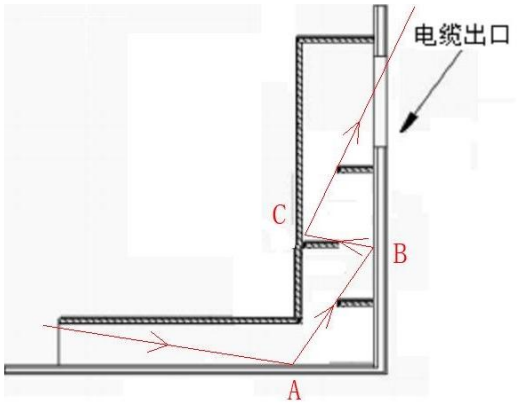

图 11-8　工业用 X 射线探伤装置电缆口防护罩结构散射示意图

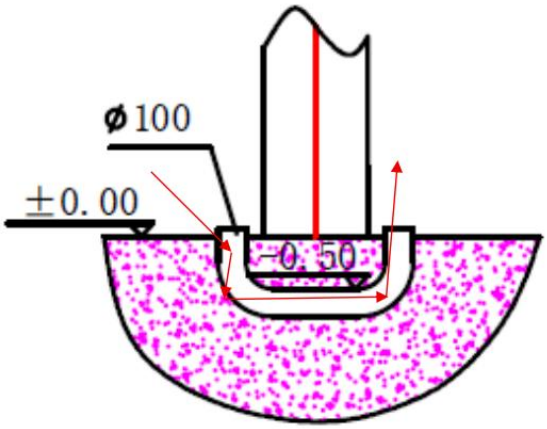

图 11-9　调试铅房电缆口防护罩结构散射示意图

本项目调试铅房顶部设有通风装置及防护罩，防护罩使用倒U字形防护，材料为13mm厚铅板。

根据表11-1可知，调试铅房顶部外表面30cm处辐射剂量率最大为1.85E-09μSv/h，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）及《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中“关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于2.5μSv/h”的要求。

利用散射降低电缆管道口的辐射水平，X射线至少经过三次散射才能到达管道口，根据《辐射防护导论》第189页“实例证明，如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全”。本项目调试铅房通风口处铅防护罩采用

迷宫式设计，X射线至少经过3次散射才能到达防护罩外，可确保通风口不破坏调试铅房的整体防护效果。射线在排风口中的散射路径示意图如下：

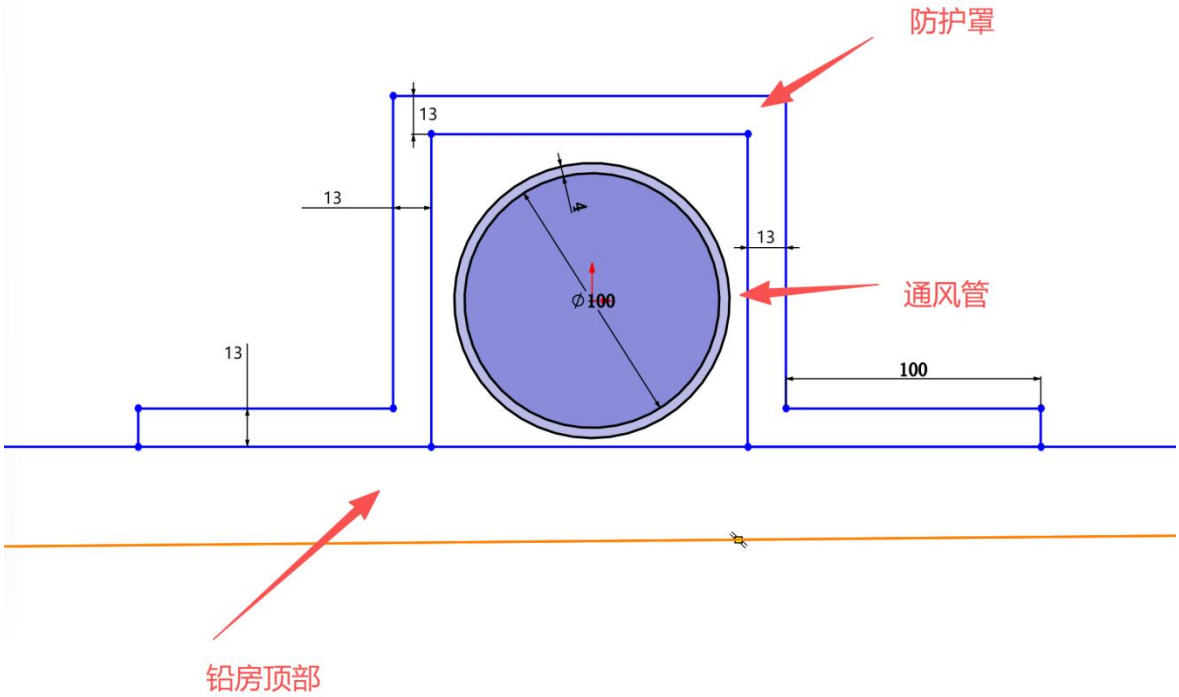

图 11-10　调试铅房通风口防护罩结构散射示意图

本项目工业用X射线探伤装置的工件门、检修门均为对开式防护门，两种型号设备分别采用5.5mm、10mm铅板，防护门的门缝处做成了阶梯状的拼接，屏蔽体与门之间也做了“之”字形的拼接，可以有效防止射线的泄漏。工件门的搭接方式是100mm重叠，检修门的搭接方式是50mm重叠，重叠位置间隙为0~1mm，FX-13T型工业用X射线探伤装置“之”字形拼接的厚度和宽度分别为：5.5mm、50mm，FX-18T型工业用X射线探伤装置“之”字形拼接的厚度和宽度分别为：10mm、100mm，防护门与屏蔽体搭接宽度不小于铅板厚度的10倍。

