2023-F-021

核技术利用建设项目

无锡中凯检测有限公司
扩建 2 座固定式 X、γ射线探伤房项目
环境影响报告表

无锡中凯检测有限公司

2023 年 7 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

无锡中凯检测有限公司
扩建 2 座固定式 X、γ射线探伤房项目
环境影响报告表

建设单位名称：无锡中凯检测有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：无锡市滨湖区胡埭镇丁香东路 18 号

邮政编码：214105　　联 系 人：

电子邮箱：　　联系电话：

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">扩建 2 座固定式 X、γ射线探伤房项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">无锡中凯检测有限公司</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>张二林</td><td>联系人</td><td></td><td>联系电话</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">无锡市滨湖区胡埭镇丁香东路 18 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">无锡市滨湖区胡埭镇文冠路 20 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td></td><td>项目环保投资（万元）</td><td></td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td colspan="2">50%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">□新建 □改建 ☑扩建 □其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">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 用放射性物质</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>
</table>

项目概述

1 建设单位基本情况、项目建设规模及任务由来

1.1 建设单位基本情况

无锡中凯检测有限公司成立于 2017 年 07 月，公司老厂区位于丁香东路 18 号，新厂区位于江苏省无锡市滨湖区胡埭镇文冠路 20 号，新厂区厂房租赁自江苏展诺装备科技有限公司，房屋租赁合同复印件见附件 13。公司主要从事特种设备无损检测、特种设备技术服务以及金属材料的理化检测。

1.2 项目建设规模及任务由来

无锡中凯检测有限公司目前于老厂区内建设有 1 座固定式 X 射线探伤房（1#探伤房），1#探伤房内共配备 5 台 X 射线探伤机（最大管电压 350kV，最大管电流 5mA）。公司同时于客户厂区开展有移动式 X、γ射线探伤，移动探伤项目共配有 4 台 X 射线

探伤机（最大管电压 350kV，最大管电流 5mA）及 10 台γ射线探伤机（其中 7 台为 ^{192}Irγ射线探伤机，3 台为 ^{75}Seγ射线探伤机，活度均为 3.7×10^{12}Bq）。公司于 1#探伤房曝光室内建有 1 座源库，移动探伤用的γ射线探伤机均储存于源库中。公司已有辐射项目均已履行环评手续并取得环评批复，所有辐射项目均已完成竣工环境保护验收，其环评批复复印件及竣工环保验收意见见附件 5。

现因公司发展需要，公司拟于无锡市滨湖区胡埭镇文冠路 20 号新厂区内建设 2 座固定式 X、γ射线探伤房（2#、3#X、γ射线探伤房），并拟于 2#X、γ射线探伤房内配备 1 台 ^{60}Coγ射线探伤机、1 台 ^{192}Ir γ射线探伤机、1 台 ^{75}Se γ射线探伤机及 3 台 X 射线探伤机，拟于 3#X、γ射线探伤房内配备 1 台 ^{192}Ir γ射线探伤机、1 台 ^{75}Se γ射线探伤机及 2 台 X 射线探伤机，用于对客户产品进行无损检测。公司本次核技术应用一览表见表 1-1。

表 1-1 公司本次核技术应用情况一览表

X 射线装置

序号	射线装置型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	类别	工作场所名称	环评情况及审批时间	许可情况	验收情况
1	3505 型 X 射线探伤机	2	350	5	II	2#X、γ射线探伤房	**本次环评**	**未许可**	**拟购，均为周向机**
2	T6000 型 X 射线探伤机	1	450	5	II				
3	3505 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	3#X、γ射线探伤房			
4	3005 型 X 射线探伤机	1	300	5	II				

放射源

序号	放射源名称	数量	单枚活度 Bq	放射源类别	工作场所名称	活动种类	环评情况及审批时间	许可情况	备注
1	^{60}Co	1	3.7×10^{12}	II	2#X、γ射线探伤房	使用	**本次环评**	**未许可**	**拟购**
2	^{192}Ir	1	3.7×10^{12}	II					
3	^{75}Se	1	3.7×10^{12}	II					
4	^{192}Ir	1	3.7×10^{12}	II	3#X、γ射线探伤房				
5	^{75}Se	1	3.7×10^{12}	II					

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《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《建设项目环境影响评价分类管理名录》等法律法规的规定等法律法规的要求，使用 II 类放射源及 II 类射线装置应编制核技术利用项目环境影响评价报告表。受无锡中凯检测有限公司委托，江苏玖清玖蓝环保科技有限公司承担该项目的环境影响评价工作。我

公司通过资料调研、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

无锡中凯检测有限公司本项目所在新厂区地址位于无锡市滨湖区胡埭镇文冠路20号，本项目所在新厂区地理位置见附图1。公司新厂区东侧为汤氏机械、汉为液压气动有限公司、花汇自动化有限公司及无锡维迪机械有限公司，南侧为文冠路，西侧依次为无锡市恒新紧固件有限公司及春灵传动机械有限公司，北侧依次为无锡七机机床有限公司及无锡市创宏机械有限公司。公司新厂区总平面图及周围环境见附图2。

本项目拟扩建的2#、3#X、γ射线探伤房均位于新厂区车间内北部，两座探伤房相邻而建。2座探伤房拟建址东侧依次为汤氏机械、汉为液压气动有限公司、花汇自动化有限公司及无锡维迪机械有限公司，南侧依次为车间内场所及文冠路，西侧依次为无锡市恒新紧固件有限公司及春灵传动机械有限公司，北侧依次为拟建四层办公楼、无锡七机机床有限公司及无锡市创宏机械有限公司，顶部为理化室、仓库及档案室，底部无建筑，本项目2#、3#X、γ射线探伤房周围环境图见附图2及附图3，2#、3#X、γ射线探伤房顶部二层及三层平面布局图见附图4。

根据本项目特点，结合《辐射环境保护管理导则-核技术利用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，确定以本项目2#、3#X、γ射线探伤房曝光室周围50m的范围作为评价范围。根据现场调查分析及附图2可知，本项目评价范围内无居民楼、学校等敏感点。因此，本项目保护目标主要为辐射工作人员、厂区内其他工作人员以及评价范围内周边企业的工作人员等。

3 建设单位已有核技术利用项目许可情况

无锡中凯检测有限公司目前已申领江苏省生态环境厅发放的辐射安全许可证，证书编号为“苏环辐证[01359]”，种类和范围为“使用II类放射源；使用II类射线装置”，发证日期为2019年9月2日，有效期至：2023年5月24日，共许可使用9台X射线探伤机、7枚^{192}Ir放射源及3枚^{75}Se放射源，所有X射线探伤机及放射源均位于公司老厂区内。公司辐射安全许可证正副本复印件详见附件5。公司辐射安全许可证于2023年5月24日到期，公司目前正在履行辐射安全许可证延续手续，并向江苏省生态环境厅提交了辐射安全许可证延续申请材料。公司已有核技术应用项目均已履行环保手续并通过验收，其环评及验收批复复印件见附件6。公司已有核技术应用项目见表1-2。

表 1-2 公司已有核技术应用情况一览表

X 射线装置

序号	射线装置型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	类别	工作场所名称	环评情况及审批时间	许可情况	验收情况
1	XXGH-3505P 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	1#探伤房	已于 2018 年 2 月取得环评批复	已许可	已于 2019 年 5 月完成竣工环境保护验收
2	XXGH-3005P 型 X 射线探伤机	1	300	5	II	1#探伤房			
3	XXGH-2505P 型 X 射线探伤机	1	250	5	II				
4	XXGH-2505D 型 X 射线探伤机	2	250	5	II				
5	XXGH-3505P 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	客户厂区	已于 2018 年 2 月取得环评批复	已许可	已于 2019 年 5 月完成竣工环境保护验收
6	XXGH-2505P 型 X 射线探伤机	1	250	5	II				
7	XXGH-2505D 型 X 射线探伤机	1	250	5	II				
8	XXGH-2005P 型 X 射线探伤机	1	200	5	II				

放射源

序号	放射源名称	数量	单枚活度 Bq	放射源类别	工作场所名称	活动种类	环评情况及审批时间	许可情况	备注
1	^{192}Ir	7	3.7×10^{12}	II	客户厂区移动探伤	使用	已于 2018 年 2 月取得环评批复	已许可	已于 2019 年 5 月完成竣工环境保护验收
2	^{75}Se	3	3.7×10^{12}	II	客户厂区移动探伤				

4 实践正当性分析

本项目在运行期间将会产生电离辐射，有可能会增加 2 座 X、γ射线探伤房曝光室周围的辐射水平，但采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。本项目的建设将满足企业的生产需求和提高产品质量，创造更大的经济效益和社会效益，在落实辐射安全与防护管理措施后，其带来的效益远大于可能对环境造成的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点		备注
1	^{60}Co	$3.7\times10^{12}\times1$	II	使用	无损检测	2#X、γ射线探伤房	拟贮存于 2#X、γ射线探伤房曝光室源坑内	放射源随源容器存放	拟购
2	^{192}Ir	$3.7\times10^{12}\times1$	II	使用	无损检测		拟贮存于 3#X、γ射线探伤房曝光室放射源暂存库内		
3	^{75}Se	$3.7\times10^{12}\times1$	II	使用	无损检测				
4	^{192}Ir	$3.7\times10^{12}\times1$	II	使用	无损检测	3#X、γ射线探伤房			
5	^{75}Se	$3.7\times10^{12}\times1$	II	使用	无损检测				
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	X 射线探伤机	II	2	3505 型	350	5	无损检测	2#X、γ射线探伤房	周向机
2	X 射线探伤机	II	1	T6000 型	450	5	无损检测		
3	X 射线探伤机	II	1	3505 型	350	5	无损检测	3#X、γ射线探伤房	周向机
4	X 射线探伤机	II	1	3005 型	300	5	无损检测		

（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
退役的放射源	固态	^{60}Co、^{192}Ir、^{75}Se	通常使用 2 个半衰期退役退役时源强约 9.25×10^{11} Bq	/	/	/	^{60}Co 退回厂家回收前暂存于 2#X、γ探伤房曝光室源坑内，^{192}Ir 及 ^{75}Se 退回厂家回收前暂存于 3#X、γ探伤房曝光室放射源暂存库内	由放射源生产厂家回收处置
显影、定影废液	液态	/	/	约 10kg	约 1200kg	/	集中收集后暂存于公司危废库内	收集贮存后交由有资质单位进行处理处置
一次、二次冲洗废水		/	/	约 450kg	约 5400kg	/	集中收集后暂存于公司危废库内	收集贮存后交由有资质单位进行处理处置
三次及以上冲洗废水		/	/	/	/	/	无暂存	排入城市污水管网
废胶片	固态	/	/	/	约 2000 张	/	集中收集后暂存于公司危废库内	收集贮存后送有危险废物经营资质单位进行处理处置
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过通风系统排入外环境，臭氧常温下 50min 可自行分解为氧气，对环境影响较小

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. 含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度用比活度(Bq/l，或 Bq/kg，或 Bq/m^3)，年排放总量分别用 Bq 和 kg。

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》（2014 年修订），中华人民共和国主席令第 9 号公布，2015 年 1 月 1 日起施行 （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正），中华人民共和国主席令第 24 号公布，2018 年 12 月 29 日起施行 （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日起施行 （4）《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年修订本），2020 年 9 月 1 日起施行 （5）《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修正版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行 （6）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正版），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行 （7）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，中华人民共和国生态环境部令第 16 号公布，自 2021 年 1 月 1 日起施行 （8）《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日 （9）《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年 第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行 （10）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正）生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行 （11）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行 （12）《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》，国家环保总局，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日起施行 （13）《关于印发〈关于γ射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》，环发[2007]8 号，2007 年 1 月 15 日发布执行 （14）《国家危险废物名录（2021 年版）》，部令第 15 号公布， 自 2021 年 1 月 1 日起施行 （15）《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 （16）《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，2020 年 1 月 1 日起施行 （17）《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 日起施行 （18）《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，2019 年 11 月 1 日起施行 （19）《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正版），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会公告第 2 号，2018 年 5 月 1 日起施行 （20）《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 （21）《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 （22）《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49 号，2020 年 6 月 21 日 （23）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187 号，2021 年 11 月 9 日 （24）《省生态环境厅关于进一步加强危险废物污染防治工作的实施意见》，苏环办[2019]327 号
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）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） （5）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） （6）《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022） （7）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014） （8）《γ射线探伤机》（GB/T14058 -2008）

	（9）《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）
其他	**与本项目相关附件：** （1）项目委托书（附件 1） （2）放射源使用承诺书（附件 2） （3）射线装置使用承诺书（附件 3） （4）废源退役承诺书（附件 4） （5）辐射安全许可证正副本复印件（附件 5） （6）以往核技术利用项目环评及验收批复页复印件（附件 6） （7）辐射环境现状检测报告附复印件（附件 7） （8）危险废物收集处置协议书复印件（附件 8） （9）2022 年度检测报告复印件（附件 9） （10）公司 2021~2022 年四个季度个人剂量检测报告复印件（附件 10） （11）辐射工作人员考核合格证书复印件（附件 11） （12）辐射防护屏蔽设计说明见（附件 12） （13）房屋租赁合同复印件（附件 13）

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目的特点，结合《辐射环境保护管理导则-核技术利用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的规定，确定以本项目 2#、3#X、γ射线探伤房曝光室周围 50m 的范围作为评价范围。

保护目标

对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。本项目利用 X、γ射线进行无损检测，占用资源少，不会降低项目周边的水、气、土壤的环境功能类别和环境质量，符合“三线一单”相关要求。本项目 2#、3#X、γ射线探伤房拟建址周围 50m 范围内没有居民区、学校等环境敏感目标，本项目保护目标主要为辐射工作人员、厂区内其他工作人员以及评价范围内周边企业的工作人员等。

表 7-1 本项目评价范围内保护目标情况一览表

保护目标分类	方位	保护目标名称	最近距离（m）	规模（人数）	剂量约束值（mSv/a）
辐射工作人员	东北侧	操作人员	0.5m	4 人	5
公众	东侧	汤氏机械、汉为液压气动有限公司、花汇自动化有限公司及无锡维迪机械有限公司内工作人员	2m	40~50 人	0.1
	南侧	厂房内其它工作人员	2m	5~8 人	
		文冠路上行人	35m	流动人员	
	西侧	无锡市恒新紧固件有限公司、春灵传动机械有限公司内工作人员	1.5m	25~35 人	
	北侧	拟建四层办公楼内工作人员	2m	10~15 人	
		无锡七机机床有限公司、无锡市创宏机械有限公司内工作人员	10m	20~30 人	
	顶部	仓库、档案室及理化室内工作人员	0.5m	2~4 人	

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	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值：

剂量限值	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。

11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%～30%（即0.1mSv～0.3 mSv）的范围之内，但剂量约束的使用不应取代最优化要求，剂量约束值只能作为最优化值的上限。

2 《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

5.1 X射线探伤机

5.1.2工作前检查项目应包括：

a)探伤机外观是否完好；

b)电缆是否有断裂、扭曲以及破损；

c)液体制冷设备是否有渗漏；

d) 安全联锁是否正常工作；

e)报警设备和警示灯是否正常运行；

f)螺栓等连接件 是否连接良好；

g)机房内安装的固定辐射检测仪是否正常。

5.2 γ射线探伤机

5.2.1 源容器及其传输导管

5.2.1.1 当源容器装载最大活度值的密封源并处于锁定状态且装配好保护盖（若有）时，源容器外表面一定距离处的周围剂量当量率应不超过表7-3规定的控制值，随机文件中应有该指标的说明。其他放射防护性能应符合GB/T 14058 的要求。

表7-3 源容器外表面一定距离处周围剂量当量率控制值

探伤机类别与代号		最大周围当量剂量率mSv/h	
		离源容器表面 5cm 处	离源容器表面100cm处
便携式	P	0.5	0.02
移动式	M	1	0.05
固定式	F	1	0.1

5.2.1.2工作前检查项目主要包括：

a)检查源容器和源传输导管的照射末端是否损伤或者有异常；

b)检查螺母和螺丝的紧密程度、螺纹和弹簧是否有损伤；

c)确认放射源锁紧装置工作正常；

d)检查控制软轴末端 是否有磨损、损坏(磨损标准由厂家提供)，与控制导管是否有效连

接；

e) 安全联锁是否工作正常；

f)报警设备和警示灯运行是否正常；

g)检查源容器和源传输导管是否连接牢固；

h)检查源传输导管和控制导管是否有毛刺、破损、扭结；

i)检查警告标签和源的标志内容是否清晰；

j)测量源容 器表面一定距离处的周围剂量当量率是否符合5.2.1.1的要求，并确认放射源处于屏蔽状态。

5.2.2 γ射线探伤机的维护

5.2.2.1 应定期对γ射线探伤机中涉及放射防护的部件进行检查维护，发现问题及时维修。维修γ射线探伤机时，应由厂家专业人员将放射源倒入换源器后进行。使用单位人员不应单独对探伤机进行维修。

5.2.2.2 应经常对γ射线探伤机的控制组件包括摇柄、源传输导管进行润滑擦洗，齿轮应经常添加润滑剂，并对源传输导管接头进行擦洗，避免灰尘和砂粒。

5.2.3 放射源的贮存和领用

5.2.3.1 使用单位应设立专用的放射源（或带源的探伤机）的贮存库。

5.2.3.2 移动式探伤工作间歇临时贮存含源容器或放射源、控制源，应在专用的贮存设施内贮存。现场存储设施包括可上锁的房间、专用存储箱或存储坑等。应具有与使用单位主要基地的存储设施相同级别的防护。临时贮存完毕，应进行巡测，确保存储安全。

5.2.3.3 放射源贮存设施应达到如下要求：

a) 严格控制对周围人员的照射、防止放射源被盗或损坏，并能防止非授权人员采取任何损伤自己或公众的行动，贮存设施门口应设置电离辐射警告标志；

b) 应能在常规环境条件下使用，结构上防火，远离腐蚀性和爆炸性等危险因素；

c) 在公众能接近的距外表面最近处，其屏蔽应能使该处周围剂量当量率小于2.5 μSv/h或者审管部门批准的控制水平；

d) 贮存设施的门应保持在锁紧状态，实行双人双锁管理；

e) 定期检查物品清单，确认探伤源、源容器和控制源的存放地点。

5.2.3.4 放射源的储存应符合GA 1002的相关要求。

5.2.3.5 使用单位应制定放射源领用及交还制度，建立领用台帐，明确放射源的流向，并有专人负责。

5.2.3.6 领用、交还含放射源的源容器时，应对离源容器外表面一定距离处的周围剂量当量率进行测量，确认放射源在源容器内。含放射源的源容器应按规定位置存放，领用和交还都应有详细的登记。

