核技术利用建设项目

清陶动力科技发展（昆山）有限公司
扩建 2 台 X 射线实时成像检测装置项目
生态环境影响报告表

（公示版）

清陶动力科技发展（昆山）有限公司

2026 年 11 月

生态环境部监制

目　录

表 1 项目概况 1
表 2 放射源 6
表 3 非密封放射性物质 6
表 4 射线装置 7
表 5 废弃物 8
表 6 评价依据 9
表 7 保护目标与评价标准 12
表 8 环境质量和辐射现状 17
表 9 项目工程分析与源项 23
表 10 辐射安全与防护 36
表 11 环境影响分析 43
表 12 辐射安全管理 66
表 13 结论与建议 71
表 14 审批 76
附表 “三同时”措施一览表 77

表 1 项目概况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="8">清陶动力科技发展（昆山）有限公司扩建 2 台 X 射线实时成像检测装置项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="8">清陶动力科技发展（昆山）有限公司</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表姓名</td><td colspan="2"></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="8">江苏省苏州市昆山市开发区金桂路 1 号 4 号厂房</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="8">苏州市昆山市开发区剑湖路北侧、蓬溪路西侧 2#厂房装配车间</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">/</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 colspan="2">项目环保总投资（万元）</td><td></td><td colspan="2">投资比例（%）（环保投资/总投资）</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">□新建 □改建 ☑扩建 □其他</td><td colspan="2">占地面积（m^2）</td><td>20</td></tr>
<tr><td rowspan="10">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="7">□I类 □II类 □III类 □IV类 □V类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="7">□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="7">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="7">/</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="7">□乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="7">□II类 □III类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="7">□II类 □III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="7">☑II类 □III类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="8">/</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

清陶动力科技发展（昆山）有限公司成立于 2025 年 10 月 28 日，由清陶（昆山）能源发展集团股份有限公司、华域汽车系统股份有限公司投资组成，注册地址位于江苏省苏州市昆山市开发区金桂路 1 号 4 号厂房，从事新兴能源技术研发、电池制造等。

清陶动力科技发展（昆山）有限公司拟在昆山经济技术开发区剑湖路北侧、蓬溪路西侧建设“年产 10GWh 固态动力电池一期项目”，设计规模为年产 10GWh 固态锂离子电池，该项目环评正在办理中。为配套该项目检测需要，区分良品和不良品，公司拟在 2#厂房 2 层装配车间建设 2 台 X 射线实时成像检测装置用于无损检测，本项目检测对象为固态锂电池电芯，待测电池电芯厚约 10～45mm、长约 140～310mm、宽约 85～240mm（含极耳尺寸），检测内容为固态锂电池电芯的表面缺陷检测（简称大面检测）和 Open Hole/极片孔洞、析锂、层间异常等（简称 OH 检测）。

2#厂房装配车间设有两条装配线，两条装配线镜像并列布置在装配车间内，每条装配线拟设置 1 台 X 射线实时成像检测装置，其铅房最近距离约 22.4m。

本项目 2 台 X 射线实时成像检测装置型号均为 AXI-5600-C，每台内设 6 个 X 射线管，串联布置在 X 射线实时成像检测装置铅房内。同时，X 射线实时成像检测装置、物流线（磁悬浮环形线）、扫码设备、上下料机械手等装置设计为一套整体机械装置布置在生产线上，该套机械装置平面布置见附图 8~9，机械装置在装配线上的位置见附图 10。X 射线实时成像检测装置铅房嵌套在整体机械装置的南部，辐射工作人员在整体装置的南侧面板上操作。工作时，上料机械手抓取待测工件送至环形磁悬浮动子托盘上，动子环形移动（装配线 1 动子逆时针移动，装配线 2 动子顺时针移动），依次至复投点检工位、电芯/治具扫码工位（自动完成电芯扫码）、电芯除尘、**X 射线实时成像检测装置无损检测工位**、NG 下料工位、配对工位、下料机械手工位、空治具除尘工位、上料点。每个 X 射线实时成像检测装置铅房共设置 2 个工件进出通道（在工件散射面水平高度上方），铅房内的 X 射线管固定不动，每个 X 射线管专门针对待测工件的不同部位进行无损检测，故工作时待测工件仅需随动子依次移动至特定检测位，无需专门调整工件位置至最佳检测视角，也无需调整 X 射线管位置，极大地提高了装配线无损检测工作效率。

X 射线实时成像检测装置周曝光时间不超过 144h；年工作 300 天（50 周），年曝光时间不超过 7200h。共配备 4 名辐射工作人员，每台 X 射线实时成像检测装置拟配备 2 名辐射工作人员，12 小时两班制，每班 1 人。故每人每周受照时间最多约 72h，每人每年受照时间最多约 3600h（均已包含训机时间）。

AXI-5600-C 型 X 射线实时成像检测装置最大管电压 150kV、最大管电流 0.5mA、最大额定功率 75W。本项目 2 台 X 射线实时成像检测装置基本情况详见表 1-1。

表 1-1　本项目射线装置情况一览表

序号	射线装置名称型号	设备数量	射线管数量（台）	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	额定最大功率（W）	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
1	AXI-5600-C 型 X 射线实时成像检测装置（1 号）	1 台	2	150	0.5	75	II	2#厂房装配车间装配线 1	使用	本次环评	射线管编号 1#~2# 主射线自下向上
			4	130	0.3	39	II				射线管编号 3#~6# 主射线自上向下
2	AXI-5600-C 型	1 台	2	150	0.5	75	II	2#厂房装			射线管编

	X 射线实时成像检测装置（2 号）							配车间装配线 2			号 11#~12#主射线自下向上
			4	130	0.3	39	II				射线管编号 7#~10#主射线自上向下

根据《中华人民共和国生态环境法典》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，本项目需进行环境影响评价。本项目使用II类射线装置，依据《建设项目环境影响评价分类管理名录》应编制生态环境影响报告表。受清陶动力科技发展（昆山）有限公司委托，苏州虹善环保产业有限公司在资料调研、项目工程分析、现场勘察等工作的基础上编制该项目生态环境影响报告表。