调试铅房的人员门（工件门）为对开式防护门，采用10mm铅板，防护门的门缝处做成了阶梯状的拼接，屏蔽体与门之间也做了“之”字形的拼接，可以有效防止射线的泄漏。搭接方式是100mm重叠，重叠位置间隙为0~1mm，“之”字形拼接的厚度和宽度分别为：13mm、100mm，防护门与屏蔽体搭接宽度不小于铅板厚度的10倍。

射线经过多次散射后才能出门缝隙，可推断防护门缝隙处的辐射剂量率能够满足标准要求。

上述补偿措施，能够最大程度上避免射线泄漏，降低电缆口的辐射水平。

4、剂量估算

本项目除屏蔽体30cmm以外的关注点位辐射剂量率根据剂量率与距离的平方成反比公式进行计算：

$$\frac{H_1}{H_2}=\frac{R_2^2}{R_1^2}$$

式中：H_1—距射线源点R_1处的剂量率，μSv/h；

H_2—距射线源R_2处的剂量率，μSv/h；

R_1—R_1点距射线源的距离，m；

R_2—R_2点距射线源的距离，m。

表11-4　关注点处剂量率预测表

关注点位	H_1(μSv/h)		
点位19：FX-18T型工业X射线装置操作位	屏蔽体西侧		1.02E-08
点位20：调试铅房操作位	屏蔽体东侧		6.58E-09
点位18：FX-13T型工业X射线装置操作位	屏蔽体东侧		6.49E-07
点位21：设备调试间顶部外墙	屏蔽体顶部	FX-18T型测试时	4.09E-09
		FX-13T型测试时	2.59E-07
		调试铅房使用时	1.85E-09
点位22：设备调试间东侧外墙	屏蔽体东侧	FX-18T型测试时	1.02E-08
		FX-13T型测试时	6.49E-07
		调试铅房使用时	6.58E-09
点位23：设备调试间南侧外墙	屏蔽体南侧	FX-18T型测试时	1.11E-08
		FX-13T型测试时	7.05E-07
		调试铅房使用时	6.58E-09
点位24：设备调试间西侧外墙	屏蔽体西侧	FX-18T型测试时	1.02E-08
		FX-13T型测试时	6.49E-07
		调试铅房使用时	6.58E-09
点位25：设备调试间北侧外墙	屏蔽体北侧	FX-18T型测试时	1.11E-08
		FX-13T型测试时	7.05E-07
		调试铅房使用时	6.58E-09
点位26：东侧苏州合美嘉制药有限公司	屏蔽体东侧	FX-18T型测试时	1.02E-08
		FX-13T型测试时	6.49E-07
		调试铅房使用时	6.58E-09

R1处剂量率H1已满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中关于“剂量限值”的要求，故保守估算，以H1的值代替H2进行后续计算。

参考点年剂量水平估算模式：

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \text{……..(4)}$$

式中：

$\dot{H}_{c,d}$：参考点处辐射剂量率，mSv/h或μSv/h；

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。

t：探伤装置周照射时间，h/周；本项目设备出厂前周照射时间t=0.5h/周；调试铅房周照射时间t=0.125h/周；本项目设备出厂后周照射时间t=1.5h/周。

（1）设备出厂前调试过程人员受照剂量估算

人员受照剂量估算结果见表11-5。

表11-5　设备出厂前人员周受照剂量评价结果

点位	位置	辐射剂量率μSv/h	人员	居留因子T	使用因子U	周照射时间h	周剂量μSv/周	参考控制水平（μSv/周）
2	FX-13T型屏蔽体东侧	6.49E-07	职业人员	1	1/4	0.25	4.06E-08	放射工作场所：100；公众场所：5
4	FX-13T型屏蔽体西侧	6.49E-07	职业人员	1	1/4	0.25	4.06E-08	
5	FX-13T型屏蔽体南侧	7.05E-07	职业人员	1	1/4	0.25	4.41E-08	
6	FX-13T型屏蔽体北侧	7.05E-07	职业人员	1	1/4	0.25	4.41E-08	
8	FX-18T型屏蔽体东侧	1.02E-08	职业人员	1	1/4	0.25	6.38E-10	
10	FX-18T型屏蔽体西侧	1.02E-08	职业人员	1	1/4	0.25	6.38E-10	
11	FX-18T型屏蔽体南侧	1.11E-08	职业人员	1	1/4	0.25	6.94E-10	
12	FX-18T型屏蔽体北侧	1.11E-08	职业人员	1	1/4	0.25	6.94E-10	
14	调试铅房屏蔽体东侧	6.58E-09	职业人员	1	1/4	0.125	2.06E-10	
15	调试铅房屏蔽体西侧	6.58E-09	职业人员	1	1/4	0.125	2.06E-10	
16	调试铅房屏蔽体南侧	6.58E-09	职业人员	1	1/4	0.125	2.06E-10	