5.2.5 废旧放射源的处理

使用单位应与生产销售单位签订废旧放射源返回协议，当放射源需报废时，应按照协议规定将废旧放射源返回生产单位或原出口方。放射源的购买及报废手续应遵照相应审管部门的具体规定，相关文件记录应归档保存。

6 固定式探伤的放射防护要求

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，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/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。

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 GB 18871 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。

6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。

6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求

6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。

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。

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。

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，则不应开始探伤工作。

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。

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。

6.2.7 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大等特殊原因必须开门探伤的，应遵循本标准第7.1条～第7.4条的要求。

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：

a) 有使用价值的γ放射源可在获得监管机构批准后转移到另一个已获使用许可的机构，或者按照本标准第5.2.5条中废旧放射源的处理要求执行。

b) 掺入贫铀的屏蔽装置应与γ射线源一样对待。

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。

d) 包含低活度γ射线源的管道爬行器，应按照相关要求执行。

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。

g) 对退役场所及相关物品进行全面的辐射监测，以确认现场没有留下放射源，并确认污染状况。

3 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）

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，不需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(HVI)。

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。

3.3.5 应考虑探伤室结构、建筑费用及所占空间，常用的材料为混凝土、铅和钢板等。

4《γ射线探伤机》（GB/T14058 -2008）

5《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）

6 项目剂量约束值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）标准要求，本项目剂量约束值取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众人员年有效剂量值的1/10，职业人员年有效剂量值的1/4，即：

（1）职业人员年剂量约束值不大于**5mSv/a**；公众活动区域相关人员年剂量约束值不大于**0.1mSv/a**。

（2）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**。

（3）曝光室墙体及门外30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于**2.5μSv/h**。

（4）本项目2#、3#X、γ射线探伤房曝光室顶部均有建筑，且人员可达，因此顶外表面30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于**2.5μSv/h**。

7 参考资料

（1）《辐射防护导论》，方杰主编。

（2）《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 7-4 江苏省环境天然γ辐射剂量率调查结果（单位：nGy/h）

	原野剂量率	道路剂量率	室内剂量率
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：[1]测量值已扣除宇宙射线响应值；

[2]现状评价时，以“均值±3s”作为参考值：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。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1 项目地理和场所位置

无锡中凯检测有限公司本项目所在新厂区地址位于无锡市滨湖区胡埭镇文冠路 20 号，本项目所在新厂区地理位置见附图 1。公司新厂区东侧为汤氏机械、汉为液压气动有限公司、花汇自动化有限公司及无锡维迪机械有限公司，南侧为文冠路，西侧依次为无锡市恒新紧固件有限公司及春灵传动机械有限公司，北侧依次为无锡七机机床有限公司及无锡市创宏机械有限公司。公司新厂区总平面图及周围环境见附图 2。

本项目拟扩建的 2#、3#X、γ射线探伤房均位于新厂区车间内北部，两座探伤房相邻而建。2 座探伤房拟建址东侧依次为汤氏机械、汉为液压气动有限公司、花汇自动化有限公司及无锡维迪机械有限公司，南侧依次为车间内场所及文冠路，西侧依次为无锡市恒新紧固件有限公司及春灵传动机械有限公司，北侧依次为拟建四层办公楼、无锡七机机床有限公司及无锡市创宏机械有限公司，顶部为理化室、仓库及档案室，底部无建筑，本项目 2#、3#X、γ射线探伤房周围环境图见附图 2 及附图 3。本项目 2#、3#X、γ射线探伤房拟建址评价范围内无居民楼、学校等敏感点。因此，本项目保护目标主要为辐射工作人员、厂区内其他工作人员以及评价范围内周边企业的工作人员等。本项目 2#、3#X、γ射线探伤房拟建址周围环境现状图见图 8-1。

	
本项目 2#、3#X、γ射线探伤房拟建址东侧（汤氏机械）	本项目 2#、3#X、γ射线探伤房拟建址南侧（车间内场所）



本项目 2#、3#X、γ射线探伤房拟建址西侧（无锡市恒新紧固件有限公司）



本项目 2#、3#X、γ射线探伤房拟建址北侧 （拟建办公楼）



本项目 2#、3#X、γ射线探伤房拟建址现状

图 8-1 本项目 2#、3#X、γ射线探伤房拟建址现状及周围环境现状照片

2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

环境现状评价的对象：本项目 2 座 X、γ射线探伤房拟建址周围辐射环境

检测因子：γ辐射空气吸收剂量率

检测点位：在本项目 2 座 X、γ射线探伤房拟建址周围进行布点，共计布点 12 个

3 监测方案、质量保证措施及监测结果

3.1 监测方案

检测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司

检测仪器：FH40G 型辐射剂量检测仪（探头型号 FHZ672E-10）（设备编号：J2718，检定有效期：2022.5.19~2023.5.18）

检测项目：γ辐射空气吸收剂量率

检测布点：在 2 座 X、γ射线探伤房拟建址周围进行布点，具体点位见图 8-2

检测时间：2022 年 11 月 15 日

检测方法：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）

数据记录及处理：每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 20s，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），本项目空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中 5.5，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源，换算系数取 1.20Sv/Gy

3.2 质量保证措施

检测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司，该公司已通过资质认定

检测布点质量保证：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）有关布点原则进行布点

检测过程质量控制质量保证：本项目检测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求，实施全过程质量控制

检测人员、检测仪器及检测结果质量保证：检测人员均经过考核并持有合格证书，所有检测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，检测仪器使用前经过校准或检验，检测报告实行三级审核。

3.3 检测结果

评价方法：参照江苏省环境天然γ辐射剂量率调查结果，监测结果见表 8-1，详细检测结果见附件 7。

表 8-1 本项目 2 座 X、γ射线探伤房周围环境γ辐射空气吸收剂量率

序号	监测点位描述	监测结果（nGy/h）	备注
1	2 座 X、γ射线探伤房拟建址处	64.7	室内
2	2 座 X、γ射线探伤房拟建址东侧	72.9	室内
3	2 座 X、γ射线探伤房拟建址南侧	65.6	室内
4	2 座 X、γ射线探伤房拟建址西侧（无锡市恒新紧固件有限公司厂房内）	70.0	室内
5	2 座 X、γ射线探伤房拟建址北侧	65.4	室内
6	2 座 X、γ射线探伤房拟建址东侧（汤氏机械厂房内）	70.2	室内
7	2 座 X、γ射线探伤房拟建址东侧（汉为液压气动有限公司）	63.1	室内
8	2 座 X、γ射线探伤房拟建址东侧（花汇自动化外）	62.3	室外
9	2 座 X、γ射线探伤房拟建址东侧（无锡维迪机械有限公司外）	64.1	室外

10	2 座 X、γ射线探伤房拟建址西侧（春灵传动机械有限公司外）	61.9	室外
11	2 座 X、γ射线探伤房拟建址北侧（无锡七机机床有限公司厂界外）	65.1	室内
12	2 座 X、γ射线探伤房拟建址北侧（无锡市创宏机械有限公司厂界外）	62.8	室内

注：测量数据已扣除仪器宇宙响应值。

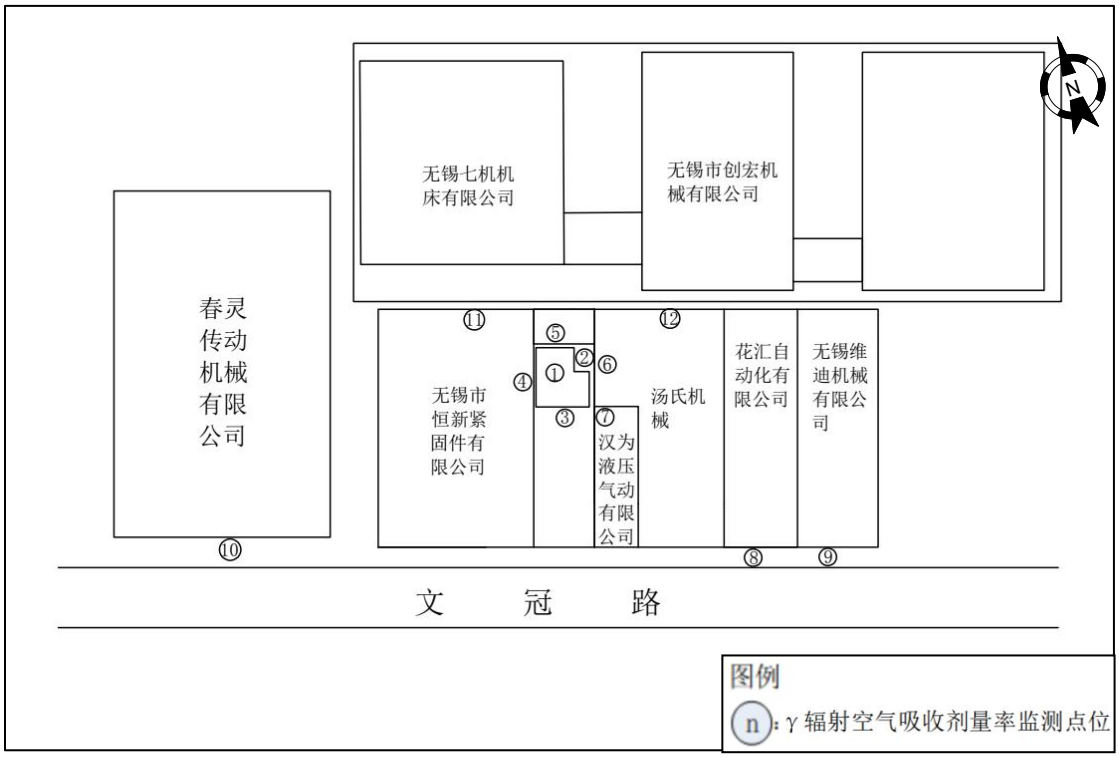

图 8-2　检测点位图

4 环境现状调查结果评价

从现场监测结果可知，本项目 2#、3#X、γ射线探伤房拟建址周围环境γ辐射空气吸收剂量率在（61.9～72.9）nGy/h 范围内，处于江苏省环境天然γ辐射剂量率涨落范围内。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1 工程设备

无锡中凯检测有限公司因发展需要，公司拟于无锡市滨湖区胡埭镇文冠路 20 号新厂区内建设 2 座固定式 X、γ射线探伤房（2#、3#X、γ射线探伤房），并拟于 2#X、γ射线探伤房内配备 1 台 ^{60}Coγ射线探伤机、1 台 ^{192}Ir γ射线探伤机、1 台 ^{75}Se γ射线探伤机及 3 台 X 射线探伤机，拟于 3#X、γ射线探伤房内配备 1 台 ^{192}Ir γ射线探伤机、1 台 ^{75}Se γ射线探伤机及 2 台 X 射线探伤机，用于对客户产品进行无损检测。

在 2#X、γ射线探伤房内进行探伤时，探伤工件为圆筒状，长度 1000mm~7000mm，直径 300mm~3500mm，壁厚 10mm~120mm，在曝光室内两端呈南北向放置；在 3#X、γ射线探伤房内进行探伤时，探伤工件为圆筒状，长度 500mm~3000mm，直径 200mm~1000mm，壁厚 8mm~50mm，在曝光室内两端呈南北向放置。

本项目 2 座 X、γ射线探伤房内拟配备的 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se γ射线探伤机的活度均为 3.7×10^{12}Bq。本项目 2#X、γ射线探伤房内拟配备 3 台 X 射线探伤机，其最大管电压为 450kV，最大管电流为 5mA；3#X、γ射线探伤房内拟配备 2 台 X 射线探伤机，其最大管电压为 350kV，最大管电流为 5mA。

本项目γ射线探伤机是 ^{60}Co、^{192}Ir、^{75}Se 放射源的储存装置，内装约 20kg 左右的贫铀作为屏蔽材料，探伤机一端与输源管相连接，另一端与控制部件相连接，γ射线探伤机一般由放射源及源容器（贮源容器）、源托、输源管、遥控装置、和其他附件组成。源容器是探伤机主体，用作放射源贮存和运输的屏蔽容器。其最外层为钢包壳，内部是一般为贫铀屏蔽层。源容器的一端有联锁装置，用来连接控制缆；另一端通过管接头和输源管连接。典型的γ探伤设备外观见图 9-1，内部结构示意图见图 9-2。



图 9-1 γ射线探伤机实物图

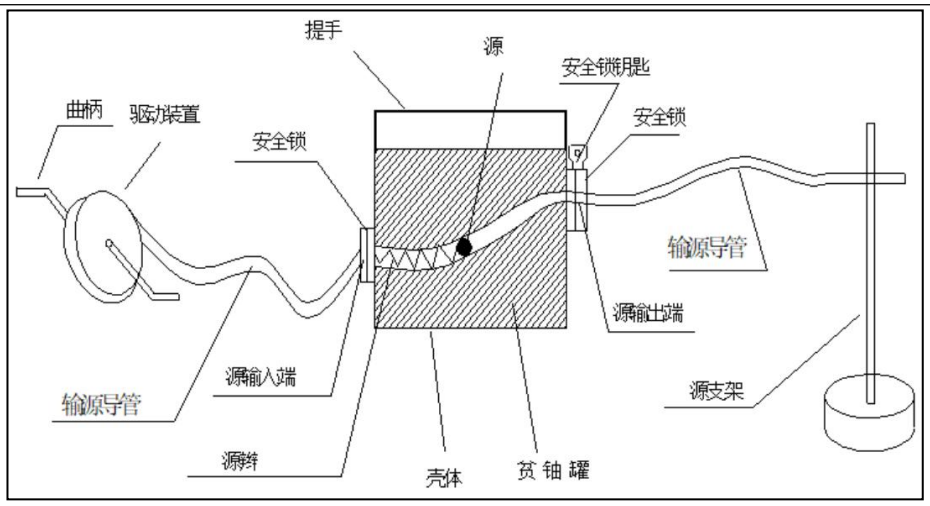

图 9-2 γ射线探伤机结构示意图

本项目便携式 X 射线探伤机由操作台、X 射线发生器和连接电缆三部分组成。便携式探伤机分定向、周向两种。定向机是射线方向固定的，射线出束圆锥角一般在 40°～45°范围。周向机的射线束是在与 X 射线管轴线成垂直方向的 360°圆周上发射 X 射线，这对于检测大口径管件和球形容器的环形焊缝，通过一次曝光可以完成整个焊缝的探伤工作。典型的（便携式）X 射线探伤机外观和主要部件见图 9-3。



图 9-3 X 射线探伤机外观图

公司拟为本项目 2#、3#X、γ射线探伤房各配备 2 名辐射工作人员，2 人中 1 人负责探伤机出束，另 1 人负责曝光室内探伤机摆位、贴片取片、巡视清场等工作，定期轮换。本项目 2#、3#X、γ射线探伤房年开机曝光时间均约为 500h。

2 工作原理

2.1 γ射线探伤机工作原理

本项目γ射线探伤机未工作时放射源位于芯部的“S”形管道中央，以防射线的直通照射。工作时，用快速接头把输源管和源容器连起来，输源导管的另一端部

构成照射头，用钥匙打开储源器的安全锁，再转动安全闸环到停止位置，使其指针对准红字“打开”处（即快门已开）；操作自控仪预置输源管距离、曝光时间，然后按下“启动”按钮，自控仪将自动完成“送源→曝光→收源”的检测照相过程。γ射线探伤机在工作过程中通过γ放射源产生的γ射线对受检工件进行照射，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，物质的密度越大，射线强度减弱越大，底片感光量就小。当工件内部存在气孔、裂缝、夹渣等缺陷时，射线穿过有缺陷的路径比没有缺陷的路径所透过的物质密度要小得多，其强度减弱较小，即透过的射线强度较大，底片感光量较大，从而可以从底片曝光强度的差异判断焊接的质量、缺陷位置和被检样品内部的细微结构等。

2.2 X 射线探伤机工作原理

X 射线机核心部件是 X 射线管。它是一个内真空的玻璃管，其中一端是作为电子源的阴极，另一端是嵌有靶材料的阳极。当两端加有高压时，阴极的灯丝热致发射电子。由于阴极和阳极两端存在电位差，电子向阳极运动，形成静电式加速，获取能量。具有一定动能的高速运动电子，撞击靶材料，产生 X 射线。本项目 X 射线管结构示意图见图 9-4。

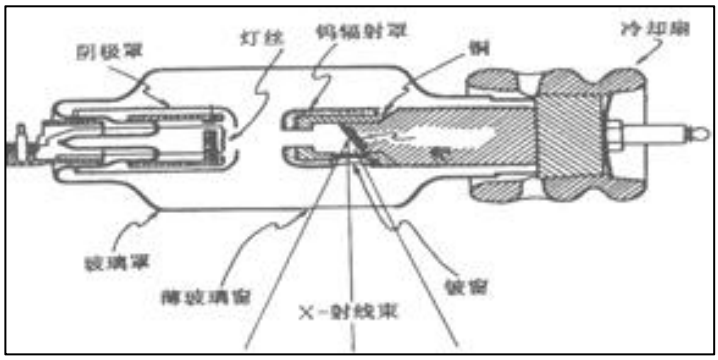

图 9-4 X 射线管结构示意图

X 射线探伤，即无损 X 射线检测技术，是利用不同材料对 X 射线吸收的差异性，使胶片感光形成黑度不同的图像，从而反映出被检测物体内部的缺陷。

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，物质的密度越大，射线强度减弱越大，底片感光量就小。当工件内部存在气孔、裂缝、夹渣等缺陷时，射线穿过有缺陷的路径比没有缺陷的路径所透过的物质密度要小得多，其强度减弱较小，即透过的射线强度较大，底片感光量较大，从而可以从底片曝光强度的差异判断焊接的质量、缺陷位置和被检样品内部的细微结构等。