2、项目周边保护目标及选址情况

清陶动力科技发展（昆山）有限公司位于苏州市昆山市开发区剑湖路北侧、蓬溪路西侧（该地址当前尚未取得门牌号），地理位置见附图 1。公司东面隔空地为蓬溪北路河、蓬溪北路、空地，南面隔剑湖路为恒美光电股份有限公司，西面为深圳建业、昆山聚创新能源科技有限公司，北面隔东光路为空地、东电光电半导体设备（昆山）有限公司，厂区周边概况详见附图 2。

本项目 2 台 X 射线实时成像检测装置拟建于 2#厂房 2 层装配车间内，其中 1 号 X 射线实时成像检测装置布置在装配线 1 中部，1 号装置内自西向东依次为 1#~6#X 射线管；2 号 X 射线实时成像检测装置布置在装配线 2 中部，2 号装置内自西向东依次为 7#~12# X 射线管；装配线 1、装配线 2 镜像并列、相邻、南北向布置在装配车间内，自西向东依次为装配线 1、车间内通道、装配线 2。

2#厂房为 1/2/3 层建筑，无地下建筑，装配车间布置于厂房 2 层结构的建筑区段。1 号 X 射线实时成像检测装置拟建址东侧为装配线 1 生产区、车间内通道、装配线 2 生产区（含 2 号 X 射线实时成像检测装置）、厂房内过道、9#动辅机房、货梯、9#楼梯、2#配电间、10#动辅机房、配电房、厂区内通道、厂外空地，南侧为装配线 1、2 生产区、装配维修间，西侧为装配线 1 生产区、负极极卷静置库、正极极卷静置库、厂房内过道、2#动辅机房、7#卫生间、2#楼梯、3#动辅机房、货梯、3#楼梯、4#动辅机房、厂区内通道、1#甲类危化品仓库，北侧为装配线 1、2 生产区，下方为一楼车间及辅房，上方为屋顶；2 号 X 射线实时成像检测装置拟建址东侧为装配线 2 生产区、

厂房内过道、8#楼梯、9#动辅机房、货梯、9#楼梯、2#配电间、10#动辅机房、配电房、厂区内通道、厂外空地，南侧为装配线 1、2 生产区、装配维修间，西侧为装配线 2 生产区、车间内通道、装配线 1 生产区（含 1 号 X 射线实时成像检测装置）、负极极卷静置库、正极极卷静置库、厂房内过道、3#动辅机房，北侧为装配线 1、2 生产区，下方为一楼车间及辅房，上方为屋顶。公司平面布置见附图 3，2#厂房 1 层平面布置见附图 4，2#厂房 2 层平面布置见附图 5。

本项目 2 台 X 射线实时成像检测装置铅房拟建址周围 50m 评价范围内主要为清陶动力科技发展（昆山）有限公司厂区、厂区外空地，无居民区、学校等环境敏感目标。保护目标主要为辐射工作人员及评价范围内的公众。

3、原有核技术利用和许可情况

（1）辐射安全许可情况

清陶动力科技发展（昆山）有限公司现已开展核技术利用项目，已取得辐射安全许可证（见附件 10），证书编号为：苏环辐证[E2922]，种类和范围为“使用V类放射源；使用III类射线装置”，有效期至 2031 年 8 月 25 日，发证机关为苏州市生态环境局。原有核技术利用项目已履行相关环保手续，当前正常运行。

公司现有核技术利用项目见表 1-2。

表 1-2　现有核技术利用项目许可情况

<table>
<tr><td colspan="8">射线装置</td></tr>
<tr><td>序号</td><td>射线装置名称型号</td><td>数量</td><td>类别</td><td>工作场所名称</td><td>活动种类</td><td>环评情况及审批时间</td><td>许可情况</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">RX 型
X 射线面密度仪</td><td>2 台</td><td rowspan="2">III</td><td>正极涂布（机头）车间</td><td rowspan="2">使用</td><td rowspan="4">已登记
2026.08.24</td><td rowspan="4">已许可
苏环辐证
[E2922]</td></tr>
<tr><td>2 台</td><td>正极涂布（机尾）车间</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">W-RX 型
X 射线面密度仪</td><td>2 台</td><td rowspan="2">III</td><td>正极涂布（机头）车间</td><td rowspan="2">使用</td></tr>
<tr><td>2 台</td><td>正极涂布（机尾）车间</td></tr>
<tr><td colspan="8">放射源</td></tr>
<tr><td>序号</td><td>核素</td><td colspan="2">单枚出厂活度（Bq）</td><td>类别</td><td>枚数</td><td>工作场所名称</td><td>许可情况</td></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">Kr-85</td><td colspan="2" rowspan="3">1.85×10^{10}</td><td rowspan="3">V</td><td>6</td><td>负极涂布（机头）车间</td><td rowspan="3">已许可
苏环辐证
[E2922]</td></tr>
<tr><td>4</td><td>负极涂布（机尾）车间</td></tr>
<tr><td>2</td><td>正极涂布（机头）车间</td></tr>
</table>

（2）辐射安全与环境保护管理机构情况

清陶动力科技发展（昆山）有限公司已成立辐射安全与环境保护管理领导小组，

并以正式文件形式明确了管理人员职责，满足日常辐射安全管理要求。辐射防护负责人已通过“辐射安全管理”类别的线上考核，考核合格且在有效期内。

（3）辐射安全与环境保护管理制度

清陶动力科技发展（昆山）有限公司已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、事故应急方案等。上述制度具有针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目的管理需求。公司各项制度已发布并张贴于相应工作场所，执行情况良好。

（4）辐射工作人员考核证书、职业健康体检及个人剂量情况

清陶动力科技发展（昆山）有限公司现有辐射工作人员 6 名，包括 3 名III类射线装置操作人员，已按要求自行组织培训、考试；3 名涉V类放射源装置操作人员，已通过类别为“核子仪”的线上考核。

公司为所有辐射工作人员配备了个人剂量卡，委托有资质单位进行个人剂量监测（已签订委托检测协议），因自正式投入运行至今尚未满 3 个月，故尚无个人剂量检测结果；公司为所有辐射工作人员安排了职业健康体检，体检结果均合格。

4、实践正当性

本项目在运行期间将会产生电离辐射，有可能会提高项目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、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，其建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则。