17	调试铅房屏蔽体北侧	6.58E-09	职业人员	1	1/4	0.125	2.06E-10	
18	FX-13T型工业X射线装置操作	6.49E-07	职业人员	1	1	0.25	1.62E-07	
19	FX-18T型工业X射线装置操作位	1.02E-08	职业人员	1	1	0.25	2.55E-09	
20	调试铅房操作位	6.58E-09	职业人员	1	1	0.125	8.23E-10	
22	设备调试间东侧外墙	6.49E-07	公众	1	1	0.625	4.06E-07	
23	设备调试间南侧外墙	7.05E-07	公众	1	1	0.625	4.41E-07	
24	设备调试间西侧外墙	6.49E-07	公众	1	1	0.625	4.06E-07	
25	设备调试间北侧外墙	7.05E-07	公众	1	1	0.625	4.41E-07	
26	东侧苏州合美嘉制药有限公司	6.49E-07	公众	1	1	0.625	4.06E-07	

注：每台设备每周开机时间不超过0.25h，每周调试2台设备，年开机时间不超过25h（两种型号设备各占一半时间）；调试铅房每月运行两次，每次15分钟；本项目位于一楼，无地下建筑，屏蔽体底部人员无法到达，因此不计算屏蔽体底部人员受照射剂量。点位23~26均在FX-13T型测试时辐射剂量率较大，故选取FX-13T型测试时数据进行预测

表11-6　设备出厂前人员年受照剂量评价结果

点位	位置	辐射剂量率μSv/h	人员	居留因子T	使用因子U	年照射时间h	年受照剂量mSv/a	剂量约束值mSv/a
2	FX-13T型屏蔽体东侧	6.49E-07	职业人员	1	1/4	12.5	2.03E-09	职业人员：5；公众：0.1
4	FX-13T型屏蔽体西侧	6.49E-07	职业人员	1	1/4	12.5	2.03E-09	
5	FX-13T型屏蔽体南侧	7.05E-07	职业人员	1	1/4	12.5	2.20E-09	
6	FX-13T型屏蔽体北侧	7.05E-07	职业人员	1	1/4	12.5	2.20E-09	
8	FX-18T型屏蔽体东侧	1.02E-08	职业人员	1	1/4	12.5	3.19E-11	
10	FX-18T型屏蔽体西侧	1.02E-08	职业人员	1	1/4	12.5	3.19E-11	
11	FX-18T型屏蔽体南侧	1.11E-08	职业人员	1	1/4	12.5	3.47E-11	
12	FX-18T型屏蔽体北侧	1.11E-08	职业人员	1	1/4	12.5	3.47E-11	

14	调试铅房屏蔽体东侧	6.58E-09	职业人员	1	1/4	6	9.87E-12	
15	调试铅房屏蔽体西侧	6.58E-09	职业人员	1	1/4	6	9.87E-12	
16	调试铅房屏蔽体南侧	6.58E-09	职业人员	1	1/4	6	9.87E-12	
17	调试铅房屏蔽体北侧	6.58E-09	职业人员	1	1/4	6	9.87E-12	
18	FX-13T型工业X射线装置操作	6.49E-07	职业人员	1	1	12.5	8.11E-09	
19	FX-18T型工业X射线装置操作位	1.02E-08	职业人员	1	1	12.5	1.28E-10	
20	调试铅房操作位	6.58E-09	职业人员	1	1	6	3.95E-11	
22	设备调试间东侧外墙	6.49E-07	公众	1	1	31	2.01E-08	
23	设备调试间南侧外墙	7.05E-07	公众	1	1	31	2.19E-08	
24	设备调试间西侧外墙	6.49E-07	公众	1	1	31	2.01E-08	
25	设备调试间北侧外墙	7.05E-07	公众	1	1	31	2.19E-08	
26	东侧苏州合美嘉制药有限公司	6.49E-07	公众	1	1	31	2.01E-08	

据表11-5、表11-6结果，工业用X射线探伤装置及调试铅房运行后，职业人员每周受照的剂量最大值为1.62E-07μSv/周，公众每周受照的剂量最大值为4.41E-07μSv/周，低于本项目参考控制水平：职业人员100μSv/周，公众5μSv/周。

职业人员在设备出厂前调试过程年最大受照剂量为8.11E-08mSv/a，公众在设备出厂前调试过程年最大受照剂量为2.19E-08mSv/a，并低于本项目剂量约束值：职业人员5mSv/a，公众0.1mSv/a。根据上述结果，在距离本项目工业用X射线探伤装置及调试铅房更远距离处的公众，其受照剂量经过进一步的距离衰减，远低于本项目剂量约束值。

因此，本项目工业用X射线探伤装置及调试铅房的屏蔽满足辐射防护要求。

（2）设备出厂后人员受照剂量估算

设备出厂后调试、演示、培训、维护、维修过程由本项目生产调试设备的辐射工

作人员负责，每台设备曝光时间0.75h，周曝光时间1.5h，年曝光时间75h。X射线开启时，人员位于操作位，由于客户厂内操作位距离屏蔽体距离与企业厂内基本一致，辐射剂量率参考企业厂内计算结果。

表11-7　设备出厂后调试演示及检维修过程人员受照剂量计算结果

点位	位置	辐射剂量率 μSv/h	人员	居留因子 T	使用因子 U	周剂量（μSv/周）	年受照剂量（mSv/a）
19	FX-18T型工业X射线装置操作位	1.02E-08	职业人员	1	1	1.53E-08	7.65E-10
18	FX-13T型工业X射线装置操作位	6.49E-07	职业人员	1	1	9.74E-07	4.87E-08
合计						9.89E-07	4.94E-08

根据表11-8结果，职业人员在设备出厂后调试年受照剂量约4.94E-08mSv/a，低于本项目参考控制水平：职业人员5mSv/a。职业人员每周受照的剂量为9.89E-07μSv/周，低于本项目参考控制水平：职业人员100μSv/周）。

