2023-F-104

核技术利用建设项目

无锡华光环保能源集团股份有限公司
迁建固定式 X、γ射线探伤项目
环境影响报告表

无锡华光环保能源集团股份有限公司

2023 年 12 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

无锡华光环保能源集团股份有限公司
迁建固定式 X、γ射线探伤项目
环境影响报告表

建设单位名称：无锡华光环保能源集团股份有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：无锡市城南路 3 号

邮政编码：214026　　联 系 人：

电子邮箱：/　　联系电话：



持证人签名：
Signature of the Bearer

吴小平

管理号：08353243507320555
File No.：

姓名：吴小平
Full Name

性别：男
Sex

出生年月：1979年06月
Date of Birth

专业类别：
Professional Type

批准日期：2008年05月
Approval Date

签发单位盖章：
Issued by

签发日期：2008 年 07 月 29 日
Issued on

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发，它表明持证人通过国家统一组织的考试，取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.

中华人民共和国人力资源和社会保障部
approved & authorized by
Ministry of Human Resources and Social Security
The People's Republic of China

中华人民共和国环境保护部
approved & authorized by
Ministry of Environmental Protection
The People's Republic of China

编号：0008447
No.：

编制主持人现场照片

地址：无锡市新吴区梅育路
时间：2023 年 8 月 17 日
编制主持人：吴小平
职业资格证书管理号：08353243507320555



本项目建设单位大门处



本项目拟建址处

江苏省社会保险权益记录单（参保单位）

参保单位全称： 江苏玖清玖蓝环保科技有限公司　　**现参保地：** 建邺区

统一社会信用代码： 91320105MA1MQU5T14　　**查询时间：** 202308-202311

共1页，第1页

单位参保险种	养老保险	工伤保险	失业保险
缴费总人数	45	45	45

序号	姓名	公民身份号码（社会保障号）	缴费起止年月	缴费月数
1	徐呈亮	[redacted]	202308 - 202311	4
2	吴小平		202308 - 202311	4

说明：
1. 本权益单涉及单位及参保职工个人信息，单位应妥善保管。
2. 本权益单为打印时参保情况。
3. 本权益单已签具电子印章，不再加盖鲜章。
4. 本权益单记录单出具后有效期内（6个月），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）。

江苏省社会保险 电子专用章

打印时间：2023年11月17日

目录

表 1 项目基本概况.....1
表 2 放射源.....8
表 3 非密封放射性物质.....8
表 4 射线装置.....9
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....10
表 6 评价依据.....11
表 7 保护目标与评价标准.....14
表 8 环境质量和辐射现状.....23
表 9 项目工程分析与源项.....31
表 10 辐射安全与防护.....45
表 11 环境影响分析.....64
表 12 辐射安全管理.....111
表 13 结论与建议.....116
表 14 审批.....128

附图 1 本项目所在无锡华光环保能源集团股份有限公司新厂区地理位置图.....129
附图 2 无锡华光环保能源集团股份有限公司本项目厂区平面布局及周围环境图.....130
附图 3 1#X、γ射线探伤房一层及辅房二层、屋顶平面设计图.....131
附图 4 本项目 1#X、γ射线探伤房剖面设计图.....132
附图 5 本项目 2#X 射线探伤房一层及二层平面设计图.....133
附图 6 本项目 2#X 射线探伤房剖面设计图.....134
附图 7 本项目 1#X 射线数字成像系统设计图.....135
附图 8 本项目工业电视设计图.....136
附图 9 本项目 2#X 射线数字成像系统设计图.....137

附件 1 项目委托书.....138
附件 2 放射源使用承诺书.....139
附件 3 射线装置使用承诺书.....140
附件 4 废源及废贫铀罐退役承诺书.....141
附件 5 辐射安全许可证正副本复印件.....142
附件 6 以往核技术利用项目环评及验收批复页复印件.....151
附件 7 辐射环境现状检测报告附复印件.....169
附件 8 危险废物处置合同复印件及废胶片安全处置承诺书.....179
附件 9 2022 年度检测报告复印件.....183
附件 10 公司 2022~2023 年四个季度个人剂量检测报告复印件.....203
附件 11 辐射工作人员培训情况一览表.....225
附件 12 辐射防护屏蔽设计说明见.....227
附件 13 《智能制造基地建设项目》环评批复复印件.....229

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">迁建固定式 X、γ射线探伤项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">无锡华光环保能源集团股份有限公司</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>蒋志坚</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">无锡市城南路 3 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">无锡市新吴区梅育路</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">40%</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

无锡华光环保能源集团股份有限公司成立于 2000 年 12 月，公司老厂区位于无锡市城南路 3 号。公司拥有装备制造板块、热电运营板块、市政环保板块、投资运营板块四大业务板块，形成了集电站项目投融资、电力工程设计、电站设备成套、电站工程总包、电厂运营管理以及新能源新材料开发等为一体的完整产业链。由于公司发展需要，公司于无锡市新吴区梅育路新建两个厂区，分别为南厂区及北厂区，并拟将老厂区整体搬迁至新建南北厂区内，搬迁后老厂区不再使用。公司《智能制造基地建设项目》已履行环保手续，其环评批复复印件见附件 13。

1.2 项目建设规模及任务由来

无锡华光环保能源集团股份有限公司拟于无锡市新吴区梅育路新建两个厂区，分别为南厂区及北厂区，公司拟将老厂区整体搬迁至新建南、北两厂区内，搬迁后老厂区不再使用。

公司拟于南厂区内新建 1 座固定式 X、γ射线探伤房（1#探伤房），并拟将老厂区内的 4 台 XT3505D 型 X 射线探伤机、1 台 ^{60}Co γ射线探伤机及 1 台 ^{192}Ir γ射线探伤机搬迁至 1#X、γ射线探伤房内，同时拟新增 1 台 ^{60}Co γ射线探伤机及 1 台 DZ-4/500 型工业电子加速器，用于开展公司产品的无损检测工作。本项目 ^{60}Coγ射线探伤机通常使用 10 年退役，^{192}Irγ射线探伤机通常使用 2 个半衰期退役。本项目 1#探伤房曝光室西侧辅房为 2 层结构，操作室、暗室及评片室均位于西侧辅房一层。1#探伤房内 X 射线探伤机不使用时拟暂存于辅房西北侧的 X 射线机储存室内，X 射线机储存室拟采用双人双锁进行管理；1#探伤房内γ射线探伤机不使用时拟暂存于 1#探伤房曝光室西北角的放射源暂存库内，放射源暂存库拟采用双人双锁进行管理。1#探伤房内探伤产生的洗片废液及废胶片等危险废物拟暂存于南厂区的危废库内，南厂区危废库拟建于南厂区汽包集箱生产车间外西南侧。

公司拟于北厂区内新建 1 座固定式 X 射线探伤房（2#探伤房），并拟将老厂区内的 2 台 XT3505D 型 X 射线探伤机搬迁至 2#X 射线探伤房内使用，同时拟于 2#X 射线探伤房内新增 1 台 CF320 型 X 射线探伤机，用于开展公司产品的无损检测工作。本项目 2#探伤房曝光室南侧辅房为 2 层结构，操作室、暗室及评片室均位于南侧辅房一层。2#探伤房内 X 射线探伤机不使用时拟暂存于辅房西侧的 X 射线机储存室内，X 射线机储存室拟采用双人双锁进行管理。2#探伤房内探伤产生的洗片废液及废胶片等危险废物拟暂存于北厂区的危废库内，北厂区危废库拟建于北厂区管子膜式壁生产车间外北侧。

公司还拟将老厂区内的 1 台 IMG-GLGP-G320XRD0822 型 X 射线数字成像系统（1#X 射线数字成像系统）、1 台 DCM-GL-GE225R2W 型工业电视及 IMG-GLGP-G225XRD0822 型 X 射线数字成像系统（2#X 射线数字成像系统）搬迁至北厂区内，用于开展公司产品的无损检测工作。搬迁后，除搬迁至新厂区内使用的 X、γ射线探伤装置外，其余 X、γ射线探伤装置均拟做退役处理（详见表 1-1）。

无锡华光环保能源集团股份有限公司拟为本项目配备 10 名辐射工作人员，10 名辐

射工作人员均延用老厂区辐射工作人员。本项目每座探伤房、每台 X 射线数字成像系统及工业电视年开机曝光时间均为 500 小时。

无锡华光环保能源集团股份有限公司核技术应用项目情况一览表见下表 1-1：

表 1-1 无锡华光环保能源集团股份有限公司核技术应用情况一览表

射线装置										
序号	射线装置名称型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	射线装置类别	工作场所名称	使用情况	环评情况及审批时间	许可情况	备注
1	XT3505D 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	探伤一室	已购	已环评	已许可	拟退役
2	XT3505D 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	探伤一室	已购	已环评	已许可	拟退役
3	XT3505D 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	探伤一室	已购	已环评	已许可	拟退役
4	XT3505D 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	探伤一室	已购	已环评	已许可	拟退役
5	572-066 型工业电视 A	1	225	7	II	管子探伤室	已购	已环评	已许可	拟退役
6	COMET MXR225HP 型工业电视 B	1	225	7	II	管子探伤室	已购	已环评	已许可	拟退役
7	XT-2805 型数字成像系统	1	280	5	II	管子探伤室	已购	已环评	已许可	拟退役
8	XT-2805 型数字成像系统	1	280	5	II	管子探伤室	已购	已环评	已许可	拟退役
9	DZ-4/500 型驻波电子直线加速器	1	电子束、X 射线能量：4MeV X 射线剂量率：500cGy·min^{-1}·m^{-1}		II	4M 加速器探伤室	已购	已环评	已许可	拟退役
10	572-079 型直线加速器	1	电子束、X 射线能量：6MeV X 射线剂量率：1000cGy·min^{-1}·m^{-1}		II	6M 加速器探伤室	已购	已环评	已许可	拟退役
11	XT3505D 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	南厂区 1# 探伤房	已购	已环评	已许可	拟从老厂区内搬迁，定向机
12	XT3505D 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	南厂区 1# 探伤房	已购	已环评	已许可	拟从老厂区内搬迁，定向机
13	XT3505D 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	南厂区 1# 探伤房	已购	已环评	已许可	拟从老厂区内搬迁，定向机
14	XT3505D 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	南厂区 1# 探伤房	已购	已环评	已许可	拟从老厂区内搬迁，定向机
15	XT3505D 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	北厂区 2# 探伤房	已购	已环评	已许可	拟从老厂区内搬迁，定向机

16	XT3505D 型 X 射线探伤机	1	350	5	II	北厂区 2# 探伤房	已购	已环评	已许可	拟从老厂区内搬迁，定向机
17	IMG-GLGP-G320XRD0822 型 X 射线数字成像系统	1	320	8	II	北厂区膜式壁区	已购	已环评	已许可	拟从老厂区内搬迁
18	DCM-GL-GE225R2W 型工业电视	1	225	7	II	北厂区蛇形管区				
19	IMG-GLGP-G225XRD0822 型 X 射线数字成像系统	1	225	7	II	北厂区蛇形管装配流水线				
20	DZ-4/500 型工业电子加速器	1	电子束、X 射线能量：4MeV X 射线剂量率：500cGy·min^{-1}·m^{-1}		II	南厂区 1# 探伤房	拟购	本次环评	未许可	新增
21	CF320 型 X 射线探伤机	1	320	5	II	北厂区 2# 探伤房	拟购	本次环评	未许可	新增，定向机

放射源

序号	放射源名称	数量	单枚活度 Bq	源编码	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}	0313CO002132	II	4M 加速器探伤室	使用	已环评	已许可	拟退役
2	^{60}Co	1	6.67×10^{11}	0318CO001572	II	^{60}Co 探伤室	使用	已环评	已许可	拟退役
3	^{60}Co	1	7.4×10^{12}	0118CO000042	II	南厂区 1# 探伤房	使用	已环评	已许可	拟从老厂区内搬迁
4	^{192}Ir	1	3.7×10^{12}	0323IR007232	II	南厂区 1# 探伤房	使用	已环评	已许可	拟从老厂区内搬迁
5	^{60}Co	1	7.4×10^{11}	/	II	南厂区 1# 探伤房	使用	本次环评	未许可	拟购

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》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》等法律法规的规定，本项目使用 II 类射线装置及 II 类放射源，应当编制环境影响报告表。受无锡华光环保能源集团股份有限公司委托，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、现场监测和评价分析，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

无锡华光环保能源集团股份有限公司老厂区位于无锡市城南路 3 号，本项目所在新厂区地址位于无锡市新吴区梅育路，本项目所在新厂区地理位置见附图 1。公司新厂区分为梅育路南侧与北侧两部分厂区，南厂区东侧为新硕路及无锡市鸿利汽车零部件有限公司，南侧为江苏微导纳米科技股份有限公司及高美可科技（无锡）有限公司，西侧为空地及走马塘河，北侧为梅育路；北厂区东侧为空地，南侧为梅育路，西侧为空地及走马塘河，北侧为空地及伯渎港。公司新厂区总平面图及周围环境见附图 2。

本项目 1#探伤房拟建于南厂区汽包集箱生产车间内西北角，1#探伤房拟建址东侧及南侧均为汽包集箱生产车间内场所，西侧为厂内道路、停车位及空地，北侧为厂内道路及梅育路，楼上楼下无建筑；2#探伤房拟建于北厂区管子膜式壁生产车间内西南角，2#探伤房拟建址东侧及北侧均为管子膜式壁生产车间内场所，南侧为厂内道路及梅育路，西侧为厂内道路、停车位及综合楼，楼上楼下无建筑；1#X 射线数字成像系统拟建于北厂区管子膜式壁生产车间膜式壁区，1#X 射线数字成像系统拟建址东侧、西侧及北侧均为管子膜式壁生产车间内场所，南侧依次为管子膜式壁生产车间内场所、厂内道路及梅育路，楼上楼下无建筑；工业电视拟建于北厂区管子膜式壁生产车间蛇形管区，工业电视拟建址四周均为管子膜式壁生产车间内场所，楼上楼下无建筑；2#X 射线数字成像系统拟建于北厂区管子膜式壁生产车间蛇形管装配流水线，2#X 射线数字成像系统拟建址东侧、南侧及西侧均为管子膜式壁生产车间内场所，北侧为管子膜式壁生产车间内场所及厂内道路，楼上楼下无建筑。本项目 2 座探伤房、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视拟建址周围环境图见附图 2。

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，确定分别以本项目 2 座探伤房曝光室、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视拟建址周围 50m 的范围作为评价范围。根据现场调查分析及附图 2 可知，本项目各评价范围内均无居民区、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其它公众人员等。

3 建设单位已有核技术利用项目许可情况

无锡华光环保能源集团股份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[00109]”，种类和范围为“使用 II 类、III 类放射源；使用 II 类射线装置”，发证日期为 2023 年 3 月 14 日，有效期至：2028 年 3 月 17 日，

共许可使用 10 台 X 射线探伤机、2 台工业电子直线加速器、5 台工业电视、2 台 X 射线数字成像系统、7 枚 ^{192}Ir 放射源及 4 枚 ^{60}Co 放射源，所有 X 射线探伤机装置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，其环评批复及验收批复复印件见附件 6。

4 现有核技术利用项目管理情况

公司已成立了辐射安全与防护领导小组，并制定了操作规程、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、监测方案等管理规章制度。本项目建成后，可依托公司现有比较健全的辐射安全与防护领导小组。公司目前配置的领导小组人员都具有一定的管理能力，本项目开展后，辐射管理成员为同一套班子成员，目前公司的管理人员也能满足配置要求。

公司已有辐射工作人员均已开展了个人剂量监测，监测周期为三个月（最长不超过 90 天），并建立个人剂量档案。根据公司现有辐射工作人员个人剂量监测报告（见附件 10）可知，公司现有辐射工作人员 2022 年 6 月~2023 年 6 月（4 个监测周期）的个人剂量监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（18871-2002）中对辐射工作人员剂量限值要求。

公司对现有辐射工作人员开展有职业健康监护，并建有职业健康档案。辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗期间体检周期不超过 2 年。

公司每年定期委托有资质的单位对已有辐射工作场所进行年度监测，根据公司 2022 年度辐射工作场所检测报告可知，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，公司现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

公司已制定《辐射事故应急预案》，公司每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时进行完善和修订《辐射事故应急预案》。经与公司核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。

公司执行年度评估制度，每年均编制有《辐射安全与防护状况年度评估报告》，对现有射线装置工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并于每年 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。

5 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 座探伤房曝光室、2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视拟建址周围的辐射水平，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	$7.4\times10^{12}\times1$	II	使用	无损检测	1#探伤房	拟贮存于 1#探伤房曝光室的放射源暂存库内，放射源随源容器存放		拟从老厂区内搬迁
2	^{60}Co	$7.4\times10^{11}\times1$	II	使用	无损检测				拟购
3	^{192}Ir	$3.7\times10^{12}\times1$	II	使用	无损检测				拟从老厂区内搬迁
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
1	工业电子加速器	II	1	DZ-4/500	电子	电子束、X 射线能量：4MeV	X 射线剂量率：500cGy·min^{-1}·m^{-1}	工业探伤	南厂区 1#探伤房	新增

（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	4	XT3505D 型	350	5	无损检测	南厂区 1#探伤房	拟从老厂区内搬迁，定向机
2	X 射线探伤机	II	1	CF320 型	320	5	无损检测	北厂区 2#探伤房	新增，定向机
3	X 射线探伤机	II	2	XT3505D 型	350	5	无损检测		拟从老厂区内搬迁，定向机
4	X 射线数字成像系统	II	1	IMG-GLGP-G320 XRD0822 型	320	8	无损检测	膜式壁区	拟从老厂区内搬迁
5	X 射线数字成像系统	II	1	IMG-GLGP-G225 XRD0822 型	225	7	无损检测	蛇形管区	
6	工业电视	II	1	DCM-GL-GE225 R2W 型	225	7	无损检测	蛇形管装配流水线	

（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	^{60}Co 通常使用 10 年退役，^{192}Ir 通常使用 2 个半衰期退役，退役时 ^{60}Co 源强分别约 $2.0\times10^{12}Bq$ 及 $2.0\times10^{11}Bq$，^{192}Ir 源强约 $9.25\times10^{11}Bq$	/	/	/	^{60}Co、^{192}Ir 退回厂家回收前暂存于 1 探伤房曝光室的放射源暂存库内	由放射源生产厂家回收处置
退役γ探伤机屏蔽装置（贫铀罐）	固态	/	通常使用 10 年后退役	/	/	/	退回厂家回收前暂存于 1 探伤房曝光室的放射源暂存库内	由γ射线探伤机生产厂家回收处置
显影、定影废液	液态	/	/	约 40kg	约 480kg	/	集中收集后暂存于公司危废库内	集中收贮后交由江苏爱科固体废物处理有限公司处理处置
一次、二次冲洗废水		/	/	约 200kg	约 2400kg	/	集中收集后暂存于公司危废库内	集中收贮后交由江苏爱科固体废物处理有限公司处理处置
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 20kg	约 240kg	/	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》（修订本），国家主席令第 9 号公布，2015 年 1 月 1 日施行 （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 修正版），2018 年 12 月 29 日修订，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》，国家主席令第 6 号公布，2003 年 10 月 1 日起施行 （4）《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 日发布施行 （5）《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 （6）《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 （7）《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 （8）《关于发布射线装置分类的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年 第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行 （9）《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 （10）《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 （11）《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，自 2019 年 11 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）《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 （14）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行 （15）《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 （16）《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 （17）《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 （18）《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 （19）《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 （20）《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 （21）《江苏省生态空间管控区域监督管理办法》，苏政发〔2021〕20 号，2021 年 3 月 26 日 （22）《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 （23）《江苏省辐射事故应急预案》（2020 年修订版），苏政办函〔2020〕26 号，2020 年 2 月 19 日发布
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016） （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》（HJ10.1-2016） （3）《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022） （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021） （5）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） （6）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） （7）《无损检测用工业电子加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013） （8）《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985） （9）《无损检测用电子直线加速器》（GB/T 20129-2015） （10）《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022） （11）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014） （12）参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）

	（13）参考《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ 785-2016） （14）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019） （15）《γ射线探伤机》（GB/T14058 -2008） （16）《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）废源及废贫铀罐退役承诺书（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）危险废物处置合同复印件及废胶片安全处置承诺书（附件 8） （9）2022 年度检测报告复印件（附件 9） （10）公司 2022~2023 年四个季度个人剂量检测报告复印件（附件 10） （11）辐射工作人员培训情况一览表（附件 11） （12）辐射防护屏蔽设计说明见（附件 12） （13）《智能制造基地建设项目》环评批复复印件（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，确定分别以本项目 2 座探伤房曝光室、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视周围 50m 的范围作为评价范围。

保护目标

本项目评价范围内不涉及自然保护区、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）及《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），本项目评价范围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。本项目利用工业电子加速器、X、γ射线探伤机、X 射线数字成像系统及工业电视进行无损检测，占用资源少，不会降低项目周围的水、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 座探伤房拟建址、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视拟建址周围 50m 范围内均无居民区、学校等环境敏感目标，本项目辐射环境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其它公众人员等。

表 7-1 本项目评价范围内保护目标情况一览表

项目	方位	保护目标名称	最近距离	规模	环境保护要求（mSv/a）
1#探伤房	西侧	操作室内辐射工作人员	紧邻	2 人	5
	东侧	汽包集箱生产车间内工作人员	约 2m	10~15 人	0.1
	南侧	汽包集箱生产车间内工作人员	约 2m	10~15 人	
	西侧	厂内道路上行人	约 10m	流动人员	
		停车位处人员	约 25m	流动人员	
		空地上人员	约 42m	流动人员	
	北侧	厂内道路上行人	约 8m	流动人员	
		梅育路上行人	约 25m	流动人员	

2#探伤房	南侧	操作室辐射工作人员	紧邻	2 人	5
	东侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	0.1
	南侧	厂内道路上行人	约 6m	流动人员	
		梅育路上行人	约 26m	流动人员	
	西侧	厂内道路上行人	约 9m	流动人员	
		停车位处人员	约 21m	流动人员	
		综合楼内工作人员	约 27m	30~50 人	
	北侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	
1#X 射线数字成像系统	北侧	控制台处辐射工作人员	约 2m	2 人	5
	东侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	0.1
	南侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	2~3 人	
		厂内道路上行人	约 6m	流动人员	
		梅育路上行人	约 26m	流动人员	
	西侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	
	北侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	
工业电视	南侧	控制台处辐射工作人员	约 2m	2 人	5
	东侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	0.1
	南侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	
	西侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	
	北侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	
2#X 射线数字成像系统	南侧	控制台处辐射工作人员	约 2m	2 人	5
	东侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	0.1
	南侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	
	西侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	
	北侧	管子膜式壁生产车间内工作人员	约 2m	8~12 人	
		厂内道路上行人	约 41m	流动人员	

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。

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》（GBZ 117-2022）

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，建立领用台账，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：

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/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（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 《无损检测用工业电子加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）

8.1.3辐射防护安全要求

8.1.3.1 辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应不低于C25，密度不应低于2350kg/m^3。

8.1.3.2 辐射屏蔽室的结构及预埋件、穿越防护墙线缆及管道应满足所有设备安装、运行、检修和维修的要求，且不能影响辐射防护效果。

8.1.3.3 辐射屏蔽室外围的辐射剂量水平应符合GB 18871-2002 的职业照射剂量限值要求（见附录A）；在工程设计时防护设计的剂量规定为：职业照射个人年有效剂量限值为5mSv；公众成员个人年有效剂量限值为0.1mSv。

8.1.3.4 屏蔽门与墙体搭接合理，间隙与搭接比值不少于1/10。

8.1.3.5 辐射屏蔽室应设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和视频监控、紧急停机开关等装置；装备多个射线源装置时，应能联锁切换。

8.1.3.6 辐射屏蔽室迷道入口处应设置显示加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志。

8.1.3.7 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐全。

8.1.3.8 其他物理因素安全要求见附录B。

8.1.3.9 辐射屏蔽室屏蔽计算方法参见附录C。

5 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）

2.8从事加速器工作的全体放射性工作人员，年人均剂量当量应低于5mSv（0.5rem）。

2.10加速器产生的杂散辐射、放射性气体和放射性废水等，对关键居民组中的个人造成的有效剂量当量应低于每年0.1mSv（10mrem）。

3.2辐射屏蔽

3.2.1加速器的屏蔽体厚度必须根据加速粒子的种类、能量和束流强度以及靶材料等综合考虑；按其可能的最大辐射输出进行设计。

3.2.2加速器的屏蔽体厚度还应根据相邻区域的类型及其人口数确定，使其群体的集体剂量当量保持在可以合理做到的尽可能低的水平。并必须保证个人所接受的剂量当量不得超过相应的剂量当量限值。

3.3辐射安全系统

3.3.1决定加速器产生辐射的主要控制系统应该用开关钥匙控制。

3.3.2加速器厅、靶厅的门均需安装联锁装置，只有门关闭后才能产生辐射。

3.3.3在加速器厅、靶厅内人员容易到达的地点，应安装紧急停机或紧急断束开关，并且这种开关应当有醒目的标志。

3.3.4在加速器厅、靶厅内人员容易看到的地方须安装闪光式或旋转式红色警告灯及音响警告装置；在通往辐射区的走廊，出入口和控制台上须安装工作状态指示灯。

3.3.5在高辐射区和辐射区，应该安装遥控辐射监测系统。该系统的数字显示装置应安装在控制台上或监测位置。当辐射超过预定水平时，该系统的音响和（或）灯光警告装置应当发出警告信号。

3.3.6每台加速器必须根据其特点配备其他辐射监测装置，如个人剂量计，可携式监测仪。气体监测仪等。

3.3.7辐射安全系统的部件质量要好，安装必须坚实可靠。系统的组件应耐辐射损伤。

3.4通风系统

3.4.l为排放有毒气体（如臭氧）和气载放射性物质，加速器设施内必须设有通风装置。

3.4.2通风系统的排风速率应根据可能产生的有害气体的数量和工作需要而定。通风系统的进气口应避免受到排出气体的污染。

3.4.3通风管道通过屏蔽体时，必须采取措施，保证不得明显地减弱屏蔽体的屏蔽效果。

4.2 运行程序

4.2.2应当在下列条件同时满足时才能开机：

a.加速粒子的种类、加速电压与预定值一致；

b.控制台上的数字显示装置能正常工作；

c.联锁和警告系统能正常工作；

d.加速器厅、靶厅不得有人；

e.加速器厅、靶厅的所有防护门都已关闭。

6 《无损检测用电子直线加速器》（GB/T 20129-2015）

7 参考《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ 785-2016）

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）

10 项目管理目标

（1）综合考虑《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》（GBZ 117-2022）及《无损检测用工业电子加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）等评价标准，本项目职业人员年剂量约束值取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员剂量限值的 1/4，公众年剂量约束值取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众照射剂量限值的 10%，即：职业人员年剂量约束值不大于 **5mSv/a**；公众年剂量约束值不大于 **0.1mSv/a**。

（2）探伤房关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 **2.5μSv/h**，探伤房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平不大于 **100μSv/h**（本项目探伤房顶部人员不可达）。

（3）X 射线实时成像系统及工业电视关注点四周及顶部最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 **2.5μSv/h**（本项目工业电视高度较低，因此顶部剂量率参考控制水平保守按照 2.5μSv/h 考虑）。

11 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辐射水平（单位：nGy/h）

	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：[1]测量值已扣除宇宙射线响应值。

[2]现状评价时，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。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