5、产业政策符合性分析

本项目扩建 2 台 X 射线实时成像检测装置，利用 X 射线实时成像检测装置对公司生产的固态锂电池电芯进行无损检测。对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年修订，国家发展和改革委员会令第 7 号）的相关规定，本项目不属于限制类、淘汰类，故本项目符合国家现行产业政策。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	X 射线实时成像检测装置（1 号）	II类	1 台	AXI-5600-C 型	150	0.5	无损探伤检测	2#厂房装配车间装配线 1	2 个射线管，编号 1#、2#
					130	0.3			4 个射线管，编号 3#、4#、5#、6#
2	X 射线实时成像检测装置（2 号）	II类	1 台	AXI-5600-C 型	150	0.5	无损探伤检测	2#厂房装配车间装配线 2	2 个射线管，编号 11#、12#
					130	0.3			4 个射线管，编号 7#、8#、9#、10#
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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）	用途	工作场所	操作方式			备注
									活度（Bq）	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过装置铅房通风系统排放至装配车间，最终经装配车间换气排入外环境，臭氧常温下 50min 内可自行分解为氧气，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，固态为 mg/kg，气态为 mg/m^3；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m^3）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国生态环境法典》，2026 年 3 月 12 日第十四届全国人民代表大会第四次会议通过，2026 年 8 月 15 日起施行； （2）《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订本），2017 年 7 月 16 日国务院令第 682 号公布，2017 年 10 月 1 日起施行； （3）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令第 16 号公布，2021 年 1 月 1 日起施行； （4）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正版），国务院令第 709 号公布，2019 年 3 月 2 日起施行； （5）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令第 20 号公布，2021 年 1 月 4 日起施行； （6）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日起施行； （7）《关于发布<射线装置分类办法>的公告》，生态环境部、国家卫生健康委公告 2026 年公告第 44 号公布，自 2026 年 10 月 14 日起施行； （8）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日； （9）《江苏省辐射污染防治条例》（2026 年修正版），2026 年 7 月 31 日江苏省第十四届人民代表大会常务委员会第二十三次会议通过； （10）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环境保护部办公厅，环办辐射函〔2016〕430 号，2016 年 3 月 7 日； （11）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，2019 年 9 月 20 日生态环境部令第 9 号公布，2019 年 11 月 1 日起施行； （12）《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》，2019 年 10 月 24 日生态环境部公告 2019 年第 38 号发布，2019 年 11 月 1 日起施行； （13）《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 10 月 25 日发布； （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）《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； （16）《江苏省生态空间管控区域规划》，江苏省人民政府（苏政发〔2020〕1 号），2020 年 1 月 8 日发布； （17）《江苏省自然资源厅关于苏州市生态空间管控区域评估优化成果的复函》，苏自然资函〔2026〕487 号，2026 年 6 月 18 日； （18）《苏州市 2023 年度生态环境分区管控动态更新成果公告》； （19）《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； （20）《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。
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （2）《辐射环境保护管理导则－核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （5）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （6）《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）； （7）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）及其 1 号修改单； （8）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （9）《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）； （10）《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）。

其他	**与本项目相关附件：** （1）项目环评委托书（附件 1） （2）X 射线装置使用情况承诺书（附件 2） （3）与本项目相关的立项备案表（附件 3） （4）营业执照及法人身份证复印件（附件 4） （5）现状检测报告及检测单位资质（附件 5） （6）设备供应商辐射安全许可证正本、副本（摘取含本项目设备型号页）（附件 6） （7）射线装置说明材料（附件 7） （8）现有核技术利用装置环评登记表（附件 8） （9）辐射防护负责人“辐射安全管理”成绩单（附件 9） （10）公司现有辐射安全许可证正本、副本（附件 10）

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目为使用II类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的相关规定，确定本项目评价范围为本项目 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房实体边界外 50m 的区域。本项目评价范围见附图 2、3。

保护目标

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省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）、《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）、《江苏省自然资源厅关于苏州市生态空间管控区域评估优化成果的复函》（苏自然资函〔2026〕487 号），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。

对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

本项目利用 X 射线进行无损检测，占用资源少，不会降低评价范围内水、气、土壤的环境功能类别和环境质量，符合生态环境分区管控管理要求。

本项目 2 台 X 射线实时成像检测装置铅房拟建址周围 50m 评价范围内主要为清陶动力科技发展（昆山）有限公司厂区、厂区外空地，无居民区、学校等环境敏感目标，保护目标主要为本项目辐射工作人员及评价范围内的公众。

2#厂房为 1/2/3 层建筑，无地下建筑，本项目拟建址位于 2#厂房 2 层结构建筑区段的二楼，下方为一楼车间及辅房；装置拟建址评价范围内均不在 2#厂房 1、3 层结构建筑区段。本项目保护目标具体见表 7-1~2。

表 7-1 本项目 1 号 X 射线实时成像检测装置拟建址评价范围内保护目标一览表

主要环境保护目标	保护目标位置	方位	最近距离（m）	规模（人数）	环境保护要求
辐射工作人员	1 号装置[1]操作位	南侧	0.3	2 人	职业人员年剂量约束值
	2 号装置[1]操作位	东侧	25	2 人	

					5mSv/a
公众		东侧	1.5	约 2 人	公众人员年剂量约束值0.1mSv/a
			5	流动人员	
			18	约 15 人	
			30	流动人员	
			32	流动人员	
			39	流动人员	
			36	流动人员	
			38	流动人员	
			40	流动人员	
			48	流动人员	
			40	流动人员	
			48	流动人员	
		南侧	1	约 10 人	
			46	约 4 人	
		西侧	1.7	约 1 人	
			2	约 2 人	
			8.5	约 2 人	
			15	流动人员	
			43	流动人员	
			37	流动人员	
			34	流动人员	
			17.5	流动人员	
			35.5	流动人员	
			36	流动人员	
			39.5	流动人员	
			26	流动人员	
			43	流动人员	
		北侧	3	约 10 人	
		下方一楼	4	约 30 人	

注[1]：“X 射线实时成像检测装置”简称“装置”；

[2]：包括正极涂布烘箱车间、正极涂布（机头）车间、正极辊分车间、负极涂布烘箱车间、负极涂布（机头）车间、负极辊分车间、辅房等，距离保守取装置至正下方一楼公众可达的最近距离。

表 7-2　本项目 2 号 X 射线实时成像检测装置拟建址评价范围内保护目标一览表

主要环境保护目标	保护目标位置	方位	最近距离（m）	规模（人数）	环境保护要求
辐射工作人员		南侧	0.3	2 人	职业人员年剂量约束值5mSv/a
		西侧	25	2 人	
公众		东侧	1.7	约 1 人	公众人员年剂量约束值0.1mSv/a
			3	流动人员	
			48	流动人员	
			5	流动人员	
			1.7	流动人员	