本项目辐射工作人员分为厂内调试人员及厂外调试人员，不同时担任企业厂内和客户厂内调试工作，因此不叠加设备出厂前、后的辐射工作人员周受照剂量。本项目设备出厂前调试过程人员主要位于操作位，厂内操作位职业人员年受照剂量为2.19E-08mSv/a。本项目设备出厂后调试过程受到的年受照剂量4.94E-08mSv/a，低于本项目参考控制水平：职业人员5mSv/a。

因此，本项目工业用X射线探伤装置及调试铅房的屏蔽满足辐射防护要求。

5.放射性固体废物和流出物排放对环境的影响

工业用X射线探伤装置及调试铅房内产生的臭氧和氮氧化物的量较少，工业用X射线探伤装置开启工件门时废气排出至设备调试间，通过设备调试间排风扇将少量臭氧和氮氧化物排至厂房外。调试铅房单独设置机械排风装置，将少量臭氧和氮氧化物排至厂房外。臭氧50分钟后在大气中自然分解，对周围环境影响很小。

本项目所有设备均通过显示器成像，不洗片，无洗片废水。

本项目辐射工作人员在工作过程中将产生生活污水和生活垃圾。生活污水接入市政污水管网，生活垃圾委托环卫部门处理。辐射工作人员产生的生活污水和生活垃圾不会对周围环境产生影响。

事故影响分析

1、潜在事故分析

①工业用X射线探伤装置及调试铅房的密封性受到破坏，造成X射线泄漏事故，

对辐射工作人员和公众受到意外照射；

②工业用X射线探伤装置及调试铅房门-机连联锁失效，设备防护门（工件门、检修门）未关闭就对工件进行曝光，致使人员受到意外照射。

③工业用X射线探伤装置及调试铅房进行检修、维修发生误照射对周围人员造成意外照射。

④调试铅房门-机连联锁失效，工作人员误入调试铅房。

⑤调试铅房操作人员未发现调试铅房内仍有人员滞留即开始调试工作，致使人员受到意外照射。

2、事故处理方法及预防措施

工业用X射线探伤装置：

①严格执行辐射安全管理制度，按照操作规程工作。每次在调试功能、参数前，检查确认门-机联锁、急停开关、工作状态指示灯等各项安全措施的有效性，严禁在联锁装置等安全设施故障的情况下开机操作。加强辐射工作人员的培训，严格执行安全操作规程。

②协助专业人员对受照人员进行受照剂量估算并协助进行身体检查和医学观察。

③辐射工作人员注意佩戴好个人剂量计并携带个人剂量报警仪等监测仪表。若辐射工作人员按照规定在操作时携带有效的个人剂量报警仪，当报警仪发出报警声时，人员可立即知晓情况并按下急停开关，设备可停止出束，此时人员不会受到大剂量照射。

④每台工业用X射线探伤装置开机作业需由2人或以上共同操作，开机状态下人员不得脱岗。

⑤检修人员应拔出操作台的开机钥匙或者切断设备的电源，防止设备意外启动，待检修完成才能接通电源试运行，试运行正常才能正式投用。

⑥针对可能发生的辐射安全事故，制定切实可行的辐射事故应急预案，以能够有序应对事故。公司应完善应急计划演练，配备应急物品，通过演练确定应急措施是否可行。

⑦公司应在今后的工作实践中不断完善辐射安全制度，提高制度的可操作性。

调试铅房：

1）误入人员可按下室内紧急停机按钮并通过紧急开门按钮逃离调试铅房，辐射

工作人员对于人员误入调试铅房应及时按下急停按钮，停止曝光，核算人员误照射剂量，并及时到专业医院就诊检查治疗。

2）辐射工作人员应经常检查门机联锁装置，确保完好。确保在人员门（工件门）关闭后，X射线管才能进行照射；定期认真地对本单位射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定各项管理制度并严格按要求执行，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

3）辐射工作人员应定期使用辐射巡检仪进行巡检，发现异常情况应立即停止出束，并检查排除异常，并做好记录。

4）辐射工作人员在进入调试铅房时，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。

5）对辐射工作人员造成意外照射，应及时检测辐射工作人员所佩戴的个人剂量计，剂量超标的人员应及时调岗，并及时到专业医院就诊检查治疗。

6）建设单位需制定《调试铅房操作规程》。凡涉及对调试铅房进行操作，必须按操作规程执行，作业时，至少有2名操作人员同时在场，操作人员按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置。

7）定期对调试铅房进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期进行更换。

8）辐射工作人员通过考核后方能从事调试作业，同时定期进行辐射安全与防护培训，提升安全与防护意识。

9）公司在日常工作中应加强辐射安全管理，定期对调试铅房进行检查、维护，发现问题及时维修；严格要求辐射工作人员按照操作规程进行调试操作，每次工作检查门机联锁、急停按钮等安全防护措施的有效性，定期检测调试铅房的周围辐射水平，确保安全措施有效运行；同时针对可能发生的辐射安全事故，完善切实可行的辐射事故应急预案，以能够有序应对事故。此外，公司应完善应急计划演练，配备应急物品，通过演练确定应急措施是否可行。同时公司应在今后的工作实践中不断完善辐射安全制度，提高制度的可操作性。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《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》的要求，使用II类射线装置的单位，应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，并以文件形式明确管理人员职责。辐射工作人员及管理人员必须通过辐射防护和安全专业知识及相关法律法规的考核，管理人员考核类型为“辐射安全管理”，辐射工作人员考核类型为“X射线探伤”。