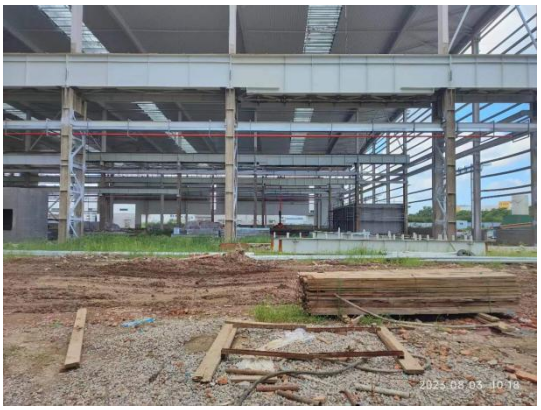
1 项目地理和场所位置

无锡华光环保能源集团股份有限公司老厂区位于无锡市城南路 3 号，本项目所在新厂区地址位于无锡市新吴区梅育路，本项目所在新厂区地理位置见附图 1。公司新厂区分为梅育路南侧与北侧两部分厂区，南厂区东侧为新硕路及无锡市鸿利汽车零部件有限公司，南侧为江苏微导纳米科技股份有限公司及高美可科技（无锡）有限公司，西侧为空地及走马塘河，北侧为梅育路；北厂区东侧为空地，南侧为梅育路，西侧为空地及走马塘河，北侧为空地及伯渎港。公司新厂区总平面图及周围环境见附图 2。

本项目 1#探伤房拟建于南厂区汽包集箱生产车间内西北角，1#探伤房拟建址东侧及南侧均为汽包集箱生产车间内场所，西侧为厂内道路、停车位及空地，北侧为厂内道路及梅育路，楼上楼下无建筑；2#探伤房拟建于北厂区管子膜式壁生产车间内西南角，2#探伤房拟建址东侧及北侧均为管子膜式壁生产车间内场所，南侧为厂内道路及梅育路，西侧为厂内道路、停车位及综合楼，楼上楼下无建筑；1#X 射线数字成像系统拟建于北厂区管子膜式壁生产车间膜式壁区，1#X 射线数字成像系统拟建址东侧、西侧及北侧均为管子膜式壁生产车间内场所，南侧依次为管子膜式壁生产车间内场所、厂内道路及梅育路，楼上楼下无建筑；工业电视拟建于北厂区管子膜式壁生产车间蛇形管区，工业电视拟建址四周均为管子膜式壁生产车间内场所，楼上楼下无建筑；2#X 射线数字成像系统拟建于北厂区管子膜式壁生产车间蛇形管装配流水线，2#X 射线数字成像系统拟建址东侧、南侧及西侧均为管子膜式壁生产车间内场所，北侧为管子膜式壁生产车间内场所及厂内道路，楼上楼下无建筑。本项目 2 座探伤房、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视拟建址周围环境图见附图 2。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其它公众等。本项目 2 座探伤房拟建址、2 台 X 射线数字成像系统拟建址及 1 台工业电视拟建址周围环境现状图见图 8-1。



本项目 1#探伤房拟建址东侧（汽包集箱生产车间）



本项目 1#探伤房拟建址南侧（汽包集箱生产车间）



本项目 1#探伤房拟建址西侧（厂内道路）



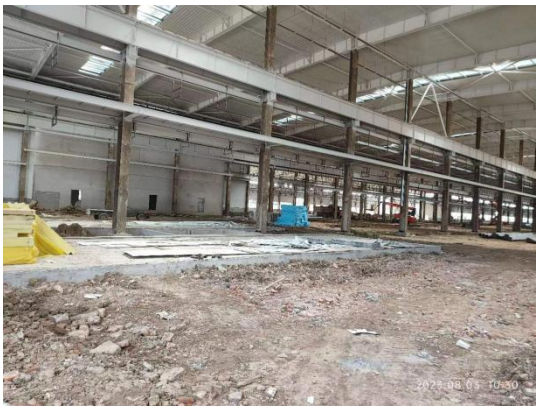
本项目 1#探伤房拟建址北侧（厂内道路）

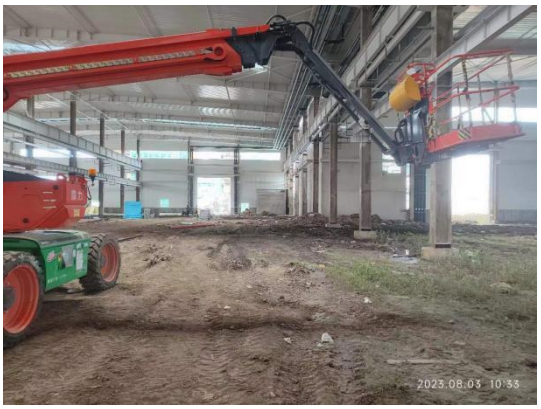


本项目 1#探伤房拟建址处



本项目 2#探伤房拟建址东侧（管子膜式壁生产车间）

<table>
<tr><td>
本项目 2#探伤房拟建址南侧（厂内道路）</td><td>
本项目 2#探伤房拟建址西侧（厂内道路）</td></tr>
<tr><td>
本项目 2#探伤房拟建址北侧（管子膜式壁生产车间）</td><td>
本项目 2#探伤房拟建址处</td></tr>
<tr><td>
本项目 1#X 射线数字成像系统拟建址东侧（管子膜式壁生产车间）</td><td>
本项目 1#X 射线数字成像系统拟建址南侧（管子膜式壁生产车间）</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>
本项目 1#X 射线数字成像系统拟建址西侧（管子膜式壁生产车间）</td><td>
本项目 1#X 射线数字成像系统拟建址北侧（管子膜式壁生产车间）</td></tr>
<tr><td>
本项目 1#X 射线数字成像系统拟建址现状</td><td>
本项目工业电视拟建址东侧（管子膜式壁生产车间）</td></tr>
<tr><td>
本项目工业电视拟建址南侧（管子膜式壁生产车间）</td><td>
本项目工业电视拟建址西侧（管子膜式壁生产车间）</td></tr>
</table>



本项目工业电视拟建址北侧（管子膜式壁生产车间）



本项目工业电视拟建址现状



本项目 2#X 射线数字成像系统拟建址东侧（管子膜式壁生产车间）



本项目 2#X 射线数字成像系统拟建址南侧（管子膜式壁生产车间）



本项目 2#X 射线数字成像系统拟建址西侧（管子膜式壁生产车间）



本项目 2#X 射线数字成像系统拟建址北侧（厂内道路）



本项目 2#X 射线数字成像系统拟建址现状

图 8-1 本项目探伤房、X 射线数字成像系统及工业电视拟建址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 座探伤房、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视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 座探伤房、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视拟建址周围进行布点，共计布点 25 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：J0317，检定有效期：2022.10.10~2023.10.9，能量响应：48keV~4.4MeV，测量范围：1nSv/h~100μSv/h）

检测项目：γ辐射空气吸收剂量率

检测布点：在 2 座探伤房、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视拟建址周围进行布点，具体点位见图 8-2

检测时间：2023 年 08 月 03 日

天气：晴

温度：28°C

湿度：56%RH

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辐射水平调查结果，监测结果见表 8-1，详细检测结果见附件 7。

表 8-1 本项目各辐射工作场所拟建址周围环境γ辐射水平

序号	监测点位描述	监测结果（nGy/h）	备注
1	1#探伤房拟建址处	69.4	平房
2	1#探伤房拟建址东侧	68.9	平房
3	1#探伤房拟建址南侧	70.1	平房
4	1#探伤房拟建址西侧	65.4	道路
5	1#探伤房拟建址北侧	64.9	道路
6	2#探伤房拟建址处	67.0	平房
7	2#探伤房拟建址东侧	69.0	平房
8	2#探伤房拟建址南侧	64.8	道路
9	2#探伤房拟建址西侧	66.4	道路
10	2#探伤房拟建址北侧	67.5	平房
11	1#X 射线数字成像系统拟建址处	71.2	平房
12	1#X 射线数字成像系统拟建址东侧	70.5	平房
13	1#X 射线数字成像系统拟建址南侧	69.6	道路
14	1#X 射线数字成像系统拟建址西侧	71.4	平房
15	1#X 射线数字成像系统拟建址北侧	70.9	平房
16	工业电视拟建址处	70.5	平房
17	工业电视拟建址东侧	70.2	平房
18	工业电视拟建址南侧	68.9	平房
19	工业电视拟建址西侧	70.4	平房
20	工业电视拟建址北侧	69.6	平房

21	2#X 射线数字成像系统拟建址处	68.8	平房
22	2#X 射线数字成像系统拟建址东侧	69.1	平房
23	2#X 射线数字成像系统拟建址南侧	68.4	平房
24	2#X 射线数字成像系统拟建址西侧	69.0	平房
25	2#X 射线数字成像系统拟建址北侧	67.9	平房

注：测量数据已扣除仪器宇宙响应值，平房对宇宙射线的屏蔽修正因子取 0.9，原野、道路对宇宙射线的屏蔽修正因子取 1。

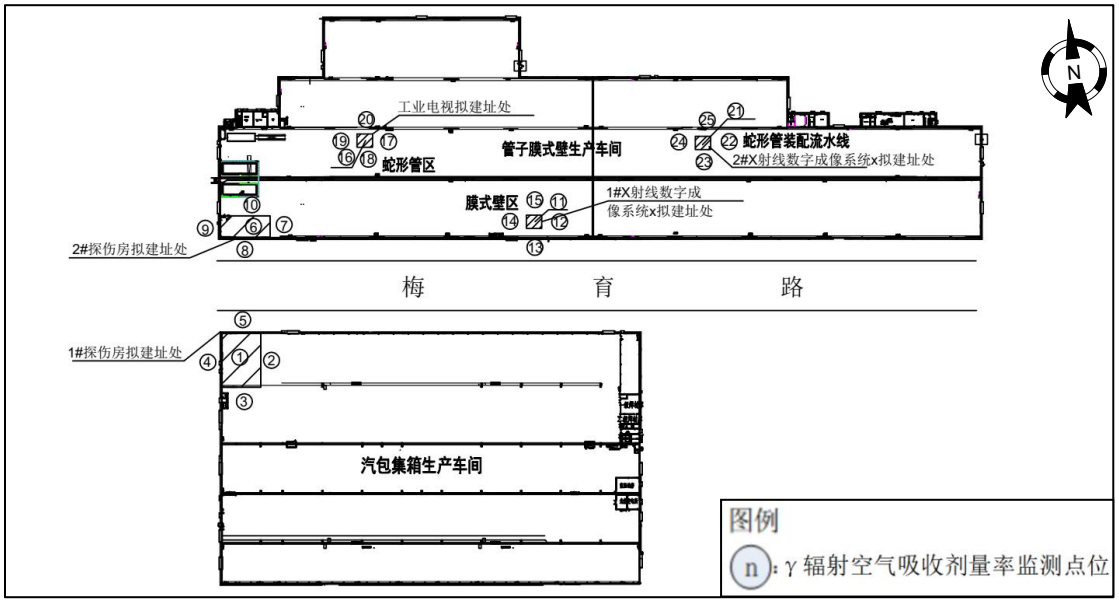


图 8-2　检测点位图

4 环境现状调查结果评价

从现场监测结果可知，本项目 2 座探伤房 2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视拟建址周围环境γ辐射水平在（64.8～71.4）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

无锡华光环保能源集团股份有限公司拟于无锡市新吴区梅育路新建两个厂区，分别为南厂区及北厂区，新厂区建厂后，公司拟将老厂区整体搬迁至新建南、北两厂区内，搬迁后老厂区不再使用。

公司拟于南厂区内新建 1 座固定式 X、γ射线探伤房（1#探伤房），并拟将老厂区内的 4 台 XT3505D 型 X 射线探伤机、1 台 ^{60}Co γ射线探伤机及 1 台 ^{192}Ir γ射线探伤机搬迁至 1#X、γ射线探伤房内，同时拟新增 1 台 ^{60}Co γ射线探伤机及 1 台 DZ-4/500 型工业电子加速器，用于开展公司产品的无损检测工作；拟于北厂区内新建 1 座固定式 X 射线探伤房（2#探伤房），并拟将老厂区内的 2 台 XT3505D 型 X 射线探伤机搬迁至 2#X 射线探伤房内使用，同时拟于 2#X 射线探伤房内新增 1 台 CF320 型 X 射线探伤机，用于开展公司产品的无损检测工作；公司还拟将老厂区内的 1 台 IMG-GLGP-G320XRD0822 型 X 射线数字成像系统（1#X 射线数字成像系统）、1 台 DCM-GL-GE225R2W 型工业电视及 IMG-GLGP-G225XRD0822 型 X 射线数字成像系统（2#X 射线数字成像系统）搬迁至北厂区内，用于开展公司产品的无损检测工作。搬迁后，除搬迁至新厂区内使用的 X、γ射线探伤装置外，其余 X、γ射线探伤装置均拟做退役处理。

在 1#探伤房内进行探伤时，探伤工件为圆筒状，长度 2000mm~20000mm，直径 300mm~3500mm，壁厚 10mm~120mm，在曝光室内两端呈南北向放置；在 2#探伤房内进行探伤时，探伤工件为圆筒状，长度 1000mm~15000mm，直径 300mm~3500mm，壁厚 8mm~50mm，在曝光室内两端呈东西向放置；2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视均用于对蛇形管焊缝的无损检测，蛇形管直径约 100mm，壁厚 5mm~10mm。

无锡华光环保能源集团股份有限公司拟为本项目配备 10 名辐射工作人员，10 名辐射工作人员均拟延用老厂区辐射工作人员。本项目 2 座探伤房、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视年开机曝光时间均约为 500 小时。

1.1 工业电子加速器

本项目 1#探伤房内拟配备的 1 台 DZ-4/500 型工业电子加速器，其电子能量为 4MeV，X 射线最大剂量率为 500cGy/min。工业电子加速器系统主要由控制台、调制器柜、水冷机组、X 射线机头等组成，各组成设备示意图见图 9-1。



X 射线机头



调制器柜



控制台



水冷机组

图 9-1 工业电子加速器系统组成设备示意图

工业电子加速器机头水平方向不可旋转，竖直方向的旋转角度为 0°~-90°，机头距离水平地面为 2.0m~4.5m；工业电子加速器通过行车可在东西、南北方向 2.9m×18.0m 范围内前后左右移动，移动区域距东墙最小距离均为 3.3m，距南墙最小距离为 5.7m，距离西墙最小距离为 4.6m，距离北墙最小距离为 5.9m，本项目工业电子加速器移动区域范围见附图 3 及附图 4。工业电子加速器出束口射线角度为 30°，主射线朝东墙及地面照射。

1.2 X 射线探伤机

本项目 X 射线探伤机主要由控制箱、X 射线发生器和低压连接电缆等构成，常见 X 射线探伤机外观图见图 9-2。



图 9-2 常见 X 射线探伤机外观图

本项目 1#探伤房内拟配备 4 台 XT3505D 型定向 X 射线探伤机，2#探伤房内拟配备 2 台 XT3505D 型定向 X 射线探伤机及 1 台 CF320 型定向 X 射线探伤机。XT3505D 型 X 射线探伤机的最大管电压均为 350kV，最大管电流均为 5mA；CF320 型 X 射线探伤机最大管电压为 320kV，最大管电流均为 5mA。本项目 1#探伤房内的定向 X 射线探伤机主射线朝东墙或顶部照射，2#探伤房内的定向 X 射线探伤机主射线朝南墙、北墙或顶部照射。探伤机探伤时离地最大距离均约为 2m，距四周墙面最近距离均约为 2m。X 射线探伤机出束口射线角度均约为 40°。

1.3 γ射线探伤机

本项目γ射线探伤机是 ^{60}Co 及 ^{192}Ir 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 9-3，内部结构示意图见图 9-4。



图 9-3 γ射线探伤机实物图

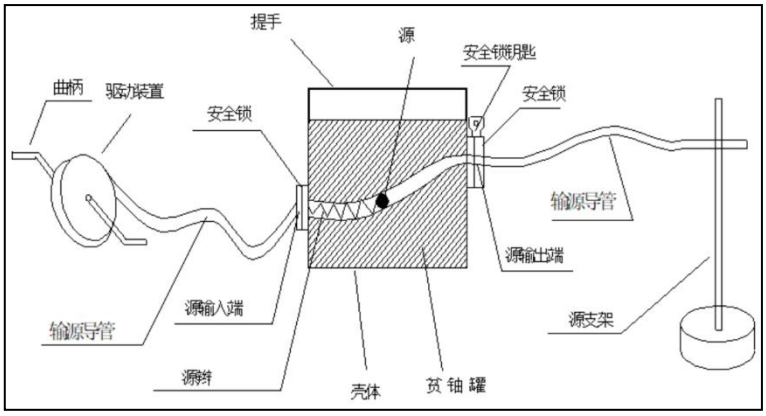


图 9-4 γ射线探伤机结构示意图

本项目 1#探伤房内拟配备的 2 台 ^{60}Co γ射线探伤机及 1 台 ^{192}Ir γ射线探伤机。2 台 ^{60}Co γ射线探伤机最大装源活度分别为 7.4×10^{12}Bq 及 7.4×10^{11}Bq，^{192}Ir γ射线探伤机最大装源活度约为 3.7×10^{12}Bq。

1.4 X 射线数字成像系统及工业电视

根据生产检测需要，无锡华光环保能源集团股份有限公司拟在新建北厂区内配备 1 台 IMG-GLGP-G320XRD0822 型 X 射线数字成像系统（1#X 射线数字成像系统）、1 台 DCM-GL-GE225R2W 型工业电视及 1 台 IMG-GLGP-G225XRD0822 型 X 射线数字成像系统（2#X 射线数字成像系统）。IMG-GLGP-G320XRD0822 型 X 射线数字成像系统最大管电压为 320kV，最大管电流为 8mA，IMG-GLGP-G225XRD0822 型 X 射线数字成像系统及 DCM-GL-GE225R2W 型工业电视最大管电压均为 225kV，最大管电流均为 7mA，X 射线数字成像系统及工业电视主射线均朝下照射。2 台 X 射线数字成像系统均包括检测铅房、控制台、传送装置、防护通道等，防护通道设置在检测铅房两侧，并设有进出料口；工业电视包括检测铅房、控制台、传送装置等。正常运行情况下，人员无法进入设备内部，维修时人员可进入。本项目 2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视图实物图见图 9-5~9-7。



图 9-5 本项目 1#X 射线数字成像系统实物图

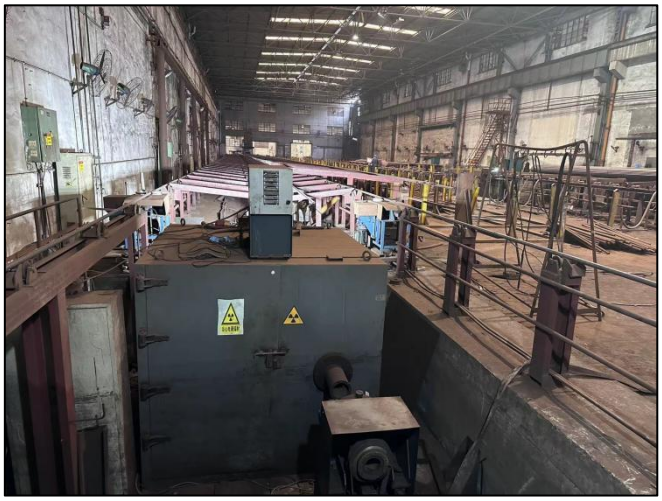


图 9-6 本项目工业电视实物图



图 9-7 本项目 2#X 射线数字成像系统实物图

2 工作原理

2.1 工业电子加速器工作原理

工业电子加速器是产生高能电子束的装置，主要由产生带电粒子的机构即电子枪或离子源、加速器主体及粒子引出机构三部分组成，加速器主体包括加速电场系统、控制磁场系统和真空系统等。

加速器运行时加速器调制器（实际为一个振荡回路）向速调管提供脉冲高压，速调管在脉冲高压的作用下，将电子流放大并转换成高功率微波输出，它经波导环流器等微波传输系统送入加速管，加速管中的电子从微波获得能量，加速电子使其达到预定能量。

高速运行的电子轰击靶材时产生韧致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。利用 X 射线胶片照相技术可对探测物件或装置的缺陷进行无损检测。

2.2 X 射线探伤机工作原理

2.2.1 X 射线产生工作原理

X 射线探伤机核心部件是 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。常见典型的 X 射线管结构图见图 9-8。

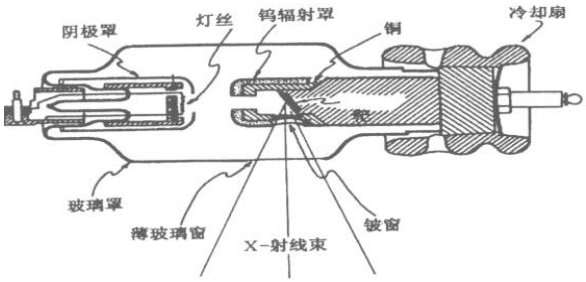


图 9-8 典型的 X 射线管结构图

2.2.2 无损检测原理

本项目 2#探伤房内 2 台 XT3505D 型 X 射线探伤机拟采用胶片成像工作方式，1 台 CF320 型 X 射线探伤机拟采用实时成像工作方式。

2.2.2.1 胶片成像检测原理

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。

2.2.2.2 实时成像检测原理

在使用实时成像方式进行无损检测过程中，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。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，投射 X 射线被图像增强器所接收，图像增强器把不可见的 X 射线检测信息转换为电子图像并经增强后变成视频图像信号传输至监视器，在监视器上实时显示，可迅速对工件缺陷位置和被检样品内部的细微结构进行判别。

2.3 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。

2.4 X 射线实时成像系统及工业电视工作原理

本项目 X 射线实时成像系统及工业电视均采用 DR 成像原理，无需进行胶片成像。在使用 X 射线实时成像系统及工业电视进行无损检测过程中，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。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。X 射线穿透金属材料后被图像增强器所接受，图像增强器把不可见的 X 射线监测信号转换为光学图像，称为“光电转换”，用高清晰度电视摄像机摄取光学图像，输入计算机进行 A/D 转换，转换为数字图像，经计算机处理后，还原在显示器屏幕上，显示出材料内的缺陷性质、大小、位置信息，从而达到检测目的。DR 实时成像工作原理示意图见图 9-9。

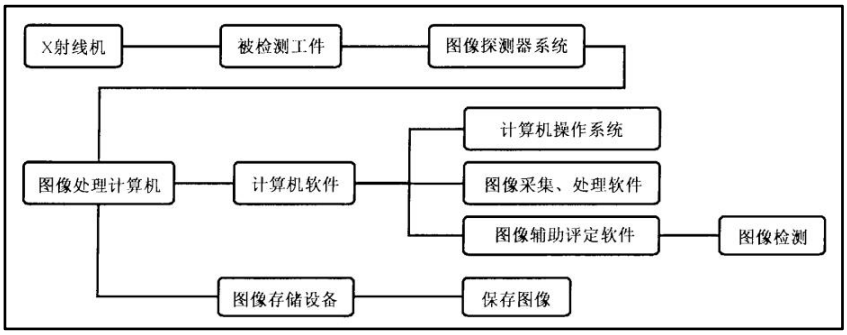


图 9-9 典型 DR 实时成像工作原理图

3 本项目工业探伤工作流程

3.1 工业电子加速器探伤工作流程及产物环节

（1）工作前检查安全联锁系统和警报系统是否正常工作；检查急停开关是否置于未锁紧的位置；检查门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施是否正常；

（2）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；

（3）检查工业电子加速器的工作状态及固定装置是否正常，确定工业电子加速器能正常运行；检查工业电子加速器加速电压等是否与预定值一致，检查操作台上的数字显示系统是否正常工作；

（4）检查曝光室内是否有人逗留，清场并确认曝光室无人之后，关闭工件门，人员从迷道离开曝光室并关闭人员门；

（5）将出束钥匙插入开关孔中，开启工业电子加速器电源，工业电子加速器开始出束探伤，曝光过程中会产生电子束、X射线、少量O_3及NO_x；

（6）达到预定照射时间和曝光量后关闭工业电子加速器，曝光结束；

（7）辐射工作人员佩戴个人剂量计及个人剂量报警仪从人员门进入曝光室，取下胶片，打开工件门，将被探伤工件运出曝光室；

（8）辐射工作人员对探伤胶片进行洗片、评片，判断工件焊缝的焊接质量、缺陷等，并出具检测报告。在此过程中会产生显影、定影废液、冲洗废水及废胶片。

工业电子加速器探伤工作流程及产物环节见图9-10：

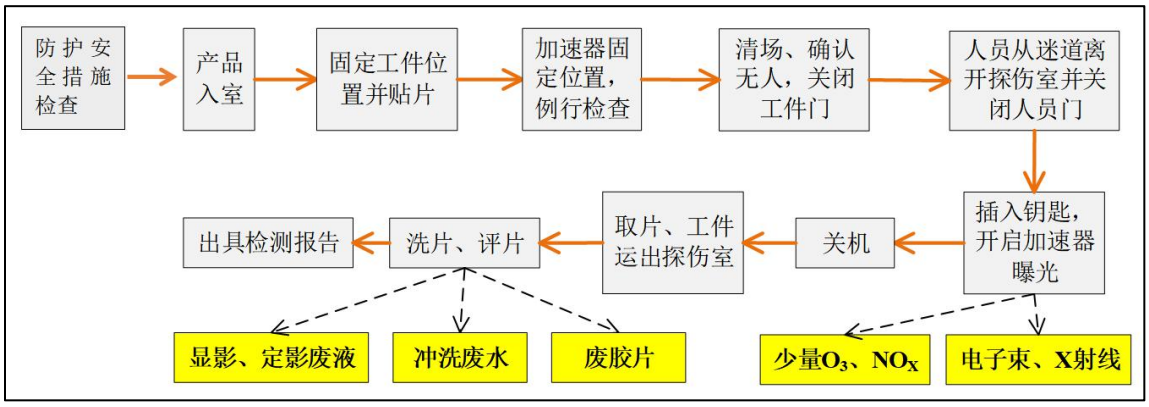


图 9-10　工业电子加速器探伤作业工作流程及产污环节示意图

3.2 X 射线探伤机探伤工作流程及产物环节

3.2.1 X 射线探伤机胶片成像工作流程及产物环节

（1）工作前检查门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施是否正常；

（2）将被探伤工件通过平板车运至曝光室内固定，并在检测部位贴上感光胶

片；

（3）将 X 射线探伤机固定在合适的位置，确认无人后，清场，人员离开曝光室，通过按钮关闭电动防护大门及防护小门；

（4）探伤工作人员在操作室开启 X 射线探伤机进行无损检测，曝光过程中会产生 X 射线和少量的 O_3、NO_x；

（5）达到预定照射时间和曝光量后关闭 X 射线探伤机，曝光结束，辐射工作人员戴个人剂量计及个人剂量报警仪进入曝光室取下胶片；

（6）工作人员对探伤胶片进行洗片、读片，判断工件焊接质量、缺陷等，在此过程中会产生废显影液、废定影液、一次、二次冲洗废水及废胶片；

（7）用平板车将被探伤工件运出曝光室。

本项目 X 射线探伤机探伤工作流程及产污环节分析示意图见图 9-11。

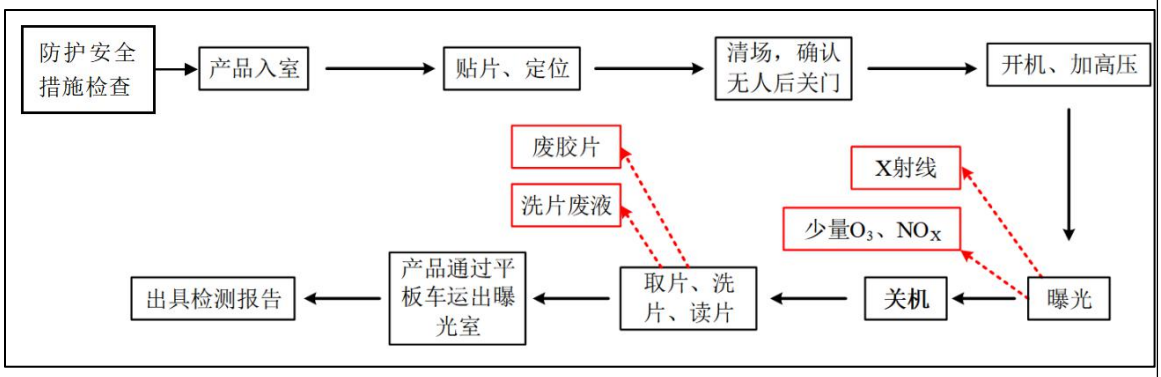


图 9-11 X 射线探伤机胶片成像探伤工作流程及产污环节分析示意图

3.2.2 X 射线探伤机实时成像工作流程及产物环节

（1）工作前检查门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施是否正常；

（2）将被探伤工件通过平板车运至曝光室内固定，放置好成像板，使得待检工件处于探伤机与成像板之间；

（3）将被测工件固定在合适的位置，清场，确认无人后，人员离开曝光室，通过按钮关闭工件门及人员门；

（3）探伤工作人员在操作室开启 X 射线探伤机进行无损检测，通过操作台处的显像器对被检工件的缺损状况进行辨别，曝光过程中会产生 X 射线和少量的 O_3、NO_x；