3 工作流程

3.1 γ射线固定探伤工作流程

（a）将被探伤工件通过工件门运至曝光室内固定，并在检测部位贴上感光胶片；

（b）从放射源暂存库或源坑中将γ射线探伤机取出，放置在合适的位置，关闭曝光室工件门；

（c）把控制部件和输源管连接好，开启γ射线探伤机闭锁装置；

（d）检查曝光室内人员滞留情况，确定无人后，辐射工作人员通过迷道门离开曝光室，并关闭迷道门；

（e）预置输源管距离、曝光时间，然后按下“启动”按钮，自控仪将自动完成“送源→曝光→收源”的检测照相过程，此过程会产生γ射线、少量氮氧化物及臭氧；

（f）确认放射源回到贮源位后，工作人员携带辐射剂量报警仪进入曝光室，将γ射线探伤机通过手推车放进源坑或放射源暂存库内，关门并由专人保管钥匙；

（g）将工件运出曝光室，工作人员对探伤胶片进行洗片、读片，判断工件焊缝的焊接质量、缺陷等，此过程会产生显影、定影废液、废胶片及一次、二次冲洗废水等。

以上工作流程可用图9-4简示：

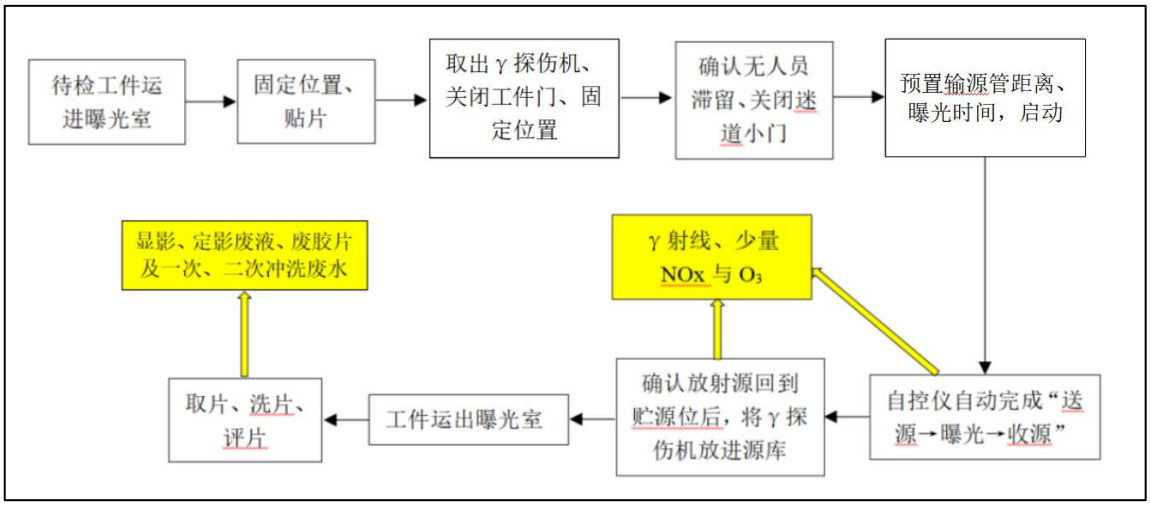

图 9-4 固定式γ探伤工作流程及产污环节示意图

3.2 X 射线固定探伤工作流程

（a）将被探伤工件通过工件门运至曝光室内固定，并在检测部位贴上感光胶片；

（b）关闭曝光室工件门，将X射线探伤机放置在合适的位置；

（c）检查曝光室内人员滞留情况，确定无人后，辐射工作人员通过迷道门离开曝光室，并关闭迷道门；

（d）辐射工作人员于操作室内控制台处设置探伤所需的电压及曝光时间，然后开启X射线探伤机进行无损检测，此过程会产生X射线、少量氮氧化物及臭氧；

（e）达到预定照射时间后关闭 X 射线探伤机，工作人员取下胶片，曝光结束；

（f）将工件运出曝光室，工作人员对探伤胶片进行洗片、读片，判断工件焊缝的焊接质量、缺陷等，此过程会产生显影、定影废液、废胶片及一次、二次冲洗废水等。

以上工作流程可用图9-5简示：

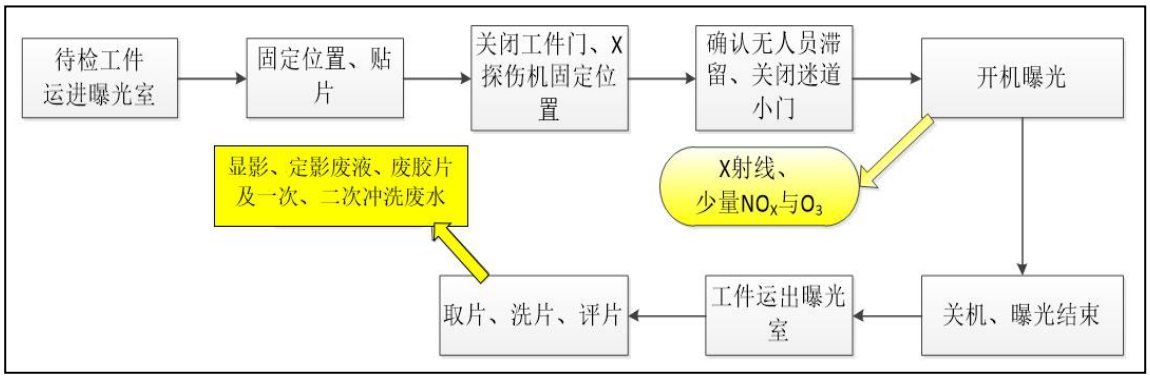

图 9-5　固定式 X 射线探伤工作流程及产污环节示意图

污染源分析

1 放射性污染源分析

1.1 γ射线探伤

本项目中 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 源为密封源，^{192}Ir 及 ^{75}Se 核素特性见表 9-1。

表 9-1　放射性核素 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 核素特性

核素	半衰期	衰变类型	主要射线及能量(MeV)	周围剂量当量率常数（μSv•m²/（MBq•h）
^{60}Co	5.26a	β^-	β^-0.315（99.74%） γ1.173(99.87%）1.332 (99.98%)	0.35
^{192}Ir	74d	β^- ε	β^-0.672（46%） γ 0.468(58.0%）0.316 (82.9%)	0.17
^{75}Se	118d	ε	γ0.265(56.6%）、0.121(16.9%) 0.136(56.7%)、0.279(23.9%)	0.072

γ射线探伤机贮源位屏蔽层大多为一定厚度的贫铀材料，称其为贫铀罐。本项目辐射污染主要是当放射源从贫铀罐出源后进行曝光时发射的γ射线对周围环境产生的外照射，其可能对曝光室外工作人员和公众产生一定外照射。另外，退役的放射源也会对周围环境产生γ射线外照射影响。因此γ射线是本项目主要的污染污染物。

本项目拟使用的 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 放射源最大活度均为 100Ci，通常在使用 2 个半衰期后退役，退役时放射性活度约 $9.25\times10^{11}Bq$。

1.2 X 射线探伤

由 X 射线探伤机的工作原理可知，X 射线是随探伤机的开、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。本项目探伤期间 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：X 射线探伤机发出的用于工件检测的辐射束，又称为主射线束。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.1，本项目 3505 型 X 射线探伤机 1m 处的输出量根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.1，以 300kV 及 400kV 下 X 射线管输出量较大值（20.9mGy·m^2/（mA·min）及 23.5mGy·m^2/（mA·min））进行插值计算得到，350kV 的 X 射线管 1m 处的输出量为 22.2mGy·m^2/（mA·min）；3005 型 X 射线探伤机保守考虑以 3mm 铝为滤过条件，1m 处的输出量为 20.9mGy·m^2/（mA·min）；根据辐射防护导论附图 4，T6000 型 X 射线探伤机保守考虑以 0.5mm 铜为滤过条件，1m 处的输出量为 55mGy·m^2/（mA·min）。

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《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）表 1，在 300kV、350kV 及 450kV X 射线管电压下，距 X 射线探伤机辐射源点（靶点）1m 处的泄漏辐射剂量率小于 5mSv/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，根据能量散射公式：$E=E_0/（1+E_0（1-\cos\theta）/0.511）$，450kV X 射线 90°散射辐射相应的 X 射线约为 240kV，本次保守按照 250kV 考虑；根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2，350kV X 射线 90°散射辐射相应的 X 射线为 250kV，300kV X 射线 90°散射辐射相应的 X 射线为 200kV。拟配备的各型号 X 射线探伤机详细参数见表 9-2。

表 9-2 本项目 X 射线探伤机参数一览表

设备型号	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	X射线机的发射率常数mGy·m²/（mA·min）	泄漏辐射剂量率mSv/h	90°散射后能量kV
T6000型X射线探伤机	450	5	55	5	250
3505型X射线探伤机	350	5	22.2	5	250
3005型X射线探伤机	300	5	20.9	5	200

注：本项目未获得厂家给出的输出量，故散射辐射屏蔽估算选取表中各仟伏（kV）下输出量的较大值保守估计。

2 非放射性污染源分析

X、γ射线探伤机运行时无放射性废气、放射性废水和放射性固体废物产生。

X、γ射线探伤机在工作状态时，产生的 X、γ射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧和氮氧化物可通过机械通风及工件门排出曝光室，臭氧在车间中通过自然通风排出车间外，臭氧在空气中 50min 内可自动分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

本项目运行过程中需进行洗片、评片作业，洗片、评片场所位于办公楼一层洗片、评片室内。在进行洗片作业时会产生洗片废液（显影、定影废液及冲洗废水）及废胶片，产生的洗片废液及废胶片属于《国家危险废物名录》中的 HW16 号危险废物。

本项目运行后工作人员还会产生一定量的生活污水和生活垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1 项目工作场所布局合理性分析

无锡中凯检测有限公司 2 座 X、γ射线探伤房均包括曝光室及操作室，2 座 X、γ射线探伤房共用 1 间操作室，操作室位于 3#X、γ射线探伤房曝光室外北侧。洗片、评片室位于办公楼一层（见附图 2）。本项目 2 座 X、γ射线探伤房布局设计满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中关于操作室与曝光室分开设置的要求，探伤房布局设计合理。

本项目拟将 2 座 X、γ射线探伤房曝光室作为辐射防护控制区（图中红色阴影区域），在工件门及人员门外均拟设置电离辐射警告标志及中文警示说明，工作时任何人员不得进入；拟将 2 座 X、γ射线探伤房操作室作为本项目的辐射防护监督区（图中蓝色阴影区域），工作时无关人员不得进入，具体区域划分见下图 10-1。本项目辐射防护分区的划分符合《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。

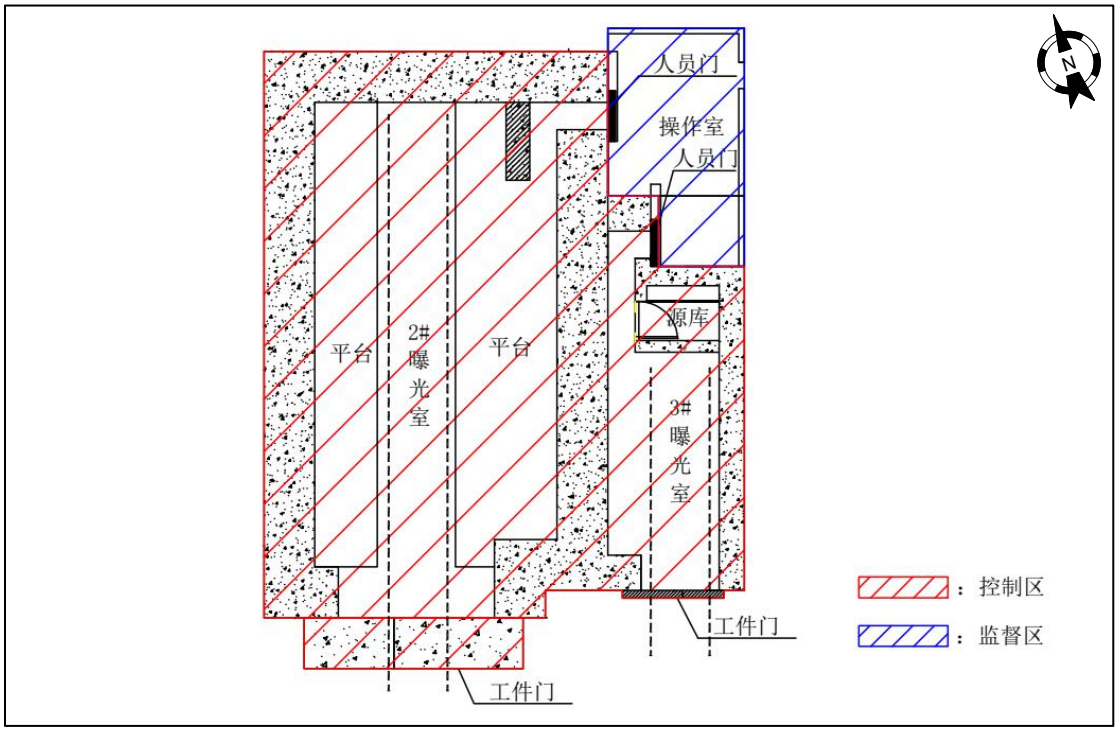

图 10-1 本项目 2 座 X、γ探伤房平面布局及分区图

2 辐射防护屏蔽设计

本项目 2#、3#X、γ射线探伤房曝光室及放射源暂存库的屏蔽防护设计见表 10-1，辐射屏蔽防护设计说明见附件 12，2 座 X、γ射线探伤房平面及剖面设计图

见附图 5。

表 10-1 本项目 2 座 X、γ射线探伤房曝光室屏蔽设计参数一览表

曝光室		屏蔽设计	备注
2#X、γ射线探伤房曝光室	东侧屏蔽墙	1300mm 混凝土	使用 1 台 ^{60}Coγ射线探伤机、1 台 ^{192}Irγ射线探伤机、1 台 ^{75}Se γ射线探伤机、2 台 3505 型 X 射线探伤机及 1 台 T6000 型 X 射线探伤机
	南侧屏蔽墙	1300mm 混凝土	
	西侧屏蔽墙	1300mm 混凝土	
	北侧屏蔽墙	1300mm 混凝土	
	迷道内墙	600mm 硫酸钡	
	屋顶	1300mm 混凝土	
	工件门	950mm 硫酸钡	
	人员门	200mm 硫酸钡+35mmPb	
	内净尺寸	11.2m（长）×6.6m（宽）×6.5m（高）	
	曝光室内西北角建一个源坑，源坑尺寸为 0.5m（长）×0.5m（宽）×0.5m（高），源坑四周及底部均拟采用 100mm 混凝土，顶部盖板采用 65mm 铅板。		源坑内储存 1 枚 ^{60}Co 放射源
3#X、γ射线探伤房曝光室	东侧屏蔽墙	750mm 硫酸钡	使用 1 台 ^{192}Irγ射线探伤机、1 台 ^{75}Se γ射线探伤机、1 台 3505 型 X 射线探伤机及 1 台 3005 型 X 射线探伤机
	南侧屏蔽墙	900mm 硫酸钡	
	西侧屏蔽墙	1300mm 混凝土	
	北侧屏蔽墙	500mm 硫酸钡	
	迷道外墙	900mm 混凝土	
	屋顶	900mm 硫酸钡	
	工件门	200mm 硫酸钡+40mmPb	
	人员门	200mm 硫酸钡+10mmPb	
	内净尺寸	5.2m（长）×2.95m（宽）×3.0m（高）	
放射源暂存库	东侧屏蔽墙	750mm 硫酸钡	放射源暂存库北墙内嵌储源柜，储源柜防护门拟采用 20mmPb，储源柜内储存 2 枚 ^{192}Ir 放射源、2 枚 ^{75}Se 放射源
	南侧屏蔽墙	300mm 硫酸钡	
	西侧屏蔽墙	300mm 硫酸钡	
	北侧屏蔽墙	500mm 硫酸钡	
	屋顶	900mm 硫酸钡	
	防护门	普通防盗门	
	内净尺寸	1.85m（长）×1.4m（宽）×3.0m（高）	

注：混凝土密度不低于 2.35g/cm^3，硫酸钡密度不低于 3.2g/cm^3，铅密度不低于 11.3g/cm^3。

3 辐射安全措施设计

3.1 辐射防护措施

3.1.1 X、γ射线固定探伤辐射安全措施

为保障本项目 2#、3#X、γ射线探伤房内 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se γ射线探伤机及 X 射线探伤机的安全运行，综合考虑**《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）**

及《关于印发<关于γ射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》（环发[2007]8 号）的相关要求，本项目 2#、3#X、γ射线探伤房曝光室拟设计相应的辐射安全装置和保护措施（见图 10-2），主要有：

（1）2 座 X、γ射线探伤房曝光室的工件门及人员门均设计安装门机联锁装置，即每台 X 或γ射线探伤机操作台或 X 射线管头组装体上的接口均与防护门联锁。门机联锁装置的设置能方便曝光室内部的人员在紧急情况下离开曝光室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，能立刻停止出束或回源。本项目 2 座 X、γ射线探伤房内的 X 射线探伤机及γ射线探伤机不同时运行，且每座探伤房内每次仅同时开启 1 台探伤机进行探伤。

（2）2 座 X、γ射线探伤房曝光室工件门口、人员门口和内部均同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与 X 射线探伤机及γ射线探伤机联锁。“预备”信号能持续足够长的时间，以确保曝光室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号有明显的区别，并且与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处拟设置对“照射”和“预备”信号意义的说明。

（3）拟在 2 座 X、γ射线探伤房曝光室内设计安装视频监控系统，拟在 2 座 X、γ射线探伤房曝光室内各设计安装 2 个红外监控探头，在 2 座 X、γ射线探伤房曝光室迷道内各设计安装 1 个红外监控探头，在控制室的操作台出设有专用的监视器，可监视曝光室内人员的活动和探伤设备的运行情况。

（4）2 座 X、γ射线探伤房曝光室工件门及人员门上均拟设置符合 GB 18871 要求的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。

（5）拟在 2 座 X、γ射线探伤房操作室的操作台处各设置 1 个紧急停机按钮，拟在 2#X、γ射线探伤房曝光室东侧及西侧墙上各设置 2 个紧急停机按钮，南侧及北侧墙上各设置 1 个紧急停机按钮；拟在 3#X、γ射线探伤房曝光室四周墙上各设置 1 个紧急停机按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。本项目紧急停机按钮的设置能够使人员处在 2 座 X、γ射线探伤房曝光室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。紧急停机按钮拟设置标签，标明使用方法。

（6）拟在 2 座 X、γ射线探伤房曝光室迷道内各设置 1 个开门开关。

（7）公司拟在 2#X、γ射线探伤房曝光室北侧设置“U”型埋地通风管道，管道埋地深度均为 400mm，拟在 3#X、γ射线探伤房曝光室西南角设置“U”型埋地通风管道，管道埋地深度为 400mm，通风管道的设置不破坏曝光室的屏蔽效果。

本项目 2 座 X、γ射线探伤房曝光室内均拟设置机械通风装置，排风管道外口高于建筑顶部，每座探伤房内每小时有效通风换气次数不小于 3 次。

（8）在 2 座 X、γ射线探伤房曝光室内均设计安装射线剂量检测系统探头。其中，2#X、γ射线探伤房的射线剂量检测系统探头拟安装在曝光室内东墙上，3#X、γ射线探伤房的射线剂量检测系统探头拟安装在曝光室内西墙上，射线剂量检测系统的数字显示装置均拟安装在控制室内。

在严格落实以上辐射安全措施以后，本项目 2 座 X、γ射线探伤房的辐射防护设计满足**《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）及《关于印发<关于γ射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》（环发[2007]8 号）**中关于辐射安全系统、安全设施要求。