苏州复力克智能制造有限公司将成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。

辐射安全与环境保护管理机构主要职责应包括：

（1）全面负责公司辐射安全管理工作；

（2）认真学习贯彻国家相关法规、标准，结合公司实际情况制定安全规章制度并检查监督实施；

（3）制定公司员工培训计划和培训方案，负责公司员工辐射防护知识的培训和考核；

（4）建立培训档案，完善培训记录；

（5）组织辐射工作人员的健康体检并做好体检资料的档案管理工作；

（6）编制辐射事故应急预案，并妥善处理有可能发生的辐射事故；

（7）负责审核用户单位在辐射安全许可方面的资质，避免将产品销售给不具备资质的用户单位使用；

（8）定期向生态环境主管部门报告安全工作，接受生态环境部门的监督和检查。

公司计划为本项目配备4名辐射工作人员及1名辐射防护负责人，辐射防护负责人仅负责辐射安全管理，不参与设备调试工作。公司将组织该5名人员在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）报名并参加考核，通过考核后，方能满足辐射工作人员岗位要求。公司后期若新增辐射工作人员，则新增工作人员也应参加辐射安全和防护专业知识的培训，考核合格后方可上岗。企业应注意：关于辐射工作人员上岗资格的考核，根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》要求，进行网上报名时，操作人员选择“X射线探伤”科目，辐射

防护负责人应选择“辐射安全管理”科目进行考核，如辐射防护负责人参与调试操作，还应同时报名“X射线探伤”科目进行考核。

辐射安全管理规章制度

本项目为新建项目，苏州复力克智能制造有限公司应根据《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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的相关要求制定辐射安全管理制度，如《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》、《台账管理制度》、《环境监测方案》及《辐射事故应急预案》、《监测异常报告制度》等，并在以后的实际工作中不断对各项管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

现对公司应制定的辐射安全管理规章制度提出相应的建议和要求：

①操作规程：明确辐射工作人员的资质条件要求、工业用X射线探伤装置及调试铅房的操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施，重点是明确工业用X射线探伤装置及调试铅房操作步骤以及作业过程中必须采取的辐射安全措施。

②岗位职责：明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

③辐射防护和安全保卫制度：根据企业的具体情况完善辐射防护和安全保卫制度，重点是工业用X射线探伤装置及调试铅房的运行和辐射安全管理。

④设备维修制度：明确工业用X射线探伤装置及调试铅房、辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保工业用X射线探伤装置及调试铅房、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

⑤人员培训计划：制定人员培训计划，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告2019年第57号）：有相关培训需求的人员可通过我部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（以下简称培训平台，网址：http：//fushe.mee.gov.cn）免费学习相关知识并通过考核。

⑥监测方案：制定辐射工作人员个人剂量监测方案和辐射环境监测方案。监测方案中明确监测项目和频次。应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环

境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第18号），生产、销售、使用射线装置的单位，应当对本单位的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日前上传上一年度的评估报告至全国核技术利用辐射安全管理系统。年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

监测异常报告制度：明确按照相关标准要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测；当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境部门报告；当发现个人剂量监测结果异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。

⑦台账管理制度：对本项目工业用X射线探伤装置的生产、销售情况及调试铅房的调试情况进行登记，并长期保存。主要内容有生产台数、X射线管型号、管电压、管电流、过滤条件、最大功率、屏蔽体参数、调试工况、调试结果；销售时间、销售数量、使用单位名称、记录人等。

⑧事故应急预案：依据《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》的要求完善事故应急预案。

应急预案内容包括：应急机构和职责分工、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备、应急演习计划；辐射事故分级与应急响应措施、辐射事故调查、报告和处理程序；应急领导小组成员姓名及联络电话、当地的救援报警电话。

当发生事故时，公司应当立即启动辐射事故应急方案，采取有效防范措施，及时制止事故的恶化，并在1小时内向当地生态环境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健康部门报告。

⑨钥匙保管和使用制度：制定操作台钥匙保管和使用制度，明确钥匙均由专人保管。非辐射工作人员无法进入设备调试间，无法操作设备。

⑩门禁管理制度：设备调试间共有2个出入门（分别处于南侧和北侧），均设置门禁系统，门禁由专人保管，非辐射工作人员无法进入。

⑪检测仪器维保制度：个人剂量报警仪、便携式X-γ剂量率仪应定期维护保养和校准，确保检测设备有效性。

⑫根据《工作场所职业病危害警示标识》（GBZ158-2003），规范设置危害警示标识、警示线、警示语句、职业病危害工作场所警示标识、设备警示标识、产品包装警示标识等。在设备调试间外的周围地面处增加红色警示线，警告无关人员勿靠近。

⑬工业用X射线探伤装置出厂管理制度：公司生产的每台工业用X射线探伤装置都需经过剂量率检测，剂量率检测时重点关注射线正常出束时门缝及各侧面板处的剂量率水平，在所有关注位置的剂量率水平都能达标的情况下，方可登记出厂，工业用X射线探伤装置的检测记录应与工业用X射线探伤装置的台账记录一并管理。

⑭工业用X射线探伤装置退役管理制度：本项目生产的工业用X射线探伤装置，全部外售至客户，不涉及探伤设施的退役。当设备销售至客户处，应当告知探伤设施退役的相关要求。

公司使用的调试铅房（搭载X射线管）因故不再使用时，应处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构，并清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