（4）达到预定照射时间和曝光量后关闭 X 射线探伤机，曝光结束；

（5）用平板车将被探伤工件运出曝光室；

（6）对检测图像进行缺陷分析，并出具检测报告。

本项目 X 射线探伤机实时成像探伤工艺流程及产污环节分析示意图见图 9-12。

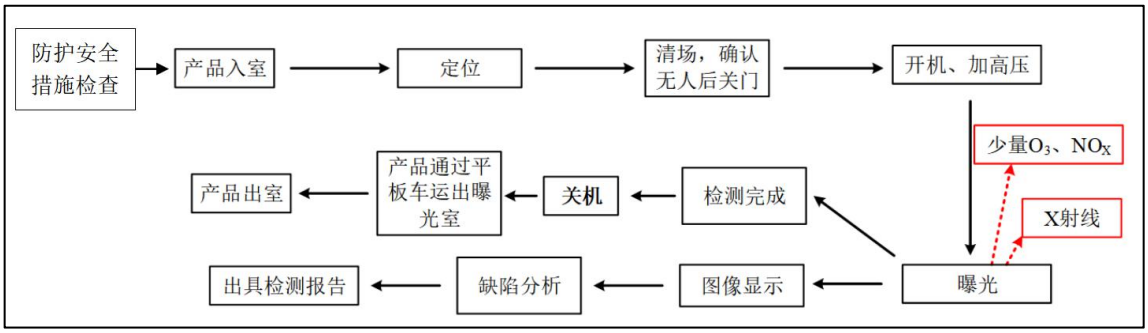


图 9-12 X 射线探伤机实时成像探伤工作流程及产污环节分析示意图

3.3 γ射线固定探伤工作流程及产物环节

（1）工作前检查门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施是否正常；

（2）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；

（3）从放射源暂存库中将γ射线探伤机取出，放于合适的位置，关闭曝光室工件门；

（4）把控制部件和输源管连接好，开启γ射线探伤机闭锁装置；

（5）检查曝光室内人员滞留情况，确定无人后，辐射工作人员通过人员门离开曝光室，并关闭人员门；

（6）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；

（7）确认放射源回到贮源位后，工作人员携带个人剂量计、辐射巡测仪、个人剂量报警仪进入曝光室，将γ射线探伤机通过手推车放进放射源暂存库内，关门并由专人保管钥匙；

（8）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。

本项目γ射线探伤机探伤工作流程及产污环节分析示意图见图9-13。

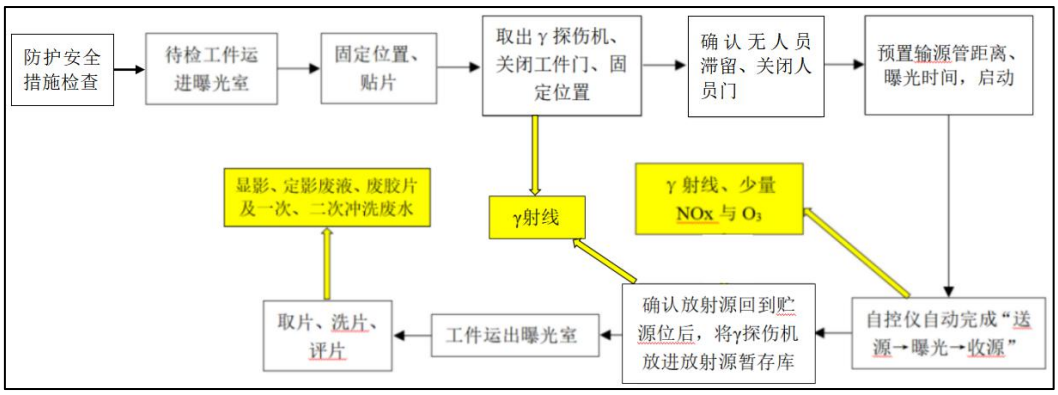


图 9-13 固定式γ探伤工作流程及产污环节示意图

3.4 X 射线实时成像系统及工业电视工作流程及产物环节

本项目 X 射线实时成像系统及工业电视检测时，待检测管件经传送装置送入检测铅房内，辐射工作人员在控制室内进行操作，对工件焊缝等需检测部位进行无损检测，其工作流程如下：

（1）工作前检查 X 射线实时成像系统或工业电视设备门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施是否正常；

（2）将待检测管件通过传送装置送至检测铅房内，在待检测焊缝区域到达检测铅房内的检测区域后停止传送装置；

（3）辐射工作人员在控制室内操作，控制工件从进料口进入检测铅房内；

（4）通过控制台调整射线管或工件位置，铅帘关闭，开启 X 射线实时成像系统或工业电视进行自动扫描检测，检测过程中会产生 X 射线及少量 O_3、NOx；

（5）通过控制台处的显像器对工件内部缺陷进行辨别；

（6）检测完毕后，关机，控制被检测工件由检测铅房出料口传出。

工作流程及产污环节分析示意图见图 9-14。

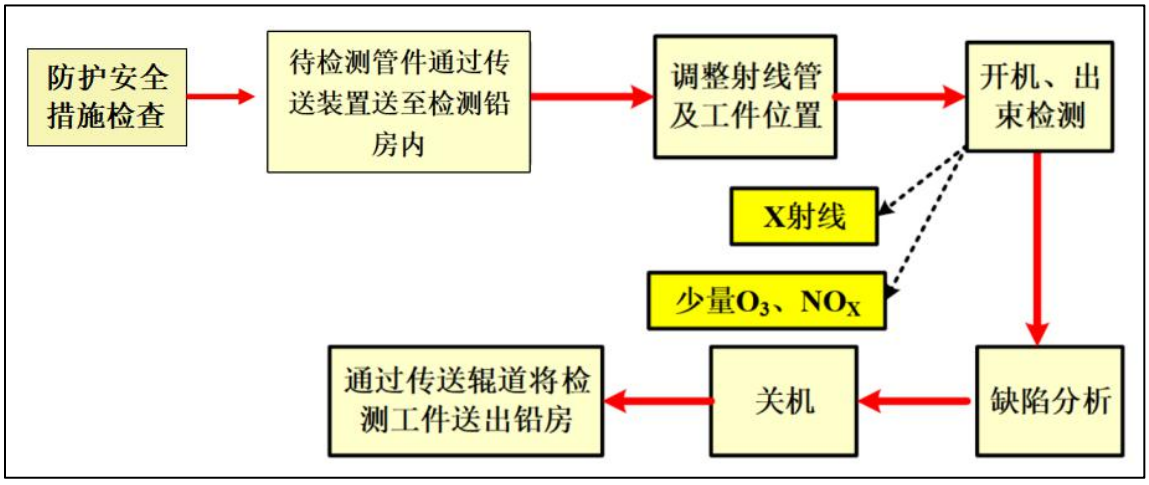


图 9-14 X 射线实时成像系统及工业电视工作流程及产污环节分析示意图

污染源分析

1 放射性污染源分析

1.1 工业电子加速器

工业电子加速器在进行探伤时电子枪发射电子，电子经加速管加速并经扫描扩展成为均匀的有一定宽度的电子束。电子束打到机头及其他高 Z 物质时产生高能 X 射线，X 射线的贯穿能力极强，会对曝光室周围环境造成辐射污染。因此，在工业电子加速器开机探伤期间，电子束和 X 射线辐射为项目主要的污染因素。本项目

工业电子加速器参数见表 9-1。

表 9-1 本项目拟配备的工业电子加速器特征参数表

特性	工业电子加速器（DZ-4/500）
电子束及 X 射线最大能量	4MeV
X 线最大剂量率（在 X 射线束中心轴线上距靶 1m 处）	500cGy/min（3×10^5mGy/h）
泄漏剂量	在准直射线束以外距靶 1 米处，任何一块 100cm^2 面积上泄漏辐射强度平均值与距靶 1 米处 X 射线中心轴线上辐射强度的百分比应小于 0.1%
X 线照射野	30°锥角
机头旋转角度	工业电子加速器机头水平方向不可旋转，竖直方向的旋转角度为-90°~0°
移动范围	工业电子加速器机头机头竖直方向移动范围为 2.5m，水平方向可在 2.9m×18.0m 范围内前后左右移动

1.2 X 射线探伤机、X 射线实时成像系统及工业电视

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，由于本项目 X 射线探伤机未获得厂家给出的输出量及滤过条件，因此本项目 XT3505D 型 X 射线探伤机、CF320 型 X 射线探伤机及 IMG-GLGP-G320XRD0822 型 X 射线实时成像系统射线管 1m 处的输出量分别根据《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），320kV 的 X 射线管 1m 处的输出量为 21.4mGy·m^2/（mA·min）；IMG-GLGP-G225XRD0822 型 X 射线实时成像系统及 DCM-GL-GE225R2W 型工业电视射线管 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 200kV 及 250kV 下 X 射线管输出量较大值（16.5mGy·m^2/（mA·min）及 28.7mGy·m^2/（mA·min））进行插值计算得到，225kV 的 X 射线管 1m 处的输出量为 22.6mGy·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。《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 1，本项目 XT3505D

型 X 射线探伤机、CF320 型 X 射线探伤机、IMG-GLGP-G320XRD0822 型 X 射线实时成像系统、IMG-GLGP-G225XRD0822 型 X 射线实时成像系统及 DCM-GL-GE225R2W 型工业电视距辐射源点（靶点）1m 处的泄漏辐射剂量率均为 5×10^3μSv/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，《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 2，350kV 及 320kVX 射线 90°散射辐射相应的 X 射线为 250kV；225kVX 射线 90°散射辐射相应的 X 射线为 200kV。详细参数见表 9-2。

表 9-2 本项目 X 射线探伤装置参数一览表

设备型号	XT3505D 型 X 射线探伤机	CF320 型 X 射线探伤机	IMG-GLGP-G320 XRD0822 型 X 射线实时成像系统	IMG-GLGP-G225XRD0822 型 X 射线实时成像系统及 DCM-GL-GE225R2W 型工业电视
最大管电压	350kV	320kV	320kV	225kV
最大管电流	5mA	5mA	8mA	7mA
滤过条件	/	/	/	/
X 射线机的发射率常数	取 22.2mGy·m²/（mA·min）	取 21.4mGy·m²/（mA·min）	取 21.4mGy·m²/（mA·min）	取 22.6mGy·m²/（mA·min）
泄漏辐射剂量率	取 5000μSv/h	取 5000μSv/h	取 5000μSv/h	取 5000μSv/h
90°散射后能量	250kV	250kV	250kV	200kV

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。

1.3 γ射线探伤

本项目中 ^{60}Co 及 ^{192}Ir 源为密封源，^{60}Co 及 ^{192}Ir 核素特性见表 9-3。

表 9-3 放射性核素 ^{60}Co 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	5.3a	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

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物。本项目拟使用的 2 枚 ^{60}Co 放射源活度分别为 200Ci（7.4×10^{12}Bq）及 20Ci（7.4×10^{11}Bq），通常在使用 10 年后退役，退役时放射性活度约 2.0×10^{12}Bq 及 2.0×10^{11}Bq；拟使用的 ^{192}Ir 放射源最大活度为 100Ci（3.7×10^{12}Bq），通常在使用 2 个半衰期后退役，退役时放射性活度约 9.25×10^{11}Bq。本项目γ射线探伤机退役时还会产生γ探伤机屏蔽装置（贫铀罐）。

2 非放射性污染源分析

2.1 固体废物

本项目工业电子加速器、X 射线探伤机及γ射线探伤机均拟使用胶片成像运行时会产生废胶片，属于《国家危险废物名录》中编号为 HW16（900-019-16）的危险废物，每年预计产生废胶片 240kg。

本项目运行后工作人员还会产生一定量的生活垃圾。

2.2 废水

本项目洗片过程会产生废显（定）影剂及一次、二次冲洗废水，废显（定）影剂属于《国家危险废物名录》中编号为 HW16（900-019-16）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。每月预计产生废显（定）影剂 40kg，一次、二次冲洗废水 200kg，每年预计产生废显（定）影剂 480kg，一次、二次冲洗废水 2400kg。

本项目运行后工作人员还会产生一定量的生活污水。

2.3 废气

本项目 2 座探伤房内探伤装置、2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视在运行过程中，产生的 X、γ射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

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

1.1 2 座探伤房布局合理性分析

无锡华光环保能源集团股份有限公司本项目 1#探伤房包括曝光室及辅房，其中曝光室为一层结构，辅房为二层结构。曝光室内西北角建有 1 座放射源暂存库，源库为一层建筑。探伤房辅房一层为 X 射线机储存室、电源室、超声设备储存室（2 间）、暗室、评片室、操作室、探伤人员更衣室及着色磁粉探伤设备室，二层为走道、仓储室、档案室、应急物资储藏室、资料室及淋浴室等，二层顶部为上人保温平屋面。2#探伤房包括曝光室及辅房，其中曝光室为一层结构，辅房为二层结构。探伤房辅房一层为二级焊材库、焊材、工具管理室、着色磁粉探伤设备室、X 射线机储存室、操作室、评片辅室、评片室及暗室，二层为档案室、工具间及不上人屋面。1#、2#探伤房辅房各房间功能见表 11-1。2 座探伤房均设有迷道，其中 1#探伤房的操作室位于曝光室西侧，2#探伤房的操作室位于曝光室西南角。本项目 2 座探伤房曝光室内每次均仅开启 1 台装置进行探伤，1#探伤房曝光室内直线加速器主射线拟朝向东墙及地面照射，定向 X 射线探伤机拟朝向东墙及顶部照射，有用线束避开了操作室方向；2#探伤房曝光室内的定向 X 射线探伤机拟朝向南墙、北墙及顶部照射，探伤房曝光室内探伤机摆放位置拟避开曝光室内西南角，确保有用线束避开探伤机操作台方向。本项目 2 座探伤房布局设计满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中关于操作室应避开有用线束照射的方向并应与曝光室分开的要求，本项目布局设计合理。

表 11-1 1#、2#探伤房辅房各房间功能表

辅房名称		房间功能
1#探伤房	X 射线机储存室	储存 1#探伤房内使用的 X 射线探伤机
	电源室	放置工业电子加速器的配电柜
	超声设备储存室（2 间）	储存超声设备
	暗室	对探伤胶片进行洗片
	评片室	对洗片后的胶片进行评片
	操作室	对 X 射线探伤机、γ射线探伤机及工业电子加速器进行操作的房间
	探伤人员更衣室	1#探伤房内辐射工作人员更换衣物
	着色磁粉探伤设备室	储存着色磁粉探伤设备

	仓储室	储存五金工具等杂物
	档案室	储存 1#探伤房内探伤完成后的胶片
	应急物资储藏室	储存发生意外情况下所需的一些应急物资
	资料室	储存 1#探伤房内探伤作业所需相关资料
	淋浴室	1#探伤房内辐射工作人员探伤后进行淋浴清洗
2#探伤房	二级焊材库	储存焊材的房间
	焊材、工具管理室	储存焊材、工具的房间
	着色磁粉探伤设备室	储存着色磁粉探伤设备
	X 射线机储存室	储存 2#探伤房内使用的 X 射线探伤机
	操作室	对 X 射线探伤机进行操作的房间
	评片辅室	辅助评片的房间
	评片室	对洗片后的胶片进行评片
	暗室	对探伤胶片进行洗片
	档案室	储存 2#探伤房内探伤完成后的胶片
	工具间	储存五金工具等杂物

本项目拟将 1#探伤房曝光室作为本项目的辐射防护控制区（图 10-1 红色阴影部分），在曝光室表面明显位置设置电离辐射警告标志及中文警示说明，工作时任何人不得进入；将 1#探伤房一层的 X 射线机储存室、电源室、超声设备储存室（2 间）、暗室、评片室、操作室、探伤人员更衣室及着色磁粉探伤设备室，二层的走道、仓储室、档案室、应急物资储藏室、资料室、淋浴室及二层顶部上人保温平屋面作为辐射防护监督区（图 10-1 中蓝色阴影部分），监督区入口处拟设立表明监督区的标牌，工作时无关人等不得进入。将 2#探伤房曝光室作为本项目的辐射防护控制区（图 10-2 红色阴影部分），将 2#探伤房一层的二级焊材库、焊材、工具管理室、着色磁粉探伤设备室、X 射线机储存室、操作室、评片辅室、评片室、暗室及二层的档案室、工具间作为辐射防护监督区（图 10-2 中蓝色阴影部分），监督区入口处拟设立表明监督区的标牌，工作时无关人等不得进入。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。

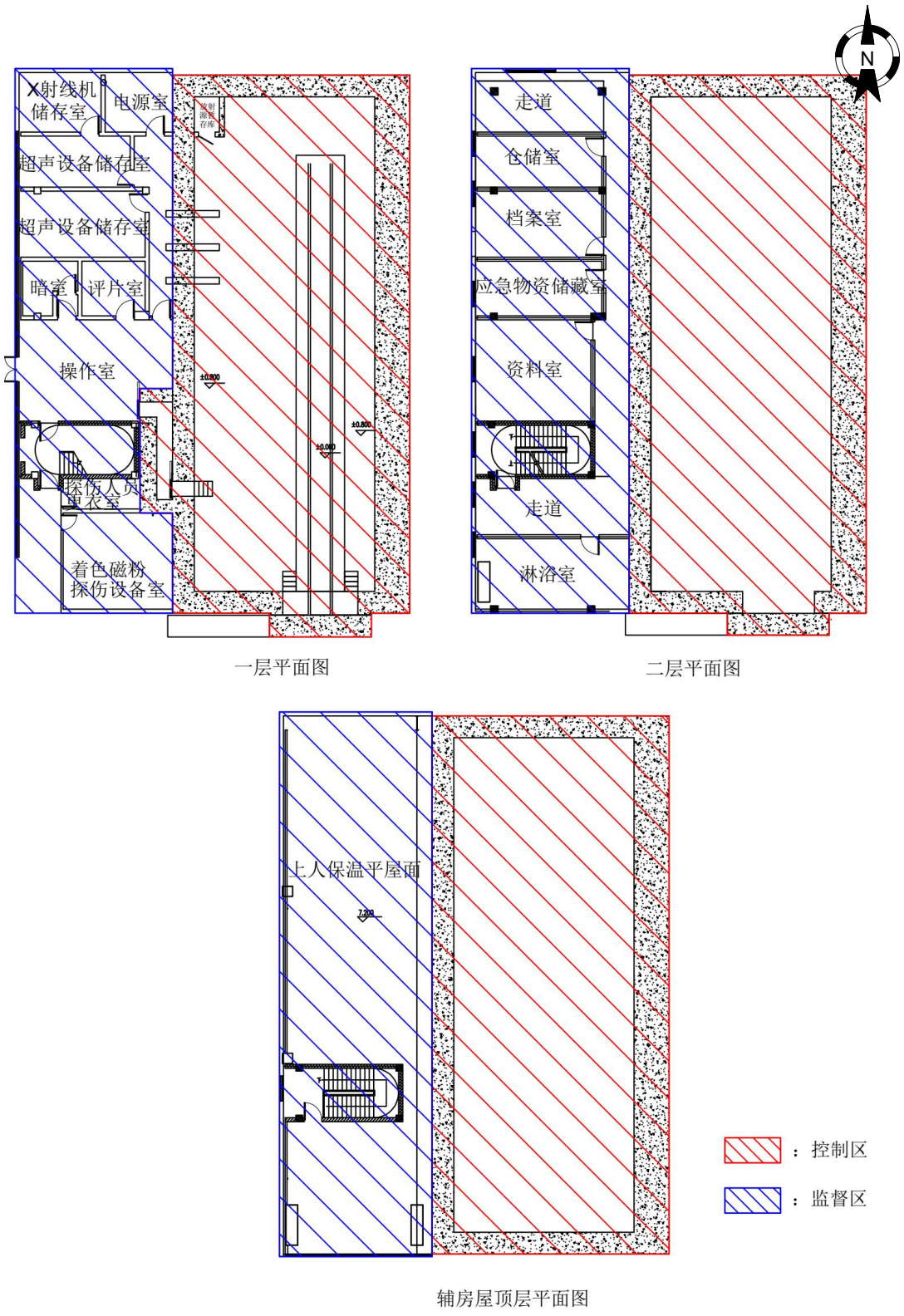


图 10-1 本项目 1#探伤房平面布局及分区图

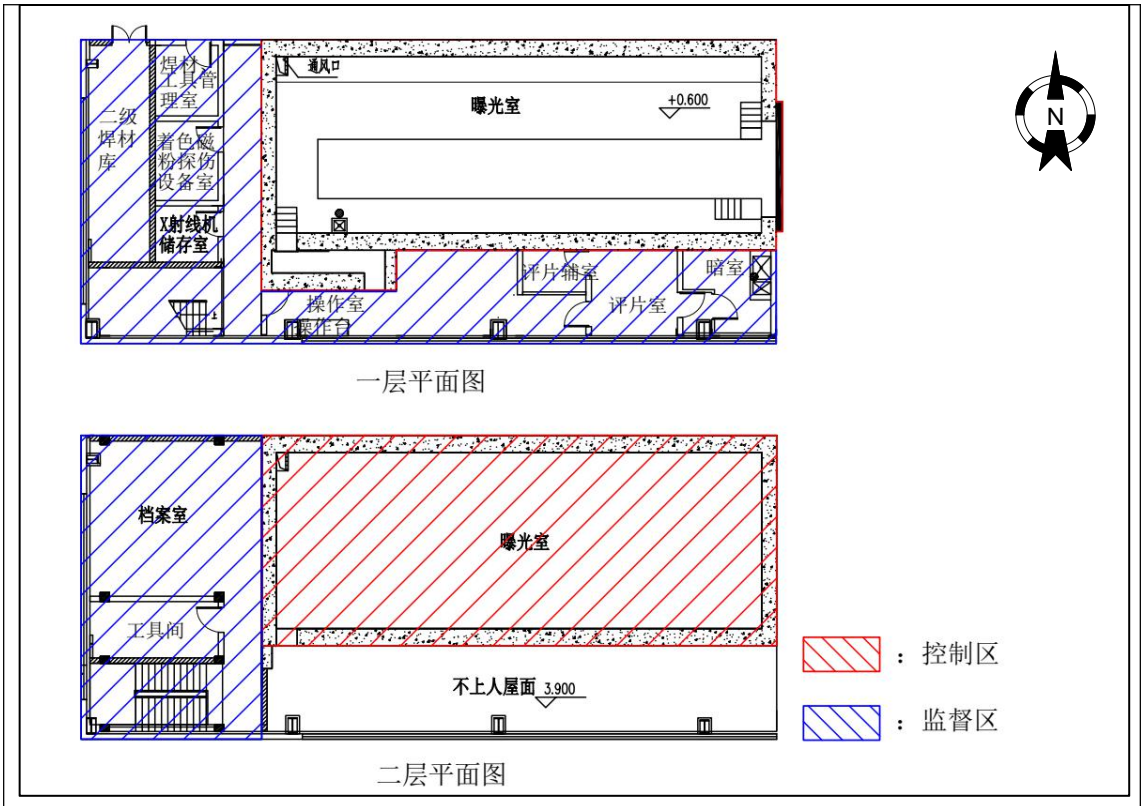


图10-2 本项目2#探伤房平面布局及分区图

1.2 2台X射线实时成像系统及1台工业电视布局合理性分析

无锡华光环保能源集团股份有限公司 1#、2#X 射线实时成像系统均包括检测铅房、防护通道和控制室等，工业电视包括检测铅房和控制室等，2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视主射线均朝下照射。1#X 射线实时成像系统控制室位于检测铅房北侧，2#X 射线实时成像系统及工业电视控制室均位于检测铅房南侧。本项目 2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视布局设计满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中关于控制室与检测铅房分开设置的要求，本项目布局设计合理。

本项目拟将 1#、2#X 射线实时成像系统检测铅房及防护通道作为本项目的辐射防护控制区，将工业电视检测铅房作为本项目的辐射防护控制区，在每台设备检测铅房表面明显位置设置电离辐射警告标志及中文警示说明，工作时任何人不得进入；拟将 2 台 X 射线实时成像系统控制区边界外 2m 范围和控制室及 1 台工业电视控制区边界外 1m 范围和控制室作为辐射防护监督区，并设置明显的电离辐射警示标志和警告标语，监督区边界处地面拟划警示线，并拟设立表明监督区的标牌，工作时无关人等不得进入。本项目 2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视平面布局及分区图示意见图 10-3~图 10-5，其中红色阴影部分表示控

制区，蓝色阴影部分表示监督区。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）中关于辐射工作场所的分区规定。