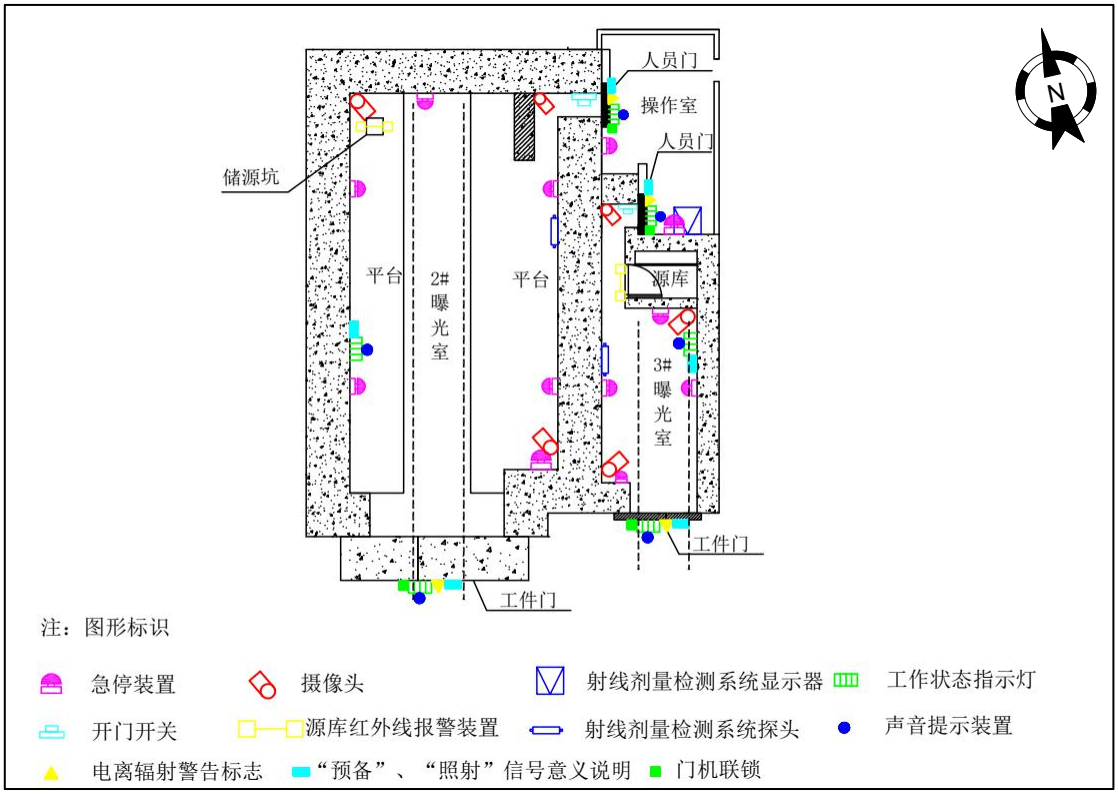

图 10-2 辐射安全措施平面布置示意图

3.1.2 放射源暂存库及源坑辐射安全措施

（1）放射源暂存库防护门及源坑盖板上拟设置电离辐射警告标志；

（2）放射源暂存库及源坑采用混凝土建造，结构上防火，放射源暂存库及源坑内不存放腐蚀性和爆炸性物品。

（3）拟设置 2 名辐射工作人员负责放射源暂存库及源坑的保管工作，暂存库及源坑施行双人双锁管理，钥匙授权专门的人员保管。

（4）放射源暂存库入口处及源坑外设置视频监控，视频监控显示器安装在

门卫室内，对放射源暂存库实行 24 小时监控。

（5）放射源暂存库入口处及源坑外拟安装红外线报警装置，并与 110 联网，人员非正常进入时发出警报传送至公安系统。

（6）定期检查物品清单，确认探伤源、源容器和控制源的存放地点。建立放射源出入库台账，放射源进、出暂存库均进行登记，对γ探伤机表面进行辐射监测，并记录监测结果。进出台账与监测结果存档。

3.1.3 关于γ探伤的其他安全措施要求

2007 年，针对γ射线探伤，原国家环保总局发布环发〔2007〕8 号文：关于印发《关于γ射线探伤装置的辐射安全要求》的通知。本项目对照**《关于印发〈关于γ射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》（环发［2007］8 号）**中关于γ射线探伤的相关要求评价如下：

（1）至少有 1 名以上专职人员负责辐射安全管理工作。---该公司设有辐射安全防护管理小组，并有 1 名专职人员负责辐射安全管理工作，符合要求。

（2）必须取得省级环境保护主管部门颁发的辐射安全许可证。---该公司本次扩建 2 座固定式 X、γ射线探伤项目应在履行环评手续后向省级生态环境主管部门申领辐射安全许可证。

（3）探伤装置的安全使用期限为 10 年，禁止使用超过 10 年的探伤装置。---该公司应在γ射线探伤装置使用达到使用年限之前及时报废，并将该要求写入探伤设备管理要求。

（4）每个月对探伤装置的配件进行检查、维护，每 3 个月对探伤装置的性能进行全面检查、维护，发现问题应及时维修。并做好记录。严禁使用铭牌模糊不清或安全锁、联锁装置、输源管、控制缆、源辨位置指示器等存在故障的探伤装置。---该公司将制定相应规章制度，使其符合上述要求；并在今后的生产实践过程中严格按照制度执行，严禁使用铭牌模糊不清或安全锁、联锁装置、输源管、控制缆、源辨位置指示器等存在故障的探伤装置。

（5）探伤作业时，至少有 2 名辐射工作人员同时在场，每名辐射工作人员应配备一台个人剂量报警仪和个人剂量计。个人剂量计应定期送交有资质的检测部门进行测量，并建立个人剂量档案。---该公司在开展γ射线探伤时，应至少有 2 名辐射工作人员在场；公司应为从事γ射线探伤的辐射工作人员配备个人剂量计及个人

剂量报警仪，定期送检并建立个人剂量档案。

（6）每次探伤工作前，辐射工作人员应检查探伤装置的安全锁、联锁装置、位置指示器、输源管、驱动装置等的性能。---该公司应在相关制度中明确上述要求，并在今后的生产实践过程中严格按照制度执行。

（7）更换放射源时，探伤装置使用单位应向所在地省级生态环境主管部门提交《放射性同位素转让审批表》，申请转入放射源。探伤装置使用单位、放射源生产单位应当在转让活动完成之日起 20 日内，分别将 1 份《放射性同位素转让审批表》报送各自所在地省级生态环境主管部门备案。---该公司应在管理制度内明确上述要求，明确更换放射源时，由厂家人员进行倒源操作，并在今后的工作中严格按照制度实施。

（8）明确 2 名以上工作人员专职负责放射源库的保管工作。放射源库设置红外和监视器等保安设施，源库门为双人双锁。---该公司拟安排 2 名工作人员专职负责放射源暂存库及源坑的管理工作，符合要求；放射源暂存库入口处及源坑外拟安装红外监视摄像头；放射源暂存库防护门上及源坑盖板上拟设置两锁，钥匙分别由 2 名专职人员保管，满足源库门为双人双锁管理的要求。

（9）制定探伤装置的领取、归还和登记制度，放射源台帐和定期清点检查制度。定期核实探伤装置中的放射源，明确每枚放射源与探伤装置的对应关系，做到帐物相符，一一对应。核实时应有 2 人在场，核实记录应妥善保存，并建立计算机管理档案。---该公司拟制定相关的档案管理制度，并设 2 名专门的放射源保管员做好放射源领用情况的登记、收集和存档工作。

（10）发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。事故单位应根据法规要求，立即向使用地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。---该公司已制定辐射事故应急预案，公司应尽快根据上述内容对辐射事故应急预案进行完善。

（11）探伤室建筑（包括辐射防护墙、门、辐射防护迷道）的防护厚度应充分考虑γ射线直射、散射效应。---该公司 2#、3#X、γ射线探伤房拟采用混凝土、硫酸钡及铅板对γ射线进行屏蔽，经理论预测，其能够充分屏蔽γ射线。

（12）探伤室应安装固定式辐射剂量仪，剂量率水平应显示在控制机房内，并与门联锁。---该公司拟在 2#、3#X、γ射线探伤房曝光室内安装固定式辐射剂量

监测探头，监测系统的数字显示装置拟安装在控制台。在进行探伤时，固定辐射监测系统应与防护门进行联锁，当辐射剂量超过预定水平时，防护门无法打开。

（13）应配置便携式辐射检测报警仪，该报警仪应与防护门钥匙、探伤装置的安全锁钥匙串结一起。---该公司拟为2#、3#X、γ射线探伤房各配备2台个人剂量报警仪，公司应将报警仪与防护门钥匙、探伤装置的安全锁钥匙串结一起。

（14）探伤室工作人员入口门外和被探伤物件出入口门外应设置固定的电离辐射警告标志和工作状态指示灯箱。探伤作业时，应由声音警示，灯箱应醒目显示“禁止入内”。---本项目2#、3#X、γ射线探伤房内及工件门上方、人员门上方各设计安装1个工作状态指示灯及声音报警装置，其中工作状态指示灯可显示“预备”和“工作”状态。

（15）γ射线探伤室的各项安全措施必须定期检查，并做好记录。---公司应对本项目2#、3#X、γ射线探伤房的各项安全措施必须定期检查、记录，并应在管理制度内明确上述要求，并在今后的工作中严格按照制度实施。

3.2 操作防护措施

（1）正常使用探伤房时应检查防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。

（2）探伤工作人员在进入曝光室时，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曝光室，同时防止其他人进入曝光室，并立即向辐射防护负责人报告。

（3）辐射工作人员应定期测量探伤房曝光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。

（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，则不应开始检测工作。

（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。

（6）在每一次照射前，操作人员都应该确认曝光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，才能开始检测工作。

3.3 探伤设施的退役

（1）本项目γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 密封源退役后仍有较强的放射性，公司已承诺γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 密封源退役后，废源将由原生产厂家回收。放射源购买及报废手续遵照相应审管部门的具体规定，相关文件记录归档保存。

（2）掺入贫铀的屏蔽装置应与γ射线源一样对待。

（3）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。

（4）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。

（5）清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

（6）对退役场所及相关物品进行全面的辐射监测，以确认现场没有留下放射源，并确认污染状况。

在落实以上辐射安全措施后，本项目辐射安全措施能够满足相关辐射安全要求。

三废的治理

1、放射性三废

本项目运行过程中没有放射性废水、废气产生。

本项目γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 密封源退役后仍有较强的放射性，公司已承诺γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 密封源退役后，废源将由原生产厂家回收，承诺书详见附件 4，此举符合生态环境部门的相关管理要求。企业辐射工作人员不进行换源操作，放射源退役时换源由放射源厂家工作人员进行。

2、非放射性三废

本项目 X、γ射线探伤机在工作状态时，产生的 X、γ射线将会使曝光室内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。

本项目拟在 2#X、γ射线探伤房曝光室北侧拟设置“U”型埋地通风管道，管道尺寸为 300mm，埋地深度均为 400mm，通风管道排放口高于建筑顶部 200mm；拟在 3#X、γ射线探伤房曝光室西南角拟设置“U”型埋地通风管道，管道尺寸为 300mm，埋地深度为 400mm，通风管道排放口高于建筑顶部 200mm。2 座 X、γ射线探伤房曝光室通风管道的设置均不破坏曝光室的屏蔽效果。

本项目 2#、3#X、γ射线探伤房曝光室均拟设置机械通风装置，通风装置与通风管道进风口相连，2#X、γ射线探伤房曝光室净体积约为 495m^3（含迷道），3#X、γ射线探伤房曝光室净体积约为 56m^3（含迷道）。本项目 2#曝光室内拟配备的通风装置的通风量约为 2000m^3/h，3#曝光室内拟配备的通风装置的通风量约为 200m^3/h，均能满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中曝光室每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。本项目 2#、3#X、γ射线探伤房内探伤过程中产生的少量臭氧和氮氧化物通过机械通风装置及工件门排放到室外，臭氧在常温下 50min 可以自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

本项目运行过程中需进行洗片、评片作业，洗片、评片作业于办公楼一层洗片、评片室内进行。在进行洗片作业时会产生洗片废液、冲洗废水及废胶片，产生的洗片废液及废胶片属于《国家危险废物名录》中的 HW16 号危险废物。产生的显影、定影废液及废胶片属《国家危险废物名录》中编号为 HW16 的危险废物，一次、二次冲洗废水拟按危险废物进行管理处置，不得随意排放。公司已与江苏省环境资源有限公司签订危险废物收集处置协议书（见附件 8），探伤过程中产生的显影、定影废液、一次、二次冲洗废水及废胶片在收集后拟临时贮存于危废库内（详见附图 2），定期交由江苏省环境资源有限公司处理处置。

洗片产生的三次及以上冲洗废水以及辐射工作人员在工作过程中产生的生活污水拟排入城市污水管网，一般生活垃圾收集后将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目 2 座 X、γ射线探伤房在建设过程中将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，对环境会产生如下影响：

(1) 大气：本项目在建设施工期需进行混凝土浇筑等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：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尽量采取遮盖、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。

(2) 噪声：整个建筑施工阶段，建筑设备在运行中将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

(3) 固体废物：项目施工期间，产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，公司拟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。

(4) 废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。

该单位在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在公司局部区域，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

1 辐射环境影响分析

本项目 2#X、γ射线探伤房曝光室内拟采用 100Ci 的 ^{60}Co、^{192}Ir、^{75}Seγ射线探伤机及 X 射线探伤机（最大管电压 450kV，最大管电流 5mA）进行探伤，3#X、γ射线探伤房曝光室内拟采用 100Ci 的 ^{192}Ir、^{75}Seγ射线探伤机及 X 射线探伤机（最大管电压 350kV，最大管电流 5mA）进行探伤。本项目 2 座 X、γ射线探伤房内的 X 射线探伤机及γ射线探伤机不同时运行，且每座探伤房内每次仅同时开启 1 台探伤机进行探伤。

1.1 2 座 X、γ射线探伤房曝光室γ探伤辐射环境影响分析

1.1.1 预测计算模式

γ射线辐射影响预测采用《辐射防护导论》（方杰编）γ点源空气比释动能率计算公式，计算出参考点的空气比释动能率$\dot{K}$：

$$\dot{K}_0 = \frac{A \cdot \Gamma_K \cdot B}{r^2} \qquad \text{…（公式 11-1）}$$

式中：$\dot{K}_0$----参考点的空气比释动能率，μGy·h^{-1}；

A ---- 放射源活度，Bq；

Γ_K ---- 空气比释动能常数，通过查阅《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）表 A.1，对 ^{60}Co，Γ_K=0.35μSv·m^2/（MBq·h），^{192}Ir，Γ_K=0.17μSv·m^2/（MBq·h），对 ^{75}Se，Γ_K=0.072μSv·m^2/（MBq·h）；

r ----参考点到放射源的距离，m；

B ----屏蔽透射因子，根据屏蔽体厚度 X，^{60}Co、^{192}Ir 、^{75}Seγ射线在相应材质屏蔽体中的半值层厚度 HVL，按公式 B=$2^{-X/HVL}$ 计算。根据 GBZ117-2022 表 A.2，^{60}Co 对混凝土的半值层为 70mm，对铅的半值层为 13mm；^{192}Ir 对混凝土的半值层为 50mm，对铅的半值层为 3mm。

利用上述公式（11-1）计算有屏蔽体情况下参考点的空气比释动能率 K。

1.1.2 2#X、γ射线探伤房曝光室各侧墙体辐射影响分析

本项目 2#X、γ射线探伤房曝光室内拟采用 100Ci 的 ^{60}Co、^{192}Ir、^{75}Seγ射线探伤机进行探伤，由于 ^{60}Co 核素最大能量为 1.33MeV，^{192}Ir 核素最大能量为 0.612MeV，^{75}Se 的最大能量为 0.401MeV，因此 2#X、γ射线探伤房辐射影响预测均选取 1 台 ^{60}Co 探伤机，额定装源活度为 3.7×10^{12}Bq 进行评价。正常检测工作中工件运至曝光室内，γ射线探伤机放置在合适位置对工件进行照射，探伤室每次仅同时开启 1 台探伤机。

根据 2#X、γ射线探伤房设计参数，按公司探伤时实际工作情况，2#X、γ射线探伤房内γ射线探伤机照射头距离各侧屏蔽墙的最短距离均为 2m，距离地面的最大高度为 2m，参考点距离各屏蔽墙、屋顶及防护门表面的距离均为 30cm。将相关参数代入公式（11-1），2#X、γ射线探伤房曝光室屏蔽墙外辐射防护水平理论计算结果见表 11-1。

表 11-1 2#X、γ射线探伤房曝光室各侧墙体屏蔽计算

控制值 K^* ($\mu Gy \cdot h^{-1}$)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足

①$r_{工件门}$=放射源距墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+工件门厚 0.95m+门外 0.3m =4.55m；

$r_{东、西、北墙}$=放射源距墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+墙外 0.3m =3.6m；

$r_{人员门}$=放射源距墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+门厚 0.235+门外 0.3m =3.835m；

$r_{顶部}$=放射源距顶部的距离 4.5m+墙厚 1.3m+墙外 0.3m =6.1m。

②硫酸钡密度不低于 3.2g/cm^3，混凝土密度不低于 2.35g/cm^3，则 800mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 1089mm，950mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 1294mm。

③对于非同一材料结构的屏蔽因子，B 值为各材料屏蔽透射因子的乘积。

根据表 11-1 的计算结果，当 2#X、γ射线探伤房曝光室内开启 1 台活度为 3.7×10^{12}Bq 的 ^{60}Co 探伤机探伤时，曝光室各侧屏蔽墙体和工件门外最大辐射剂量率约为 0.280μGy/h，顶部外最大辐射剂量率约为 0.089μGy/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“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”的管理目标要求。

1.1.3 3#X、γ射线探伤房曝光室各侧墙体辐射影响分析

本项目 3#X、γ射线探伤房曝光室内拟采用 100Ci 的 ^{192}Ir、^{75}Seγ射线探伤机进行探伤，由于 ^{192}Ir 核素最大能量为 0.672MeV，^{75}Se 的最大能量为 0.206MeV，因此 3#X、γ射线探伤房辐射影响预测选取 1 台 ^{192}Ir 探伤机，额定装源活度为 3.7×10^{12}Bq 进行评价。正常检测工作中工件运至曝光室内，γ射线探伤机放置在合适位置对工件进行照射，探伤室每次仅同时开启 1 台探伤机。

根据 3#X、γ射线探伤房设计参数，按公司探伤时实际工作情况，3#X、γ射线探伤房内γ射线探伤机照射头距离各侧屏蔽墙的最短距离均为 1m，距离地面的最大高度为 1m，参考点距离各屏蔽墙、屋顶及防护门表面的距离均为 30cm。将相关参数代入公式（11-1），该探伤房曝光室屏蔽墙外辐射防护水平理论计算结果见表 11-2。