			1.8	流动人员	
			21	流动人员	
			24	流动人员	
			36	流动人员	
			13	流动人员	
			21.5	流动人员	
		南侧	1	约 10 人	
			46	约 4 人	
		西侧	1.5	约 2 人	
			5	流动人员	
			18	约 15 人	
			29	约 2 人	
			35.5	约 2 人	
			42	流动人员	
			44.5	流动人员	
		北侧	3	约 10 人	
		下方一楼	4	约 30 人	

注[1]：“X 射线实时成像检测装置”简称“装置”；
[2]：包括正极涂布烘箱车间、正极涂布（机头）车间、正极辊分车间、负极涂布烘箱车间、负极涂布（机头）车间、负极辊分车间、辅房等，距离保守取装置至正下方一楼公众可达的最近距离。

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

表 7-3　工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	剂量限值
职业照射	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： 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； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。
公众照射	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

2、剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“4.3.4.1 除了医疗照射之外，对于一项实践中的任一特定的源，其剂量约束和潜在照射危险约束应不大于审管部门对这类源规定或认可的值，并不大于可能导致超过剂量限值和潜在照射危险限值的值”的要求，确定本项目辐射工作人员及公众的剂量约束值如下：

职业照射的年剂量约束值不超过 **5mSv/a**；

公众照射的年剂量约束值不超过 **0.1mSv/a**。

3、参考控制水平

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）

6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

a）关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 100μSv/周，对公众场所，其值应不大于 5μSv/周；

b）屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5μSv/h。

6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：

a）探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3；

b）对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 100μSv/h。

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）

3.1.1 探伤室墙和入口处周围剂量当量率（以下简称剂量率）和每周剂量当量（以下简称周剂量）应满足下列要求：

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

1）人员在关注点的周剂量参考控制水平 Hc 如下：

职业工作人员：Hc≤100μSv/周；公众：Hc≤5μSv/周。

2）相应 Hc 的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）按式（1）计算：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (1)$$

式中：H_c—周剂量参考控制水平，单位为微希每周（μSv/周）；

U—探伤装置向关注点方向照射的使用因子；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—探伤装置周照射时间，单位为小时每周（h/周），按式（2）计算：

$$t = \frac{W}{60 \cdot I} \quad (2)$$

式中：W—X 射线探伤的周工作负荷（平均每周 X 射线探伤照射的累积“mA·min”值），min/周；

60—小时与分钟的换算系数；

I—X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）。

b）关注点最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$：$\dot{H}_{c,max} = 2.5\mu Sv/h$

c）关注点剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$：$\dot{H}_c$为上述 a）中$\dot{H}_{c,d}$和 b）中的$\dot{H}_{c,max}$二者的较小者。

3.1.2 探伤室顶的剂量率参考控制水平应满足下列要求：

a）探伤室上方已建、拟建建筑物或者探伤室旁邻建筑物在自然辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，距探伤室顶外表面 30cm 处和（或）在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，辐射屏蔽的剂量参考控制水平同 3.1.1。

b）除 3.1.2 a）的条件外，应考虑下列情况：

1）穿过探伤室顶的辐射与室顶上方空气作用产生的散射辐射对探伤室外地面附近公众的照射。该项辐射和穿出探伤室墙的透射辐射在相应关注点的剂量率总和，应按 3.1.1c）的剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$（μSv/h）加以控制。

2）对不需要人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平通常可取为 100μSv/h。

确定本项目关注点剂量率参考控制水平：

（1）关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值不大于 **100μSv/周**，对公众场所，其值不大于 **5μSv/周**。

（2）本项目 1 号 X 射线实时成像检测装置、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房四周外 30cm、底部地面处最高剂量当量率参考控制水平不大于 **2.5μSv/h**。

（3）本项目 1 号 X 射线实时成像检测装置、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房顶部人员不可达且装置铅房周围无邻近建筑物在自辐射源点到装置顶内表面边缘所张立体角区域内，故 1 号 X 射线实时成像检测装置、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房顶部外 30cm 处最高剂量当量率参考控制水平不大于 **100μSv/h**。

4、辐射环境质量现状监测评价参考值

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

表 7-4　江苏省环境天然放射性 γ 辐射空气吸收剂量率调查结果（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，以测值范围作为参考值。

表 8 环境质量和辐射现状

1、项目地理和场所位置

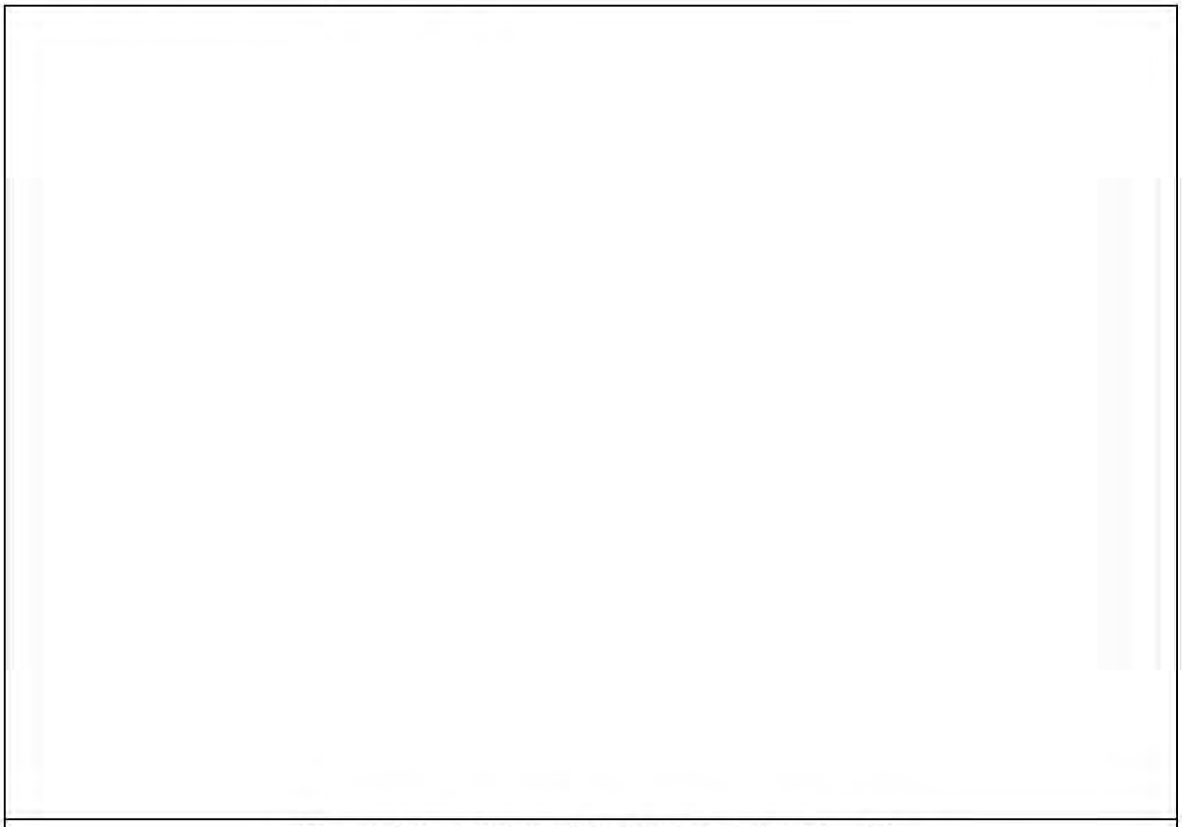
清陶动力科技发展（昆山）有限公司位于苏州市昆山市开发区剑湖路北侧、蓬溪路西侧（该地址当前尚未取得门牌号），地理位置见附图 1。公司东面隔空地为蓬溪北路河、蓬溪北路、空地，南面隔剑湖路为恒美光电股份有限公司，西面为深圳建业、昆山聚创新能源科技有限公司，北面隔东光路为空地、东电光电半导体设备（昆山）有限公司，厂区周边概况详见附图 2。