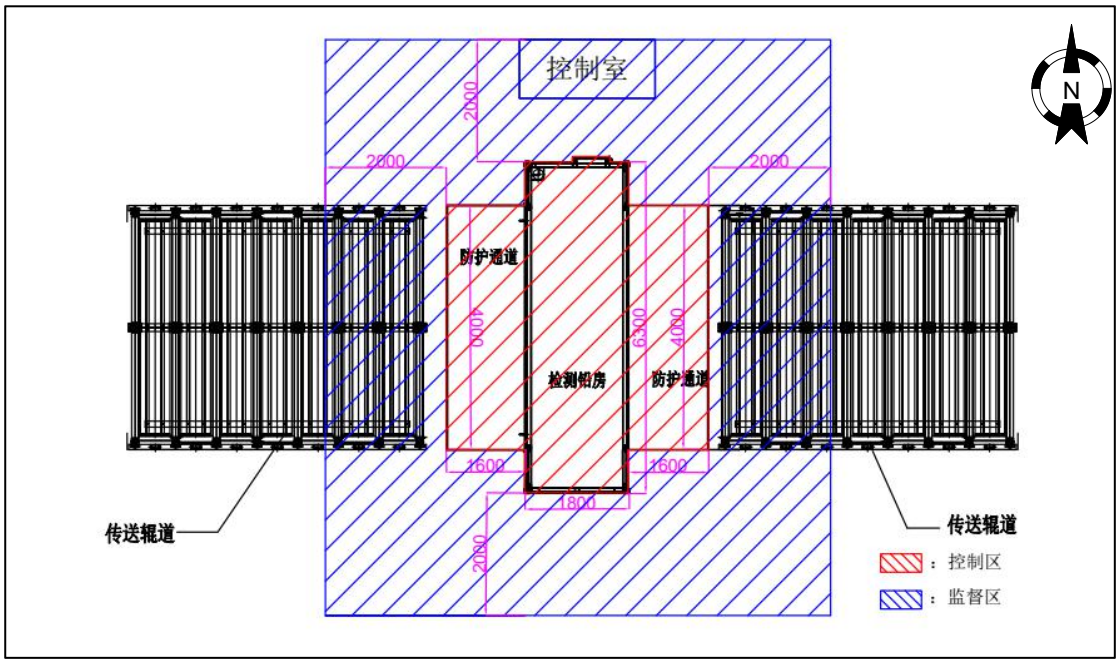


图10-3 本项目1#X射线实时成像系统平面布局及分区图

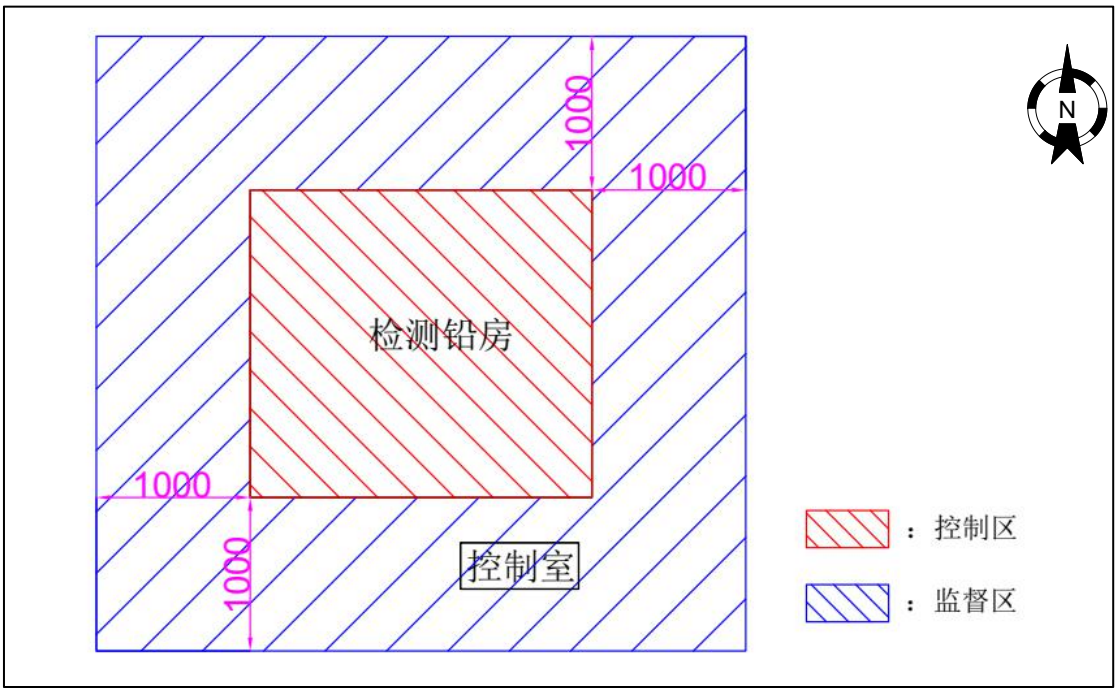


图10-4 本项目工业电视平面布局及分区图

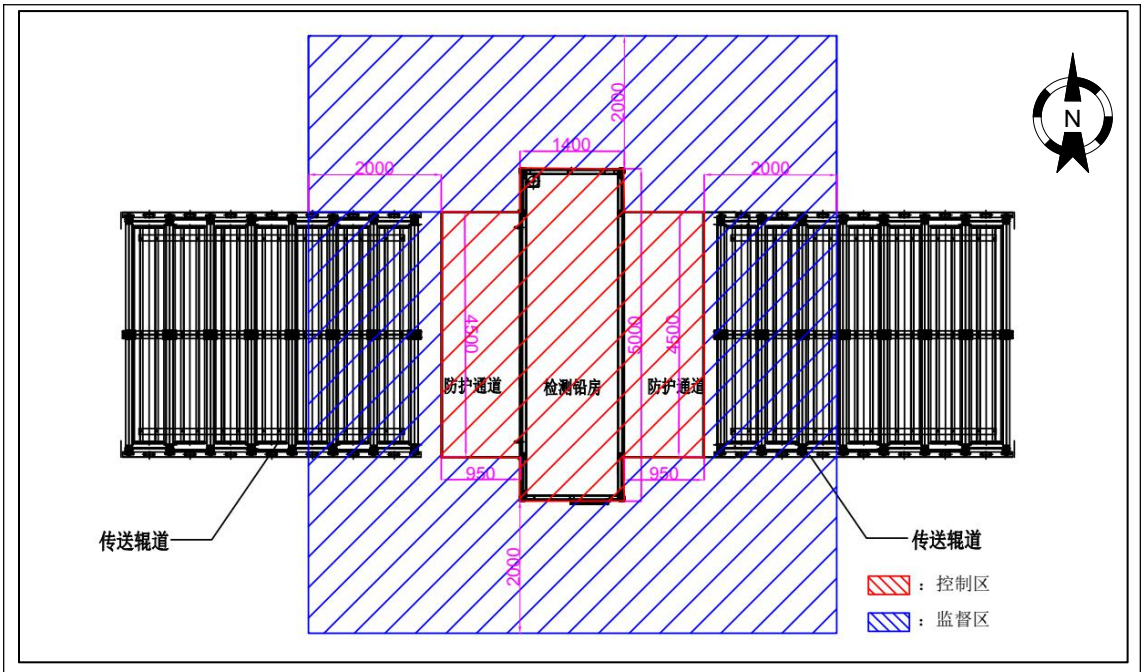


图 10-5 本项目 2#X 射线实时成像系统平面布局及分区图

2 辐射防护屏蔽设计

本项目 2 座探伤房曝光室、2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视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 座探伤房、2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视平面、剖面设计图见附图 3~附图 9。

表 10-1 本项目 2 座探伤房、2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视屏蔽设计参数一览表

曝光室		屏蔽设计	
		混凝土（mm）	铅（mm）
1#探伤房	东侧主屏蔽墙	2100（离地 6.8m 以下）	/
	东侧次屏蔽墙	1200（离地 6.8m 以上）	/
	南侧屏蔽墙	1300	/
	西侧屏蔽墙	离地 6.8m 以下：1300 离地 6.8m 以上：900	/
	北侧屏蔽墙	1300	/
	顶部屏蔽墙	900	/
	迷道南墙	800	/
	迷道西墙	1000	/
	迷道北墙	800	/
	南侧工件门	1300	/
	西侧人员内门（电动推拉门）	/	6
	西侧人员外门（电动推拉门）	/	6
	内净尺寸	29.6m（长）×10.8m（宽）×8.7m（高）	

	放射源暂存库	曝光室内西北角拟建一个源库，源库内净尺寸为2.1m（长）×1.5m（宽）×2.65m（高），源库东墙及南墙均拟采用 300mm 混凝土，西墙及北墙均拟采用 1300mm 混凝土，顶部拟采用 400mm 混凝土，源库门拟采用 40mmPb+6mmFe。
	工件门、人员门门洞	1#探伤房曝光室工件门门洞尺寸为 4.5m 宽×5.8m 高，工件门尺寸为 6.1m 宽×6.6m 高；人员门门洞尺寸均为 0.9m 宽×2.0m 高，人员门尺寸均为 1.2m 宽×2.3m 高，工件门、人员门与墙体之间的缝隙宽度均小于 10mm。
	通风管道	1#探伤房曝光室顶部东北角拟设置“L”型通风管道，通风管道直径为 630mm，通风管道外包 4mmPb。
	电缆管道	1#探伤房曝光室西墙拟设置 U 型地下穿墙电缆管道（L1 型管道及 L2 型管道），L1 型电缆管道直径约为 159mm，埋地深度约为 225mm；L2 型电缆管道直径约为 400mm，埋地深度约为 360mm。

曝光室		**屏蔽设计**	
		混凝土（mm）	**铅（mm）**
2#探伤房	东侧屏蔽墙	650	/
	南侧屏蔽墙	750	/
	西侧屏蔽墙	650	/
	北侧屏蔽墙	750	/
	顶部屏蔽墙	400	/
	迷道东墙	500	/
	迷道南墙	750	/
	迷道西墙	450	/
	东侧工件门	/	35
	南侧人员内门（电动推拉门）	/	6
	南侧人员外门（电动推拉门）	/	6
	内净尺寸	21.2m（长）×7.7m（宽）×6.3m（高）	
	工件门、人员门门洞	2#探伤房曝光室工件门门洞尺寸为 4.2m 宽×4.2m 高，工件门尺寸为 4.8m 宽×4.6m 高；人员门门洞尺寸均为 0.9m 宽×2.0m 高，人员门尺寸均为 1.2m 宽×2.3m 高，工件门、人员门与墙体之间的缝隙宽度均小于 10mm。	
	通风管道	2#探伤房曝光室顶部西北角拟设置“L”型通风管道，通风管道直径为 500mm，通风管道外包 4mmPb。	
	电缆管道	2#探伤房曝光室南墙拟设置 U 型地下穿墙电缆管道（L1 型管道及 L2 型管道），L1 型电缆管道直径约为 159mm，埋地深度约为 100mm；L2 型电缆管道直径约为 400mm，埋地深度约为 350mm。	

铅房	**屏蔽设计**	
	铅（mm）	**Fe（mm）**

1#X射线实时成像系统	检测铅房	东侧屏蔽体	26	10
		南侧屏蔽体	26	10
		西侧屏蔽体	26	10
		北侧屏蔽体	26	10
		顶部屏蔽体	20	10
		维修门（北侧）	26	10
		电缆防护罩（顶部）	20	10
		尺寸	6.3m（长）×1.8m（宽）×2.8m（高）	
	东西侧防护通道	东侧屏蔽体	20	10
		南侧屏蔽体	20	10
		西侧屏蔽体	20	10
		北侧屏蔽体	20	10
		顶部屏蔽体	20	10
		底部屏蔽体	20	10
		铅帘（东西侧进出料口）	16	/
		防护通道尺寸	4.0m（长）×1.6m（宽）×1.0m（高）	
		进出料口尺寸	3.5m（长）×0.6m（高）	
1#X射线实时成像系统维修门门洞0.6m宽×1.6m高，维修门0.8m宽×1.8m高，维修门与铅房屏蔽体缝隙小于10mm，搭接长度不少于100mm，墙体搭接与门缝间隙不小于10倍。				
铅房			**屏蔽设计**	
			铅（mm）	**Fe（mm）**
工业电视	检测铅房	东侧屏蔽体	12	6
		南侧屏蔽体	12	6
		西侧屏蔽体	12	6
		北侧屏蔽体	12	6
		顶部屏蔽体	12	6
		维修门（南侧）	12	6
		电缆防护罩（顶部）	12	6
		进出料口外凸管道	12	6
		尺寸	2.0m（长）×1.9m（宽）×2.0m（高）	
工业电视维修门门洞0.8m宽×1.6m高，维修门1.0m宽×1.8m高，维修门与铅房屏蔽体缝隙小于10mm，搭接长度不少于100mm，墙体搭接与门缝间隙不小于10倍。				
铅房			**屏蔽设计**	
			铅（mm）	**Fe（mm）**
2#X射线实时	检测铅房	东侧屏蔽体	12	6
		南侧屏蔽体	12	6
		西侧屏蔽体	12	6

成像系统		北侧屏蔽体	12	6
		顶部屏蔽体	10	6
		维修门（南侧）	12	6
		电缆防护罩（顶部）	10	6
		尺寸	5.0m(长）×1.4m（宽）×2.0m（高）	
	东西侧防护通道	东侧屏蔽体	10	6
		南侧屏蔽体	10	6
		西侧屏蔽体	10	6
		北侧屏蔽体	10	6
		顶部屏蔽体	10	6
		底部屏蔽体	10	6
		铅帘（东西侧进出料口）	8	/
		防护通道尺寸	4.5m（长）×0.95m（宽）×0.7m（高）	
		进出料口尺寸	4.0m（长）×0.2m（高）	
2#X 射线实时成像系统维修门门洞 0.6m 宽×1.6m 高，维修门 0.8m 宽×1.8m 高，维修门与铅房屏蔽体缝隙小于 10mm，搭接长度不少于 100mm，墙体搭接与门缝间隙不小于 10 倍。				

3 辐射安全措施设计

为确保辐射安全，保障工业电子加速器、X 射线探伤机、γ射线探伤机、X 射线实时成像系统及工业电视安全运行，公司拟根据**《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）、《无损检测用工业电子加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）、《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-1985）、《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）**设计相应的辐射安全装置和保护措施。

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

（1）安装门机联锁装置。本项目 1#探伤房曝光室的工件门及人员外门均拟设计安装门机联锁装置，即使用中的工业电子加速器、X 射线探伤机或γ射线探伤机与防护门联锁。

本项目 2#探伤房曝光室的工件门及人员外门均拟设计安装门机联锁装置，即使用中的 X 射线探伤机与防护门联锁。

本项目 2 座探伤房门机联锁装置的设置均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，2 座探伤房的防护门被意外打开时，能立刻停止照射，关上门不能自动开始照射。本项目 2 座探伤房曝光室内每次均仅同时开启 1 台探伤装置。

（2）曝光室设计安装指示灯和声音提示装置。1#探伤房曝光室工件门口、人员外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，并与使用中的工业电子加速器、X 射线探伤机或γ射线探伤机联锁。并拟在醒目的位置处均拟设置对“照射”和“预备”信号意义的说明。

2#探伤房曝光室工件门口、人员外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，并与使用中的 X 射线探伤机联锁。并拟在醒目的位置处均拟设置对“照射”和“预备”信号意义的说明。

2 座探伤房拟设置的“预备”信号能持续足够长的时间，以确保 2 座探伤房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，并且与工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。

（3）安装监视装置。拟在 1#探伤房曝光室内设计安装 2 个摄像头，在放射源暂存库内设计安装 1 个摄像头，在 1#探伤房曝光室迷道内设计安装 1 个摄像头，在 1#探伤房曝光室工件门及人员门外各设置 1 个摄像头，在 1#探伤房的操作室内拟设有专用的监视器，可监视 1#探伤房曝光室内、迷道内、工件门外、人员门外人员的活动和探伤设备的运行情况。

在 2#探伤房曝光室内设计安装 2 个摄像头，在 2#探伤房曝光室迷道内设计安装 1 个摄像头，在 2#探伤房曝光室工件门及人员门外各设置 1 个摄像头。在 2#探伤房的操作室内拟设有专用的监视器，可监视 2#探伤房曝光室内、迷道内、工件门外、人员门外人员的活动和探伤设备的运行情况。

（4）2 座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）安装紧急停机按钮。拟在 1#探伤房曝光室东墙及西墙上各设置 4 个紧急停机按钮，在南侧及北侧墙上各设置 1 个紧急停机按钮，在 1#探伤房操作室的控制台上设置 1 个紧急停机按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。

拟在 2#探伤房曝光室东墙及西墙上各设置 1 个紧急停机按钮，在南侧及北侧墙上各设置 3 个紧急停机按钮，在 2#探伤房操作室的控制台上设置 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 2 座探伤房内紧急停机按钮的设置能够使人员处在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 座探伤房曝光室内人员内门旁及迷道内人员外门旁各设置 1 个开门开关。

（7）拟在 2 座探伤房曝光室内设计安装置固定式场所辐射探测报警装置。本项目 1#探伤房固定式场所辐射探测报警装置的剂量探头拟安装在曝光室内西墙上，辐射探测报警装置的显示装置拟安装在 1#探伤房的操作室内。

本项目 2#探伤房固定式场所辐射探测报警装置的剂量探头拟安装在曝光室内南墙上，辐射探测报警装置的显示装置拟安装在 2#探伤房的操作室内。

（8）公司拟在 1#线探伤房曝光室顶部东北角设置“L”型通风管道，通风管道外拟外包 4mmPb 做屏蔽补偿。1#探伤房曝光室内拟设置机械通风装置，排风管道外口均高于建筑顶部，1#探伤房曝光室内每小时有效通风换气次数不小于 3 次。

拟在 2#线探伤房曝光室顶部西北角设置“L”型通风管道，通风管道外拟外包 4mmPb 做屏蔽补偿。2#探伤房曝光室内拟设置机械通风装置，排风管道外口高于建筑顶部，2#探伤房曝光室内每小时有效通风换气次数不小于 3 次。

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**《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。本项目 2 座探伤房辐射安全与防护措施分布见图 10-6 及图 10-7。

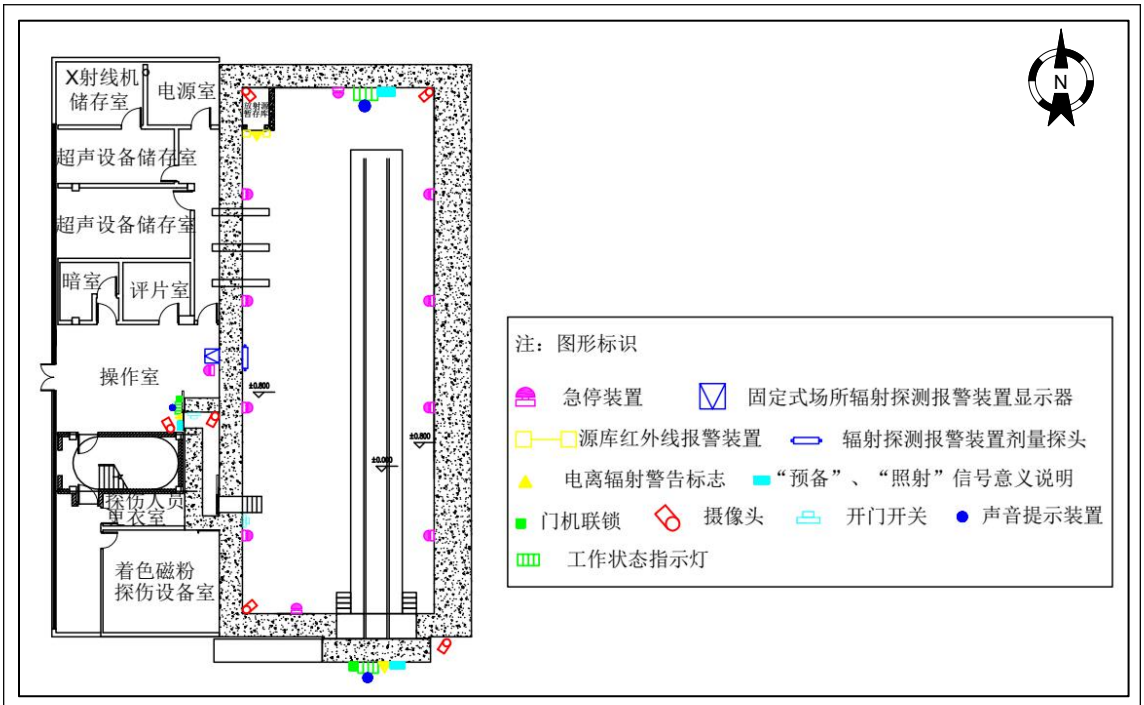


图 10-6 本项目 1#探伤房辐射防护措施布置图

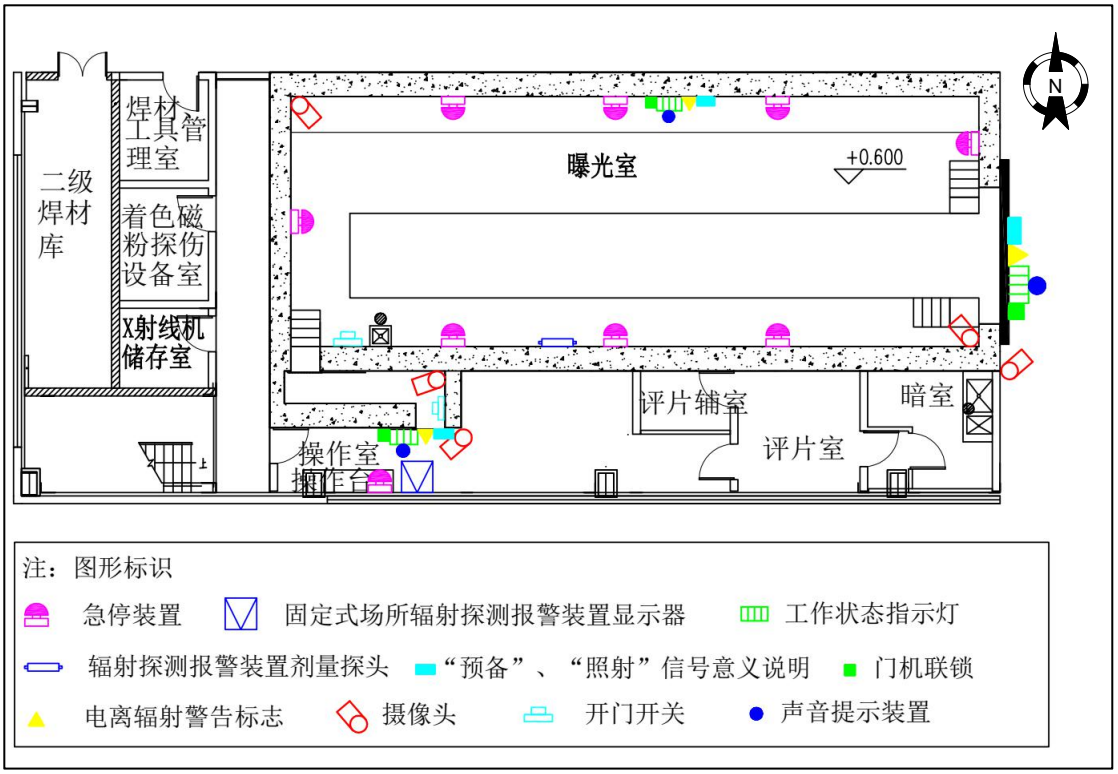


图 10-7 本项目 2#探伤房辐射防护措施布置图

3.1.2 放射源暂存库辐射安全措施

（1）放射源暂存库防护门上拟设置电离辐射警告标志。

（2）放射源暂存库拟采用混凝土建造，结构上防火，放射源暂存库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的保管工作，暂存库施行双人双锁管理，钥匙授权专门的人员保管。

（4）放射源暂存库内拟设置 1 个摄像头，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。---该公司本项目拟在履行环评手续后向省级生态环境主管部门重新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。---该公司拟在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。---该公司拟制定相应规章制度，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，至少有 2 名辐射工作人员在场；公司已为从事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。---该公司已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。---该公司已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。---该公司已安排 2 名工作人员负责放射源暂存库的管理工作，符合要求；放射源暂存库入口处拟安装红外监视摄像头；放射源暂存库防护门上拟设置两道锁，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，放射源台账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，做到账物相符相符，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。---该公司已制定相关的档案管理制度，并设有 2 名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。---该公司本项目 1#探伤房拟采用混凝土及铅板对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。---该公司本项目 1#探伤房曝光室内拟安装固定式辐射剂量监测探头，辐射探测报警装置的显示装置拟安装在操作室内。在进行探伤时，固定辐射监测系统拟与防护门进行联锁，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。---该公司已为 1#探伤房配备 2 台个人剂量报警仪，公司拟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 1#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。---公司拟对本项目 1#探伤房的各项安全措施必须定期检查、记录，并拟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。

3.1.4 2台X射线实时成像系统及1台工业电视辐射防护措施

（1）2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视检测铅房的控制室的控制台处均设有钥匙开关。只有在打开控制台钥匙开关后，X 射线管才能出束；钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。

（2）2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视控制室的控制台处各设有 1 个急停按钮，按钮带有标签，表明使用方法。确保出现紧急事故时，能立即停止照射。本项目 2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视工作时，人员均无需通过维修门进入检测铅房内摆放工件，因此 2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视检测铅房内均未设置急停按钮。

（3）2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视检测铅房顶部外均设有工作状态指示灯及声音提示装置，并与 X 射线管联锁。设备工作时，警示灯开启，警告无关人员勿靠近设备或在设备附近做不必要的逗留。“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。

（4）2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视维修门均设有门机联锁装置，只有当维修门完全关闭后 X 射线才能出束，门打开时立即停止 X 射线照射，关上门不能自动开始 X 射线照射。

（5）2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视检测铅房维修门表面明显位置

均设有“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及警示说明，提醒无关人员勿在其附近逗留。

（6）2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视检测铅房内各设有 1 个摄像头，摄像显示装置设于各控制台处。

（7）1#、2#X 射线实时成像系统防护通道两侧进出料口均设有铅帘，其中 1#X 射线实时成像系统两侧进出料口设置 8 道铅帘，总铅当量为 16mm；2#X 射线实时成像系统两侧进出料口设置 8 道铅帘，总铅当量为 8mm。

3.2 操作防护措施

（1）辐射工作人员在开展检测工作前拟按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 5.1.2 及 5.2.1.2 要求对本项目 2 座探伤房、2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视进行检查，重点检查安全联锁、报警设备和警示灯、固定辐射检测仪等是否运行正常。

（2）探伤工作人员在进入 2 座探伤房曝光室时，除佩戴常规个人剂量计外，还拟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）辐射工作人员拟定期测量 2 座探伤房曝光室外、2 台 X 射线实时成像系统装置外及 1 台工业电视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。测量值与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，立即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，拟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）探伤工作人员拟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，操作人员都拟确认探伤房曝光室、X 射线实时成像系统及工业电视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

当工业电子加速器、X 射线探伤机、γ射线探伤机、X 射线实时成像系统及

工业电视不再使用时，应实施退役程序。

（1）本项目γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 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 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）工业电子加速器、X 射线探伤机、X 射线实时成像系统及工业电视及的 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）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。

（6）清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

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 密封源退役后仍有较强的放射性，γ射线探伤机退役时产生的γ探伤机屏蔽装置（贫铀罐）也具有一定的放射性，公司已承诺γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 密封源及贫铀罐退役后，废源及贫铀罐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

2.1 固体废物

本项目 1#、2#探伤房运行后产生的废胶片属《国家危险废物名录》中编号为 HW16 的危险废物。无锡华光环保能源集团股份有限公司已承诺将与有资质单位签订废胶片处理处置合同，探伤过程中产生的废胶片在收集后拟临时贮存于危废库内（详见附图 2），定期交由有资质单位处理处置，废胶片安全处置承诺书见附件 8。

公司拟于新建南厂区汽包集箱生产车间外西南侧及北厂区管子膜式壁生产车间外北侧各新建 1 座危废库（见附图 2），拟将 1#探伤房探伤作业时产生的洗

片废液及废胶片暂存于南厂区新建危废库内，将 2#探伤房探伤作业时产生的洗片废液及废胶片暂存于北厂区新建危废库内。公司拟新建的 2 座危废库均为独立场所，危废库门外拟设置危险废物警告标志及危险废物信息公开栏，整个危废库将按照“防风、防雨、防晒、防泄漏、防流失、防逸散、防火、防盗”的八防要求建设，危废库门上张贴环保标识牌，明确危险废物种类。