表 11-2　3#X、γ射线探伤房曝光室各侧墙体屏蔽计算

参数	取值、计算及设计厚度				
控制值 K^* (μGy·h^{-1})	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
评价结果	满足	满足	满足	满足	满足

①$r_{工件门}$=放射源距墙体的距离 1.0m+墙厚 0.9m+门厚 0.25+门外 0.3m =2.45m；
$r_{东墙}$=放射源距墙体的距离 1.0m+墙厚 0.75m+墙外 0.3m =2.05m；
$r_{西墙}$=放射源距墙体的距离 1.0m+墙厚 1.3m+墙外 0.3m =2.6m；
$r_{北墙（操作室）}$=放射源距北侧墙体的距离 2.2m+墙厚 0.5m+墙外 0.3m =3.0m；
$r_{顶部}$=放射源距顶部的距离 2.0m+墙厚 0.9m+墙外 0.3m =3.2m。

②硫酸钡密度不低于 3.2g/cm^3，混凝土密度不低于 2.35g/cm^3，则 200mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 272mm，650mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 885mm，750mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 1021mm，800mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 1090mm，900mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 1225mm。

③对于非同一材料结构的屏蔽因子，B 值为各材料屏蔽透射因子的乘积。

根据表 11-2 的计算结果，当 3#X、γ射线探伤房曝光室内开启 1 台活度为 3.7×10^{12}Bq 的 ^{192}Ir 探伤机探伤时，曝光室各侧屏蔽墙体和工件门外最大辐射剂量率约为 0.234μGy/h，顶部外最大辐射剂量率约为 0.003μGy/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“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”的管理目标要求。

1.1.4 探伤房迷道设计屏蔽效果分析

本项目 2#及 3#X、γ射线探伤房曝光室内均设计有“L”型迷道，2#X、γ射线探伤房曝光室迷道外侧拟安装 200mm 硫酸钡+35mmPb 的防护门；3#X、γ射线探伤房曝光室迷道外侧拟安装 200mm 硫酸钡+10mmPb 的防护门。γ射线探伤机摆放在曝光室内探伤时，射线均至少需经过 1 次以上散射才能从迷道散射至迷道口外，散

射示意图见附图 5，散射计算如下。

根据《辐射防护导论》（方杰主编，P185，式 6.6）计算公式：

$$\eta_{rR} \leq k \frac{H_{L,h} \cdot r_i^2 \cdot r_R^2}{F_{j0} \cdot \alpha_\gamma \cdot \alpha \cdot q}$$

从上式可以导出：

$$H_{L,h} = \frac{F_{j0} . \alpha_\gamma . \alpha}{r_i^2 . r_R^2 . k} \qquad （公式 11-2）$$

式中：H_{Lh}---参考点处γ射线辐射剂量率（Sv/h）；

F_{j0}---辐射源处辐射水平（Gy·m^2/s），对于γ射线源为 A×Γ_k；

a_γ---反射物的反射系数；与入射辐射的能量、反射物的种类及反射角的大小有关，查自《辐射防护导论》图 6.4；

a---X 射线束在反射物上的投照面积（m^2）；本项目分别取迷道的面积；

r_i---辐射源同反射点之间的距离（m）；

r_R---反射点到参考点的距离（m）；

k---单位换算系数，对于γ射线源为 2.77×10^{-4}，秒转换为小时。

2#、3#X、γ射线探伤房迷道散射的计算参数及结果如下：

表 11-3 本项目 2#、3#X、γ射线探伤房迷道散射计算

/	H（Sv/h）	F_{j0}（Gy·m^2/s）	α_γ	α（m^2）	r_i（m）	r_R（m）	k
2#曝光室迷道口	**8.76×10^{-4}**						–
3#曝光室迷道口	**9.07×10^{-4}**						–

注：α_γ的取值根据辐射防护导论 P186 图 6.4；

2#曝光室α的取值取迷道口长度与高度的乘积，即 0.7m×2m=1.4m^2；3#曝光室α的取值取迷道口长度与高度的乘积，即 0.7m×2m=1.4m^2。

光子散射后的能量 E 为：

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0(1-\cos\theta)}{0.511}} \quad \text{……（公式 11-3）（θ为散射角）}$$

E_0—入射光子的能量，MeV；

E—第一次散射后光子的能量，MeV；

θ—散射方向与入射方向的夹角。

^{60}Co 放射源所产生的γ射线的平均能量约为 1.25MeV，经一次散射后能量约为 0.46MeV，（θ均取 72°），对于 0.46MeV 的γ射线，200mm 硫酸钡（约 272mm 混凝土）的衰减倍数约为 15，35mmPb 的衰减倍数约为 500（衰减倍数均根据《辐射防护导论》附表 9 及附表 11 得出），根据上表 11-3，2#X、γ射线探伤房内射线经过 1 次散射后，迷道口外的γ射线剂量率约为 876μSv/h，经过外侧屏蔽门防护后，衰减后其辐射剂量率约为 0.117μSv/h，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“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”的管理目标要求，2#X、γ射线探伤房曝光室迷道防护门可以满足屏蔽要求。

^{192}Ir 放射源所产生的γ射线的平均能量约为 0.36MeV，经过一次散射后其能量约为 0.242MeV（θ均取 72°），对于 0.242MeV 的γ射线，200mm 硫酸钡（约 272mm 混凝土）的衰减倍数约为 40，10mmPb 的衰减倍数约为 600（衰减倍数均根据《辐射防护导论》附表 9 及附表 11 得出）。根据上表 11-3，3#X、γ射线探伤房内射线经过 1 次散射后，迷道口外的γ射线剂量率约为 907μSv/h，经过外侧屏蔽门防护后，衰减后其辐射剂量率约为 0.038μSv/h，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“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”的管理目标要求，3#X、γ射线探伤房曝光室迷道防护门可以满足屏蔽要求。

1.2 源坑及放射源暂存库辐射影响预测

1.2.1 放射源屏蔽状态下辐射影响

本项目 2#X、γ射线探伤房曝光室内拟使用活度为 3.7×10^{12}Bq 的 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 放射源各 1 枚，3#X、γ射线探伤房曝光室内拟使用活度为 3.7×10^{12}Bq 的 ^{192}Ir 及 ^{75}Se 放射源各 1 枚。当放射源处于探伤机源容器内时，根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），P 类探伤机源容器外 5cm 处空气比释动能率 $\dot{K}_1$≤0.5mGy/h，表面 1m 处空气比释动能率 $\dot{K}_1$≤0.02mGy/h。空气比释动能率与距离平方成反比，因此根据公式（11-4）可计算得出距离探伤机不同位置处的辐射水平。

$$\dot{K}_1 = \dot{K}_0 \cdot (R_0 + 0.15)^2 / (R_1 + 0.15)^2 \quad \text{…（公式 11-4）}$$

式中 $\dot{K}_1$：距探伤机表面 R 处的空气比释动能率，mGy/h

$\dot{K}_0$：距离探伤机表面 1m 处的空气比释动能率，mGy/h

R_0 ：源容器表面外 1m

R_1 ：参考点距容器表面的距离，m

0.15：源贮存位置至源表面距离

表 11-4　距探伤机源容器不同距离处的辐射水平估算结果

参考点至容器表面距离 R_1(m)	0.2	0.5	0.6	0.8	**1.0**	1.2	1.4	2.0	3.0
参考点至源贮存位置距离（m）									
空气比释动能率（mGy/h）									7

注：源贮存位置至源表面距离取 15cm

通过表中计算数据可以看出，本项目探伤机未工作时由于探伤机自身源容器的屏蔽防护，放射源对曝光室外环境影响较小，但工作人员在曝光室内移动探伤机或进行其他活动的过程中将受到一定的外照射。因此，实际工作过程中工作人员应注意控制与探伤机接触时间，在曝光室内进行工件调运、胶片贴、取等其他工作时还应注意与探伤机保持一定的距离。

1.2.2 源坑辐射防护性能预测

本项目 2#X、γ射线探伤房曝光室内西北角拟建 1 个源坑，用于贮存 ^{60}Coγ射线探伤机；源坑的净尺寸为 0.5m（长）×0.5m（宽）×0.5m（深），详见附图 5。源坑四周及底部拟采用 100mm 混凝土浇筑，顶部拟采用 65mmPb 盖板进行屏蔽。由于源坑四周及底部均为地下土层，因此仅需考虑顶部盖板外辐射影响。

因关注点处空气比释动能率与其至源点的距离平方成反比，源坑盖板表面 30cm 处的空气比释动能率可按下式计算：

$$\dot{K} = \frac{\dot{K}_0 (R_0 + 0.15)^2}{R_1^2} \cdot B \quad \text{……（公式 11-5）}$$

式中：　$\dot{K}$ ---距源 R 处的空气比释动能率，μGy/h；

R_1---参考点至源的距离，m，本项目取为：源贮存位置至源容器表面距离 0.15m+源容器表面到顶部的距离 0.2m+盖板表面 0.3m=0.65m；

R_0---源容器外表面 1m；（注：公式 11-5 中 0.15m 为源贮存位置至源表面距离）；

$\dot{K}_0$---距源容器外表面 1m 处的空气比释动能率控制值，μGy/h，取为 0.02mGy/h（见《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）表 2 中 P 类探伤机）；

B---屏蔽透射因子，无量纲，按公式 $B=2^{-X/HVL}$ 计算（对于本项目，式中 X 为 65mm 铅；^{60}Co 在铅中的 HVL 为 13mm （GBZ117-2022 表 A.2），算得 B 值为 3.125×10^{-2}）。

将相关参数代入公式（11-5），计算得到 2#X、γ射线探伤房源坑盖板表面 30cm 处的剂量率见下表 11-5。

表 11-5　2#X、γ射线探伤房曝光室源坑屏蔽计算结果

参数	顶部
源到源坑顶部盖板外表面 30cm 处距离 R_1 (m) ①	-
无屏蔽体时γ探伤机表面 1.0m 处空气比释动能率 $\dot{K}_0$ (mGy/h)②	-
屏蔽材料及厚度	-
屏蔽透射因子 B	-
源坑顶外表面 30cm 处的空气比释动能率 $\dot{K}$ (μGy/h)	1.956μGy/h

①$r_{顶部}$=源贮存位置至原容器表面距离 0.15m+源容器表面到顶部的距离 0.2m+盖板表面 0.3m=0.65m；

②“无屏蔽”指的是源容器表面无屏蔽措施时 1.0m 处的空气比释动能率。

由表 11-5 计算结果可知，源坑外表面 30cm 处空气比释动能率为 1.956μGy/h，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“在公众能接近的距外表面最近处，其屏蔽应能使该处周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 或者审管部门批准的控制水平”的要求。

1.2.3 放射源暂存库辐射防护性能预测

本项目 3#X、γ射线探伤房曝光室内的北侧拟建 1 个放射源暂存库，用于贮存本项目 2#、3#X、γ射线探伤房曝光室内拟使用的 ^{192}Ir 及 ^{75}Seγ射线探伤机。

放射源暂存库的内净尺寸为 1.85m（长）×1.4m（宽）×3.0m（高）。放射源暂存库东墙拟采用 750mm 硫酸钡浇筑，南墙及西墙均拟采用 300mm 硫酸钡浇筑，北墙拟采用 500mm 硫酸钡浇筑，顶部拟采用 900mm 硫酸钡浇筑，放射源暂存库防护门拟采用防盗门。放射源暂存库北墙内拟镶嵌放射源暂存柜，暂存柜防护门拟采用 20mmPb。

放射源暂存库周围 30cm 处的空气比释动能率仍按照公式 11-5 计算，根据公式（11-5），计算得到放射源暂存库外表面 30cm 处的剂量率见下表 11-6。

表 11-6 放射源暂存库屏蔽计算结果

参数		东侧屏蔽墙	南侧屏蔽墙	西侧屏蔽墙	西侧防盗门	北侧屏蔽墙	顶部
源到各屏蔽体外表面 30cm 处距离 (*m*)①							
无屏蔽体时每台γ射线探伤机表面 1.0m 处空气比释动能率 $\dot{K}_0$ (mGy/h)②							
屏蔽材料及厚度③							
屏蔽透射因子 B④	对 ^{192}Ir						
	对 ^{75}Se						
放射源暂存库外表面 30cm 处的空气比释动能率 K(μGy/h)		<0.001	<0.001	0.062	0.169	0.003	<0.001

①$r_{东墙}$=等效点源到东墙的距离 0.925m+墙厚 0.65m+墙外 0.3m=1.875m；

$r_{南墙}$=等效点源到南墙的距离 1.2m+墙厚 0.3m+墙外 0.3m=1.8m；

$r_{西墙、防护门}$=等效点源到西墙（防护门）的距离 0.925m+墙厚 0.3m+墙外 0.3m=1.525m；

$r_{北墙}$=等效点源到北墙的距离 0.2m+墙厚 0.5m+墙外 0.3m=1.0m；

$r_{顶部}$=等效点源到顶部的距离 2.0m+墙厚 0.9m+墙外 0.3m=3.2m；

②“无屏蔽”指的是源容器表面无屏蔽措施时 1.0m 处的空气比释动能率；

③硫酸钡密度不低于 3.2g/cm^3，混凝土密度不低于 2.35g/cm^3，则 300mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为408mm，500mm硫酸钡按密度换算为混凝土约为680mm，650mm硫酸钡按密度换算为混凝土约为885mm，750mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 1021mm，900mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 1225mm。^{192}Ir 对混凝土的半值层为 50mm，对铅的半值层为 3mm，^{75}Se 对混凝土的半值层为 30mm，对铅的半值层为 1mm。

④对于非同一材料结构的屏蔽因子，B 值为各材料屏蔽透射因子的乘积。

由表 11-6 计算结果可知，源库东侧、顶部外表面 30cm 处空气比释动能率小于 0.001μGy/h（公众可接近），南侧、西侧及北侧外表面 30cm 处空气比释动能率约为 0.169μGy/h（公众无法接近），《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“在公众能接近的距外表面最近处，其屏蔽应能使该处周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 或者审管部门批准的控制水平”的要求。

1.3 2 座 X、γ射线探伤房曝光室 X 射线探伤辐射环境影响分析

1.3.1 有用射束方向屏蔽效果预测

X、γ射线探伤房曝光室预测计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中有用线束屏蔽估算的计算公式：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{……（公式 11-6）}$$

式中：$\dot{H}$：关注点处剂量率，μSv/h；

I：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（靶点）1m 处输出量，μSv·m²/(mA·h)，根据表 9-2，450kV 电压下，H_0 取 55mGy·m²/（mA·min）；350kV 电压下，H_0 取 22.2mGy·m²/（mA·min）；300kV 电压下，H_0 取 20.9mGy·m²/（mA·min）；

B：屏蔽透射因子，取值根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.2 中的十值层，再通过公式（11-7）计算得出：

$$B=10^{-X/TVL} \quad \text{……（公式 11-7）}$$

式中：X：屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL：屏蔽材料的什值层厚度；

R：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

1.3.2 非有用线束屏蔽效果预测

非有用线束方向预测计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中非有用线束屏蔽估算的计算公式：

① 泄漏辐射

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_L\cdot B}{R^2} \quad \text{……（公式 11-8）}$$

式中：$\dot{H}$：关注点处剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_L$：距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，μSv/h，取值参考工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的表 1；

B：屏蔽透射因子，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中表 B.2 查取混凝土及铅的什值层厚度，然后按公式（11-7）计算得出；

R：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

② 散射辐射

$$\dot{H}=\frac{I\cdot H_0\cdot B}{R_s^2}\cdot\frac{F\cdot\alpha}{R_0^2} \quad \text{……（公式 11-9）}$$

$\dot{H}$式中：　　：关注点处剂量率，μSv/h；

I：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（靶点）1m 处输出量，μSv·m^2/(mA·h)，取值参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的附录表 B.1；

B：屏蔽透射因子，按《工业 X 射线探室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中表 2 确定 90°散射辐射的射线能量，查附录 B 表 B.2 的相应值，确定 90°散射辐射的 TVL，然后按公式 $B=10^{-X/TVL}$ 计算；

F：R_0 处的辐射野面积，m^2；

α：散射因子，入射辐射被单位面积（1 m^2）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。与散射物质有关，在未获得相应物质的α 值时，可以用水的α 值保守估计，取值参考《工业 X 射线探室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的附录 B 表 B.3；

R_s：散射体至关注点的距离，m；

R_0：辐射源点（靶点）至探伤工件的距离，m。

1.3.3 曝光室各侧墙体 X 射线探伤辐射影响分析

1.3.3.1 2#X、γ射线探伤房曝光室各侧墙体 X 射线探伤辐射影响分析

本项目 2#X、γ射线探伤房曝光室内拟配备 1 台 T6000 型 X 射线周向机及 2 台 3505 型 X 射线周向机。根据企业提供信息，2#X、γ射线探伤房曝光室内周向机主射线方向朝东墙、西墙、顶部及地面照射，每次探伤时曝光室内仅同时开启 1 台探伤机。

本次 2#X、γ射线探伤房曝光室评价选取 1 台 T6000 型 X 射线周向机满功率运行时的工况进行预测，其最大管电压为 450kV，最大管电流为 5mA。评价时拟将 2#X、γ射线探伤房曝光室的东墙、西墙、顶部及人员门均按照有用射束照射进行保守估算，将 2#X、γ射线探伤房曝光室的北墙及工件门均按照非有用射束照射进行保守估算。预测时 2#座 X、γ射线探伤房曝光室内探伤机离地距离取 2m，计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式。

2#X、γ射线探伤房曝光室屏蔽墙外辐射防护水平理论计算结果见表 11-7 及表 11-8。

表 11-7　2#X、γ射线探伤房曝光室有用线束方向屏蔽墙屏蔽效果预测表

关注点	设计厚度	I（mA）	H_0 μSv·m²/(mA·h)	B#	R*（m）	$\dot{H}$（μSv/h）	剂量率参考控制水平(μSv/h)	评价
东墙						**<0.001**	2.5	满足
西墙						**<0.001**	2.5	满足
顶部						**<0.001**	2.5	满足
人员门						**<0.001**	2.5	满足

* 本项目探伤机工作时在曝光室位置非固定不变，有一定的移动范围，因此本项目探伤机距东侧、西侧墙体的最小距离取 2.0m 进行计算：

$R_{东、西墙}$=探伤机到墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+参考点 0.3m=3.6m；

$R_{顶部}$=探伤机到顶部的最近距离 4.5m+墙厚 1.3m +参考点 0.3m=6.1m；

$R_{人员门}$=探伤机到墙体的最近距离 2.0m+墙厚 1.3m +门厚 0.235m+参考点 0.3m=3.835m；

#硫酸钡密度不低于 3.2g/cm³，混凝土密度不低于 2.35g/cm³，则 800mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 1090mm。根据《辐射防护导论》P98 表 3.5，采用插值法可得出 450kV 电压下，混凝土的什值层约为 10.95cm，铅的什值层约为 0.925cm。对于非同一材料结构的屏蔽因子，B 值为各材料屏蔽透射因子的乘积。