⑮报废/不合格X射线管管理处置要求：

判定：经技术/质量部门鉴定，性能不达标、结构损坏、寿命到期或存在安全隐患的X射线管，判定为报废/不合格。

隔离：立即停用并移至专用隔离区，粘贴“禁止使用/待处置”标识，建立管理台账。

暂存：在封闭、安全的暂存区存放，保持屏蔽完整，专人管理，禁止擅自拆解。

处置：经审批后，委托有资质单位进行回收或无害化处置，严禁私自丢弃、转让；处置记录及证明文件归档留存至少5年。

监督：安全管理部门定期检查，确保全流程合规，杜绝安全与环保风险。

本项目辐射工作人员应在公司辐射安全与防护领导小组的领导下，明确各人员岗位职责，严格落实辐射安全管理规章制度，定期对设备的安全措施进行检查。此外，对于操作规程、岗位职责和辐射事故应急预案响应程序等制度应张贴于设备调试间周围的醒目处。

辐射监测

1、正常运行时环境监测方案

公司根据辐射管理要求，制定了监测方案，方案内容如下：

（1）个人剂量监测

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），常规监测的周期应综合考虑放射工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素。常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月。企业开展辐射工作人员个人剂量监测，每3个月将个人剂量计收集后统一送有资质的单位检测。企业内辐射安全管理机构对个人剂量监测结果（检测报告）统一管理，建立档案，长期保存。发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。

（2）工作场所监测

工业用X射线探伤装置每次进行作业时，辐射安全管理人员对工业用X射线探伤装置周围的辐射水平进行监测，每季度对调试铅房周围的辐射水平进行监测，并做好相关记录。若发现辐射异常情况，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

（3）环境监测

委托有资质的单位定期对本项目工业用X射线探伤装置及调试铅房周围环境辐射剂量率进行检测，每年1~2次；

（4）健康管理

根据《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020），所有辐射工作人员上岗前、在岗期间、离岗时、应急照射和事故照射后均需要进行健康检查；放射工作人员上岗前，应进行上岗前职业健康检查，符合放射工作人员健康要求的，方可参加相应的放射工作；放射工作单位不得安排未经上岗前职业健康检查或者不符合放射工作人员健康要求的人员从事放射工作。

表12-1　项目监测计划一览表

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位
工作场所及周围环境监测	竣工环保验收监测	X-γ辐射剂量率	请有资质单位监测，取得辐射安全许可证后3个月内，最长不得超过1年	操作位、工业用X射线探伤装置及调试铅房四周表面30cm、工件门、人员门、检修门表面30cm、周边关注点、电缆口、排风口
	年度监测	X-γ辐射剂量率	请有资质单位监测，不少于1次/年	
	日常监测	X-γ辐射剂量率	自主监测，工业用X射线探伤装置每台均需监测，调试铅房每季度监测一次	
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于1次/三个月	/
注：便携式X/γ剂量率仪应每年检定一次				

开展辐射工作后，公司定期（检查周期一般为1~2年，两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时，可适当增加检查次数）安排辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康档案；在岗期间因需要而暂时到外单位从事放射工作，应按在岗期间接受职业健康检查。放射工作人员无论何种原因脱离放射工作时，放射工作单位应及时安排其进行离岗时的职业健康检查，以评价其离岗时的健康状况。在用人单位中从事放射工作的人员均应纳入放射工作人员管理，并依法接受职业健康检查，用人单位应依据职业病危害因素分类目录提供放射因素名称。

2、环境监测仪器配备

企业将配备4台有效的个人剂量报警仪，辐射工作人员在设备操作时随身携带，另外配备1台便携式X-γ剂量率仪、2台固定式辐射探测报警装置（公司生产的工业用X射线探伤装置上安装固定式辐射探测报警装置，随产品一同出售）及2台固定式X-γ剂量率仪，作为日常自检时使用。

辐射事故应急

企业应完善辐射事故应急预案，规定事故后的应急措施。应急预案应包括：

（1）应急机构和职责分工；

（2）应急人员的组织、培训以及应急救助的装备、资金、物资准备；

（3）应急演习计划；

（4）辐射事故分级与应急响应措施；

（5）辐射事故调查、报告和处理程序。

（6）应急组织机构中各成员的姓名和24小时联系电话以及上报环保、卫生等管理机构中事故报告部门的负责人和24小时联系电话。

对于在企业定期自我监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），并向县（市、区）或者设置区的市环境主管部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并根据国家环保总局关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，根据《江苏省辐射污染防治条例》要求“在事故发生后一小时内向所在地生态环境和公安部门报告，

造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告”；根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求“在两小时内填写初始报告，向当地人民政府生态环境主管部门报告”。

企业应加强对应急人员的培训演练，并制定培训演练计划，定期根据人员的变动情况，对辐射应急技术人员和管理人员进行国家有关法规和应急专业知识培训和继续教育，提高应急技能。同时，定期组织开展公司内的辐射事故应急演练，根据企业实际情况，在公司相关辐射工作人员有变动的情况下应重新组织应急演练，并根据公司实际情况定期修改应急预案并组织实施。

每次演练应将培训演练情况通过文字、图片、影像等形式记录存档。企业应加强管理，严格执行安全操作规程。应经常监测本项目工业用X射线探伤装置及调试铅房周围的环境辐射剂量率等，发现问题及时排查，确保辐射工作安全有效运转。

根据《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》和《江苏省辐射污染防治条例》，发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

表 13 结论与建议

结论

1、实践正当性

苏州复力克智能制造有限公司生产、销售、使用工业X射线探伤装置，符合公司的发展规划，项目建成后，产品广泛应用于5G/车载电气部件无损检查、航空航天、元件插入工艺、SMT工艺、半导体领域。具有良好的社会效益和经济效益。在落实本次环评辐射防护和辐射安全管理后，其获得的效益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