本项目 2 台 X 射线实时成像检测装置拟建于 2#厂房 2 层装配车间内，其中 1 号 X 射线实时成像检测装置布置在装配线 1 中部，1 号装置内自西向东依次为 1#~6#X 射线管；2 号 X 射线实时成像检测装置布置在装配线 2 中部，2 号装置内自西向东依次为 7#~12#X 射线管；装配线 1、装配线 2 镜像并列、相邻、南北向布置在装配车间内，自西向东依次为装配线 1、车间内通道、装配线 2。

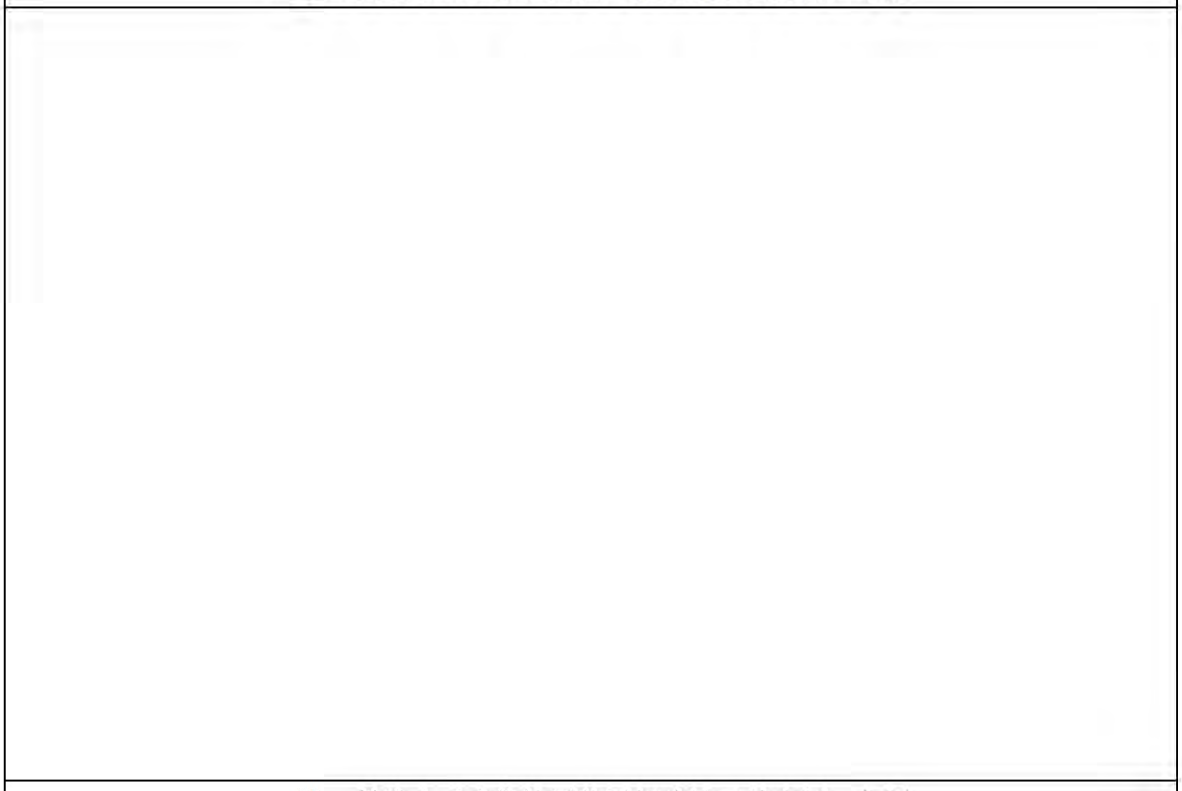
2#厂房为 1/2/3 层建筑，无地下建筑，装配车间布置于厂房 2 层结构的建筑区段。1 号 X 射线实时成像检测装置拟建址东侧为装配线 1 生产区、车间内通道、装配线 2 生产区（含 2 号 X 射线实时成像检测装置）、厂房内过道、9#动辅机房、货梯、9#楼梯、2#配电间、10#动辅机房、配电房、厂区内通道、厂外空地，南侧为装配线 1、2 生产区、装配维修间，西侧为装配线 1 生产区、负极极卷静置库、正极极卷静置库、厂房内过道、2#动辅机房、7#卫生间、2#楼梯、3#动辅机房、货梯、3#楼梯、4#动辅机房、厂区内通道、1#甲类危化品仓库，北侧为装配线 1、2 生产区，下方为一楼车间及辅房，上方为屋顶；2 号 X 射线实时成像检测装置拟建址东侧为装配线 2 生产区、厂房内过道、8#楼梯、9#动辅机房、货梯、9#楼梯、2#配电间、10#动辅机房、配电房、厂区内通道、厂外空地，南侧为装配线 1、2 生产区、装配维修间，西侧为装配线 2 生产区、车间内通道、装配线 1 生产区（含 1 号 X 射线实时成像检测装置）、负极极卷静置库、正极极卷静置库、厂房内过道、3#动辅机房，北侧为装配线 1、2 生产区，下方为一楼车间及辅房，上方为屋顶。公司平面布置见附图 3，2#厂房 1 层平面布置见附图 4，2#厂房 2 层平面布置见附图 5。