公司拟按照《江苏省危险废物集中收集体系建设方案（试行）》（苏环办〔2021〕290 号）和《江苏省危险废物全生命周期监控系统》等管理规定，制定危险废物管理计划、建立危险废物管理台账，在全生命周期系统中实时申报危险废物的产生、贮存、转移等相关信息，在系统中打印的危废标志标识按规范要求张贴，实施对危险废物的规范化管理。危废库由专人管理，危废单独收集和贮存。

本项目运行后工作人员会产生一定量的生活垃圾，产生的生活垃圾由公司统一收集后，交给环卫部门清运。

2.2 废水

本项目 2 座探伤房运行后产生的显影、定影废液属《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。公司已与江苏爱科固体废物处理有限公司签订危险废物处置合同（见附件 8），探伤过程中产生的显影、定影废液及一次、二次冲洗废水在收集后拟临时贮存于危废库内（详见附图 2），定期交由江苏爱科固体废物处理有限公司处理处置。

本项目运行后工作人员会产生一定量的生活污水，产生的生活污水进入公司污水管网，最终进入生活污水处理厂处理。

2.3 废气

本项目 2 座探伤房内的工业电子加速器、X 射线探伤机及γ射线探伤机工作时产生的 X、γ 射线可使空气电离从而产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧和氮氧化物通过机械排风装置经排风管道排出曝光室，排风管道出风口位于车间外顶部，臭氧及氮氧化物最终通过车间顶部排风口排出。本项目 1#探伤房曝光室体积约为 2945m^3，曝光室内通风装置的通风量拟设置为 10000m^3/h，曝光室内通风次数约为 3.4 次；2#探伤房曝光室体积约为 1060m^3，曝光室内通风装置的通风量拟设置为 4000m^3/h，曝光室内通风次数约为 3.77 次。本项目 1#、2#探伤房曝光室的

通风均能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中曝光室每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。

本项目的 2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视在工作状态时，会使检测铅房内的空气电离产生臭氧（O_3）和氮氧化物（NO_x），1#、2#X 射线实时成像系统检测铅房内产生的少量臭氧和氮氧化物可通过检测铅房的防护通道进入车间，工业电视检测铅房内产生的少量臭氧和氮氧化物可通过检测铅房的进出料口进入车间，最终通过车间排风系统排入车间外。臭氧常温下 50min 内可自行分解为氧气，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 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视是由检测铅房和控制台等组成的一体式设备，由专业供应商安装到指定区域，不存在施工期环境影响。本项目 2 座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：

大气：本项目在建设施工期需进行的挖掘地基等作业，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。

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，如因工艺特殊情况要求，需在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和国噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

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，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。

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。

公司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

1.1 1#探伤房辐射影响分析

本项目 1#探伤房曝光室内拟使用工业电子加速器、X 射线探伤机及γ射线探伤机。使用时，根据探伤工件的形状、尺寸、厚度等选择使用工业电子加速器、X 射线探伤机或γ射线探伤机进行探伤。在使用工业电子加速器进行探伤时，X 射线探伤机暂存于 X 射线机储存室内，γ射线探伤机暂存于放射源暂存库内；在使用 X 射

线探伤机进行探伤时，γ射线探伤机暂存于放射源暂存库，工业电子加速器机头通过行车运至 D1 位置的最高处（详见附图 3），防止影响工件进入探伤房；在使用γ射线探伤机进行探伤时，X 射线探伤机暂存于 X 射线机储存室内，工业电子加速器机头通过行车运至 D1 位置的最高处（详见附图 3）。通过此方法来实现工业电子加速器、X 射线探伤机及γ射线探伤机之间的轮换作业。

1.1.1 1#探伤房工业电子加速器探伤时辐射影响分析

1.1.1.1 1#探伤房主屏蔽区域设计合理性分析

本项目 1#探伤房曝光室内拟配置 1 台 DZ-4/500 型工业电子加速器（最大电子束能量为 4MeV、1m 处 X 射线最大剂量率为 500cGy/min）。工业电子加速器朝向东墙及地面照射，加速器机头水平方向不可旋转，竖直方向的旋转角度为-90°~0°，机头距离水平地面为 2.0m~4.5m；工业电子加速器通过行车可在东西、南北方向 2.9m×18.0m 范围内前后左右移动，移动区域距东墙最小距离均为 3.3m，距南墙最小距离均为 5.7m，距西墙最小距离均为 4.6m，距北墙最小距离均为 5.9m，本项目工业电子加速器移动区域范围见附图 3 及附图 4。工业电子加速器出束口射线角度为 30°，主射线照射区域位于主屏蔽（东墙）区域内。

1.1.1.1.1 主屏蔽区域宽度设计合理性

由附图 3 可知，当工业电子加速器出束口移动到 D1 位置时，工业电子加速器主射束范围距东墙北侧距离最小；同理当工业电子加速器出束口移动到 D4 时，工业电子加速器主射束范围距东墙南侧距离最小。

工业电子加速器出束口射线角度为 30°，当工业电子加速器出束口位于 D1 时，工业电子加速器出束口到东墙外侧的距离为 2.9m+3.3m+2.1m=8.3m，其照射区域最大半径为 8.3×tan15°=2.22m，小于 D1 到北墙内侧的距离 5.9m，因此当工业电子加速器出束口位于 D1 时主射线照射区域在主屏蔽区域内；D4 到南墙内侧的距离为 5.7m，同理可知当工业电子加速器出束口位于 D4 时主射线照射区域在主屏蔽区域内。

1.1.1.1.2 主屏蔽区域高度设计合理性

由附图 4 可知，当工业电子加速器出束口位于 D5 时（离地 4.5m），工业电子加速器主射束范围高度最大。此时工业电子加速器出束口到东侧主屏蔽墙最上端（离水平地面 6.8m 高）所在水平高度的距离为 2.3m，X 射线投射到东墙的垂直面上的范围为一个圆，出束口射线角度为 30°，机头竖直方向的旋转角度为-90°~0°，机头水平往上最大角度为 15°，工业电子加速器出束的最大距离可达到

（2.9m+3.3m+2.1m）×tan15°=2.22m，小于工业电子加速器出束口到北侧主屏蔽墙最上端所在水平高度的距离 2.3m；所以当工业电子加速器出束口位于 D5 位置时，主射线照射区域位于主屏蔽墙区域内。

综上可知，本项目的主屏蔽宽度及高度均满足要求，设计合理。

1.1.1.2 主射线及漏射线辐射影响预测公式

拟建 1#探伤房曝光室东墙为工业电子加速器主射线区域，其它各侧墙壁及防护门均为次屏蔽，主要受到从工业电子加速器管中漏出来的泄漏 X 射线和被工件及屏蔽墙散射后的散射 X 射线影响，散射 X 射线剂量一般不超过泄漏辐射的剂量。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A，对于能量大于 3MeV 的 X 射线其散射一次后能量为 0.5MeV，经散射后的次级 X 射线能量远小于初级 X 射线能量，因此散射线对各侧次屏蔽墙外的辐射影响远小于漏射线，故本环评仅预测评价主屏蔽墙对主射线的防护以及次屏蔽墙对泄漏 X 射线的防护效果。

参考《辐射防护导论》P102 公式（3.51），本项目工业电子加速器的主射线及漏射线辐射影响预测计算模式采用下面的计算公式：

$$H_M = \frac{B_X \bullet D_0 \bullet f}{1.67\times10^{-2}\bullet d^2} \qquad （11\text{-}1）$$

式中： H_M——参考点处剂量当量率，μSv/h；

D_0——离靶 1m 处 X 射线的空气吸收剂量率，μGy/min；

f——对有用射束取 1，对泄漏辐射取泄漏辐射比率 0.1%；

d——参考点至工业电子加速器机头的距离，m。

B_x——X 射线在混凝土中的屏蔽透射率屏蔽透射比，按公式（11-2）计算：

$$B_X = 10^{-(1+\frac{S-T_1}{T_e})} \qquad （11\text{-}2）$$

S—屏蔽体的厚度，cm；

T_1、Te—分别为第一个十分之一值层厚度和平衡时的十分之一值层厚度，cm；T_1 取值参考《无损检测用工业电子加速器工程通用规范》（GB/T 30371-2013）附录 C 图 C.1，本项目 T_1、Te 均取 28.5cm。

1.1.1.3 理论计算结果

表 11-1 1#探伤房曝光室工业电子加速器屏蔽计算结果

参数	东墙		南墙	西墙		北墙	南侧工件门	顶部
	主屏蔽	次屏蔽		6.8m 以	6.8m 以			

[redacted]

参考点处剂量率 H_M ($\mu Gy \cdot h^{-1}$)	估算值	**0.395**	**0.568**	**0.154**	**0.929**	**0.214**	**0.146**	**0.111**	**5.415**
	控制值	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	100
	评价	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：①参考点取曝光室屏蔽墙和工件门外表面 30cm 处、顶部外表面 30cm 处，d 值取值如下：

$d_{东墙主屏蔽}$=工业电子加速器机头距离东侧主屏蔽墙的最近距离 3.3m+墙厚 2.1m+参考点 0.3m=5.7m；

$d_{东墙次屏蔽}$=工业电子加速器机头距离东侧次屏蔽墙的最近距离 4.2m+墙厚 1.2m+参考点 0.3m=5.7m；

$d_{南墙}$=工业电子加速器机头距离南墙的最近距离 5.7m+墙厚 1.3m+参考点 0.3m=7.3m；

$d_{西墙\ 6.8m\ 以下}$=工业电子加速器机头距离西墙的最近距离 4.6m+墙厚 1.3m+参考点 0.3m=6.2m；

$d_{西墙\ 6.8m\ 以上}$=工业电子加速器机头距离西墙的最近距离 6.9m+墙厚 0.9m+参考点 0.3m=8.1m；

$d_{北墙}$=工业电子加速器机头距离北侧次屏蔽墙的最近距离 5.9m+墙厚 1.3m+参考点 0.3m=7.5m；

$d_{工件门}$=工业电子加速器机头距离南墙的最近距离 5.7m+墙厚 1.3m+门厚 1.3m+参考点 0.3m=8.6m；

$d_{顶部}$=工业电子加速器机头距离顶部的最近距离 5.0m+墙厚 0.9m+参考点 0.3m=6.2m。

从表 11-1 中预测结果可以看出，DZ-4/500 型工业电子加速器满功率运行时，曝光室四周墙体、工件门外的最大辐射剂量率约为 0.929μSv/h，顶部外最大辐射剂量率约为 5.415μSv/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/T 250-2014）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 及无人员到达的探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平为 100μSv/h”的要求。

1.1.1.4 天空反散射分析

本项目曝光室顶部人员不可到达，但 X 射线穿透曝光室顶后因大气散射返回地面，可能会造成曝光室周围出现较高的辐射水平，因此曝光室顶的屏蔽主要考虑穿透 X 射线的天空反散射影响。天空反散射辐射水平预测模式根据《辐射防护导论》P181 公式（6.1）推导得出，具体计算公式如下：

$$H_{L,h} = \eta_{r,s} \cdot D_{10} \cdot \Omega^{1.3} / (0.67 \cdot r_i^2 \cdot r_s^2) \quad \cdots\cdots\cdots（11\text{-}3）$$

式中：0.67：单位换算系数；

$H_{L,h}$：参考点处相应的剂量当量率，Sv/h；

$\eta_{r,s}$：透射比；

r_i：辐射源到屋顶上方 2m 处的距离 m；

r_s：室外参考点到源的水平距离，本项目探伤房周围 50m 内没有敏感点，取距源点 28.045 米外，r_s 通过公式 $r_s=b\cdot r_i/(r_i-c)$ 计算得到；

D_{10}：离源上方 1m 处的吸收剂量指数率，$Gy.m^2/min$，本项目主要为泄漏辐射，泄漏辐射比率为 0.1%，因此本项目 D_{10} 取 $5Gy.m^2/min\times0.1\%=0.005Gy.m^2/min$。

Ω：辐射源对屋顶张的立体角，单位为球面度，sr。$\Omega=4tg^{-1}(ab/cd)$，其中 a 是屋顶长度之半，b 是屋顶宽度之半，c 是辐射源到屋顶表面中心的最小距离（此处 a、b 的值按照曝光室顶部外表面长、宽的一半取值，c 取加速器机头离顶部最近时，出束口到屋顶外表面的距离，即加上屋顶墙体厚度）；d 是源到屋顶边缘的距离，$d=(a^2+b^2+c^2)^{1/2}$；本项目 a=16.1m，b=7.1m，c=5.9m，计算得 d=18.56m，Ω=3.23sr。

表 11-2 天空反散射影响预测表

参数	曝光室参数取值或计算结果
$D_{10}(Gy.m^2.min^{-1})$	[redacted]
Ω(sr)	
$\eta_{r,s}$	
$r_i(m)$	
$r_s(m)$	
瞬时剂量率（μSv/h）	0.001

从表 11-2 中预测结果可以看出，DZ-4/500 型工业电子加速器满功率运行时，天空反散射影响值为 0.001μSv/h，根据公式（11-1）计算可知距源点 28.045 米处的剂量率为 0.023μSv/h，叠加天空反散射影响值后约为 0.024μSv/h，能够满足相关标准中辐射防护要求。

1.1.1.5 电子加速器迷道散射及曝光室顶部通风口辐射影响分析

本项目 1#探伤房曝光室采用“Z”型外迷道设计，利用散射降低人员门入口处的辐射水平，避免 X 射线直接照射迷道外人员门入口，迷道及射线进入迷道后散射示意图见图 11-1。散射公式见（11-4）（美国辐射防护委员会 NCRP51 号报告）。

$$H_j=\frac{H_0}{d_s^2}\cdot\left(\frac{\alpha_1 A_1}{d_{r1}^2}\right)\cdot\left(\frac{\alpha_2 A_2}{d_{r2}^2}\right)\cdot\left(\frac{\alpha_j A_j}{d_{rj}^2}\right) \qquad (11\text{-}4)$$

式中：H_j—经 j 次散射后迷道口处的辐射剂量率，（μSv/h）；

H_0—距靶点 1m 的辐射剂量率（μSv·m²/h）；

α_1—X 射线第一个散射体的散射系数，取 5×10^{-3}；

α_2—随后从屏蔽层材料表面散射出来的 X 射线的散射系数（假设对以后所有散射过程是相同的），取 2×10^{-2}；

A_1 —X 射线入射到第一散射物质的散射面积，m^2；

A_2、A_j—迷道的截面积，m^2；

d_s —X 射线辐射源到第一散射体的距离，m；

d_{r1}，$d_{r2}...d_{rj}$ ---迷道内各处中心线的散射距离（近似取每段迷路的长度），m；

j —指第 j 个散射过程。

散射示意图见图 11-1。



图 11-1 工业电子加速器迷道散射示意图

迷道散射的计算参数及结果如下：

表 11-3 曝光室迷道散射计算

	主射线	漏射线
$H_0$①（μSv·m²/h）	3×10^8	$3\times10^8\times0.1\%$
α_1	5×10^{-3}	5×10^{-3}
α_2、α_3	2×10^{-2}	2×10^{-2}
A_1（m^2）	2.456	1.8
A_2（m^2）	1.8	1.9
A_3（m^2）	1.9	/
d_s（m）	3.329	6.863
d_{r1}（m）	12.575	4.74

d_{r2}（m）			
d_{r3}（m）			
H_j（μSv/h）			
X 设计厚度（迷道内人员门）			
$B_1$②			
X 设计厚度（迷道外人员门）			
$B_2$②			
H（μSv/h）	/	<0.001	<0.001
	散射漏射叠加剂量率	<0.001	

注：①Gy 与 Sv 单位换算系数保守取 1，500cGy·m^2/min 约为 3×10^8μSv·m^2/h

②根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A，对于能量大于 3MeV 的 X 射线其散射一次后能量均为 0.5MeV，故本项目取 0.5MeV 对应的透射因子进行计算（对铅的 T_1 为 0.5cm，T_e 为 1.2cm），根据公式（11-2）计算得到屏蔽透射因子 B 值。

从表 11-3 中预测结果可以看出，经过迷道内外人员门屏蔽后，迷道外人员门入口处的剂量率小于 0.001μSv/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/T 250-2014）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。

1.1.1.6 电子加速器顶部通风口散射辐射影响分析

本项目 1#探伤房曝光室顶部通风口采用“L”型外迷道设计，利用散射降低通风口处的辐射水平，避免 X 射线直接照射通风口处，通风口及射线进入通风口散射示意图见图 11-2。散射公式见（11-4）。

图 11-2 曝光室顶部通风口散射示意图

顶部通风口散射的计算参数及结果如下：

表 11-4 曝光室顶部通风口散射计算

		[redacted]
$H_0$①（μSv·m²/h）		
α_1		
α_2		
A_1（m²）		
A_2（m²）		
d_s（m）		
d_{r1}（m）		
d_{r2}（m）		
H_j（μSv/h）		
通风口外铅管屏蔽		
B		
H（μSv/h）	/	
	散射漏射叠加剂量率	4.692

注：①Gy 与 Sv 单位换算系数保守取 1，500cGy·m²/min 约为 3×10^8μSv·m²/h

②根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A，对于能量大于 3MeV 的 X 射线其散射一次后能量均为 0.5MeV，故本项目取 0.5MeV 对应的透射因子进行计算（对铅的 T_1 为 0.5cm，T_e 为 1.2cm），根据公式（11-2）计算得到屏蔽透射因子 B 值。

从表 11-4 中预测结果可以看出，顶部通风口处的剂量率约为 4.692μSv/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/T 250-2014）中“无人员到达的探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平为 100μSv/h”的要求。

1.1.2 X 射线探伤机探伤时辐射影响分析

本项目 1#探伤房曝光室内拟配备 4 台 XT3505D 型定向 X 射线探伤机，定向 X 射线探伤机拟朝向东墙或顶部照射。曝光室内每次仅开启 1 台探伤机进行探伤，本次评价选取 XT3505D 型定向 X 射线探伤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。由于探伤房下方为土层，故本次评价对底部不进行计算，将曝光室东墙及顶部按照有用线束照射进行预测计算，将曝光室南墙、西墙、北墙、工件门及人员门均按照非有用线束照射进行预测计算，预测时取探伤机离地距离约为 2m，距四周墙面最近距离约为 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。

1.1.2.1 理论预测公式

1.1.2.1.1 有用射束方向屏蔽效果预测公式

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：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{…（11-5）}$$

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)，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，保守以 300kV 及 400kV 下 X 射线管输出量较大值（20.9mGy·m²/（mA·min）及 23.5mGy·m²/（mA·min））进行插值计算得到，本项目 350kV 的 X 射线管 1m 处的输出量取 22.2mGy·m²/（mA·min）；

R：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

B：屏蔽透射因子，因《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中 B.2 无本项目参数对应的屏蔽透射曲线，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 B.2，通过 300kV 及 400kV 管电压下混凝土对应的 TVL 值进行插值计算得到 350kV 管电压下混凝土的 TVL 值为 100mm，铅的 TVL 值为 6.95mm，然后按公式（11-6）计算得出：

$$B=10^{-X/TVL} \quad \text{（11-6）}$$

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。

1.1.2.1.2 非有用线束屏蔽效果预测公式

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

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad \text{…（11-7）}$$

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；

R：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

B：屏蔽透射因子，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 B.2，通过 300kV 及 400kV 管电压下混凝土对应的 TVL 值进行插值计算得到 350kV 管电压下混凝土的 TVL 值为 100mm，再按公式（11-6）计算得出。

② 散射辐射

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \qquad \text{…（11-8）}$$

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)，本项目 350kV 的 X 射线管 1m 处的输出量取 22.2mGy·m²/（mA·min）；

B：屏蔽透射因子，按《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中表 2 确定 90°散射辐射的射线能量，按表 2 确定 250kV 管电压下混凝土相应的 TVL 值为 90mm，铅相应的 TVL 值为 2.9mm，然后按公式（11-6）计算得出；

F：R_0 处的辐射野面积，m²；

α：散射因子，入射辐射被单位面积（1 m²）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 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的附录 B 表 B.3；计算公式中的 R_0^2/F·α因子根据 GBZ/T 250-2014 附录 B 中 B.4.2 中给出的值（150kV 取 60、200kV～400kV 取 50）取 50；

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。

1.1.2.2 理论计算结果

表 11-5　有用线束方向屏蔽墙屏蔽效果预测表

关注点	东墙		顶部
	主屏蔽（6.8m 以下）	次屏蔽（6.8m 以上）	
设计厚度	2100mm 砼	1200mm 砼	900mm 砼

I（mA）	[redacted]		
H_0(μSv·m²/(mA·h))			
TVL（mm）			
B①			
R②（m）			
$\dot{H}$（μSv/h）	**<0.001**	**<0.001**	**<0.001**
剂量率参考控制水平(μSv/h)	2.5	2.5	100
评价	满足	满足	满足

①B 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 B.2，通过 300kV 及 400kV 管电压下混凝土对应的 TVL 值进行插值计算得到 350kV 管电压下混凝土的 TVL 值为 100mm，铅的 TVL 值为 6.95mm，然后按公式（11-6）计算得出；

②$R_{东侧主屏蔽墙}$=探伤机到东侧主屏蔽墙体的距离 2.0m+墙厚 2.1m+参考点 0.3m=4.4m；

$R_{东侧次屏蔽墙}$=探伤机到东侧次屏蔽墙体的距离 2.9m+墙厚 1.2m+参考点 0.3m=4.4m；

$R_{顶部}$=探伤机到顶部的距离 7.5m+墙厚 0.9m+参考点 0.3m=8.7m。

表 11-6　非有用线束方向屏蔽墙屏蔽效果预测表

关注点		南墙	西墙		北墙	南侧工件门	西侧迷道外人员门
			6.8m 以上	6.8m 以下			
X 设计厚度		[redacted]					
泄漏辐射	TVL（mm）						
	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（mm）						
	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**	**<0.001**	**<0.001**	**<0.001**	**<0.001**
剂量率参考控制水平(μSv/h)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
评价		满足	满足	满足	满足	满足	满足

*$R_{南墙、北墙}$=探伤机到墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+参考点 0.3m=3.6m；
$R_{西墙6.8m以下}$=探伤机到墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+参考点 0.3m=3.6m；
$R_{西墙6.8m以上}$=探伤机到墙体的距离 11.783m+参考点 0.3m=12.083m；
$R_{工件门}$=探伤机到南侧墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+工件门厚 1.3m+参考点 0.3m=4.9m；
$R_{人员门}$=探伤机到西侧墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+迷道 0.95m+墙厚 1.0m+参考点 0.3m=5.55m。

从表 11-5 及表 11-6 中预测结果可知，当本项目 XT3505D 型定向 X 射线探伤机满功率运行时，曝光室四周墙体、顶部及防护门外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》（GBZ 117-2022）及《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）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 及无人员到达的探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平为 100μSv/h”的要求。

1.1.2.3 天空反散射分析

本项目 XT3505D 型定向 X 射线探伤机满功率运行时，曝光室顶部 30cm 处的最大辐射剂量率小于 0.001μSv/h，穿透顶部屏蔽体后的 X 射线在经大气散射返回地面后的辐射剂量率将更低，因此其天空反散射能够满足“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。

1.1.2.4 迷道散射辐射影响分析

本项目迷道及射线进入迷道后散射示意图见图 11-3，散射计算公式见（11-4），迷道散射的计算参数及结果见表 11-7。



图 11-3 1#探伤房探伤机迷道散射示意图

表 11-7 本项目 X 射线迷道散射计算

H_0（μSv·m²/h）	[redacted]
α_1	
α_2	
A_1（m²）	
A_2（m²）	
d_s（m）	
d_{r1}（m）	
d_{r2}（m）	
H_j（μSv/h）	
X 设计厚度（迷道内人员门）	
B_1	
X 设计厚度（迷道外人员门）	
B_2	
H（μSv/h）	<0.001

注：参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 表 B.2，350 kV 下铅的什值层为 6.95mm；350kV 的 X 射线经过 2 次散射后的能量取 150kV，对应铅的什值层为 0.96mm，根据公式（11-6）计算得到屏蔽透射因子 B 值。

从表 11-7 中预测结果可以看出，经过迷道内外人员门屏蔽后，迷道外人员门入口处的剂量率小于 0.001μSv/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。

1.1.2.5 顶部通风口散射辐射影响分析

本项目顶部通风口及射线进入通风口后散射示意图见图 11-4，射线经过 1 次散射后可到达通风口外，散射计算公式见（11-4），迷道散射的计算参数及结果见表 11-8。


[redacted]

图 11-4 1#探伤房探伤机顶部通风口散射示意图

表 11-8 本项目 X 射线通风口散射计算

H_0（μSv·m²/h）	[redacted]
α_1	
A_1（m²）	
d_s（m）	
d_{r1}（m）	
H_j（μSv/h）	
X 设计厚度（通风管道）	
B_1	
H（μSv/h）	0.232

注：参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 表 B.2，350kV 的 X 射线经过 1 次散射后的能量取 250kV，对应铅的什值层为 2.9mm，根据公式（11-6）计算得到屏蔽透射因子 B 值。

从表 11-8 中预测结果可以看出，顶部通风口外的剂量率约为 0.232μSv/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“无人员到达的探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平为 100μSv/h”的要求。

1.1.3 γ射线探伤辐射环境影响分析

1.1.3.1 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点源周围剂量当量率计算公式，计算出参考点的周围剂量当量率 $\dot{K}_0$：

$$\dot{K}_0 = \frac{A \cdot \Gamma_K \cdot B}{r^2} \qquad \text{…（公式 11-9）}$$

式中：$\dot{K}_0$----参考点的周围剂量当量率，μSv·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，^{60}Co 放射源的Γ_K=0.35μSv·m²/（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 γ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。

利用上述公式（11-9）计算有屏蔽体情况下参考点的周围剂量当量率 $\dot{K}_0$。

1.1.3.2 理论计算结果

本项目 1#探伤房曝光室内拟采用 1 台 200Ci 的 ^{60}Coγ射线探伤机、1 台 20Ci 的 ^{60}Coγ射线探伤机及 1 台 100Ci 的 ^{192}Iγ射线探伤机进行探伤，每次探伤仅开启 1

台探伤装置。由于 ^{60}Co 核素最大能量（1.33MeV）大于 ^{192}Ir 核素最大能量（0.612MeV），且 ^{60}Co 核素活度（200Ci）大于 ^{192}Ir 核素活度（100Ci），因此 1#探伤房辐射影响预测选取 1 台 ^{60}Co 探伤机，额定装源活度为 $7.4\times10^{12}Bq$ 进行评价。根据 1#探伤房设计参数，按公司探伤时实际工作情况，1#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（11-9），1#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。

表 11-9 1#探伤房曝光室γ射线探伤各侧墙体屏蔽计算

参数	取值、计算及设计厚度							
	东墙		南墙	西墙		北墙	南侧工件门	屋顶
	主屏蔽 6.8m 以下	次屏蔽 6.8m 以上		6.8m 以上	6.8m 以下			
$r\ (m)$①								
$A(Bq)$								
Γ_K（μSv·m²/（MBq·h））								
无屏蔽体时参考点处周围剂量当量率 $\dot{K}$ (μSv/h)								
屏蔽厚度								
HVL（mm）								
屏蔽因子 B								
有屏蔽体时参考点处周围剂量当量率 K (μSv/h)	<0.001	0.924	0.513	0.529	0.513	0.513	0.277	4.612
控制值 K^* (μSv·h⁻¹)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	100
评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