2、产业政策相符性

对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号）、《江苏省自然资源厅关于苏州市生态空间管控区域评估优化成果的复函》(苏自然资函〔2026〕487号)、《江苏省生态空间管控区域管理办法》（苏政办规〔2026〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。对照《江苏省生态环境分区管控综合查询报告书》，本项目拟建址不涉及生态保护红线、生态空间管控区域。

对照《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目为生产、销售、使用工业用X射线探伤装置，本项目不属于限制类、淘汰类，故本项目的建设符合国家现行产业政策。

3、辐射安全与防护分析结论

（1）选址、布局合理性

苏州复力克智能制造有限公司厂址位于中国（江苏）自由贸易试验区苏州片区苏州工业园区兴浦路333号现代工业坊6-1-1。所在产业园东侧为中心河，中心河以东为苏州纳米城II区；南侧为霞盛路，道路以南为莱顿汽车部件苏州公司、特贝西（苏州）精密部件有限公司；西侧为唯胜路，道路以西为青秋浦，河流以西为苏春工业坊；北侧为友谊河，友谊河以北为现代大道及公共绿地。

企业位于6号厂房西侧。企业所在的6号厂房南侧为办公区，北侧为车间区，办公区为三层建筑，车间部分共两层，本项目车间位于一楼，办公区位于一楼及二楼。车间层高6米，办公室层高为2.9米。设备调试间位于企业西侧中部位置，用于本项目X射线探伤装置及调试铅房的调试（使用）。设备调试间北、南、东侧为生产车间，用

于本项目设备整机组装及其他不涉及辐射类产品的组装。西侧为车间墙体。设备调试间楼上为闲置车间。设备调试间下方为土层，无地下建筑。企业平面布局见附图。本项目设备调试间周围50m范围均为产业园内部厂房及内部道路，没有居民区、学校等环境敏感目标。

本项目拟将工业用X射线探伤装置及调试铅房边界作为控制区边界，将设备调试间作为辐射防护监督区。本项目辐射防护分区的划分符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

（2）辐射防护措施

企业生产、销售、使用的工业用X射线探伤装置为自屏蔽结构。安装门-机联锁装置、设置工作状态指示灯、装置内安装1个视频监控摄像头、防护门（工件门、检修门）上设置电离辐射警告标志和中文警示说明、装置上装设固定式辐射探测报警装置、操作台安装急停开关、操作台设钥匙开关。

本项目调试铅房四周及顶部均设置10mm铅板，安装门-机联锁装置，房门未闭合无法开机，作业过程中开门可立刻切断射线；调试铅房内外各设置1个工作状态指示灯、调试铅房内四角各安装1个视频监控摄像头、人员门（工件门）外设置1个视频监控摄像头、调试铅房人员门（工件门）上设置电离辐射警告标志和中文警示说明、调试铅房内装设固定式辐射探测报警装置，调试铅房的操作台及调试铅房内安装急停开关，保障内部人员紧急撤离；调试铅房配套机械强制通风装置，通风换气次数不低于3次/小时；操作台设钥匙开关。

本项目设备调试间内设置排风口和排风风机，门上设置电离辐射警告标志和中文警示说明，内部装设固定式辐射探测报警装置，现场实行辐射分区管控并落实出入管控。

辐射工作人员正常使用X射线装置及调试铅房时应检查门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施；辐射工作人员配备个人剂量计、个人剂量报警仪、便携式X-γ剂量率仪。辐射工作人员定期测量屏蔽体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。交接班或当班使用便携式X-γ剂量率仪前，应检查是否能正常工作。辐射工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，把潜在的辐射降到最低。在每一次照射前，辐射工作人员都应该确认关闭X射线探伤装置的防护门（工

件门、检修门），只有在防护门（工件门、检修门）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，才能开始调试工作。确认调试铅房内没有人员驻留并关闭人员门（工件门），只有在人员门（工件门）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，才能开始调试工作。本项目生产的工业用X射线探伤装置，全部外售至客户，不涉及探伤设施的退役。当设备销售至客户处，应当告知探伤设施退役的相关要求。调试铅房终止使用时严格执行退役程序，对X射线发生器进行失效处置或合规转移，清除辐射警示标识并向监管部门完成相关手续办理，全方位满足工业X射线辐射防护相关标准规范要求。

在落实以上辐射措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

（3）辐射安全管理

公司应成立辐射防护管理机构，并以文件的形式明确各成员管理职责。同时在项目运行前制定和完善辐射安全管理制度。拟为本项目配备的辐射工作人员应参加并通过辐射安全和防护的培训及考核，公司应为辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，建立个人剂量档案及职业健康档案。公司还应根据本项目具体情况制定各项管理制度，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。

公司将配备1台便携式X-γ剂量率仪、2台固定式X-γ剂量率仪、2台固定式辐射探测报警装置（公司生产的工业用X射线探伤装置上安装固定式辐射探测报警装置，随产品一同出售）、4台个人剂量报警仪、4枚个人剂量计，能够满足审管部门关于仪器配置的要求。

公司将定期检查辐射防护措施，确保有效。

4、环境影响分析结论

（1）辐射防护影响预测

根据理论计算，工业用X射线探伤装置及调试铅房（搭载X射线管）在最大工况（最大管电压130kV，最大管电流0.3mA；最大管电压180kV，最大管电流0.5mA），射线方向固定朝向顶部，设备周围30cm处辐射剂量率满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）及《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中关注点剂量当量率参考控制水平不大于2.5μSv/h的要求。