本项目 2 台 X 射线实时成像检测装置铅房拟建址周围 50m 评价范围内主要为清陶动力科技发展（昆山）有限公司厂区、厂区外空地，无居民区、学校等环境敏感目标。保护目标主要为辐射工作人员及评价范围内的公众。

本项目 2 台 X 射线实时成像检测装置拟建址及周边现状为空厂房（主体项目生产线设备尚未进厂），现状照片见图 8-1。



1 号 X 射线实时成像检测装置拟建址及其南侧、北侧



2 号 X 射线实时成像检测装置拟建址及其南侧、北侧

<table>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">1 号装置拟建址西侧、2 号装置拟建址东侧的厂房内过道</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>1 号 X 射线实时成像检测装置拟建址西侧
（负极极卷静置库）</td><td>2 号 X 射线实时成像检测装置拟建址东侧
（厂房内过道）</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>1 号 X 射线实时成像检测装置拟建址正下方
（正极涂布烘箱车间）</td><td>2 号 X 射线实时成像检测装置拟建址正下方
（负极涂布烘箱车间）</td></tr>
</table>

图 8-1　项目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

评价对象：本项目拟建址周围辐射环境

监测因子：γ 辐射空气吸收剂量率

监测点位：在本项目拟建址周围进行布点，具体点位见图 8-2

3、监测方案、质量保证措施及监测结果

（1）监测方案

监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司

监测仪器：FH40G+FHZ672E-10 多功能环境辐射剂量率仪，仪器编号：J2718，测量范围：1nSv/h~100uSv/h，能量响应范围：48keV~4.4MeV，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定日期：2025 年 12 月 02 日，有效期至 2026 年 12 月 01 日，检定证书编号：Y2025-0118874

环境条件：天气：晴；温度：29.3℃；湿度：46.7%RH

监测项目：γ 辐射空气吸收剂量率

布点原则及监测点位：根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）有关原则进行布点，本项目测点覆盖装置拟建址处、拟建址周边、拟建址正下方等，共布设 30 个监测点位，具体见图 8-2

监测时间：2026 年 7 月 9 日

监测方法：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

数据记录及处理：每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s，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。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

（2）质量保证措施

监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司，公司已通过检验检测机构资质认定

监测布点质量保证：根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）有关布点原则进行布点，本项目布点方案具有较好的代表性，检测布点合理

监测过程质量控制质量保证：本项目监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制

监测人员、监测仪器及监测结果质量保证：监测人员均经过考核并持有检测上岗证；所有监测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过检定，监测报告实行三级审核。

（3）监测结果

监测结果见表 8，详细检测结果见附件 5。

表 8　本项目拟建址及周围辐射剂量率测量结果

测点编号	点位描述	测量结果（nGy/h）	标准偏差	备注
1	1 号装置 1#X 射线管拟建址		0.6	楼房
2	1 号装置 2#X 射线管拟建址		0.6	楼房
3	1 号装置 3#X 射线管拟建址		0.5	楼房
4	1 号装置 4#X 射线管拟建址		0.7	楼房
5	1 号装置 5#X 射线管拟建址		1.1	楼房
6	1 号装置 6#X 射线管拟建址		0.6	楼房
7	2 号装置 7#X 射线管拟建址		0.6	楼房
8	2 号装置 8#X 射线管拟建址		0.3	楼房
9	2 号装置 9#X 射线管拟建址		0.7	楼房
10	2 号装置 10#X 射线管拟建址		0.6	楼房
11	2 号装置 11#X 射线管拟建址		0.3	楼房
12	2 号装置 12#X 射线管拟建址		0.4	楼房
13	1 号装置拟建址东侧装配线 1 生产区		0.4	楼房
14	1 号装置拟建址东侧装配线 1 生产区（目检/复投）		0.7	楼房
15	1 号装置拟建址南侧操作位		0.5	楼房
16	1 号装置拟建址南侧装配线 1 生产区		0.7	楼房
17	1 号装置拟建址西侧装配线 1 生产区		1.2	楼房
18	1 号装置拟建址西侧负极极卷静置库		0.5	楼房
19	1 号装置拟建址北侧装配线 1 生产区		0.4	楼房
20	1 号装置拟建址北侧装配线 1 生产区（目检/复投）		0.4	楼房
21	1 号装置拟建址正下方 1 楼正极涂布烘箱车间		0.4	楼房
22	2 号装置拟建址东侧装配线 2 生产区		0.4	楼房
23	2 号装置拟建址东侧过道		0.5	楼房
24	2 号装置拟建址南侧操作位		0.5	楼房
25	2 号装置拟建址南侧装配线 2 生产区		0.6	楼房
26	2 号装置拟建址西侧装配线 2 生产区		0.6	楼房
27	2 号装置拟建址西侧装配线 2 生产区（目检/复投）		0.5	楼房
28	2 号装置拟建址北侧装配线 2 生产区		0.4	楼房
29	2 号装置拟建址北侧装配线 2 生产区（目检/复投）		0.4	楼房
30	2 号装置拟建址正下方 1 楼负极涂布烘箱车间		2.8	楼房