*$R_{东墙主屏蔽}$=放射源到墙体的距离 2.0m+墙厚 2.1m+参考点 0.3m=4.4m；
$R_{东墙次屏蔽}$=放射源到墙体的距离 2.9m+墙厚 1.2m+参考点 0.3m=4.4m；
$R_{南墙、北墙}$=放射源到墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+参考点 0.3m=3.6m；
$R_{西墙\ 6.8m\ 以下}$=放射源到墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+参考点 0.3m=3.6m；
$R_{西墙\ 6.8m\ 以上}$=放射源到墙体的距离 11.8m+参考点 0.3m=12.1m；
$R_{工件门}$=放射源到南侧墙体的距离 2.0m+墙厚 1.3m+工件门厚 1.3m+参考点 0.3m=4.9m；
$R_{顶部}$=放射源到顶部墙体的距离 7.5m+墙厚 0.9m+参考点 0.3m=8.7m。

根据表 11-9 的计算结果，当 1#探伤房曝光室内开启 1 台活度为 $7.4\times10^{12}Bq$ 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0.924μSv/h，顶部外最大辐射剂量率约为4.612μSv/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 天空反散射分析

本项目1#X、γ射线探伤房曝光室内开启1台活度为7.4×10^{12}Bq的^{60}Co探伤机探伤时，曝光室顶部30cm处的最大辐射剂量率约为4.612μSv/h，因此需考虑天空反散射的影响。将相关参数带入公式11-3中，计算可得使用γ射线探伤机时，天空反散射影响见下表11-10。

表11-10 天空反散射影响预测表

参数	[redacted]
D_{10}(Sv.m^2.min^{-1})	
Ω(sr)	
$\eta_{r,s}$	
r_i(m)	
r_s(m)	
瞬时剂量率（μSv/h）	<0.001

从表11-10中预测结果可以看出，当装源活度为7.4×10^{12}Bq的^{60}Coγ射线探伤机运行时，天空反散射影响值小于0.001μSv/h，其天空反散射能够满足“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。

1.1.3.4 迷道散射辐射影响分析

本项目1#探伤房曝光室内设计有“Z”型迷道，曝光室迷道外侧及内侧均拟安装6mmPb的人员门。γ射线探伤机摆放在曝光室内探伤时，射线均至少需经过2次以上散射才能从迷道散射至迷道口外，散射示意图见图11-3，散射计算公式见（11-4），散射计算结果见表11-11。

表11-11 本项目γ射线迷道散射计算

H_0（μSv·m^2/h）	[redacted]
α_1	
α_2	
A_1（m^2）	
A_2（m^2）	
d_s（m）	
d_{r1}（m）	
d_{r2}（m）	

H_j（μSv/h）	[redacted]
X 设计厚度（迷道内人员门）	
B_1	
X 设计厚度（迷道外人员门）	
B_2	
H（μSv/h）	0.048

注：^{60}Co 放射源所产生的γ射线的平均能量约为 1.25MeV，根据能量散射公式 $E=E_0/(1+E_0(1-\cos\theta)/0.511)$，经二次散射后能量约为 0.285MeV（θ均取 72°），对于 1.25MeV 的γ射线，铅的半值层约为 13mm，6mmPb 的屏蔽透射因子约为 0.726，对于 0.285MeV 的γ射线，6mmPb 的衰减倍数约为 14（衰减倍数均根据《辐射防护导论》附表 11 得出），则屏蔽透射因子 B=1/14=0.071。

根据表 11-11 计算结果可知，经过迷道内外人员门屏蔽后，迷道外人员门入口处的剂量率约为 0.048μSv/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。

1.1.3.5 顶部通风口散射辐射影响分析

本项目顶部通风口及射线进入通风口后散射示意图见图 11-4，射线经过 1 次散射后可到达通风口外，散射计算公式见（11-4），迷道散射的计算参数及结果见表 11-12。

表 11-12 本项目γ射线顶部通风口散射计算

H_0（μSv·m²/h）	[redacted]
α_1	
A_1（m²）	
d_s（m）	
d_{r1}（m）	
H_j（μSv/h）	
X 设计厚度（通风管屏蔽）	
B_1	
H（μSv/h）	5.334

注：^{60}Co 放射源所产生的γ射线的平均能量约为 1.25MeV，根据能量散射公式 $E=E_0/(1+E_0(1-\cos\theta)/0.511)$，经 1 次散射后能量约为 0.465MeV（θ取 72°），对于 0.465MeV 的γ射线，4mmPb 的衰减倍数约为 2（衰减倍数均根据《辐射防护导论》附表 11 得出），则屏蔽透射因子 B=1/2=0.5。

从表 11-12 中预测结果可以看出，顶部通风口外的剂量率约为 5.334μSv/h，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“无人员到达的探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平为 100μSv/h”的要求。

1.1.4 放射源暂存库辐射影响预测

1.1.4.1 放射源屏蔽状态下辐射影响

本项目 1#探伤房曝光室内拟使用活度为 7.4×10^{12}Bq 及 7.4×10^{11}Bq 的 ^{60}Co 放射源各 1 枚，活度为 3.7×10^{12}Bq 的 ^{192}Ir 放射源 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 处周围剂量当量率 $\dot{K}_1$≤0.5mSv/h，表面 1m 处周围剂量当量率 $\dot{K}_1$≤0.02mSv/h。周围剂量当量率与距离平方成反比，因此根据公式（11-10）可计算得出距离探伤机不同位置处的辐射水平。

$$\dot{K}_1=\dot{K}_0\cdot(R_0+0.15)^2/(R_1+0.15)^2 \quad \text{…（公式 11-10）}$$

式中 $\dot{K}_1$：距探伤机表面 R 处的周围剂量当量率，mSv/h

$\dot{K}_0$：距离探伤机表面 1m 处的周围剂量当量率，mSv/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 11-13　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)	[redacted]
参考点至源贮存位置距离（m）	
周围剂量当量率（mSv/h）	

注：源贮存位置至源表面距离取 15cm

通过表 11-13 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。

1.1.4.2 放射源暂存库辐射防护性能预测

本项目 1#探伤房曝光室内的西北角拟建 1 个放射源暂存库，用于贮存本项目 1#探伤房曝光室内拟使用的 2 台 ^{60}Co 及 1 台 ^{192}Irγ射线探伤机。2 台 ^{60}Co 及 1 台 ^{192}Irγ射线探伤机暂存于放射源暂存库内划定区域（详见报告附图 3）。

放射源暂存库的内净尺寸为 2.1m（长）×1.5m（宽）×2.65m（高）。放射源暂存库东墙及南墙均拟采用 300mm 混凝土浇筑，西墙及北墙均拟采用 1300mm 混凝土浇筑，顶部拟采用 400mm 混凝土浇筑，放射源暂存库防护门拟采用

40mmPb+6mmFe。

因关注点处周围剂量当量率与其至源点的距离平方成反比，放射源暂存库表面30cm处的周围剂量当量率可按下式计算：

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

式中：$\dot{K}$---距源R处的周围剂量当量率，μSv/h；

R_1---参考点至源的距离，m；

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

$\dot{K}_0$---距源容器外表面1m处的周围剂量当量率控制值，μSv/h，取为0.02mSv/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（^{60}Co 在铅中的HVL为13mm，在混凝土中的HVL为70mm；^{192}Ir 在铅中的HVL为3mm，在混凝土中的HVL为50mm（GBZ117-2022表A.2）；

将相关参数代入公式（11-11），计算得到放射源暂存库外表面30cm处的周围剂量当量率见下表11-14。

表 11-14 放射源暂存库屏蔽计算结果

参数		东墙	南墙	防护门	西墙	北墙	顶部
源到各屏蔽体外表面30cm处距离(*m*)①	对 ^{60}Co（200Ci）	[redacted]					
	对 ^{60}Co（20Ci）						
	对 ^{192}Ir（100Ci）						
无屏蔽体时γ射线探伤机表面1.0m处周围剂量当量率 $\dot{K}_0$ (mSv/h)②							
屏蔽材料及厚度							
屏蔽透射因子B③	对 ^{60}Co（200Ci）						
	对 ^{60}Co（20Ci）						
	对 ^{192}Ir（100Ci）						

放射源暂存库外表面30cm处的周围剂量当量率K(μSv/h)	**1.019**	**0.651**	**1.353**	**<0.001**	**<0.001**	**0.116**

①$r_{东墙\ Co\text{-}60（200Ci）}$=源贮存位置到东墙的距离1.25m+墙厚0.3m+墙外0.3m=1.85m；

$r_{东墙\ Co\text{-}60（20Ci）}$=源贮存位置到东墙的距离1.25m+墙厚0.3m+墙外0.3m=1.85m；

$r_{东墙\ Ir\text{-}192（100Ci）}$=源贮存位置到东墙的距离1.25m+墙厚0.3m+墙外0.3m=1.85m；

$r_{南墙、防护门\ Co\text{-}60（200Ci）}$=源贮存位置到南墙（防护门）的距离1.85m+墙厚0.3m+墙外0.3m=2.45m；

$r_{南墙、防护门\ Co\text{-}60（20Ci）}$=源贮存位置到南墙（防护门）的距离1.35m+墙厚0.3m+墙外0.3m=1.95m；

$r_{南墙、防护门\ Ir\text{-}192（100Ci）}$=源贮存位置到南墙（防护门）的距离1.85m+墙厚0.3m+墙外0.3m=2.45m；

$r_{西墙\ Co\text{-}60（200Ci）}$=源贮存位置到西墙的距离0.25m+墙厚1.3m+墙外0.3m=1.85m；

$r_{西墙\ Co\text{-}60（20Ci）}$=源贮存位置到西墙的距离0.25m+墙厚1.3m+墙外0.3m=1.85m；

$r_{西墙\ Ir\text{-}192（100Ci）}$=源贮存位置到西墙的距离0.75m+墙厚1.3m+墙外0.3m=2.35m；

$r_{北墙\ Co\text{-}60（200Ci）}$=源贮存位置到北墙的距离0.25m+墙厚1.3m+墙外0.3m=1.85m；

$r_{北墙\ Co\text{-}60（20Ci）}$=源贮存位置到北墙的距离0.75m+墙厚1.3m+墙外0.3m=2.35m；

$r_{北墙\ Ir\text{-}192（100Ci）}$=源贮存位置到北墙的距离0.25m+墙厚1.3m+墙外0.3m=1.85m；

$r_{顶部}$=源贮存位置到顶部的距离2.4m+墙厚0.4m+墙外0.3m=3.1m；

②“无屏蔽”指的是源容器表面无屏蔽措施时1.0m处的周围剂量当量率；

③^{60}Co对混凝土的半值层为70mm，对铅的半值层为13mm；^{192}Ir在铅中的HVL为3mm，在混凝土中的HVL为50mm。

由表11-14计算结果可知，源库北侧外表面30cm处周围剂量当量率小于0.001μSv/h（公众可接近），东侧、南侧及西侧外表面30cm处周围剂量当量率约为1.353μSv/h（公众无法接近），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 2#探伤房辐射影响分析

本项目2#探伤房曝光室内拟配备2台XT3505D型定向X射线探伤机及1台CF320型定向X射线探伤机，定向X射线探伤机拟朝向南墙、北墙或顶部照射。曝光室内每次仅开启1台探伤机进行探伤，本次评价选取XT3505D型定向X射线探伤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。由于探伤房下方为土层，故本次评价对底部不进行计算，将曝光室南墙、北墙、顶部及人员门均按照有用线束照射进行预测计算，将曝光室东墙、西墙及工件门均按照非有用线束照射进行预测计算，预测时取探伤机离地距离约为2m，距四周墙面最近距离约为2m。计算模式根据公式11-5~公式11-8。

1.2.1 理论计算结果

表 11-15 有用线束方向屏蔽墙屏蔽效果预测表

关注点	南墙	北墙	顶部	南侧人员门
设计厚度	[redacted]			
I（mA）				
H_0(μSv·m²/(mA·h))				
TVL（mm）				
B①				
R②（m）				
$\dot{H}$（μSv/h）	**0.023**	**0.023**	**21.24**	**0.001**
剂量率参考控制水平(μSv/h)	2.5	2.5	100	2.5
评价	满足	满足	满足	满足

①B 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 B.2，通过 300kV 及 400kV 管电压下混凝土对应的 TVL 值进行插值计算得到 350kV 管电压下混凝土的 TVL 值为 100mm，铅的 TVL 值为 6.95mm，然后按公式（11-6）计算得出；

②$R_{南墙、北墙}$=探伤机到南墙（北墙）的距离 2.0m+墙厚 0.75m+参考点 0.3m=3.05m；

$R_{顶部}$=探伤机到顶部的距离 4.9m+墙厚 0.4m+参考点 0.3m=5.6m；

$R_{人员门}$=探伤机到南墙的距离 2.0m+墙厚 0.75m+迷道 1.0m+墙厚 0.75m+参考点 0.3m=4.8m。

表 11-16 非有用线束方向屏蔽墙屏蔽效果预测表

关注点		东墙	西墙	东侧工件门
X 设计厚度		[redacted]		
泄漏辐射	TVL（mm）			
	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（mm）			
	B			
	I（mA）			
	H_0(μSv·m²/(mA·h))			
	F (m²)			
	α			

	R_0（m）	[redacted]		4.2）
	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**	**0.005**
剂量率参考控制水平(μSv/h)		2.5	2.5	2.5
评价		满足	满足	满足

*$R_{东墙、西墙}$=探伤机到墙体的距离 2.0m+墙厚 0.65m+参考点 0.3m=2.95m；
$R_{工件门}$=探伤机到东侧墙体的距离 2.0m+墙厚 0.65m+工件门厚 0.035m+参考点 0.3m=2.985m。

从表 11-15 及表 11-16 中预测结果可知，当本项目 XT3505D 型定向 X 射线探伤机满功率运行时，曝光室四周墙体及防护门外的最大辐射剂量率约为 0.023μSv/h，顶部辐射剂量率约为 21.24μSv/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/T 250-2014）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 及无人员到达的探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平为 100μSv/h”的要求。

1.2.2 天空反散射分析

本项目 XT3505D 型定向 X 射线探伤机满功率运行时，曝光室顶部 30cm 处的最大辐射剂量率约为 21.24μSv/h，因此需考虑天空反散射影响。计算模式采用公式 11-3，其中 a=11.25m，b=4.6m，c=5.3m，计算得 d=13.26m，Ω=2.54sr。将相关参数带入公式 11-3 中，计算可得使用 X 射线探伤机时，天空反散射影响见下表 11-17。

表 11-17 天空反散射影响预测表

参数	曝光室参数取值或计算结果
D_{10}(Sv.m^2.min^{-1})	[redacted]
Ω(sr)	
$\eta_{r,s}$	
r_i(m)	
r_s(m)	
瞬时剂量率（μSv/h）	0.004

从表 11-17 中预测结果可以看出，当 XT3505D 型定向 X 射线探伤机满功率运行时，天空反散射影响值约为 0.004μSv/h，其天空反散射能够满足“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。

1.2.3 迷道散射辐射影响分析

本项目 2#探伤房迷道及射线进入迷道后散射示意图见图 11-5，散射计算公式

见（11-4），迷道散射的计算参数及结果见表 11-18。



图 11-5 2#探伤房探伤机迷道散射示意图

表 11-18 本项目 X 射线迷道散射计算

H_0（μSv·m²/h）	
α_1	
α_2	
A_1（m²）	
A_2（m²）	
d_s（m）	
d_{r1}（m）	
d_{r2}（m）	
H_j（μSv/h）	
X 设计厚度（迷道内人员门）	
B_1	
X 设计厚度（迷道外人员门）	
B_2	
H（μSv/h）	<0.001

注：参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 表 B.2，350 kV 下铅的什值层为 6.95mm；350kV 的 X 射线经过 2 次散射后的能量取 150kV，对应铅的什值层为 0.96mm，根据公式（11-6）计算得到屏蔽透射因子 B 值。

从表 11-18 中预测结果可以看出，经过迷道内外人员门屏蔽后，迷道外人员门入口处的剂量率小于 0.001μSv/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。

1.2.4 顶部通风口散射辐射影响分析

本项目 2#探伤房顶部通风口及射线进入通风口散射示意图见图 11-6，散射计算公式见（11-4），迷道散射的计算参数及结果见表 11-19。



图 11-6 2#探伤房探伤机顶部通风口散射示意图

表 11-19 本项目 X 射线顶部通风口散射计算

H_0（μSv·m²/h）	
α_1	
A_1（m²）	
d_s（m）	
d_{r1}（m）	
H_j（μSv/h）	
X 设计厚度（通风管道屏蔽）	
B_1	
H（μSv/h）	4.180

注：参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 表 B.2，350kV 的 X 射线经过 1 次散射后的能量取 250kV，对应铅的什值层为 2.9mm，根据公式（11-6）计算得到屏蔽透射因子 B 值。

从表 11-19 中预测结果可以看出，顶部通风口外的剂量率约为 4.18μSv/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“无人员到达的探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平为 100μSv/h”的要求。

1.3 2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视辐射影响分析

公司拟将老厂区 2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视搬迁至新建北厂区管子膜式壁生产车间内使用。其中 1#X 射线实时成像系统型号为 IMG-GLGP-G320XRD0822 型，最大管电压为 320kV，最大管电流为 8mA；2#X 射线实时成像系统型号均为 IMG-GLGP-G225XRD0822 型，最大管电压均为 225kV，最大管电流均为 7mA；工业电视型号为 DCM-GL-GE225R2W 型，最大管电压为 225kV，最大管电流为 7mA。2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视主射线均朝向下照射。本次评价选取各设备满功率运行时的工况进行预测。因设备运行时主射线朝下照射，检测铅房下方为土层，故计算时不需要考虑有用线束照射，将设备四周及顶部屏蔽体均按照非有用线束照射进行预测计算。

1.3.1 1#X 射线实时成像系统辐射影响分析

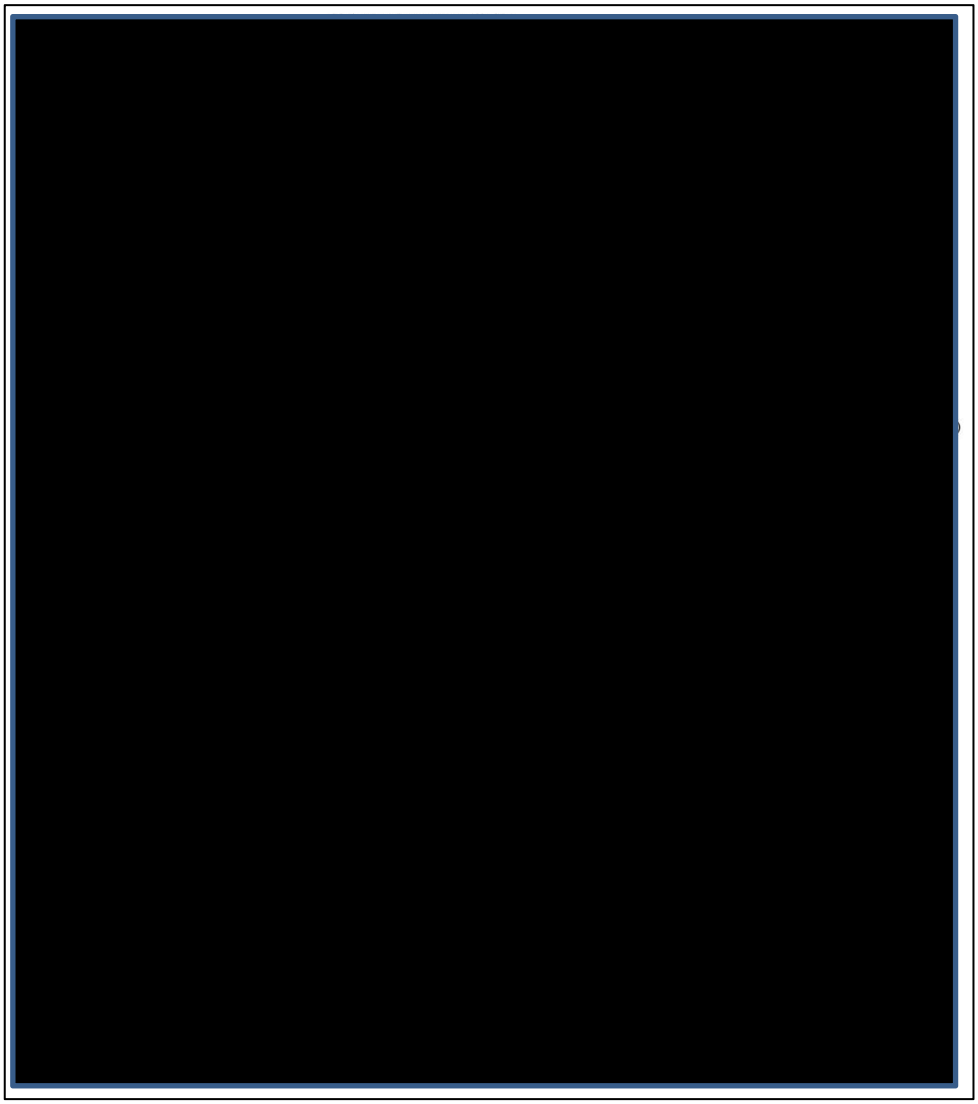


图 11-7 1#X 射线实时成像系统计算示意图

本项目 1#X 射线实时成像系统的 X 射线管可在水平方向上移动，其中南北移动范围为 4000mm，距设备检测铅房南北侧屏蔽体最近距离均为 1150mm；东西方向移动范围为 600mm，距设备检测铅房东西侧屏蔽体最近距离均为 600mm；竖直方向不可移动，距设备检测铅房顶部距离为 800mm，距设备检测铅房底部距离为 2000mm，计算示意图见图 11-7。计算模式根据公式 11-6~公式 11-8 中。

1.3.1.1 计算结果

将相关参数带入公式 11-6~公式 11-8 中，计算可得 1#X 射线实时成像系统检测铅房及防护通道外的辐射剂量率见表 11-20 及表 11-21。

表 11-20 检测铅房非有用线束方向屏蔽体屏蔽效果预测表

关注点		东侧屏蔽体/西侧屏蔽体	南侧屏蔽体/北侧屏蔽体	顶部屏蔽体/电缆口防护罩	维修门（北侧）
X 设计厚度		[redacted]			
泄漏辐射	HVL（mm）				
	B[③]				
	$\dot{H}_L$(μSv /h)				
	R[①]（m）				
	$\dot{H}$(μSv /h)				
散射辐射	散射后能量对应的 kV 值				
	HVL（mm）				
	B[③]				
	I（mA）				
	H_0[②](μSv·m²/(mA·h))				
	F (m²)				
	α				
	R_0（m）				
	R_s[①]（m）				
	$\dot{H}$(μSv /h)				
泄漏辐射和散射辐射的复合作用(μSv/h)		**0.037**	**0.014**	**0.405**	**0.014**

剂量率参考控制水平(μSv/h)	2.5	2.5	2.5	2.5
评价	满足	满足	满足	满足

①$R_{东侧、西侧屏蔽体}$=出束口到检测铅房东侧/西侧屏蔽体的距离 0.6m+参考点 0.3m=0.9m；

$R_{南侧、北侧屏蔽体、维修门}$=出束口到检测铅房南侧/北侧屏蔽体、维修门的距离 1.15m+参考点 0.3m=1.45m；

$R_{顶部屏蔽体、电缆口防护罩}$=出束口到检测铅房顶部屏蔽体的距离 0.8m+参考点 0.3m=1.1m；

②H_0：参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.1，保守以 300kV 及 400kV 下 X 射线管输出量较大值（20.9mGy·m²/（mA·min）及 23.5mGy·m²/（mA·min））进行插值计算得到，320kV 的 X 射线管 1m 处的输出量为 21.4mGy·m²/（mA·min）；

③屏蔽透射因子 B 保守仅考虑铅的屏蔽作用，未考虑 Fe 的屏蔽作用。B 值取值参考《无损检测仪器 1MV 以下 X 射线设备的辐射防护规则 第 3 部分：450kV 以下 X 射线设备辐射防护的计算公式和图表》（GB 41476.3-2022）表 2，当管电压为 320kV 时对应铅的半值层厚度为 1.5mm，管电压为 250kV 时对应铅的半值层厚度为 0.8mm，然后根据公式 $B=2^{-X/HVL}$ 计算得出。

表 11-21 防护通道非有用线束方向屏蔽体屏蔽效果预测表

关注点		东侧屏蔽体/西侧屏蔽体	南侧屏蔽体/北侧屏蔽体	铅帘（东西侧进出料口）	顶部屏蔽体	底部屏蔽体
X 设计厚度①						
泄漏辐射	TVL（mm）					
	B					
	$\dot{H}_L$ (μSv /h)					
	R②（m）					
	$\dot{H}$ (μSv /h)					
散射辐射	散射后能量对应的kV值					
	X 设计厚度①					
	TVL（mm）					
	B					
	I（mA）					
	H_0 (μSv·m²/(mA·h))					
	F (m²)					
	α					
	R_0（m）					
	R_s③（m）					
	$\dot{H}$ (μSv /h)					
泄漏辐射和散射辐射的复合作用(μSv/h)		**0.006**	**0.606**	**0.036**	**0.059**	**0.241**

剂量率参考控制水平(μSv/h)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
评价	满足	满足	满足	满足	满足

①泄漏辐射理论预测时，泄漏射线达到防护通道东侧、西侧、顶部屏蔽体及东西侧进出料口外需经过屏蔽铅房的防护，因此屏蔽取检测铅房的屏蔽厚度 26mmPb；

②$R_{东侧屏蔽体、西侧屏蔽体、铅帘}$=出束口到防护通道东侧/西侧屏蔽体的距离 2.2m+参考点 0.3m=2.5m

$R_{南侧屏蔽体、北侧屏蔽体}$=出束口到防护通道南侧/北侧屏蔽体的距离 0.6m+参考点 0.3m=0.9m

$R_{顶部屏蔽体}$=出束口到防护通道顶部屏蔽体的距离 0.77m=0.77m；

$R_{底部屏蔽体}$=出束口到防护通道底部屏蔽体的距离 1.43m=1.43m；

③$R_{东侧屏蔽体、西侧屏蔽体、铅帘}$=散射点到防护通道东侧/西侧屏蔽体的距离 2.2m+参考点 0.3m=2.5m

$R_{南侧屏蔽体、北侧屏蔽体}$=散射点到防护通道南侧/北侧屏蔽体的距离 0.6m+参考点 0.3m=0.9m

$R_{顶部屏蔽体}$=散射点到防护通道顶部屏蔽体的距离 0.857m=0.857m

$R_{底部屏蔽体}$=散射点到防护通道底部屏蔽体的距离 1.2m=1.2m；

由表 11-20、表 11-21 中预测结果可知，当本项目 1#X 射线实时成像系统满功率运行时，其四周屏蔽体、顶部、底部、进出料口外的最大辐射剂量率约为 0.606μSv/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/T 250-2014）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。

1.3.1.2 天空反散射影响分析

本项目 1#X 射线实时成像系统满功率运行时，由于顶部屏蔽体上方 30cm 处的最大辐射剂量率为 0.405μSv/h，穿透顶部屏蔽体后的 X 射线在经大气散射返回地面后的辐射剂量率将更低，因此其天空反散射能够满足“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。