（2）保护目标剂量

根据理论计算可知，本项目投入运行后辐射工作人员和公众的最大年受照剂量和最大周受照剂量均满足本项目剂量约束值（职业人员5mSv/a，公众0.1mSv/a；放射工作场所：Hc≤100μSv/周；公众场所：Hc≤5μSv/周）的要求。其中，周剂量当量约束用于控制关注点的年有效剂量，与剂量当量率控制要求共同构成完整的辐射防护剂量控制体系，符合《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）相关要求。

（3）非辐射污染源分析

工业用X射线探伤装置内产生的臭氧和氮氧化物的量较少，工件门开启时排入设备调试间，通过设备调试间排风扇将少量臭氧和氮氧化物排至厂房外。调试铅房单独设置机械排风装置，将少量臭氧和氮氧化物排至厂房外。臭氧50分钟后在大气中自然分解，对环境影响较小。

5、辐射环境管理

（1）委托有资质的单位每年对辐射工作场所周围环境辐射剂量率进行检测；

（2）本项目将配置1台便携式X-γ剂量率仪、2台固定式X-γ剂量率仪、4台固定式辐射探测报警器、4台个人剂量报警仪、4枚个人剂量计，用于对工业用X射线探伤装置及调试铅房工作时周围环境辐射水平监测及对瞬时辐射剂量率的实时报警。

（3）公司将委托有资质的单位开展个人剂量监测，所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计，定期按时送检，并建立辐射工作人员个人剂量监测档案。

（4）公司将对辐射工作人员定期进行职业健康体检，建立职业健康档案。

综上所述，“苏州复力克智能制造有限公司生产、销售、使用工业X射线探伤装置项目”符合实践正当性原则。拟采取的辐射安全和防护措施适当，工作人员及公众受到的周/年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中关于“剂量限值”的要求，也符合本项目目标管理值的要求。本项目在落实本报告提出各项污染防治措施和管理措施后，该项目将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

（1）该项目运行后，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低

到最低。

（2）各项环保设施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

（3）定期进行辐射工作场所的检查及监测，对于监测结果偏高的地点应及时查找原因、排除事故隐患，把辐射影响减少到“可以合理达到的尽可能低的水平”。

（4）项目建成投入运行前应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求申领辐射安全许可证。

（5）根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）公司应当按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过3个月，需要对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。

（6）建设单位于每年1月31日前通过《全国核技术利用辐射安全申报系统》申报上一年度的安全和防护状况年度评估报告。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：   公章 经办人　　年　月　日
审批意见：   公章 经办人　　年　　月　　日

辐射污染防治措施“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者指派 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	公司成立辐射安全管理机构，并以文件形式明确各成员职责，并配备 1 名大学本科学历人员从事辐射防护管理工作	5
辐射安全和防护措施	FX-13T 型工业用 X 射线探伤装置整体采用 5.5mm 铅板。FX-18T 型工业用 X 射线探伤装置及调试铅房（底部为混凝土地面）整体采用 10mm 铅板。	屏蔽体周围 30cm 处辐射剂量率低于本项目参考控制水平 2.5μSv/h。人员年受照剂量低于本项目剂量约束值：职业人员 5mSv/a、公众 0.1mSv/a；职业人员和公众在关注点的周围剂量当量参考控制水平低于本项目参考控制水平：放射工作场所 100μSv/周、公众场所 5μSv/周）	9
	（1）辐射防护措施：本项目工业用 X 射线探伤装置防护门（工件门、检修门）、调试铅房人员门（工件门）和 X 射线装置出束设置门-机联锁；设置工作状态指示灯；工业用 X 射线探伤装置内安装 1 个视频监控摄像头，调试铅房内四角及人员门（工件门）外各设置 1 个视频监控摄像头；工业用 X 射线探伤装置防护门（工件门、检修门）、调试铅房人员门（工件门）及设备调试间门口上设置电离辐射警告标志和中文警示说明；工业用 X 射线探伤装置及调试铅房的操作台及调试铅房内安装急停开关；调试铅房顶部和设备调试间设置排风口和排风风机；操作台设钥匙开关； （2）操作防护措施：辐射工作人员正常使用 X 射线装置时应检查门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施；辐射工作人员配备个人剂量计、个人剂量报警仪、便携式 X-γ剂量率仪。辐射工作人员定期测量屏蔽体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。交接班或当班使用便携式 X-γ剂量率仪前，应检查是否能正常工作。辐射工作人员应正确使	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求	2

	用配备的辐射防护装置，把潜在的辐射降到最低。在每一次照射前，辐射工作人员都应该确认调试铅房内没有人员驻留并关闭人员门（工件门）。只有在人员门（工件门）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，才能开始检测工作。 （3）本项目生产的工业用 X 射线探伤装置，全部外售至客户，不涉及探伤设施的退役。当设备销售至客户处，应当告知探伤设施退役的相关要求。当调试铅房不再使用时，应实施退役程序。调试铅房应处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构；当所有辐射源从现场移走后，使用单位按监管机构要求办理相关手续；清除所有电离辐射警告标志和安全告知		
人员配备	辐射安全管理人员和操作人员参加生态环境部门培训，通过考核，持证上岗	符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求	1
	辐射工作人员每季度接受剂量监测，建立个人剂量检测档案	符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求	0.5
	辐射工作人员每年接受职业健康监护，建立健康档案	符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求	0.5
监测仪器和防护用品	工作场所配置 1 台巡检仪，企业平时自检使用	符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求	1
	每名辐射工作人员配备 1 台有效的个人剂量报警仪，开展辐射工作时随身携带。	符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求	0.5
辐射安全管理制度	操作规程、岗位职责、辐射防护制度、安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训制度、台账管理制度和监测方案、辐射事故应急措施	制度完善，并具有可操作性	0.5
总计	—	—	20