表 11-8　2#X、γ射线探伤房曝光室非有用线束方向屏蔽墙屏蔽效果预测表

关注点		北墙	南侧工件门	
X 设计厚度				
$TVL_{混凝土}$#				
泄漏辐射	B			
	$\dot{H}_L$ (μSv /h)			
	R*（m）			
	$\dot{H}$ (μSv /h)			
散射辐射	散射后能量对应的 kV 值			
	$TVL_{混凝土}$#			
	B#			
	I（mA）			
	H_0 (μSv·m²/(mA·h))			
	F (m²)			
	α			
	R_0（m）			
	R_s*（m）			

)-2014）

	$\dot{H}$ (μSv /h)	<0.001	<0.001
泄漏辐射和散射辐射的复合作用(μSv/h)		<0.001	<0.001
剂量率参考控制水平(μSv/h)		2.5	2.5
评价		满足	满足

* R：本项目探伤机工作时在曝光室位置非固定不变，有一定的移动范围，因此本项目探伤机距南、北墙体的距离取 2.0m 进行计算：

$R_{北墙}$=探伤机到墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+参考点 0.3m=3.6m

$R_{南侧工件门}$=探伤机到墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+门厚 0.95m+参考点 0.3m=4.55m

#硫酸钡密度不低于 3.2g/cm³，混凝土密度不低于 2.35g/cm³，则 950mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 1294mm，根据《辐射防护导论》P98 表 3.5，采用插值法可得出 450kV 电压下，混凝土的什值层约为 10.95cm，铅的什值层约为 0.925cm；根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》GBZ/T250-2014 表 B.2，在 250kV 电压下，混凝土的什值层约为 90mm。

从表 11-7 及表 11-8 中预测结果可知，当 2#X、γ射线探伤房曝光室内管电压为 450kV，管电流为 5mA 的 X 射线周向机满功率运行时，曝光室四周墙、工件门、人员门及顶部外 30cm 处的最大辐射剂量率小于 0.001μSv/h，能够满足《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/T 250-2014）中“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”的要求。

1.3.3.2 3#X、γ射线探伤房曝光室各侧墙体 X 射线探伤辐射影响分析

本项目 3#X、γ射线探伤房曝光室内拟配备 1 台 3505 型 X 射线周向机及 1 台 3005 型 X 射线周向机。根据企业提供信息，3#X、γ射线探伤房曝光室内周向机主射线方向朝东墙、西墙、顶部及地面照射，每次探伤时曝光室内仅同时开启 1 台探伤机。

本次 3#X、γ射线探伤房曝光室评价选取 1 台 3505 型 X 射线周向机满功率运行时的工况进行预测，其最大管电压为 350kV，最大管电流为 5mA。评价时拟将 3#曝光室的东墙、西墙及顶部均按照有用射束照射进行估算，将 3#X、γ射线探伤房曝光室的北墙及工件门均按照非有用射束照射进行估算。预测时 3#X、γ射线探伤房曝光室内探伤机离地距离取 1m，计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式。3#X、γ射线探伤房曝光室屏蔽墙外辐射防护水平理论计算结果见表 11-9 及表 11-10。

表 11-9　3#X、γ射线探伤房曝光室有用线束方向屏蔽墙屏蔽效果预测表

关注点	设计厚度	I（mA）	H_0 μSv·m²/(mA·h)	B#	R*（m）	$\dot{H}$（μSv/h）	剂量率参考控制水平(μSv/h)	评价
东墙						**<0.001**	2.5	满足

西墙		**<0.001**	2.5	满足
顶部		**<0.001**	2.5	满足

* R：本项目探伤机工作时在曝光室位置非固定不变，有一定的移动范围，因此本项目探伤机距东侧、西侧墙体的最小距离取 1.0m 进行计算：

$R_{东墙}$=探伤机到墙体的距离 1.0m+墙厚 0.75m+参考点 0.3m=2.05m；

$R_{西墙}$=探伤机到墙体的距离 1.0m+墙厚 1.3m+参考点 0.3m=2.6m；

$R_{顶部}$=探伤机到顶部的最近距离 2.0m+墙厚 0.9m +参考点 0.3m=3.2m；

#硫酸钡密度不低于 3.2g/cm³，混凝土密度不低于 2.35g/cm³，则 650mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 885mm，750mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 1021mm，900mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 1225mm。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》GBZ/T250-2014 表 B.2，采用插值法可得出 350kV 电压下，混凝土的什值层约为 100mm。

表 11-10　3#X、γ射线探伤房曝光室非有用线束方向屏蔽墙屏蔽效果预测表

关注点			北墙	南侧工件门
X 设计厚度				
TVL#		混凝土		
		Pb		
泄漏辐射	B			
	$\dot{H}_L$ (μSv /h)			
	R*（m）			
	$\dot{H}$ (μSv /h)			
散射辐射	散射后能量对应的 kV 值			
	TVL#	混凝土		
		Pb		
	B**			
	I（mA）			
	H_0 (μSv·m²/(mA·h))			
	F (m²)			
	α			
	R_0（m）			
	R_s*（m）			
	$\dot{H}$ (μSv /h)			
泄漏辐射和散射辐射的复合作用(μSv/h)			<0.001	<0.001
剂量率参考控制水平(μSv/h)			2.5	2.5
评价			满足	满足

* R：本项目探伤机工作时在曝光室位置非固定不变，有一定的移动范围，因此本项目探伤机距墙体的距离取探伤机到南、北侧墙体的最小距离 1.0m 进行计算：

$R_{南侧工件门}$=探伤机到墙体的距离 1.0m+墙厚 0.9m+门厚 0.24m+参考点 0.3m=2.44m；

$R_{北墙}$=探伤机到墙体的距离 1.0m+墙厚 0.3m+源库 1.4m+墙厚 0.5m+参考点 0.3m=3.5m

#硫酸钡密度不低于 3.2g/cm³，混凝土密度不低于 2.35g/cm³，则 200mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 272mm，800mm 硫酸钡按密度换算为混凝土约为 1090mm。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》GBZ/T250-2014 表 B.2，可得出 250kV 电压下，混凝土的什值层约为 90mm，铅的什值层约为 2.9mm；采用插值法可得出 350kV 电压下，混凝土的什值层约为 100mm，铅的什值层约为 6.95mm。

**：对于非同一材料结构的屏蔽因子，B 值为各材料屏蔽透射因子的乘积。

从表 11-9 及表 11-10 中预测结果可知，当 3#X、γ射线探伤房曝光室内管电压为 350kV，管电流为 5mA 的 X 射线周向机满功率运行时，曝光室四周墙、工件门、人员门及顶部外 30cm 处的最大辐射剂量率约为 0.002μSv/h，能够满足《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/T 250-2014）中“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”的要求。

1.4 探伤房电缆管道和通风屏蔽效果分析

本项目 2#X、γ射线探伤房曝光室东墙拟设置“U”型埋地电缆管道，管道直径约为 200mm，埋地深度约为 400mm，详见附图 5，探伤机的控制电缆布设于电缆管道内，电缆管道的设置不破坏 1#X、γ射线探伤房曝光室的屏蔽效果；3#X、γ射线探伤房曝光室北墙拟设置“U”型埋地电缆管道，电缆管道直径为 200mm，管道埋地深度为 400mm，探伤机的控制电缆布设于电缆管道内，电缆管道的设置不破坏 3#X、γ射线探伤房曝光室的屏蔽效果，详见附图 5。本项目 2 座 X、γ射线探伤房曝光室内γ射线探伤机及 X 射线探伤机控制电缆均通过“U”型线管至操作室与控制器连接，射线需经过三次以上散射才能经 U 型管散射至曝光室墙外（见图 11-1），根据《辐射防护导论》P189 页可知：如果一个迷道能使辐射至少散射三次以上，其能够保证迷道口工作人员的安全，迷道口也只需要采用普通门。因此本项目电缆管道布置方式不影响曝光室墙体的辐射屏蔽效果。

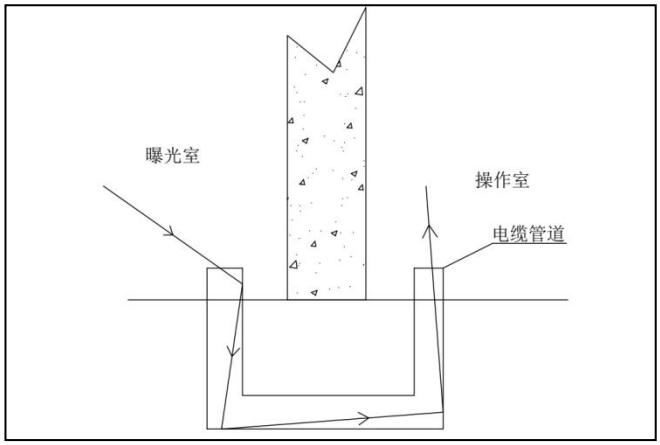

图 11-1 电缆管线散射示意图

本项目拟在 2#X、γ射线探伤房曝光室北侧设置“U”型埋地通风管道，管道尺寸

为 300mm，埋地深度均为 400mm，通风管道排放口高于建筑顶部 200mm；拟在 3#X、γ射线探伤房曝光室西南角设置“U”型埋地通风管道，管道尺寸为 300mm，埋地深度为 400mm，通风管道排放口高于曝光室顶部 200mm。2 座 X、γ射线探伤房曝光室通风管道的设置均不破坏曝光室的屏蔽效果。2 座 X、γ射线探伤房曝光室内射线均需经过至少三次散射才能经 U 型管散射至曝光室墙外，（见图 11-2），根据《辐射防护导论》P189 页可知：如果一个迷道能使辐射至少散射三次以上，其能够保证迷道口工作人员的安全，迷道口也只需要采用普通门。因此本项目通风管道布置方式不影响曝光室墙体的辐射屏蔽效果。

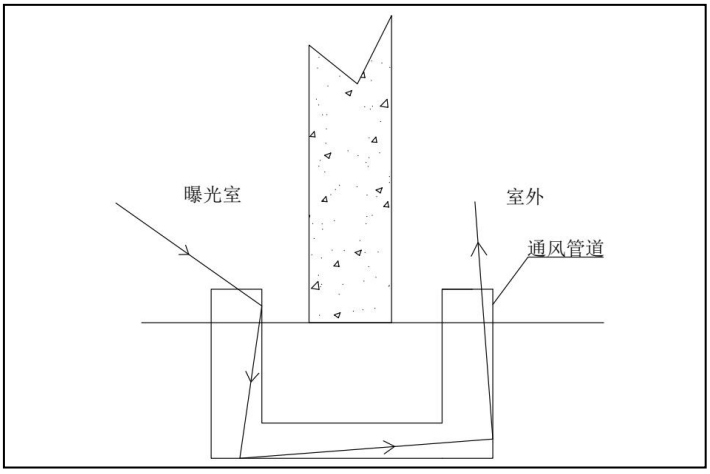

图 11-2 通风管道散射示意图

1.5 通风评价

本项目 2 座 X、γ射线探伤房内探伤过程中产生的少量臭氧和氮氧化物通过机械通风装置及工件门排放到室外，臭氧在常温下 50min 可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

2 辐射工作人员及公众年有效剂量估算

本项目辐射工作人员和周围公众年有效剂量预测可通过《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的公式来估算，估算公式如下：

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \text{.....（公式 11-10）}$$

上式中：H－受照剂量，μSv；

$\dot{H}$－参考点处剂量率，μSv/h；

U－使用因子；

T－居留因子；

t－照射时间，（h）。

2.1 辐射工作人员年有效剂量

本项目 2#、3#X、γ射线探伤房各拟配备 2 名辐射工作人员从事探伤工作，本项目运行后辐射工作人员的年有效剂量贡献值，主要包括三部分：（1）X、γ射线探伤机正常探伤作业时，曝光室周围的辐射工作人员受到的经过墙体、屋顶和防护门屏蔽衰减后的 X、γ射线产生的有效剂量；（2）在从源库或源坑内提取、归还γ射线探伤机以及在γ射线探伤机摆位过程中，由于近距离接触γ射线探伤机而受到的有效剂量；（3）中途更换被检测工件和重新贴片期间受到的剂量。各操作过程中辐射工作人员年工作时间见表 11-11。

表 11-11 各操作过程中辐射工作人员年工作时间表

过程	周工作时间（h）	年工作时间（h）
探伤作业	10	500
提取、归还γ射线探伤机及γ射线探伤机摆位	0.5	25
更换被检测工件和重新贴片	12	600

注：辐射工作人员工作时间按照每年工作 50 周，每周工作 6 天取。

2.1.1 辐射工作人员正常探伤作业时年有效剂量

对于本项目 2#、3#X、γ射线探伤房控制室内的辐射工作人员，根据表 11-1~表 11-10 计算结果可知，按照 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se γ射线探伤机 100Ci 的额定装源活度在曝光室内运行时，2#X、γ射线探伤房辐射工作人员所在控制室的辐射剂量率约为 0.280μSv·h^{-1}（人员门外），3#X、γ射线探伤房辐射工作人员所在控制室的辐射剂量率最大约为 0.038μSv·h^{-1}（人员门外），将相关参数带入公式（11-10）中计算得到辐射工作人员周有效剂量见表 11-12，年有效剂量见表 11-13。

表 11-12 正常探伤作业时辐射工作人员周有效剂量估算表

关注点	使用因子 U	居留因子 T	剂量率值（μSv/h）	周工作时间（h）	周剂量估算值(μSv/周)
2#X、γ射线探伤房曝光室人员门外	1	1（控制室内）	0.280	10	2.8
3#X、γ射线探伤房曝光室人员门外	1	1（控制室内）	0.038	10	0.38

表 11-13 正常探伤作业时辐射工作人员年有效剂量估算表

关注点	使用因子 U	居留因子 T	剂量率值（μSv/h）	年工作时间（h）	年剂量估算值(mSv/年)
2#X、γ射线探伤房曝光室人员门外	1	1（控制室内）	0.280	500	0.14
3#X、γ射线探伤房曝光室人员门外	1	1（控制室内）	0.038	500	0.019

2.1.2 辐射工作人员提取、归还γ射线探伤机及γ射线探伤机摆位所受年有效剂量

本项目辐射工作人员每天提取和归还γ探伤机以及摆位时近距离接触放射源会受到一定剂量的γ射线照射，辐射工作人员受照射时间见表 11-11。假设提取、归还γ射线探伤机及γ射线探伤机摆位时，辐射工作人员离γ射线探伤机表面约 50cm，根据表 11-4 可知，辐射工作人员所受剂量率约为 63μSv/h。将相关参数带入公式（11-10）中计算得到辐射工作人员周有效剂量见表 11-14，年有效剂量见表 11-15。

表 11-14 辐射工作人员周有效剂量估算表

关注点	使用因子 U	居留因子 T	剂量率值（μSv/h）	周工作时间（h）	周剂量估算值(μSv/周)
未开机时γ射线探伤机表面 50cm 处	1	1	63	0.25	15.75

注：估算时假设每座探伤房拟配备的 2 名工作人员轮流作业，则周工作时间约为 0.25h。

表 11-15 辐射工作人员年有效剂量估算表

关注点	使用因子 U	居留因子 T	剂量率值（μSv/h）	年工作时间（h）	年剂量估算值(mSv/年)
未开机时γ射线探伤机表面 50cm 处	1	1	63	12.5	0.788

注：估算时假设每座探伤房拟配备的 2 名工作人员轮流作业，则年工作时间约为 12.5h。

2.1.3 辐射工作人员更换被检测工件和重新贴片所受年有效剂量

辐射工作人员中途更换被检测工件和重新贴片期间会受到一定剂量的γ射线照射，由于公司探伤过程中在曝光室内搬运工件及贴取胶片时间见表11-11。设工作期间辐射工作人员距γ射线探伤机最小距离为2m，根据表11-4，辐射工作人员所受剂量率约为5.7μSv/h。2名辐射工作人员轮流作业，根据表11-4中估算结果进行估算（2m对应剂量率约为5.7μGy/h），将相关参数带入公式（11-10）中计算得到辐射工作人员周有效剂量见表11-16，年有效剂量见表11-17。

表 11-16 辐射工作人员周有效剂量估算表

关注点	使用因子 U	居留因子 T	剂量率值（μSv/h）	周工作时间（h）	周剂量估算值(μSv/周)
未开机时γ射线探伤机表面 2m 处	1	1	5.7	6	34.2

注：估算时假设 2 名辐射工作人员轮流作业，则周工作时间约为 6h。

表 11-17 辐射工作人员年有效剂量估算表

关注点	使用因子 U	居留因子 T	剂量率值（μSv/h）	年工作时间（h）	年剂量估算值(mSv/年)
未开机时γ射线探伤机表面 2m 处	1	1	5.7	300	1.71

注：估算时假设2名辐射工作人员轮流作业，则年工作时间约为300h。

2.1.4 辐射工作人员探伤期间所受叠加年有效剂量汇总

根据表11-12~表11-17，辐射工作人员探伤期间所受叠加周有效剂量汇总见表11-18，所受叠加年有效剂量汇总见表11-19。

表 11-18 辐射工作人员周有效剂量估算汇总表

关注点			周剂量值(μSv/周)	周剂量汇总值(μSv/周)
2#X、γ射线探伤房辐射工作人员	探伤作业	2#X、γ射线探伤房操作室	2.8	53.13
		3#X、γ射线探伤房操作室	0.38	
	提取、归还γ射线探伤机及摆位		15.75	
	更换被检测工件和重新贴片		34.2	
3#X、γ射线探伤房辐射工作人员	探伤作业	2#X、γ射线探伤房操作室	2.8	53.13
		3#X、γ射线探伤房操作室	0.38	
	提取、归还γ射线探伤机及摆位		15.75	
	更换被检测工件和重新贴片		34.2	

表 11-19 辐射工作人员年有效剂量估算表

关注点			年剂量值(mSv/年)	年剂量汇总值(mSv/年)
2#X、γ射线探伤房辐射工作人员	探伤作业	2#X、γ射线探伤房操作室	0.14	2.657
		3#X、γ射线探伤房操作室	0.019	
	提取、归还γ射线探伤机及摆位		0.788	
	更换被检测工件和重新贴片		1.71	
3#X、γ射线探伤房辐射工作人员	探伤作业	2#X、γ射线探伤房操作室	0.14	2.657
		3#X、γ射线探伤房操作室	0.019	
	提取、归还γ射线探伤机及摆位		0.788	
	更换被检测工件和重新贴片		1.71	

根据表11-18及表11-19可知，本项目γ探伤房投入运行后，2#、3#X、γ射线探伤房曝光室辐射工作人员所受叠加周有效剂量最大值均约为**53.13μSv**，所受叠加年有效剂量最大值均约为**2.657mSv**，均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标中对辐射工作人员的剂量约束值要求：**职业人员周有效剂量不超过100μSv，年有效剂量不超过5mSv。**