1.3.2 工业电视辐射影响分析



图 11-8 工业电视计算示意图

本项目工业电视的 X 射线管固定不可移动，X 射线管距设备检测铅房东西侧屏蔽体最近距离均为 1000mm，距设备检测铅房顶部距离为 500mm，距设备检测铅房底部距离为 1500mm，计算示意图见图 11-8。计算模式根据公式 11-6~公式 11-8 中。

1.3.2.1 计算结果

将相关参数带入公式 11-6~公式 11-8 中，计算可得工业电视检测铅房外的辐射剂量率见表 11-22。

表 11-22 检测铅房屏蔽体屏蔽效果预测表

关注点		东侧屏蔽体/西侧屏蔽体	南侧屏蔽体/南侧维修门	北侧屏蔽体	顶部屏蔽体/电缆口铅罩
X 设计厚度		[redacted]			
泄漏辐射	TVL（mm）				
	B③				
	$\dot{H}_L$ (μSv /h)				
	R①（m）				
	$\dot{H}$ (μSv /h)				
散射辐射	散射后能量对应的 kV 值				
	TVL（mm）				
	B③				
	I（mA）				
	$H_0$②(μSv·m²/(mA·h))				
	F (m²)				
	α				
	R_0（m）				
	R_s①（m）				
	$\dot{H}$ (μSv /h)				
泄漏辐射和散射辐射的复合作用(μSv/h)		**0.008**	**0.008**	**0.008**	**0.021**
剂量率参考控制水平(μSv/h)		2.5	2.5	2.5	2.5

评价	满足	满足	满足	满足

①$R_{东侧、西侧屏蔽体}$=出束口到检测铅房东侧/西侧屏蔽体的距离 1.0m+参考点 0.3m=1.3m；

$R_{南侧、北侧屏蔽体、维修门}$=出束口到检测铅房南侧/北侧屏蔽体、维修门的距离 0.95m+参考点 0.3m=1.25m；

$R_{顶部屏蔽体、电缆口防护罩}$=出束口到检测铅房顶部屏蔽体的距离 0.5m+参考点 0.3m=0.8m；

②H_0：参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.1，保守以 200kV 及 250kV 下 X 射线管输出量较大值（28.7mGy·m²/（mA·min）及 16.5mGy·m²/（mA·min））进行插值计算得到，225kV 的 X 射线管 1m 处的输出量为 22.6mGy·m²/（mA·min）；

③屏蔽透射因子 B 保守仅考虑铅的屏蔽作用，未考虑 Fe 的屏蔽作用。B 值取值参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的表 B.2，通过内插法得到 225kV 管电压下对应铅的 TVL 值为 2.15，查表 B.2 得出 200kV 管电压下对应铅的 TVL 值为 1.4。

由表 11-22 中预测结果可知，当本项目工业电视满功率运行时，其四周屏蔽体及顶部外的最大辐射剂量率约为 0.021μSv/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/T 250-2014）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。

1.3.2.2 天空反散射影响分析

本项目工业电视满功率运行时，由于顶部屏蔽体上方 30cm 处的最大辐射剂量率为 0.021μSv/h，穿透顶部屏蔽体后的 X 射线在经大气散射返回地面后的辐射剂量率将更低，因此其天空反散射能够满足“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。

1.3.2.3 进出料口辐射防护分析

本项目工业电视进出料口设有 500mm×Φ100mm×12mmPb 的外凸管道进行屏蔽补偿，防止 X 射线从铅板缝隙直接泄漏到外部。根据图 11-8 可知，X 射线至少经过 2 次散射后到达进出料口外凸管道外，将相关参数带入公式（11-4）中。计算结果见表 11-23。

表 11-23 本项目工业电视进出料口散射计算

H_0（μSv·m²/h）	[redacted]
α_1	
α_2	
A_1（m²）	
A_2（m²）	
d_s（m）	
d_{r1}（m）	
d_{r2}（m）	
H（μSv/h）	2.056

注：表中α_1、α_2取值参考辐射防护导论图 6.4，均取 0.007；$A_1=\pi\times(0.8\times\tan11°)^2=0.076m^2$，$A^2=\pi\times(0.05\times0.05)=0.008m^2$。

根据表 11-23 计算结果可知，本项目工业电视 X 射线经 2 次散射在进出料口处的辐射剂量率为 2.056μSv/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。

1.3.3 2#X 射线实时成像系统辐射影响分析



图 11-9 2#X 射线实时成像系统计算示意图

本项目 2#X 射线实时成像系统的的 X 射线管可在水平方向上移动，其中南北

移动范围为 3800mm，距设备检测铅房南北侧屏蔽体最近距离均为 600mm；东西方向移动范围为 600mm，距设备检测铅房东西侧屏蔽体最近距离均为 400mm；竖直方向不可移动，距设备检测铅房顶部距离为 850mm，距设备检测铅房底部距离为 1150mm，计算示意图见图 11-9。计算模式根据公式 11-6~公式 11-8 中。

1.3.3.1 计算结果

将相关参数带入公式 11-6~公式 11-8 中，计算可得 2#X 射线实时成像系统检测铅房及防护通道外的辐射剂量率见表 11-24 及表 11-25。

表 11-24 检测铅房非有用线束方向屏蔽体屏蔽效果预测表

关注点		东侧屏蔽体/西侧屏蔽体	南侧屏蔽体/北侧屏蔽体	顶部屏蔽体/电缆口防护罩	维修门（南侧）
X 设计厚度					
泄漏辐射	TVL（mm）				
	B③				
	$\dot{H}_L$(μSv /h)				
	R①（m）				
	$\dot{H}$(μSv /h)				
散射辐射	散射后能量对应的 kV 值				
	TVL（mm）				
	B③				
	I（mA）				
	$H_0$②(μSv·m²/(mA·h))				
	F (m²)				
	α				
	R_0（m）				
	R_s①（m）				
	$\dot{H}$(μSv /h)				
泄漏辐射和散射辐射的复合作用(μSv/h)		**0.028**	**0.017**	**0.094**	**0.017**
剂量率参考控制水平(μSv/h)		2.5	2.5	2.5	2.5

评价	满足	满足	满足	满足

①$R_{东侧、西侧屏蔽体}$=出束口到检测铅房东侧/西侧屏蔽体的距离 0.4m+参考点 0.3m=0.7m；

$R_{南侧、北侧屏蔽体、维修门}$=出束口到检测铅房南侧/北侧屏蔽体、维修门的距离 0.6m+参考点 0.3m=0.9m；

$R_{顶部屏蔽体、电缆口防护罩}$=出束口到检测铅房顶部屏蔽体的距离 0.85m+参考点 0.3m=1.15m；

②H_0：参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.1，保守以 200kV 及 250kV 下 X 射线管输出量较大值（28.7mGy·m²/（mA·min）及 16.5mGy·m²/（mA·min））进行插值计算得到，225kV 的 X 射线管 1m 处的输出量为 22.6mGy·m²/（mA·min）；

③屏蔽透射因子 B 保守仅考虑铅的屏蔽作用，未考虑 Fe 的屏蔽作用；B 值取值参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的表 B.2，通过内插法得到 225kV 管电压下对应铅的 TVL 值为 2.15，查表 B.2 得出 200kV 管电压下对应铅的 TVL 值为 1.4。

表 11-25 防护通道非有用线束方向屏蔽体屏蔽效果预测表

关注点		东侧屏蔽体/西侧屏蔽体	南侧屏蔽体/北侧屏蔽体	铅帘（东西侧进出料口）	顶部屏蔽体	底部屏蔽体
X 设计厚度①						
泄漏辐射	TVL（mm）					
	B					
	$\dot{H}_L$ (μSv /h)					
	R②（m）					
	$\dot{H}$ (μSv /h)					
散射辐射	散射后能量对应的kV值					
	X 设计厚度①					
	TVL（mm）					
	B					
	I（mA）					
	H_0 (μSv·m²/(mA·h))					
	F (m²)					
	α					
	R_0（m）					
	R_s③（m）					
	$\dot{H}$ (μSv /h)					
泄漏辐射和散射辐射的复合作用(μSv/h)		**0.005**	**0.159**	**0.032**	**0.009**	**0.090**
剂量率参考控制水平(μSv/h)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
评价		满足	满足	满足	满足	满足

①泄漏辐射理论预测时，泄漏射线达到防护通道东侧、西侧、顶部屏蔽体及东西侧进出料口外需经过屏

蔽铅房的防护，因此屏蔽取检测铅房的屏蔽厚度 12mmPb

②$R_{东侧屏蔽体、西侧屏蔽体、铅帘}$=出束口到防护通道东侧/西侧屏蔽体的距离 1.4m+参考点 0.3m=1.7m；

$R_{南侧屏蔽体、北侧屏蔽体}$=出束口到防护通道南侧/北侧屏蔽体的距离 0.54m+参考点 0.3m=0.84m；

$R_{顶部屏蔽体}$=出束口到防护通道顶部屏蔽体的距离 1.23m=1.23m；

$R_{底部屏蔽体}$=出束口到防护通道底部屏蔽体的距离 1.12m=1.12m；

②$R_{东侧屏蔽体、西侧屏蔽体、铅帘}$=散射点到防护通道东侧/西侧屏蔽体的距离 1.4m+参考点 0.3m=1.7m；

$R_{南侧屏蔽体、北侧屏蔽体}$=散射点到防护通道南侧/北侧屏蔽体的距离 0.54m+参考点 0.3m=0.84m；

$R_{顶部屏蔽体}$=散射点到防护通道顶部屏蔽体的距离 1.36m=1.36m；

$R_{底部屏蔽体}$=散射点到防护通道底部屏蔽体的距离 0.86m=0.86m。

由表 11-24、表 11-25 中预测结果可知，当本项目 2#X 射线实时成像系统满功率运行时，其四周屏蔽体、顶部、进出料口外的最大辐射剂量率约为 0.159μSv/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/T 250-2014）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。

1.3.3.2 天空反散射影响分析

本项目 2#X 射线实时成像系统满功率运行时，由于顶部屏蔽体上方 30cm 处的最大辐射剂量率为 0.094μSv/h，穿透顶部屏蔽体后的 X 射线在经大气散射返回地面后的辐射剂量率将更低，因此其天空反散射能够满足“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。

1.4 通风管道、电缆管道、防护门缝隙处辐射防护评价

1.4.1 1#探伤房通风管道、电缆管道、防护门缝隙处辐射防护评价

本项目 1#探伤房曝光室顶部东北角拟设置“L”通风管道，通风管道直径为 630mm。根据表 11-4、11-8 及表 11-12 计算结果可知，1#探伤房顶部通风口外最大辐射剂量率约为 5.334μSv/h，能够满足“无人员到达的探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平为 100μSv/h”的要求。



图 11-10 1#探伤房电缆管道散射示意图

1#探伤房曝光室西墙拟设置U型地下穿墙电缆管道（L1型管道及L2型管道），L1型电缆管道直径约为159mm，埋地深度约为225mm；L2型电缆管道直径约为400mm，埋地深度约为360mm，电缆管道的设置均未破坏曝光室的屏蔽墙体。电缆管道散射示意图见图11-10。X射线经过U型埋地管道至少3次散射后才能到达管道出口处，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”。可推断电缆管道出口处的辐射剂量率能够满足标准要求。

本项目1#探伤房曝光室工件门门洞尺寸为4.5m宽×5.8m高，工件门尺寸为6.1m宽×6.6m高，工件门左右各搭接800mm，上部搭接400mm，下部下嵌入地面400mm；人员门门洞尺寸均为0.9m宽×2.0m高，人员门尺寸均为1.2m宽×2.3m高，人员门左右各搭接150mm，上部搭接200mm，下部下嵌入地面100mm。工件门、人员门与墙体之间的缝隙宽度均小于10mm。曝光室的工件门、人员门与墙体重叠部分均大于工件门、人员门与墙体缝隙宽度的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。

1.4.2 2#探伤房通风管道、电缆管道、防护门缝隙处辐射防护评价

本项目2#探伤房曝光室顶部西北角拟设置“L”通风管道，通风管道直径为500mm。根据表11-19，2#探伤房顶部通风口外的剂量率约为4.18μSv/h，能够满足“无人员到达的探伤室顶外表面30cm处的剂量率参考控制水平为100μSv/h”的要求。

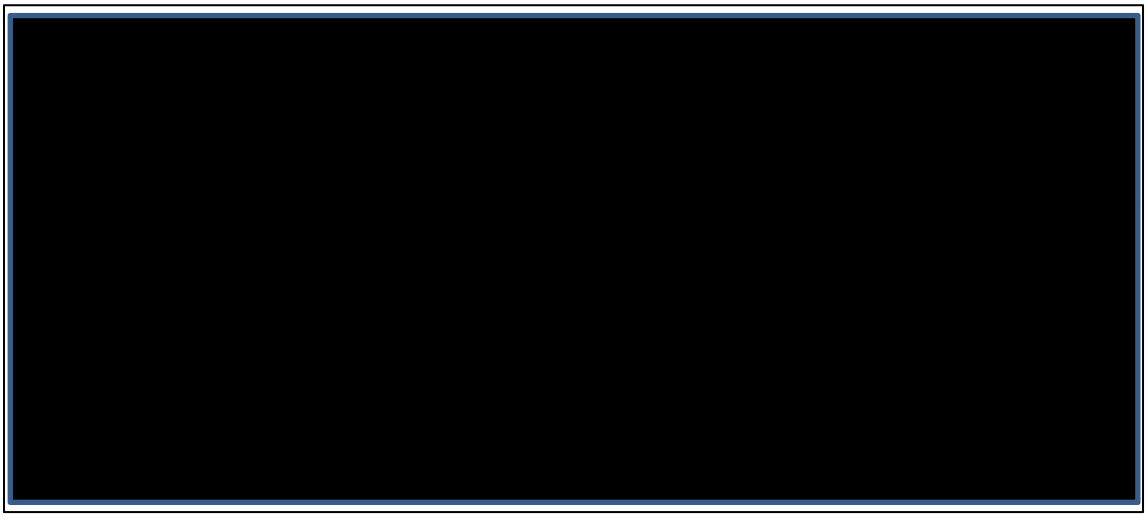


图11-11 2#探伤房电缆管道散射示意图

2#探伤房曝光室南墙拟设置U型地下穿墙电缆管道（L1型管道及L2型管道），L1型电缆管道直径约为159mm，埋地深度约为100mm；L2型电缆管道直径约为400mm，埋地深度约为350mm，电缆管道的设置均未破坏曝光室的屏蔽墙体。电缆管道散射示意图见图11-11。X射线经过U型埋地管道至少3次散射后才能到达管道出口处，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”。可推断电缆管道出口处的辐射剂量率能够满足标准要求。

本项目2#探伤房曝光室工件门门洞尺寸为4.2m宽×4.2m高，工件门尺寸为4.8m宽×4.6m，工件门左右各搭接300mm，上部搭接200mm，下部下嵌入地面200mm；人员门门洞尺寸均为0.9m宽×2.0m高，人员门尺寸均为1.2m宽×2.3m高，人员门左右各搭接150mm，上部搭接200mm，下部下嵌入地面100mm。工件门、人员门与墙体之间的缝隙宽度均小于10mm。曝光室的工件门、人员门与墙体重叠部分均大于工件门、人员门与墙体缝隙宽度的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。

1.4.3 2台X射线实时成像系统及1台工业电视电缆口、门缝隙处辐射防护分析

本项目2台X射线实时成像系统及1台工业电视电缆口均设有铅防护罩，其中1#X射线实时成像系统铅防护罩采用20mmPb+10mmFe，工业电视铅防护罩采用12mmPb+6mmFe，2#X射线实时成像系统铅防护罩采用10mmPb+6mmFe，根据表11-20、表11-22及表11-24可知，1#X射线实时成像系统电缆口铅防护罩表面30cm处泄漏辐射的剂量率最大为0.405μSv/h，工业电视电缆口铅防护罩表面30cm处泄漏辐射的剂量率最大为0.021μSv/h，2#X射线实时成像系统电缆口铅防护罩表面30cm处泄漏辐射的剂量率最大为0.094μSv/h，均能够满足《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。

本项目1#、2#X射线实时成像系统维修门门洞尺寸均为0.6m宽×1.6m高，维修门尺寸均为0.8m宽×1.8m高，维修门左右各搭接均为100mm，上下各搭接均为100mm，维修门与屏蔽体之间的缝隙宽度小于10mm；工业电视维修门门洞尺寸为0.8m宽×1.6m高，维修门尺寸为1.0m宽×1.8m高，维修门左右各搭接为100mm，上下各搭接为100mm，维修门与屏蔽体之间的缝隙宽度小于10mm。本

项目各工业电视维修门与屏蔽体重叠部分均不小于维修门与屏蔽体缝隙宽度的10倍，射线经过多次散射后才能出门缝隙，可推断维修门缝隙处的辐射剂量率能够满足标准要求。

2 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：

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \text{.....（公式 11-12）}$$

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 1#探伤房辐射工作人员及公众年有效剂量估算

2.1.1 辐射工作人员年有效剂量

本项目1#探伤房拟配备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）工业电子加速器及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11-26。

表11-26 各操作过程中辐射工作人员年工作时间表

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

2.1.1.1 辐射工作人员探伤作业时年有效剂量

对于本项目1#探伤房操作室内的辐射工作人员，根据表11-1~表11-9计算结果可知，按照工业电子加速器满功率运行时，1#探伤房辐射工作人员所在控制室的辐射剂量率约为0.513μSv/h，将相关参数代入公式（11-12）中计算得到辐射工作人员有效剂量见表11-27。

表 11-27 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)
1#探伤房西墙外	1	1（操作室内）	0.513	500	0.257

2.1.1.2 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 11-26。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 11-13 可知，辐射工作人员所受剂量率约为 63μSv/h。将相关参数代入公式（11-12）中计算得到辐射工作人员有效剂量见表 11-28。

表 11-28 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。

2.1.1.3 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11-26。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11-13，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11-10中估算结果进行估算（2m对应剂量率约为5.7μGy/h），将相关参数代入公式（11-12）中计算得到辐射工作人员有效剂量见表11-29。

表 11-29 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。

2.1.1.4 辐射工作人员探伤期间所受叠加年有效剂量汇总

根据表11-27~表11-29，辐射工作人员探伤期间所受叠加年有效剂量汇总见表11-30。

表 11-30 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)
1#探伤房操作室	0.257	2.755
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11-30可知，本项目1#探伤房投入运行后，探伤房曝光室辐射工作人员所受叠加年有效剂量最大值均约为**2.755mSv**，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：**职业人员年有效剂量不超过5mSv。**

由于本项目γ射线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。

2.1.2 公众年有效剂量

本项目公众人员主要为公司厂区内其它工作人员。将表 11-1、表 11-5、表 11-6 及表 11-9 中计算结果进行汇总，汇总结果见表 11-32。

表 11-31 1#探伤房周围剂量率汇总表

项目	剂量率（μSv/h）							
	东墙		南墙	西墙		北墙	南侧工件门	顶部
	主屏蔽 6.8m 以下	次屏蔽 6.8m 以上		6.8m 以上	6.8m 以下			
工业加速器探伤	**0.395**	0.568	0.154	**0.929**	0.214	0.146	0.111	**5.415**
X 射线探伤机探伤	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
γ射线探伤机探伤	<0.001	**0.924**	**0.513**	0.529	**0.513**	**0.513**	**0.277**	4.612

将表 11-31 中各参考点位的最大值代入公式（11-12）可估算出本项目 1#探伤房曝光室周围公众的年有效剂量见表 11-32。

表 11-32 1#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
东墙外	1	1/4（汽包集箱生产车间）	0.395	500	0.049	0.1（公众）	满足
西墙外	1	1/4（汽包集箱生产车间）	0.513	500	0.064		满足
北墙外	1	1/4（南厂区内道路）	0.513	500	0.064		满足
南侧工件门	1	1/4（汽包集箱生产车间）	0.277	500	0.035		满足

根据表 11-32 中的计算结果可知，本项目 1#探伤房周围公众年有效剂量最大值约为 0.064mSv，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。

对于本项目 1#探伤房周围 50m 范围内的其它公众，根据前文理论预测结果，X、γ射线经厂房屏蔽及距离的进一步衰减后，基本湮灭在环境本底辐射中，可推断本项目 1#探伤房周围 50m 评价范围内其他公众年有效剂量能够满足《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。

2.2 2#探伤房辐射工作人员及公众年有效剂量估算

本项目 2#探伤房辐射工作人员为射线装置操作人员，公众主要为 2#探伤房曝光室周围 50m 范围内其他人员。本项目 2#探伤房的操作台位于曝光室南侧。根据表 11-15 及表 11-16 估算结果，保守选取 2#探伤房曝光室内 X 射线探伤机满功率运行时各参考点处最大辐射剂量率值进行年剂量估算，计算结果见表 11-33。

表 11-33 本项目 2#探伤房曝光室周围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
东侧墙体	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.001	500	<0.001	0.1（公众）	满足
南侧墙体（操作室）	1	1（操作室）	0.023	500	0.012	5（职业人员）	满足
西侧墙体	1	1/4（过道）	0.001	500	<0.001	5（职业人员）	满足
北侧墙体	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.023	500	0.003	0.1（公众）	满足
东侧工件门	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.005	500	0.001	0.1（公众）	满足

从表 11-33 中预测结果可以看出，本项目 2#探伤房周围辐射工作人员年有效

剂量最大值约为 0.012mSv，公众年有效剂量最大值约为 0.003mSv，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：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 2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视辐射工作人员及公众年有效剂量估算

本项目 2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视辐射工作人员为装置操作人员，公众主要为 2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视周围 50m 范围内其他人员。本项目 1#X 射线实时成像系统的控制室位于检测铅房北侧，2#X 射线实时成像系统及工业电视的控制室均位于检测铅房南侧。根据表 11-20~表 11-25 估算结果，保守选取 2 台 X 射线实时成像系统及 1 台工业电视满功率运行时各参考点处最大辐射剂量率值进行年剂量估算，计算结果见表 11-34。

表 11-34 本项目 X 射线实时成像系统及工业电视周围人员年受照有效剂量结果评价

工业电视	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(μSv/年)	剂量约束值(mSv/年)	评价
1#X 射线实时成像系统	东侧	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.037	500	0.005	0.1（公众）	满足
	南侧	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.606	500	0.076	0.1（公众）	满足
	西侧	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.037	500	0.005	0.1（公众）	满足
	北侧（控制室）	1	1（控制室）	0.606	500	0.303	5（职业人员）	满足
	北侧维修门	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.014	500	0.002	0.1（公众）	满足
工业电视	东侧	1	1/16（蛇形管运输线上）	0.008	500	<0.001	0.1（公众）	满足
	南侧（控制室）	1	1（控制室）	0.008	500	0.004	5（职业人员）	满足
	西侧	1	1/16（蛇形管运输线上）	0.008	500	<0.001	0.1（公众）	满足
	北侧	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.008	500	0.001	0.1（公众）	满足
	南侧维修门	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.008	500	0.001	0.1（公众）	满足
	进出料口	1	1/16（蛇形管运输线上）	2.056	500	0.064	0.1（公众）	满足
2#X 射线实时成像系统	东侧	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.028	500	0.004	0.1（公众）	满足
	南侧（控制台）	1	1（控制室）	0.159	500	0.080	5（职业人员）	满足

	西侧	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.028	500	0.004	0.1（公众）	满足
	北侧	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.159	500	0.020	0.1（公众）	满足
	南侧维修门	1	1/4（管子膜式壁生产车间）	0.017	500	0.002	0.1（公众）	满足

从表 11-34 中预测结果可以看出，本项目 1#X 射线实时成像系统周围辐射工作人员年有效剂量最大值约为 0.303mSv，公众年有效剂量最大值约为 0.076mSv；工业电视周围辐射工作人员年有效剂量最大值约为 0.004mSv，公众年有效剂量最大值约为 0.064mSv；2##X 射线实时成像系统周围辐射工作人员年有效剂量最大值约为 0.08mSv，公众年有效剂量最大值约为 0.02mSv，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：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。

3 放射性三废辐射环境影响分析

本项目运行过程中没有放射性废水、废气产生。

本项目 1#探伤房γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 密封源退役后仍有较强的放射性，γ射线探伤机退役时产生的γ探伤机屏蔽装置（贫铀罐）也具有一定的放射性，公司已承诺γ射线探伤机内 ^{60}Co 密封源及贫铀罐退役后，废源及贫铀罐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。

4 非辐射环境影响分析

4.1 固体废物

本项目 1#、2#探伤房运营时会产生废胶片，属于《国家危险废物名录》中危险废物，每年预计产生废胶片 240kg。无锡华光环保能源集团股份有限公司已承诺将与有资质单位签订废胶片处理处置合同（见附件 8），探伤过程中产生的废胶片在收集后拟临时贮存于危废库内，定期交由有资质单位处理处置。

本项目运行后辐射工作人员会产生一定量的生活垃圾，本项目产生的生活垃圾由公司统一收集后，交给环卫部门清运。

4.2 废水

本项目洗片过程会产生废显（定）影剂及一次、二次冲洗废水，每月预计产生废显（定）影剂 40kg，一次、二次冲洗废水 200kg，每年预计产生废显（定）影剂

480kg，一次、二次冲洗废水 2400kg。探伤过程中产生的显影、定影废液及一次、二次冲洗废水在收集后拟临时贮存于危废库内，显影、定影废液及一次、二次冲洗废水定期交由江苏爱科固体废物处理有限公司处理处置。

本项目运行后辐射工作人员会产生一定量的生活污水，产生的生活污水进入公司污水管网，最终进入生活污水处理厂处理。

4.3 废气

本项目 2 座探伤房内的工业电子加速器、X 射线探伤机、γ射线探伤机及 3 台工业电视工作时产生的 X 射线可使空气电离从而产生少量臭氧和氮氧化物。2 座探伤房内的臭氧和氮氧化物通过机械排风装置经排风管道排出曝光室，排风管道出风口位于车间外顶部，臭氧及氮氧化物最终通过车间顶部排风口排出；1#、2##X 射线实时成像系统产生的臭氧和氮氧化物可通过检测铅房的防护通道进入车间，工业电视产生的臭氧和氮氧化物可通过检测铅房的物料进出口进入车间，最终通过车间排风系统排入车间外。臭氧在空气中 50min 可自动分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

事故影响分析

1 潜在事故分析

1.1 本项目 2 座探伤房内 X 射线探伤可能发生的辐射事故

（1）探伤房内工业电子加速器及 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，工业电子加速器或 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）工业电子加速器或 X 射线探伤机进行检修、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。

1.2 本项目 1#探伤房内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。

1.3 本项目#X 射线实时成像系统及工业电视潜在事故分析

本项目 X 射线实时成像系统及工业电视只有在开机曝光时才产生 X 射线，正常运行情况下，人员无法进入设备内部，维修时人员可进入。因此，X 射线探伤事故多为机器调试、检修时误照射事故，主要有：

（1）由于安全联锁装置失灵，导致维修门未关闭时人员开机工作受到误照射。

（2）工业电视在调试或检修过程中，责任者脱离岗位，不注意防护或他人误开机使人员受到照射。

2 辐射事故预防措施

2.1 2 座探伤房内 X 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，工业电子加速器或 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）建设单位需制定工业电子加速器操作规程及 X 射线探伤机操作规程。凡涉及对工业电子加速器或 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，定期对工业电子加速器及 X 射线探伤机进行检查、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，每次探伤前检查曝光室门机联锁、急停按钮等安全防护措施的有效性，定期检测曝光室的周围辐射水平，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。

2.2 1#探伤房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，每次探伤前检查曝光室门机联锁、急停按钮等安全防护措施的有效性，定期检测曝光室的周围辐射水平，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。