备注：“X 射线实时成像检测装置”简称“装置”；

测量数据已扣除仪器宇宙射线响应值（12.1nSv/h）；楼房对宇宙射线的屏蔽修正因子取 0.8，现场测量时地面材料为水泥。

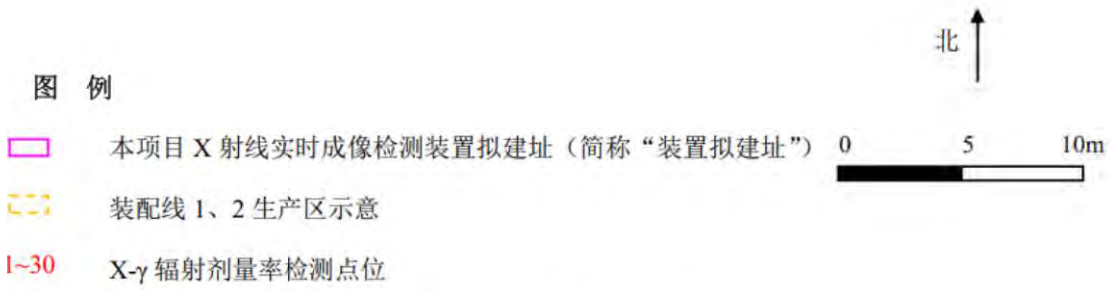


图 8-2　监测点位示意图

（4）环境现状调查结果评价

评价方法：参照江苏省 γ 辐射空气吸收剂量率水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

由表 8 监测结果可知，本项目拟建址及周围环境扣除仪器宇宙射线响应值后的室内 γ 辐射水平为（35.9~43.0）nGy/h。根据《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），江苏省扣除仪器宇宙射线响应值后的室内 γ 辐射水平为（50.7~129.4）nGy/h，本项目拟建址及周围室内监测点位 γ 辐射水平低于江苏省环境天然 γ 辐射水平室内测值范围，可能是因为墙体中钢材料及车间装饰材料对 γ 辐射有一定的屏蔽作用。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

1、工程设备

本项目 2 台 X 射线实时成像检测装置型号均为 AXI-5600-C，均由 X 射线管、平板探测器、成像系统、操作台等组成。每台 X 射线实时成像检测装置内有 6 个 X 射线管，X 射线管、平板探测器相关组件结构见图 9-1。

1#、2#、11#、12#射线管	3#~6#、7#~10#射线管

图 9-1　单个 X 射线管相关组件结构图

本项目 X 射线实时成像检测装置最大管电压 150kV、最大管电流 0.5mA、最大额定功率 75W。1 号 X 射线实时成像检测装置内自西向东依次为 1#~6#X 射线管，2 号 X 射线实时成像检测装置内自西向东依次为 7#~12# X 射线管。1#~2#、11#~12#X 射线管最大管电压 150kV、最大管电流 0.5mA、额定最大功率 75W，出束角为 30°，固定向上出束，在顶部的落点半径为 421mm，出束角照射范围均在铅房顶部；3#~10#X 射线管最大管电压 130kV、最大管电流 0.3mA、额定最大功率 39W，出束角为 45°，固定向下出束，在底部的落点半径为 437mm，出束角照射范围均在铅房底部；1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房外围尺寸均为 4500mm×1812mm×1900mm，铅房底部距地面约 150mm；两个装置铅房最近距离约 22.4m。X 射线实时成像检测装置铅房内的 X 射线管并排、沿物流线（磁悬浮环形线）同一侧串联布置在铅房内，操作台在对应铅房的前（南）侧。X 射线源点在装置铅房内位置的简化示意图见图 9-2，1 号

X 射线实时成像检测装置的平面布置见附图 6，2 号 X 射线实时成像检测装置的平面布置见附图 7。

X 射线源点在 1 号 X 射线实时成像检测装置内位置的简化示意图	
	俯视图（单位：mm）
	正视图（单位：mm）
X 射线源点在 2 号 X 射线实时成像检测装置内位置的简化示意图	
	俯视图（单位：mm）

X 射线源点在 2 号 X 射线实时成像检测装置内位置的简化示意图	
	正视图（单位：mm）
X 射线源点在 1、2 号 X 射线实时成像检测装置内位置的简化示意图	
	左视图（单位：mm）

图 9-2　X 射线源点在 X 射线实时成像检测装置铅房内位置的简化示意图

工作时，X 射线实时成像检测装置的 X 射线源点主射线自上向下（3#~6#，7#~10#）

件上的检测部位示意图见图 9-3。

1 号 X 射线实时成像检测装置内的 X 射线管源点	2 号 X 射线实时成像检测装置内的 X 射线管源点

图 9-3　X 射线管源点对应到待测工件上的位置示意图

图 9-4　单个整体机械装置框架外观三维结构示意图（共两个）

图 9-5　单个整体机械装置框架截面示意图一

图 9-6　单个整体机械装置框架截面示意图二

图 9-7　工件进出通道局部结构示意图

图 9-8　工件进出通道形状及铅房内进出口剖面形状示意图（mm）

图 9-9　工件进出通道与铅房接触处的搭接结构示意图（mm）

单台 X 射线实时成像检测装置铅房设两个检修门，位于铅房前（南）侧、操作台两侧，检修门为双开门，闭合后的检修门尺寸约 1590mm×1290mm，门洞尺寸约 1520mm×1220mm。检修门位置见图 9-4。

操作台在对应 X 射线实时成像检测装置的前（南）侧，操作人员可直接在操作台处控制 X 射线实时成像检测装置铅房内 6 个 X 射线管的运行，正常运行期间，人员禁止进入装置铅房内部。操作台示意图见图 9-10。本项目 X 射线实时成像检测装置均为在线设备，由 1 个钥匙开关控制整个机械装置的通断电（与 X 射线管联锁），操作台上设 6 个 X 射线管的工作指示灯，单独显示每个 X 射线管的工作状态。

图 9-10　X 射线实时成像检测装置铅房前（南）侧操作台示意图

综上，本项目 X 射线实时成像检测装置主要参数见表 9-1。

表 9-1　本项目 X 射线实时成像检测装置主要尺寸参数

装置序号		1 号 X 射线实时成像检测装置	2 号 X 射线实时成像检测装置
型号		AXI-5600-C 型	AXI-5600-C 型
X 射线管	主要参数		
	数量		
	编号		
	主射线方向		
	射线管是否可以移动、旋转		
装置铅房外围尺寸（mm）			
X 射线管源点距离装置铅房外表面最近距离（mm）	顶部		
	底部		
	前侧（南侧）		
	后侧（北侧）		
	左侧（西侧）		
	右侧（东侧）		
工件进出通道	数量及位置		
	尺寸		
检修门	数量及位置		
	门洞尺寸（mm）		
	门尺寸（mm）		