由于本项目γ探伤过程中辐射工作人员的受照剂量受多种不确定因素的影响，辐射工作人员的受照射情况复杂多变，难以准确估算其年有效剂量，因此上述理论估算结果只能大致反映出辐射工作人员受照射程度。本项目辐射工作人员在工作过程中均应佩戴个人剂量计并进行职业健康体检，对于个人剂量监测结果异常的辐射工作人员，公司应查明其剂量异常的原因并上报主管部门，同时公司拟根据个人剂量检测结果以及健康体检结果及时对辐射工作人员工作岗位进行调整，

确保其年有效剂量满足本项目的剂量约束值要求。

2.2 公众年有效剂量

2.2.1 2座X、γ射线探伤房曝光室周围公众年有效剂量估算

本项目公众人员主要为公司厂区内其它工作人员及评价范围内其它公司厂区工作人员。根据表 11-1~表 11-3、表 11-7~表 11-10 中计算结果及距离平方反比公式可计算出其它公司厂区内参考点的剂量率。

$$H_2 = \frac{H_1 \cdot R_1^2}{R_2^2} \quad \text{.....（公式 11-11）}$$

式中：H_1—距射线源点 R_1 处的剂量率，μSv/h；

H_2—参考点距射线源 R_2 处的剂量率，μSv/h；

R_1—曝光室各侧屏蔽墙外 30cm 处距射线源的距离，m；

R_2—各计算点位距射线源的距离，m。

根据公式（11-11）可估算出本项目 2#、3#X、γ射线探伤房曝光室周围参考点处的辐射剂量率，估算结果见表 11-20。

表 11-20 2#、3#X、γ射线探伤房曝光室周围参考点处的辐射剂量率估算表

预测点位	H_1（μSv/h）	R_1（m）	R_2（m）	H_2（μSv/h）
2#X、γ射线探伤房曝光室西墙外 1.5m 处				
2#X、γ射线探伤房曝光室北墙外 2m 处（办公楼内）				
3#X、γ射线探伤房曝光室东墙外 2m 处				

将表 11-1~表 11-3、表 11-7~表 11-10 及表 11-20 中的计算结果代入公式（11-10）中，可计算得到 2 座 X、γ射线探伤房周围公众的周有效剂量见表 11-21，年有效剂量见表 11-22。

表 11-21 2#、3#X、γ射线探伤房周围公众人员周受照有效剂量结果评价

关注点		使用因子 U	居留因子 T	剂量率值（μSv/h）	周工作时间（h）	周剂量估算值(μSv/周)	剂量约束值(μSv/周)	评价
2#X、γ射线探伤房曝光室	南侧工件门外 30cm	1	1/4	0.170	10	0.425	5（公众）	满足
	西墙外 30cm	1	1/4（车间内场所）	0.257	10	0.643		满足
	西墙外 1.5m	1	1（无锡市恒新紧固件有限公司车间内）	0.145	10	1.45		满足

	北墙外 30cm	1	1/4（车间内场所）	0.257	10	0.643		满足
	北墙外 2m	1	1（办公楼）	0.119	10	1.19		满足
	顶部外 30cm	1	1（理化室）	0.089	10	0.89		满足
3#X、γ射线探伤房曝光室	东墙外 30cm	1	1/4（车间内过道）	0.107	10	0.268		满足
	东墙外 2m	1	1（汤氏机械）	0.032	10	0.32		满足
	南侧工件门外 30cm	1	1/4	0.234	10	0.585		满足
	顶部外 30cm	1	1/4（仓库）	0.003	10	0.008		满足

表 11-22 2#、3#X、γ射线探伤房周围公众人员年受照有效剂量结果评价

关注点		使用因子 U	居留因子 T	剂量率值（μSv/h）	年工作时间（h）	年剂量估算值(mSv/a)	剂量约束值(mSv/a)	评价
2#X、γ射线探伤房曝光室	南侧工件门外 30cm	1	1/4	0.170	500	0.021	0.1（公众）	满足
	西墙外 30cm	1	1/4（车间内场所）	0.257	500	0.032		满足
	西墙外 1.5m	1	1（无锡市恒新紧固件有限公司车间内）	0.145	500	0.073		满足
	北墙外 30cm	1	1/4（车间内场所）	0.257	500	0.032		满足
	北墙外 2m	1	1（办公楼）	0.119	500	0.060		满足
	顶部外 30cm	1	1（理化室）	0.089	500	0.045		满足
3#X、γ射线探伤房曝光室	东墙外 30cm	1	1/4（车间内过道）	0.107	500	0.013		满足
	东墙外 2m	1	1（汤氏机械）	0.032	500	0.016		满足
	南侧工件门外 30cm	1	1/4	0.234	500	0.029		满足
	顶部外 30cm	1	1/4（仓库）	0.003	500	<0.001		满足

根据表 11-21 及表 11-22 中的计算结果可知，本项目 2#X、γ射线探伤房周围公众周有效剂量最大值约为 1.45μSv，年有效剂量最大值约为 0.073mSv；3#X、γ射线探伤房周围公众周有效剂量最大值约为 0.585μSv，年有效剂量最大值约为 0.029mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值和本项目剂量约束值的要求，即公众周有效剂量不超过 5μSv，年有效剂量不超过 0.1mSv。

2.2.2 2 座 X、γ射线探伤房曝光室周围公众所受叠加年有效剂量估算

由于本项目 2#、3#X、γ射线探伤房相邻而建，故需考虑公众人员所受剂量的叠加影响。由前文计算结果可知，2 座 X、γ射线探伤房公众人员可达处南侧工件门外辐射影响相对较大，因此本次叠加预测取 2#、3#X、γ射线探伤房曝光室工件门外公众人员所受年有效剂量相加，根据表 11-22，公众人员所受年有效剂量叠加值约为 0.021mSv+0.029mSv=0.05mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值和本项目剂量约束值的要求，即公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

对于东侧汉为液压气动有限公司、花汇自动化有限公司及无锡维迪机械有限公司、西侧春灵传动机械有限公司及北侧无锡七机机床有限公司、无锡市创宏机械有限公司厂区内工作人员，由于距本项目相对较远，经过厂房的进一步屏蔽和距离的进一步衰减，本项目对评价范围内其他企业的公众的辐射影响很小，可湮没在本底辐射中。

事故影响分析

1 事故分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11-23。

表 11-23 辐射事故等级划分表

事故等级	事故情形
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。
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 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
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。
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或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值的照射

本项目 X 射线探伤机为 II 类射线装置，γ射线探伤机为 II 类放射源。在 X、γ射线探伤机探伤过程中，若不采取适当的屏蔽措施，可能对操作的辐射工作人员及周围公众造成放射性损伤，可能会造成意外照射。根据《实用辐射安全手册》（第二版）（从惠玲，北京：原子能出版社），急性放射病的发生率以及急性放射病的

死亡率与辐射剂量的关系见表 11-24。

表 11-24　急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

2 潜在事故分析

2.1 本项目 X 射线探伤可能发生的辐射事故

（1）X 射线探伤机在对工件进行曝光的工况下，曝光室门机联锁失效，工作人员误入曝光室；

（2）曝光室门机联锁失效，工件门未完全关闭，X 射线探伤机在对工件进行曝光的工况下对曝光室周围人员造成意外照射；

（3）探伤操作人员未发现曝光室内仍有人员滞留即开始探伤作业，致使人员受到意外照射；

（4）探伤机进行检修、维修发生误照射对周围人员造成意外照射；

（5）曝光室防护门屏蔽受损有漏射线对周围人员造成意外照射。

2.2 本项目γ射线探伤潜在事故分析

（1）γ射线探伤机放射源发生被盗事故，对社会安全及公众人身安全造成严重危害。

（2）γ射线探伤机探伤机源容器出口安全锁损坏，导致探伤机移动过程中放射源移出源容器。

（3）γ射线探伤机探伤机输源管或控制缆经过挤压、弯曲后不能保持结构完整导致放射源不能在导管内运动，造成卡源事故。

（4）γ射线探伤过程中辐射工作人员或其他人员误留在曝光室内，致使其受到大剂量照射。

（5）γ射线探伤过程中因门-机联锁失效、警告灯损坏等原因，工作人员或其

他人员误入曝光室使其受到大剂量照射；曝光期间防护门未能完全关闭时，大量γ射线泄漏到曝光室外面，给周围活动的人员造成不必要的照射。

2.3 事故后果预测

2.3.1 X 射线探伤事故后果预测

在上述 X 射线探伤事故中，防护门未完全关闭的情况下 X 射线探伤机出束，致使曝光室室外人员受到照射，操作人员未全部撤离曝光室即启动射线装置、或者操作人员/公众误入曝光室受到照射，其均为超剂量照射事故。本项目 X 射线探伤机均为周向机，最大管电压为 450kV，最大管电流为 5mA，事故状态下人员受照剂量按照 450kV 管电压的探伤机满功率运行时，主射线方向考虑，人员受照剂量可由公式 11-6 及公式 11-10 估算得到。将相关参数带入公式 11-6 及公式 11-10 中，计算得到事故状态下人员受照剂量见表 11-25。

表 11-25 持续出束情况下人员受到累积剂量

距离	X 射线机 1m 处输出量μSv·m²/(mA·h)	各时段的射线所致辐射剂量（Sv）		
		30s	1min	2min
距 X 射线探伤机 1m 处	$55\times60\times10^3$	0.138	0.275	0.550
距 X 射线探伤机 2m 处		0.034	0.069	0.138

本项目 2 座 X、γ射线探伤房曝光室内均设有开门开关、急停按钮等，在发生意外时，人员可迅速按下急停按钮和开门开关，使 X 射线探伤机停止出束，并离开保曝光室，整个过程一般不超过 1min。根据表 11-24 及表 11-25 可知，人员所受辐射剂量约为 0.275Sv，急性放射病发生率小于 1%。因此 X 射线探伤的最大可信事故为一般辐射事故。

2.3.2 γ射线探伤事故后果预测

参照《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》、《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》及《江苏省辐射污染防治条例》的规定，本项日使用的 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 放射源均为 II 类放射源，该类放射源可能会发生中华大辐射事故或特别重大辐射事故。经过分析，本项目可能发生最严重的事故为放射源裸源丢失或被盗事故，其余人员误留、误入或误照射等事故均能及时发现并停止照射。

针对本项目γ射线探伤机，考虑到 ^{60}Co γ射线探伤机的辐射影响最大，故以 ^{60}Co γ射线探伤机进行事故预测分析。将相关参数带入公式（11-1）及公式（11-10），可计算得到在持续出束情况下人员受到累积剂量，见表 11-26。

表 11-26 持续出束情况下人员受到累积剂量

距离	活度（Bq）	各时段的射线所致辐射剂量（Sv）			
		30s	1min	2min	24h
距γ射线探伤机 1m 处	3.7×10^{12}	0.011	0.022	0.043	31.08
距γ射线探伤机 2m 处		0.003	0.005	0.011	7.77

（1）由表 11-24 及表 11-26 可知，假如本项目 ^{60}Co 放射源在丢失、被盗失控后 24 小时内寻回，受到的最大剂量为 31.08Sv，死亡率超 99%，因此放射源丢失或被盗的最大可信事故为重大辐射事故。

（2）对于γ射线探伤机探伤机源容器出口安全锁损坏，导致探伤机移动过程中放射源移出源容器，操作人员将利用长柄机械手将脱落的源重新装入源容器中，并离开曝光室，整个过程一般不超过 2min，操作人员离源的距离不小于 1m。根据表 11-24 及表 11-26 可知，人员所受辐射剂量约为 0.043Sv，急性放射病发生率小于 1%。因此最大可信事故为一般辐射事故。

（3）对于操作人员未全部撤离曝光室即启动γ射线装置、或者操作人员/公众误入曝光室受到照射，由于本项目 2 座 X、γ射线探伤房曝光室内均设有开门开关、急停按钮等，在发生意外时，人员可迅速按下急停按钮和开门开关，使γ射线探伤机回源，并离开保曝光室，整个过程一般不超过 1min。根据表 11-24 及表 11-26 可知，人员所受辐射剂量约为 0.022Sv，急性放射病发生率小于 1%。因此最大可信事故为一般辐射事故。

3 事故预防措施

3.1X 射线探伤事故预防措施

（1）误入人员可按下曝光室内紧急停机按钮并通过开门开关逃离曝光室，辐射工作人员对于人员误入曝光室应及时按下急停按钮，停止探伤机曝光，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。确保在所有防护门关闭后，X 射线探伤机才能进行照射；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，定期对探伤机进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期进行更换。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）X 射线探伤时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）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，剂量超标则人员应及时调岗，并及时到专业医院就诊检查治疗。

（5）建设单位需制定《X 射线探伤机操作规程》。凡涉及对 X 射线探伤机进行操作，必须按操作规程执行，探伤作业时，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。

（6）辐射工作人员通过考核后方能从事探伤作业，同时定期进行辐射安全与防护培训，提升安全与防护意识。

（7）公司在日常工作中应加强辐射安全管理，定期对探伤机进行检查、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探伤操作，每次探伤前检查探伤室门机联锁、急停按钮等安全防护措施的有效性，定期检测探伤室的周围辐射水平，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，公司应制定应急计划演练，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。

3.2 γ射线探伤事故预防措施

（1）误入人员可按下室内紧急停机按钮并通过开门开关逃离曝光室，辐射工作人员对于人员误入曝光室应及时按下急停按钮，回收放射源，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。确保在所有防护门关闭后，γ射线探伤机才能启动出源；每月应对γ射线探伤机进行检查、维护，每 3 个月应对其性能进行全面检查、维护，发现问题应及时维修。

（3）γ射线探伤时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将放射源回收至探伤机内，并检查排除异常，并做好记录。

（4）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，剂量超标则人员应及时调岗，并及时到专业医院就诊检查治疗。

（5）辐射工作人员进出探伤房曝光室时必须携带个人剂量报警仪。

（6）建设单位需制定《γ射线探伤机操作规程》。凡涉及对γ射线探伤机进行操作，必须按操作规程执行，探伤作业时，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）加强源库管理，落实双人双锁制度，由 2 名工作人员专职负责源库的保

管工作，加强源容器出入源库登记记录。

（8）辐射工作人员通过考核后方能从事探伤作业，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）γ射线探伤装置的安全使用期限为 10 年，禁止使用超过 10 年的γ射线探伤装置。

（10）公司在日常工作中应加强辐射安全管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行探伤操作，每次探伤前检查探伤室门机联锁、急停按钮等安全防护措施的有效性，定期检测探伤室的周围辐射水平，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，公司应制定应急计划演练，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。

4 辐射事故处置方法

本项目使用 II 类放射源及 II 类射线装置，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》、《江苏省辐射污染防治条例》的规定，本项目γ射线探伤可能发生的事故主要为一般辐射事故及重大辐射事故，本项日 X 射线探伤可能发生的事故主要为一般辐射事故。万一发生事故后：

（1）辐射工作人员应第一时间停止放射源或射线装置操作，然后启动应急预案；

（2）立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入；

（3）对可能受到大剂量照射的人员，及时送医院检查和治疗。

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》及《江苏省辐射污染防治条例》，当发生或发现辐射事故时，公司应当立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，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。

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许可管理办法》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，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。从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

根据上述要求，无锡中凯检测有限公司目前已成立专门的辐射防护管理小组，确定张文科为辐射防护负责人，并以文件形式明确了管理人员职责。公司目前共配备21名辐射工作人员，已有辐射工作人员均已取得辐射安全培训证书或通过生态环境部培训平台上的线上考核（培训合格证书见附件11），已有辐射工作人员中有3名辐射工作人员培训证书已到期，公司应及时安排其参加生态环境部培训平台上的线上考核，考核通过后方可再次上岗。本项目拟新增6名辐射工作人员，其中4人负责2座X、γ射线探伤房的探伤工作，另2人负责源库及源坑管理。新增辐射工作人员均应取得辐射安全培训合格证书或通过生态环境部培训平台上的线上考核，辐射工作人员持有的原辐射安全培训合格证书到期后，应当通过生态环境部培训平台进行学习，考核通过后方可上岗。

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》中的有关要求，使用射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急方案。

公司已根据相关条例、办法针对移动式X、γ射线探伤项目及固定式X射线探伤项目制定了操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、辐射环境及个人剂量监测方案、放射源使用登记、射线装置台账管理制度等，公司还应根据本报告的要求补充固定式γ射线探伤相关制度，并在今后运行中结合实际工作不断完善，使其具有较强的针对性和可操作性。现对各项制度提出相应的建议如下：

操作规程：明确了操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措

施及步骤，明确了移动探伤项目 X、γ射线探伤机的操作步骤，工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。公司还应针对本项目固定式 X、γ射线探伤要求，明确每名辐射工作人员应配备 1 台个人剂量报警仪和个人剂量计，将报警仪与防护门钥匙、探伤装置的安全锁钥匙串结一起，明确每次探伤工作前，辐射工作人员应检查探伤装置的安全锁、联锁装置、位置指示器、输源管、驱动装置等的性能。

岗位职责：明确了管理人员、操作人员、维修人员、放射源暂存库管理员的岗位责任。明确了辐射防护负责人负责辐射安全管理工作，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。

辐射防护和安全保卫制度：已根据企业的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，明确了对 X、γ射线探伤机的管理、维修等均要落实到个人。公司还应针对本项目对其进行完善，明确曝光室内的放射源坑外及放射源暂存库内安装监控探头，监控与公安部门进行联网，对放射源实施 24h 监控等。

设备检修维护制度：明确了移动 X、γ射线探伤各项安全防护设施在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，明确了每个月对 X、γ探伤机及配件和辐射监测设备进行检查、维护，每 3 个月对 X、γ射线探伤装置的性能进行全面检查、维护，发现问题应及时维修，确保 X、γ射线探伤机、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。公司还应针对本项目对其进行完善，制度中明确探伤房各项安全联锁装置、照射信号指示器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效地运转，重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态。

人员培训计划：明确了培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

放射源领用、归还登记制度：制度中已明确要配备专（兼）职人员负责γ放射源的管理，建立γ放射源台账登记，并建立登记保管、领用、注销和定期检查制度。在领用γ探伤机时，进行放射性水平测量，确认放射源在探伤机中；探伤作业完成后，再进行放射性水平测量，确认放射源在其中，并将γ射线探伤机放回放射源暂存库，每次领用及交还均应进行详细的登记；放射源台帐应定期清点检查，定期核实探伤装置中的放射源，明确每枚放射源与探伤装置的对应关系，做到帐物相符，一一对应。

监测方案：制度中已明确监测频次和监测项目，主要包括个人剂量监测和工作场所监测，监测方式由企业自主监测与有资质单位开展的年度监测。监测结果妥善保存，定期上报生态环境行政主管部门。此外，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态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前在全国核技术安全利用申报系统中上传上一年度的评估报告。