2.3 X 射线实时成像系统及工业电视事故预防措施

（1）公司内部加强辐射安全管理，管理人员定期开展监督检查，营造持续改进的辐射安全文化。

（2）严格执行辐射安全管理制度，按照操作规程工作。每次在开启工业电视前，检查确认各项安全措施的有效性，严禁在安全设施故障情况下开机检测。

（3）辐射工作人员工作时注意佩戴好个人剂量计、个人剂量报警仪等监测仪器，当个人剂量报警仪发出报警时，辐射工作人员应尽快采取应对措施。

3 辐射事故处置方法

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》的规定，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，辐射事故可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。本项目 X 射线探伤拟使用的工业电子加速器、X 射线探伤机、X 射线实时成像系统及工业电视均属于II类射线装置，γ射线探伤拟使用的 ^{60}Co、^{192}Ir 放射源属于II类放射源，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》的规定，本项目 X 射线探伤可能发生的事故主要为一般辐射事故，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。在发生事故后：

（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。

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，无锡华光环保能源集团股份有限公司目前已成立专门的辐射防护管理小组，确定陆变为辐射防护负责人，并以文件形式明确了管理人员职责。公司目前共配备44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（辐射工作人员培训情况一览表见附件11）。本项目拟配备10名辐射工作人员，其中2人负责1#探伤房的探伤工作，并兼职源库管理；2人负责2#探伤房的探伤工作，4人负责2台X射线实时成像系统的工作，2人负责1台工业电视的工作。拟配备的10名辐射工作人员均拟延用老厂区的辐射工作人员。公司辐射工作人员考核合格证明到期后应当参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核后方可再次上岗。

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、办法制定了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、监测方案等，可满足《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》的要求。公司还应对其进行补充和完善，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：

探伤操作规程：明确X、γ射线探伤辐射人员的资质条件要求、工业电子加速器、X射线探伤机、γ射线探伤机、X射线实时成像系统及工业电视操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施，重点是明确工业电子加速器、X射线探伤机、

γ射线探伤机、X 射线实时成像系统及工业电视操作步骤以及作业过程中必须采取的辐射安全措施。

岗位职责：明确管理人员、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：根据企业的具体情况完善辐射防护和安全保卫制度，重点是明确对工业电子加速器、X 射线探伤机、γ射线探伤机、X 射线实时成像系统及工业电视的管理、维修等均要落实到个人，明确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。

设备维修制度：明确工业电子加速器、X 射线探伤机、γ射线探伤机、X 射线实时成像系统、工业电视、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，确保工业电子加速器、X 射线探伤机、γ射线探伤机、X 射线实时成像系统、工业电视、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

人员培训计划：制定人员培训计划，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

放射源领用、归还登记制度：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射线探伤机时，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；放射源台账应定期清点检查，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，做到账物相符，一一对应。

监测方案：制定辐射工作人员剂量监测工作制度和工作场所定期监测制度。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部门、卫生健康部门调查处理。发现工作场所监测异常的，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。

台账管理制度：对工业电子加速器、X 射线探伤机、γ射线探伤机、X 射线实

时成像系统及工业电视使用情况进行登记，标明设备名称、型号、电压、电流、放射源种类、源编码等，并对工业电子加速器、X 射线探伤机、γ射线探伤机、X 射线实时成像系统及工业电视使用进行严格管理。

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，必须明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急辐射事故分类与应急响应的措施。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。

公司已制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，在针对本项目对辐射安全管理制度进行完善后，将满足现有核技术利用项目及本项目对辐射安全管理规章制度的需求，公司能够按照辐射安全管理制度要求的辐射活动进行管理。此外，公司在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各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。

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 7 台辐射巡测仪及 60 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。

公司已委托常州环宇信科环境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 2022 年 6 月~2023 年 6 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，年度评估报告内容包括核技术利用项目新建、改建、扩建和退役，辐射安全和防护设施的运行与维护，辐射安全和防护制度及措施的制定与落实等情况。

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座探伤房、2台X射线实时成像系统及1台工业电视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，在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交；

（2）公司应定期对本项目2座探伤房、2台X射线实时成像系统及1台工业电视周围环境辐射水平进行监测，周期为每3个月/次。

（3）本项目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。

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

表12-1 工作场所监测计划表

检测对象	监测项目		监测周期	监测点位
1#、2#探伤房	X-γ周围剂量当量率	竣工验收监测	1次	①1#、2#探伤房四周墙体外； ②1#、2#探伤房防护门外及门缝隙处； ③1#、2#探伤房操作室内； ④1#、2#探伤房通风口、线缆口外； ⑤1#探伤房曝光室内的放射源暂存库四周墙及防护门外； ⑥1#、2#探伤房四周保护目标处。
		场所年度监测，委托有资质的单位进行	1次/年	
		定期自行开展辐射监测	每3个月/次	
1#、2#X射线实时成像系统及1台工业电视		竣工验收监测	1次	①1#、2#X射线实时成像系统及工业电视四周及顶部屏蔽体外； ②1#、2#X射线实时成像系统及工业电视维修门外及门缝隙处； ③1#、2#X射线实时成像系统
		场所年度监测，委托有资质的单位进行	1次/年	
		定期自行开展辐射监测	每3个月/次	

				及工业电视控制台处； ④1#、2#X 射线实时成像系统及工业电视物料进出口口外； ⑤1#、2#X 射线实时成像系统及工业电视四周保护目标处。
辐射工作人员	个人剂量当量	委托有资质的单位进行	每 3 个月/次	/

公司现有辐射工作场所辐射安全与防护措施及相关制度齐全，现有辐射工作人员辐射安全与防护考核合格证书均在有效期内，公司已为辐射工作人员建立个人剂量监测档案及职业健康管理档案。公司现有核技术利用项目均已开展年度环保检测，根据检测结果可知，公司现有辐射工作场所周围剂量当量率均能满足相关标准的要求。公司每年组织人员进行辐射应急演练，迄今为止，公司未发生过辐射安全相关事故。

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，无锡华光环保能源集团股份有限公司已针对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。

无锡华光环保能源集团股份有限公司已依据《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》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求制定辐射事故应急预案，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急辐射事故分类与应急响应的措施。公司已组织应急人员对应急处理措施进行培训，并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 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，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

无锡华光环保能源集团股份有限公司老厂区位于无锡市城南路 3 号，本项目所在新厂区地址位于无锡市新吴区梅育路。公司新厂区分为梅育路南侧与北侧两部分厂区，南厂区东侧为新硕路及无锡市鸿利汽车零部件有限公司，南侧为江苏微导纳米科技股份有限公司及高美可科技（无锡）有限公司，西侧为空地及走马塘河，北侧为梅育路；北厂区东侧为空地，南侧为梅育路，西侧为空地及走马塘河，北侧为空地及伯渎港。

本项目 1#探伤房拟建于南厂区汽包集箱生产车间内西北角，1#探伤房拟建址东侧及南侧均为汽包集箱生产车间内场所，西侧为厂内道路、停车位及空地，北侧为厂内道路及梅育路，楼上楼下无建筑；2#探伤房拟建于北厂区管子膜式壁生产车间内西南角，2#探伤房拟建址东侧及北侧均为管子膜式壁生产车间内场所，南侧为厂内道路及梅育路，西侧为厂内道路、停车位及综合楼，楼上楼下无建筑；1#X 射线数字成像系统拟建于北厂区管子膜式壁生产车间膜式壁区，1#X 射线数字成像系统拟建址东侧、西侧及北侧均为管子膜式壁生产车间内场所，南侧依次为管子膜式壁生产车间内场所、厂内道路及梅育路，楼上楼下无建筑；工业电视拟建于北厂区管子膜式壁生产车间蛇形管区，工业电视拟建址四周均为管子膜式壁生产车间内场所，楼上楼下无建筑；2#X 射线数字成像系统拟建于北厂区管子膜式壁生产车间蛇形管装配流水线，2#X 射线数字成像系统拟建址东侧、南侧及西侧均为管子膜式壁生产车间内场所，北侧为管子膜式壁生产车间内场所及厂内道路，楼上楼下无建筑。本项目 2 座探伤房、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视拟建址周围 50m 范围内均无居民区、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其它公众人员等。

1.2 项目分区及布局

1.2.1 1#、2#探伤房项目分区及布局

本项目拟将 1#探伤房曝光室作为本项目的辐射防护控制区，将 1#探伤房一层

的 X 射线机储存室、电源室、超声设备储存室（2 间）、暗室、评片室、操作室、探伤人员更衣室及着色磁粉探伤设备室，二层的走道、仓储室、档案室、应急物资储藏室、资料室、淋浴室及二层顶部上人保温平屋面作为辐射防护监督区；将 2#探伤房曝光室作为本项目的辐射防护控制区，将 2#探伤房一层的二级焊材库、焊材、工具管理室、着色磁粉探伤设备室、X 射线机储存室、操作室、评片辅室、评片室、暗室及二层的档案室、工具间作为辐射防护监督区。本项目 2 座探伤房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。

1.2.2 X 射线数字成像系统及工业电视项目分区及布局

本项目拟将 1#、2#X 射线数字成像系统检测铅房及防护通道作为本项目的辐射防护控制区，将工业电视检测铅房作为本项目的辐射防护控制区；拟将 2 台 X 射线实时成像系统控制区边界外 2m 范围和控制室及 1 台工业电视控制区边界外 1m 范围和控制室作为辐射防护监督区。本项目 2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视辐射防护分区的划分符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）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 座探伤房辐射安全措施

1.3.1.1 1#探伤房辐射安全措施

1#探伤房曝光室均拟设计安装门机联锁装置；1#探伤房操作室操作台处拟设置 1 个急停开关；1#探伤房曝光室东墙、西墙上均拟设置 4 个急停开关，南墙、北墙上均拟设置 1 个急停开关，共 10 个急停开关；1#探伤房曝光室内人员内门旁及迷道内人员外门旁各设置 1 个开门开关；1#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，并与使用中的工业电子加速器、X 射线探伤机或γ射线探伤机联锁；1#探伤房曝光室内拟设计安装 1 个固定式场所辐射探测报警装置的探头，辐射探测报警装置的显示装置拟安装在 1#探伤房操作室内；1#探伤房共拟设计安装 6 个视频监控系统；拟在 1#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 1#探伤房曝光室东北角设置“U”型埋地电缆管道。

1.3.1.2 2#探伤房辐射安全措施

2#探伤房曝光室均拟设计安装门机联锁装置；2#探伤房操作室操作台处拟设置 1

个急停开关；2#探伤房曝光室东墙、西墙上均拟设置 1 个急停开关，南墙、北墙上均拟设置 3 个急停开关，共 8 个急停开关；2#探伤房曝光室内人员内门旁及迷道内人员外门旁各设置 1 个开门开关；2#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，并与使用中的 X 射线探伤机联锁；2#探伤房曝光室内拟设计安装 1 个固定式场所辐射探测报警装置的探头，辐射探测报警装置的显示装置拟安装在操作室内；2#探伤房共拟设计安装 5 个视频监控系统；拟在 2#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#探伤房曝光室西北角设置“U”型埋地电缆管道。

1.3.2 放射源暂存库辐射安全措施

放射源暂存库防盗门拟采用双人双锁；防盗门外拟设置“当心电离辐射”警告标志；在放射源暂存库内拟安装 1 个摄像头，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；放射源暂存库入口处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；放射源出入源库时均拟进行台账登记并对源容器进行监测。

1.3.3 X 射线数字成像系统及工业电视辐射安全措施

1#X 射线数字成像系统检测铅房北侧、2#X 射线数字成像系统检测铅房南侧及工业电视检测铅房南侧均拟设置控制室，控制室控制台处设置钥匙开关和急停按钮，本项目 2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视工作时，人员均无需通过维修门进入检测铅房内摆放工件，因此 2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视检测铅房内均未设置急停按钮；2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视工业电视检测铅房顶部外均设有工作状态指示灯及声音提示装置，并与 X 射线管联锁；2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视维修门均设有门机联锁装置；2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视检测铅房维修门表面明显位置均设有“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及警示说明；2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视检测铅房内各设有 1 个摄像头，摄像显示装置均设于各控制台处；1#、2#X 射线数字成像系统防护通道两侧进出料口均设有铅帘，其中 1#X 射线数字成像系统两侧进出料口设置 8 道铅帘，总铅当量为 16mm；2#X 射线数字成像系统两侧进出料口设置 8 道铅帘，总铅当量为 8mm。

1.3.4 操作防护措施

辐射工作人员在开展检测工作前应按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 5.1.2 及 5.2.1.2 要求对本项目 2 座探伤房、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视进行检查，重点检查安全联锁、报警设备和警示灯、固定辐射检测仪等是否运行正常；探伤工作人员在进入 2 座探伤房曝光室时，除佩戴常规个人剂量计外，还拟携带个人剂量报警仪和便携式 X-γ剂量率仪；辐射工作人员拟定期测量 2 座探伤房曝光室外、2 台 X 射线数字成像系统装置外及 1 台工业电视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，拟检查是否能正常工作；探伤工作人员拟正确使用配备的辐射防护装置；在每一次照射前，操作人员都拟确认探伤房曝光室、X 射线数字成像系统及工业电视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；公司应对工业电子加速器、X 射线探伤机、γ射线探伤机、X 射线数字成像系统及工业电视的设备维护负责，每年至少维护一次，设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行，并做好设备维护记录。

1.3.5 探伤设施的退役

本项目γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 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 密封源贫铀罐退役后，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；掺入贫铀的屏蔽装置应与γ射线源一样对待；工业电子加速器、X 射线探伤机、X 射线数字成像系统及工业电视的 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

无锡华光环保能源集团股份有限公司无锡化工装备股份有限公司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。同时制定了各项辐射安全管理制度。公司拟为本项目配备 10 名辐射工作人员，10 名辐射工作人员均延用老厂区辐射工作人员。10 名辐射工作人员均已通过生态环境部培训平台上的线上考核；公司已对辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量

监测，并为辐射工作人员建立了个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

公司已配备 7 台环境辐射剂量巡测仪及 60 台个人剂量报警仪，公司的仪器配备能够满足审管部门关于仪器配备的要求。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全管理措施能够满足辐射安全管理要求。

2 环境影响分析结论

2.1 辐射防护影响预测

2.1.1 1#、2#探伤房辐射防护影响预测

本项目 1#探伤房曝光室内净尺寸为 29.6m（长）×10.8m（宽）×8.7m（高），曝光室东侧主屏蔽墙拟采用 2100mm 混凝土，东侧次屏蔽墙拟采用 1200mm 混凝土，南墙及北墙均拟采用 1300mm 混凝土，西墙离地 6.8m 以下拟采用 1300mm 混凝土，西墙离地 6.8m 以上拟采用 900mm 混凝土，顶部拟采用 900mm 混凝土，南侧及北侧迷道外墙均拟采用 800mm 混凝土，西侧迷道外墙拟采用 1000mm 混凝土，工件门拟采用 1300mm 混凝土，人员内门及人员外门均拟采用 6mmPb。1#探伤房曝光室内东西北角拟建 1 座放射源暂存库，放射源暂存库尺寸为 2.1m（长）×1.5m（宽）×2.65m（高），放射源暂存库东墙及南墙均拟采用 300mm 混凝土，顶部拟采用 400mm 混凝土，西墙及北墙均拟采用 1300mm 混凝土，源库门拟采用 40mmPb+6mmFe 防护门。

本项目 2#探伤房曝光室内净尺寸为 21.2m（长）×7.7m（宽）×6.3m（高），曝光室东墙及西墙均拟采用 650mm 混凝土，南墙及北墙均拟采用 750mm 混凝土，顶部拟采用 400mm 混凝土，东侧迷道外墙拟采用 500mm 混凝土，南侧迷道外墙拟采用 750mm 混凝土，西侧迷道外墙拟采用 450mm 混凝土，工件门拟采用 35mmPb，人员内门及人员外门均拟采用 6mmPb。

经理论预测，本项目 1#探伤房曝光室四周参考点处的辐射剂量率均小于 2.5μSv/h，顶部的辐射剂量率约为 5.415μSv/h；2#探伤房曝光室四周参考点处的辐射剂量率均小于 2.5μSv/h，顶部的辐射剂量率约为 21.24μSv/h，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”及“无人员到达的探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平为 100μSv/h”的要求。

2.1.3 X 射线数字成像系统及工业电视辐射防护影响预测

本项目 1#X 射线数字成像系统检测铅房尺寸为 6.3m（长）×1.8m（宽）×2.8m（高），1#X 射线数字成像系统检测铅房东侧、南侧、西侧及北侧屏蔽体均采用 26mmPb+10mmFe，顶部屏蔽体及顶部电缆防护罩均采用 20mmPb+10mmFe，维修门采用 26mmPb+10mmFe；1#X 射线数字成像系统东西侧防护通道尺寸为 4.0m（长）×1.6m（宽）×1.0m（高），四周、顶部及底部屏蔽体均采用 20mmPb+10mmFe，东西侧进出料口内的铅帘采用 16mmPb。

本项目工业电视检测铅房尺寸为 2.0m（长）×1.9m（宽）×2.0m（高），工业电视检测铅房东侧、南侧、西侧、北侧及顶部屏蔽体均采用 12mmPb+6mmFe，维修门采用 12mmPb+6mmFe，顶部电缆防护罩及进出料口外凸管道采用 12mmPb+6mmFe。

本项目 2#X 射线数字成像系统检测铅房尺寸为 5.0m(长）×14m（宽）×2.0m（高），2#X 射线数字成像系统检测铅房东侧、南侧、西侧及北侧屏蔽体均采用 12mmPb+6mmFe，顶部屏蔽体及顶部电缆防护罩均采用 10mmPb+6mmFe，维修门采用 12mmPb+6mmFe；2#X 射线数字成像系统东西侧防护通道尺寸为 4.5m（长）×0.95m（宽）×0.7m（高），四周、顶部及底部屏蔽体均采用 10mmPb+6mmFe，东西侧进出料口内的铅帘采用 8mmPb。

经理论预测，本项目 2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视四周及顶部参考点处的辐射剂量率均小于 2.5μSv/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”的要求。

2.2 保护目标剂量

根据理论分析预测，本项目 2 座探伤房、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视运行后，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 密封源退役后仍有较强的放射性，γ射线探伤机退役时产生的γ探伤机屏蔽装置（贫铀罐）也具有一定的放射性，公司已承诺γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 密封源及贫铀罐退役后，废源及贫铀罐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 2 座探伤房内的工业电子加速器、X 射线探伤机、γ射线探伤机及 2 台 X 射线数字成像系统、1 台工业电视工作时产生的 X 射线可使空气电离从而产生少量臭氧和氮氧化物。2 座探伤房内的臭氧和氮氧化物通过机械排风装置经排风管道排出曝光室，排风管道出风口位于车间外顶部，臭氧及氮氧化物最终通过车间顶部排风口排出；1#、2#X 射线实时成像系统检测铅房内产生的少量臭氧和氮氧化物可通过检测铅房的防护通道进入车间，工业电视检测铅房内产生的少量臭氧和氮氧化物可通过检测铅房的进出料口进入车间，最终通过车间排风系统排入车间外。臭氧在空气中 50min 可自动分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

本项目 1#、2#探伤房运营时会产生废胶片，属于《国家危险废物名录》中危险废物，无锡华光环保能源集团股份有限公司已承诺将与有资质单位签订废胶片处理处置合同，探伤过程中产生的废胶片在收集后拟临时贮存于危废库内，定期交由有资质单位处理处置。本项目洗片过程会产生废显（定）影剂及一次、二次冲洗废水。探伤过程中产生的显影、定影废液及一次、二次冲洗废水在收集后拟临时贮存于危废库内，显影、定影废液及一次、二次冲洗废水定期交由江苏爱科固体废物处理有限公司处理处置。

3 可行性分析结论

综上所述，无锡华光环保能源集团股份有限公司迁建固定式 X、γ射线探伤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1#探伤房曝光室内净尺寸为29.6m（长）×10.8m（宽）×8.7m（高），曝光室东侧主屏蔽墙拟采用2100mm混凝土，东侧次屏蔽墙拟采用1200mm混凝土，南墙及北墙均拟采用1300mm混凝土，西墙离地6.8m以下拟采用1300mm混凝土，西墙离地6.8m以上拟采用900mm混凝土，顶部拟采用900mm混凝土，南侧及北侧迷道外墙均拟采用800mm混凝土，西侧迷道外墙拟采用1000mm混凝土，工件门拟采用1300mm混凝土，人员内门及人员外门均拟采用6mmPb。1#探伤房曝光室内东西北角拟建1座放射源暂存库，放射源暂存库尺寸为2.1m（长）×1.5m（宽）×2.65m（高），放射源暂存库东墙及南墙均拟采用300mm混凝土，顶部拟采用400mm混凝土，西墙及北墙均拟采用1300mm混凝土，源库门拟采用40mmPb+6mmFe。 本项目2#探伤房曝光室内净尺寸为21.2m（长）×7.7m（宽）×6.3m（高），曝光室东墙及西墙均拟采用650mm混凝土，南墙及北墙均拟采用750mm混凝土，顶部拟采用400mm混凝土，东侧迷道外墙拟采用500mm混凝土，南侧迷道外墙拟采用750mm混凝土，西侧迷道外墙拟采用450mm混凝土，工件门拟采用35mmPb，人员内门及人员外门均拟采用6mmPb。 本项目1#X射线实时成像系统检测铅房尺寸为6.3m（长）×1.8m（宽）×2.8m（高），1#X射线实时成像系统检测铅房东侧、南侧、西侧及北侧屏蔽体均采用26mmPb+10mmFe，顶部屏蔽体及顶部电缆防护罩均采用20mmPb+10mmFe，维修门采用26mmPb+10mmFe；1#X射线实时成像系统东西侧防护通道尺寸为4.0m（长）×1.6m（宽）×1.0m（高），四周、顶部及底部屏蔽体均采用20mmPb+10mmFe，东西侧进出料口内的铅帘采用16mmPb。	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	170

	本项目工业电视检测铅房尺寸为 2.0m（长）×1.9m（宽）×2.0m（高），工业电视检测铅房东侧、南侧、西侧、北侧及顶部屏蔽体均采用 12mmPb+6mmFe，维修门采用 12mmPb+6mmFe，顶部电缆防护罩及进出料口外凸管道采用 12mmPb+6mmFe。 本项目 2#X 射线实时成像系统检测铅房尺寸为 5.0m(长）×14m（宽）×2.0m（高），2#X 射线实时成像系统检测铅房东侧、南侧、西侧及北侧屏蔽体均采用 12mmPb+6mmFe，顶部屏蔽体及顶部电缆防护罩均采用 10mmPb+6mmFe，维修门采用 12mmPb+6mmFe；2#X 射线实时成像系统东西侧防护通道尺寸为 4.5m（长）×0.95m（宽）×0.7m（高），四周、顶部及底部屏蔽体均采用 10mmPb+6mmFe，东西侧进出料口内的铅帘采用 8mmPb		
	1#探伤房辐射安全措施 1#探伤房曝光室均拟设计安装门机联锁装置；1#探伤房操作室操作台处拟设置 1 个急停开关；1#探伤房曝光室东墙、西墙上均拟设置 4 个急停开关，南墙、北墙上均拟设置 1 个急停开关，共 10 个急停开关；1#探伤房曝光室内人员内门旁及迷道内人员外门旁各设置 1 个开门开关；1#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，并与使用中的工业电子加速器、X 射线探伤机或γ射线探伤机联锁；1#探伤房曝光室内拟设计安装 1 个固定式场所辐射探测报警装置的探头，辐射探测报警装置的显示装置拟安装在 1#探伤房操作室内；1#探伤房共拟设计安装 6 个视频监控系统；拟在 1#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 1#探伤房曝光室东北角设置“U”型埋地电缆管道。 **2#探伤房辐射安全措施** 2#探伤房曝光室均拟设计安装门机联锁装置；2#探伤房操作室操作台处拟设置 1 个急停开关；2#探伤房曝光室东墙、西墙上均拟设置 1 个急停开关，南墙、北墙上均拟设置 3 个急停开关，共 8 个急停开关；2#探伤房曝光室内人员内门旁及迷道内人员外门旁各设置 1 个开门开关；2#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，并与使用中的 X 射线探伤机联锁；2#探伤房曝光室内拟设计安装 1 个固定式场所辐射探测报警装置的探头，辐射探测	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	30

	报警装置的显示装置拟安装在操作室内；2#探伤房共拟设计安装 5 个视频监控系统；拟在 2#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#探伤房曝光室西北角设置“U”型埋地电缆管道。 **放射源暂存库辐射安全措施** 放射源暂存库防盗门拟采用双人双锁；防盗门外拟设置“当心电离辐射”警告标志；在放射源暂存库内拟安装 1 个摄像头，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；放射源暂存库入口处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；放射源出入源库时均拟进行台账登记并对源容器进行监测 **X 射线实时成像系统及工业电视辐射安全措施** 1#X 射线数字成像系统检测铅房北侧、2#X 射线数字成像系统检测铅房南侧及工业电视检测铅房南侧均拟设置控制室，控制室控制台处设置钥匙开关和急停按钮，本项目 2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视工作时，人员均无需通过维修门进入检测铅房内摆放工件，因此 2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视检测铅房内均未设置急停按钮；2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视工业电视检测铅房顶部外均设有工作状态指示灯及声音提示装置，并与 X 射线管联锁；2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视维修门均设有门机联锁装置；2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视检测铅房维修门表面明显位置均设有“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及警示说明；2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视检测铅房内各设有 1 个摄像头，摄像显示装置均设于各控制台处；1#、2#X 射线数字成像系统防护通道两侧进出料口均设有铅帘，其中 1#X 射线数字成像系统两侧进出料口设置 8 道铅帘，总铅当量为 16mm；2#X 射线数字成像系统两侧进出料口设置 8 道铅帘，总铅当量为 8mm。 **操作防护措施** 辐射工作人员在开展检测工作前应按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 5.1.2 及 5.2.1.2 要求对本项目 2 座探伤房、2 台 X 射线数字成像系统及 1 台工业电视进行检查，重点检查安全联锁、报警设备和警示灯、固定辐射检测仪等是否运行正常；探伤工作人员在进入 2 座探伤房曝光室时，除佩戴常规个人剂量计外，还拟携带个人		

	剂量报警仪和便携式 X-γ剂量率仪；辐射工作人员拟定期测量 2 座探伤房曝光室外、2 台 X 射线数字成像系统装置外及 1 台工业电视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，拟检查是否能正常工作；探伤工作人员拟正确使用配备的辐射防护装置；在每一次照射前，操作人员都拟确认探伤房曝光室、X 射线数字成像系统及工业电视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；公司应对工业电子加速器、X 射线探伤机、γ射线探伤机、X 射线数字成像系统及工业电视的设备维护负责，每年至少维护一次，设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行，并做好设备维护记录 **探伤设施的退役** 本项目γ射线探伤机内 ^{60}Co、^{192}Ir 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 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；掺入贫铀的屏蔽装置应与γ射线源一样对待；工业电子加速器、X 射线探伤机、X 射线数字成像系统及工业电视的 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	公司目前共配备 44 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。本项目拟配备 10 名辐射工作人员，拟配备的 10 名辐射工作人员均拟延用老厂区的辐射工作人员。公司辐射工作人员考核合格证明到期后应当参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核后方可再次上岗	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
	公司本项目 10 名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		
	公司本项目 10 名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		

监测仪器和防护用品	公司已配备 7 台环境辐射剂量巡测仪及 60 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	/
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