台账管理制度：制度中已明确要对 X、γ射线探伤机使用情况进行登记，标明设备名称、型号、电压、电流、放射源种类、源编码等，对 X、γ射线探伤机进出进行严格管理。

事故应急预案：公司已依据《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》的要求制定了事故应急预案，应急预案中明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及辐射事故分类与应急响应的措施。当发生事故时，公司应当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。

综上所述，公司在落实上述制度后，能够确保本项目 X、γ射线固定探伤房的安全使用，满足国家相关的管理及技术层面要求。

辐射监测

本项目使用 II 类放射源及 II 类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、辐射剂量巡测仪等仪器；用于对辐射工作场所周围的辐射水平进行巡测。

公司目前共配有 11 台辐射巡测仪及 21 台个人剂量报警仪。公司还拟为本项目新配备 1 台辐射巡测仪及 6 台个人剂量报警仪，公司的仪器配备能够满足审管部门对于监测仪器的要求。

公司已针对已有辐射工作场所制定了相应监测方案，方案中明确了监测频次和监测点位，公司已定期（1 次/年）请有资质的单位对已有辐射工作场所的辐射水平进行监测，根据公司 2022 年年度检测报告（见附件 9）可知，公司各辐射工作场所周围的辐射水平无异常；在开展作业期间，公司已定期（每 3 个月/次）对已有辐射工作场所及周围的辐射水平进行监测，并做相关记录。

公司已委托山东正诺检测有限公司对公司已有辐射工作人员进行个人剂量

监测，定期（每 3 个月/次）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立了个人剂量档案，根据公司 2021 年 12 月~2022 年 12 月个人剂量检测报告（见附件 10）可知，公司已有辐射工作人员个人剂量均未见异常。同时公司已定期安排已有辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康档案。公司已于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交上一年度的评估报告，满足环保相关要求。

公司还应根据辐射管理要求，针对本项目完善已有监测方案：

（1）公司应委托有资质的单位定期对本项目 2#、3#X、γ射线探伤房及周围环境辐射水平进行监测，周期为 1 次/年。监测结果连同单位的年度辐射安全评估报告一起，在次年的 1 月 31 日前，上报发证的生态环境部门备案；

（2）公司应定期对本项目 2#、3#X、γ射线探伤房及周围环境辐射水平进行监测，周期为每 3 个月/次。

（3）本项目新增辐射工作人员均应佩戴个人剂量计，并定期（一般为 1 个月，最长不得超过 3 个月）送有资质部门进行监测，建立个人累积剂量档案。

（4）公司应定期组织本项目新增辐辐射工作人员进行职业健康体检（体检周期不超过 2 年），并建立职业健康监护档案。

公司在落实上述监测方案后，将满足辐射监测要求。公司工作场所监测计划见表 12-1。

表 12-1 工作场所监测计划表

场所	监测项目		监测周期	监测点位
2#、3#X、γ射线探伤房	X-γ空气吸收剂量率	场所年度监测，委托有资质的单位进行	1 次/年	①2 座 X、γ射线探伤房四周及顶部墙壁外； ②2 座 X、γ射线探伤房防护门外及门缝隙处； ③操作室内； ④通风口、线缆口外； ⑤2 座 X、γ射线探伤房四周保护目标处； ⑥放射源暂存库四周墙体及防护门外； ⑦储源坑顶部盖板外。
		定期自行开展辐射监测	每 3 个月/次	
		自行开展辐射监测	每次探伤工作前后	γ 射线探伤机表面外

辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中关于应急报告

与处理的相关要求，无锡中凯检测有限公司已针对移动式X、γ射线探伤项目及固定式X射线探伤项目可能产生的辐射事故情况制定事故应急方案，应急方案内容包括：

（1）应急机构和职责分工；

（2）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

（3）辐射事故分级与应急响应措施；

（4）辐射事故调查、报告和处理程序；

（5）辐射事故信息公开、公众宣传方案。

无锡中凯检测有限公司目前已制定有辐射事故应急预案，公司还应依据《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》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求，针对本项目固定式 X、γ射线探伤，补充完善辐射事故应急预案，在预案中明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急演练，辐射事故分类与应急响应的措施，并在今后工作中定期组织应急人员进行应急演练。

发生辐射事故时，公司应立即启动本单位的事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向卫生健康部门报告。事故发生后公司应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

表 13 结论与建议

结论

1 辐射安全与防护分析结论

1.1 项目位置

无锡中凯检测有限公司本项目所在新厂区地址位于无锡市滨湖区胡埭镇文冠路 20 号，公司新厂区东侧为汤氏机械、汉为液压气动有限公司、花汇自动化有限公司及无锡维迪机械有限公司，南侧为文冠路，西侧依次为无锡市恒新紧固件有限公司及春灵传动机械有限公司，北侧依次为无锡七机机床有限公司及无锡市创宏机械有限公司。本项目拟扩建的 2#、3#X、γ射线探伤房均位于新厂区车间内北部，两座探伤房相邻而建。2 座探伤房拟建址东侧依次为汤氏机械、汉为液压气动有限公司、花汇自动化有限公司及无锡维迪机械有限公司，南侧依次为车间内场所及文冠路，西侧依次为无锡市恒新紧固件有限公司及春灵传动机械有限公司，北侧依次为拟建四层办公楼、无锡七机机床有限公司及无锡市创宏机械有限公司，顶部为理化室、仓库及档案室，底部无建筑。本项目 2#、3#X、γ射线探伤房曝光室拟建址周围 50m 范围内无居民楼、学校等敏感点。

1.2 项目分区及布局

本项目 2 座 X、γ射线探伤房的曝光室与操作室分开设置，本项目拟将 2 座 X、γ射线探伤房的曝光室作为辐射防护控制区，在工件门及人员门外均拟设置电离辐射警告标志及中文警示说明；拟将 2 座 X、γ射线探伤房的操作室作为本项目的辐射防护监督区。本项目辐射防护分区的划分符合《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。

1.3 辐射安全措施

1.3.1 2 座 X、γ射线探伤房辐射安全措施

2 座 X、γ射线探伤房曝光室均拟设计安装门机联锁装置；2 座 X、γ射线探伤房操作室操作台处各设置 1 个急停开关，2#X、γ射线探伤房曝光室东墙、西墙上均拟设置 2 个急停开关，南墙、北墙上均拟设置 1 个急停开关，共 6 个急停开关；3#X、γ射线探伤房曝光室四周墙上均拟设置 1 个急停开关，共 4 个急停开关；2 座 X、γ射线探伤房曝光室迷道内均拟设计 1 个开门开关；2 座 X、γ射线探伤房曝光室工件门口、人员门口和内部均同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与每台 X 射线探伤机及γ射线探伤机联锁；2 座 X、γ射线探伤房曝光室

内均拟设计安装 1 个射线剂量检测系统探头，射线剂量检测系统的数字显示装置均拟安装在控制室内；2 座 X、γ射线探伤房曝光室内均拟设计安装 3 个视频监控系统；拟在 2 座 X、γ射线探伤房曝光室工件门外及人员门外明显位置拟设置固定的醒目、规范的电离辐射警告标志；拟在 2#X、γ射线探伤房曝光室东墙及 3#X、γ射线探伤房曝光室北墙设置“U”型埋地电缆管道。

1.3.2 放射源暂存库及源坑辐射安全措施

放射源暂存库防盗门及源坑的盖板门均拟采用双人双锁，防盗门外及盖板顶部拟设置“当心电离辐射”警告标志，放射源暂存库及源坑均拟设计安装红外报警装置，在放射源暂存库内及源坑外曝光室内均拟安装监控探头，监控与公安部门进行联网，对放射源进行 24 小时监控；放射源出入源库或源坑时均应进行台账登记并对源容器进行监测。

1.3.3 操作防护措施

正常使用探伤房时应检查防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施；探伤工作人员在进入曝光室时，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；辐射工作人员应定期测量探伤房曝光室外周围区域的剂量率水平；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；探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置；在每一次照射前，操作人员都应该确认曝光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，才能开始检测工作。

1.3.4 探伤设施的退役

本项目γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 密封源退役后，废源将由原生产厂家回收；掺入贫铀的屏蔽装置应与γ射线源一样对待；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；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；对退役场所及相关物品进行全面的辐射监测，以确认现场没有留下放射源，并确认污染状况。

1.4 辐射安全管理

无锡中凯检测有限公司目前已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确辐射防护负责人及各成员管理职责。公司应根据相关法条例及本报告提出的要求对现有辐射安全管理制度进行补充和完善。公司目前共配有 21 名辐射工作人员，已有辐射工作人员均已取得辐射安全培训证书或通过生态环境

部培训平台上的线上考核，已有辐射工作人员中有 3 人培训证书已到期，公司应及时安排证书到期人员参加生态环境部培训平台上的线上考核，考核通过后方可再次上岗。公司还拟为本项目新增 6 名辐射工作人员，新增的辐射工作人员均应参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核，同时应进行个人剂量监测和职业健康体检，并建立辐射工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案。

公司目前共配有 11 台辐射巡测仪及 21 台个人剂量报警仪，公司还拟为本项目配备 1 台辐射巡测仪及 6 台个人剂量报警仪，公司的仪器配备能够满足审管部门对于监测仪器的要求。

公司拟定期（不少于 1 次/年）请有资质的单位对本项目辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测，并定期对辐射场所周围辐射水平进行自主监测，对监测结果进行记录。公司拟委托有资质的单位对本项目辐射工作人员进行个人剂量监测及职业健康检查，建立完整的个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

2 环境影响分析结论

2.1 辐射防护影响预测

本项目 2#X、γ射线探伤房曝光室内净尺寸为 11.2m（长）×6.6m（宽）×6.5m（高），曝光室东侧、南侧、西侧、北侧及顶部屏蔽墙均拟采用 1300mm 混凝土浇筑，迷道内墙拟采用 600mm 硫酸钡浇筑，工件门拟采用 950mm 硫酸钡浇筑，人员门采用 200mm 硫酸钡+35mmPb。2#X、γ射线探伤房曝光室内西北角建一个源坑，源坑尺寸为 0.5m（长）×0.5m（宽）×0.5m（高），源坑四周及底部均拟采用 100mm 混凝土，顶部盖板拟采用 65mm 铅板。

本项目 3#X、γ射线探伤房曝光室内净尺寸为 5.2m（长）×2.95m（宽）×3.0m（高），曝光室东侧屏蔽墙拟采用 750mm 硫酸钡，南侧屏蔽墙拟采用 900mm 硫酸钡，西侧屏蔽墙拟采用 1300mm 混凝土，北侧屏蔽墙拟采用 500mm 硫酸钡，顶部屏蔽墙拟采用 900mm 硫酸钡，迷道外墙拟采用 900mm 混凝土，工件门拟采用 200mm 硫酸钡+40mmPb，人员门拟采用 200mm 硫酸钡+10mmPb。3#X、γ射线探伤房曝光室内北侧拟建 1 座放射源暂存库，放射源暂存库尺寸为 1.85m（长）×1.4m（宽）×3.0m（高），放射源暂存库东墙拟采用 750mm 硫酸钡，南墙及西墙均拟采用 300mm 硫酸钡，北墙拟采用 500mm 硫酸钡，顶部拟采用 900mm 硫酸钡，防护门拟采用普通防盗门。

经理论预测，本项目 2#、3#X、γ射线探伤房曝光室周围参考点处的辐射剂量率均小于 2.5μSv/h，曝光室各侧屏蔽墙体和工件门均能够满足《工业探伤放

射防护标准》（GBZ117-2022）中“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”的要求。

2.2 保护目标剂量

根据理论分析预测，本项目 2#、3#X、γ射线探伤房运行后，在做好辐射安全措施的情况下，辐射工作人员及周围公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

2.3 三废处理处置

本项目γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 密封源退役后仍有较强的放射性，公司已承诺γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 密封源退役后，废源将交由原生产厂家回收，此举符合环保部门的相关管理要求。

本项目 X、γ射线探伤机在工作状态时，产生的 X、γ射线将会使曝光室内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。本项目曝光室内检测过程中产生的少量臭氧和氮氧化物通过机械通风装置及工件门排放到室外，臭氧在常温下 50min 可以自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

本项目在洗片作业时产生的显影、定影废液及一次、二次冲洗废水将交由江苏省环境资源有限公司进行处理处置。

3 可行性分析结论

综上所述，无锡中凯检测有限公司扩建 2 座固定式 X、γ射线探伤房项目在落实本报告提出的各项辐射安全措施和管理措施后，该公司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。

建议与承诺

1、该项目运行中，应严格遵守操作规程，加强对辐射工作人员的培训，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、各项辐射安全措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、项目建成后企业应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的有关规定及时进行自主环境保护验收。

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	投资(万元)
辐射安全管理机构	公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确其管理职责	满足《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类放射源及 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的要求	/
辐射安全和防护措施	本项目 2#X、γ射线探伤房曝光室内净尺寸为 11.2m（长）×6.6m（宽）×6.5m（高），曝光室东侧、南侧、西侧、北侧及顶部屏蔽墙均拟采用 1300mm 混凝土浇筑，迷道内墙拟采用 600mm 硫酸钡浇筑，工件门拟采用 950mm 硫酸钡浇筑，人员门采用 200mm 硫酸钡+35mmPb。2#X、γ射线探伤房曝光室内西北角建一个源坑，源坑尺寸为 0.5m（长）×0.5m（宽）×0.5m（高），源坑四周及底部均拟采用 100mm 混凝土，顶部盖板拟采用 65mm 铅板 本项目 3#X、γ射线探伤房曝光室内净尺寸为 5.2m（长）×2.95m（宽）×3.0m（高），曝光室东侧屏蔽墙拟采用 750mm 硫酸钡，南侧屏蔽墙拟采用 900mm 硫酸钡，西侧屏蔽墙拟采用 1300mm 混凝土，北侧屏蔽墙拟采用 500mm 硫酸钡，顶部屏蔽墙拟采用 900mm 硫酸钡，迷道外墙拟采用 900mm 混凝土，工件门拟采用 200mm 硫酸钡+40mmPb，人员门拟采用 200mm 硫酸钡+10mmPb。3#X、γ射线探伤房曝光室内北侧拟建 1 座放射源暂存库，放射源暂存库尺寸为 1.85m（长）×1.4m（宽）×3.0m（高），放射源暂存库东墙拟采用 750mm 硫酸钡，南墙及西墙均拟采用 300mm 硫酸钡，北墙拟采用 500mm 硫酸钡，顶部拟采用 900mm 硫酸钡，防护门拟采用普通防盗门	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“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”及“在公众能接近的距外表面最近处，其屏蔽应能使该处周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 或者审管部门批准的控制水平”的要求	**130**
	2 座 X、γ射线探伤房辐射安全措施： 2 座 X、γ射线探伤房曝光室均拟设计安装门机联锁装置；2 座 X、γ射线探伤房操作室操作台处各设置 1 个急停开关，2#X、γ射线探伤房曝光室东墙、西墙上均拟设置 2 个急停开关，南墙、北墙上均拟设置 1 个急停开关，共 6 个急停开关；3#X、γ射线探伤房曝光室四周墙上均拟设置 1 个急停开关，共 4 个急停开关；2 座 X、γ射线探伤房曝光室迷道内均拟设计 1 个开门开关；2 座	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中关于探伤房防护措施的相关要求	**18**

	X、γ射线探伤房曝光室工件门口、人员门口和内部均同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与每台 X 射线探伤机及γ射线探伤机联锁；2 座 X、γ射线探伤房曝光室内均拟设计安装 1 个射线剂量检测系统探头，射线剂量检测系统的数字显示装置均拟安装在控制室内；2 座 X、γ射线探伤房曝光室内均拟设计安装 3 个视频监控系统；拟在 2 座 X、γ射线探伤房曝光室工件门外及人员门外明显位置拟设置固定的醒目、规范的电离辐射警告标志；拟在 2#X、γ射线探伤房曝光室东墙及 3#X、γ射线探伤房曝光室北墙设置“U”型埋地电缆管道 **放射源暂存库及源坑辐射安全措施：** 放射源暂存库防盗门及源坑的盖板门均拟采用双人双锁，防盗门外及盖板顶部拟设置“当心电离辐射”警告标志，放射源暂存库及源坑均拟设计安装红外报警装置，在放射源暂存库内及源坑外曝光室内均拟安装监控探头，监控与公安部门进行联网，对放射源进行 24 小时监控；放射源出入源库或源坑时均应进行台账登记并对源容器进行监测 **操作防护措施：** 正常使用探伤房时应检查防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施；探伤工作人员在进入曝光室时，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；辐射工作人员应定期测量探伤房曝光室外周围区域的剂量率水平；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；探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置；在每一次照射前，操作人员都应该确认曝光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，才能开始检测工作。 **探伤设施的退役：** 本项目γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 及 ^{75}Se 密封源退役后，废源将由原生产厂家回收；掺入贫铀的屏蔽装置应与γ射线源一样对待；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；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；对退役场所及相关物品进行全面的		

	辐射监测，以确认现场没有留下放射源，并确认污染状况。		
人员配备	公司目前共配有 21 名辐射工作人员，已有辐射工作人员均已取得辐射安全培训证书或通过生态环境部培训平台上的线上考核，已有辐射工作人员中有 3 人培训证书已到期，公司应及时安排证书到期人员参加生态环境部培训平台上的线上考核，考核通过后方可上岗。公司还拟为本项目新增 6 名辐射工作人员，新增的辐射工作人员均应参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核	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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中关于人员培训、个人剂量监测及职业健康体检的相关要求	**定期投入**
	公司已有辐射工作人员均已开展个人剂量监测，并建立了辐射工作人员个人剂量监测档案；公司还应对本项目新增的 6 名辐射工作人员开展个人剂量监测，送检周期为 3 个月，并建立辐射工作人员个人剂量监测档案		
	公司已有辐射工作人员均已定期进行职业健康体检，并建立了职业健康监护档案；公司还应对本项目新增的 6 名辐射工作人员定期进行职业健康体检，体检周期为 2 年，并建立职业健康监护档案		
监测仪器和防护用品	公司目前共配有 11 台辐射巡测仪和 21 台个人剂量报警仪。公司还拟为本项目新配 1 台辐射巡测仪及 6 台个人剂量报警仪	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、辐射剂量巡测仪等仪器的要求	**2**
辐射安全管理制度	公司已根据相关标准要求，制定一系列辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、射线装置使用登记、台账管理制度以及辐射事故应急方案等制度，公司还应根据相关条例、办法以及本报告的要求补充γ探伤仙官制度，并在今后运行中结合实际工作不断完善，使其具有较强的针对性和可操作性。	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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，使用射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急方案。	/

以上措施必须在项目试运行前落实。

表 14 审批

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