2、工作原理

X 射线实时成像检测装置的核心部件是 X 射线管，X 射线管由阴极和阳极组成，阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据需要，可由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钽等）制成，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面被靶突然阻挡从而产生 X 射线，X 射线的波长很短一般为 0.001~0.1nm。X 射线以光速直线传播，不受电场和磁场的影响，可穿透物质，在穿透过程中有衰减，X 射线无损检测的实质是根据被检验工件与其内部缺陷介质对射线能量衰减程度不同，而引起射线透过工件后强度差异。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。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，从而可以从图像上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。典型的 X 射线管结构图见图 9-11。

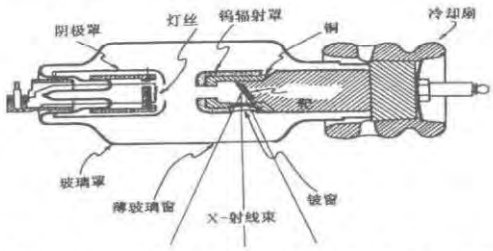


图 9-11　常见 X 射线管结构示意图

在使用 X 射线实时成像检测装置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 射线被平板探测器接收，平板探测器把不可见的 X 射线检测信息转换为数字图像后传输至显示屏，在显示屏上实时显示，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。

3、工作流程及产污环节

（1）准备：辐射工作人员在开展检测工作前巡视设备周围情况，检查设备辐射安全防护装置情况，确认安全联锁、报警设备和警示灯等运行正常，在所有辐射安全防护措施均有效的情况下才能进行工件检测；

（2）通电开机、启动：辐射工作人员在操作台处通过钥匙开关让整体机械装置通电开机，打开操作软件，选取曝光条件、确定曝光参数，开启自动检测程序；

（4）性能分析：X 射线实时成像检测装置自动完成检测、保存、处理分析数据，合格品自动流转至装配线下游；不合格品（NG 品）自动下料，检修后人工复投至拉带上重新流转、自动曝光检测。

（5）检测结束后，辐射工作人员在操作台处关机，确认 X 射线实时成像检测装置已不会再自动出束。

本项目 X 射线实时成像检测装置工作流程及产污环节如图 9-12 所示。

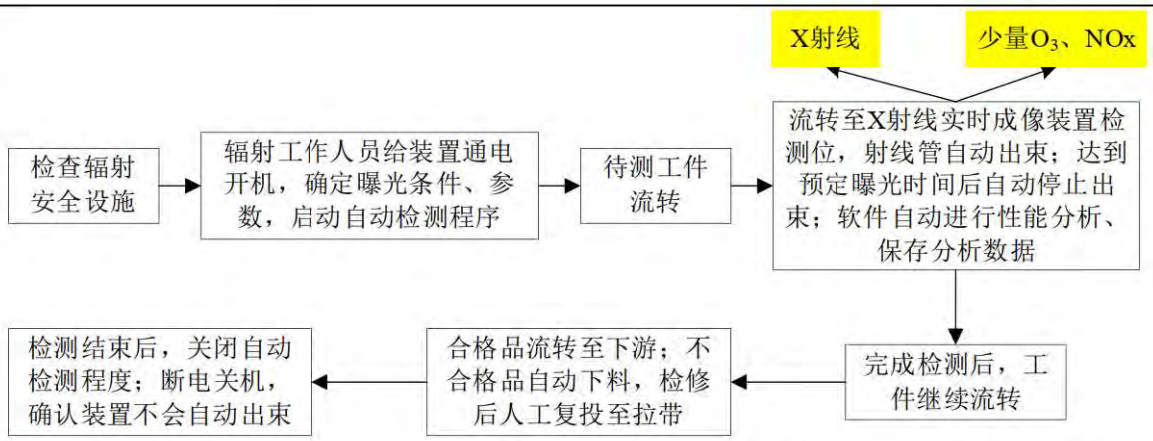


图 9-12　本项目 X 射线实时成像检测装置工作流程及产污环节分析示意图

4、人员配置及工作制度

按公司主体项目的设计工况，装配车间生产线年运行 7200h/a，年工作 300 天。

污染源项描述

本项目 X 射线实时成像检测装置及其配套整体机械装置在设备厂家生产、组装后运至本项目拟建址，并仅在本项目厂内完成安装，无厂房建设等土建内容，过程中会产生少量的噪声和固体废物，随着施工期结束后，施工期环境影响将随之消失。故本项目污染源项主要为运行期的放射性污染源、非放射性污染源。

1、放射性污染源分析

由 X 射线实时成像检测装置的工作原理可知，X 射线随机器的开、关而产生和消失。因此，正常开机出束期间，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 射线实时成像检测装置发出的用于工件检测的辐射束，又称为主射线束。本项目 X 射线实时成像检测装置射线管主要参数具体见表 9-2，资料来源于射线装置厂家（详见附件 7）。

泄漏辐射：由辐射源点在各个方向上从屏蔽装置中泄漏出来的射线称为漏射线。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中表 1，本项目 X 射线实时成像检测装置距 X 射线管辐射源点（靶点）1m 处的泄漏辐射剂量率见表 9-2。

散射辐射：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，散射能量根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 2 进行取值，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	AXI-5600-C 型
X 射线管数量	
最大管电压	
最大管电流	
额定最大功率	
出束角	
主射线方向	
滤过材料	
X 射线输出量	
泄漏辐射剂量率[2]	
90°散射后能量	

注[1]:《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)表 2 所列原始 X 射线最小为 150kV，故管电压为 130kV 时保守不考虑散射的能量衰减，散射后仍按 130kV 计；
[2]：按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）“5.1.1”要求：X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 1 的要求。故本次保守

根据 GBZ 117-2022 表 1 取值。

2、非放射性污染源分析

本项目 X 射线实时成像检测装置运行时无放射性废气、放射性废水和放射性固体废物产生。

X 射线实时成像检测装置在工作状态下，产生的 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

本项目辐射工作人员产生少量生活污水和生活垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1、工作场所布局及分区合理性分析

本项目 X 射线实时成像检测装置主射线自上向下/自下向上，出束角的照射范围仅在装置铅房底部、顶部；操作台在装置铅房前（南）侧，辐射工作人员在操作台前（南）工作，避开了 X 射线主射线方向，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开”的要求，布局设计合理。

本项目装置铅房和辅助上下料、传输的物流线（磁悬浮环形线）、扫码设备、上下料机械手等装置设计为一套整体机械装置布置在装配线 1、装配线 2 的生产线上，装置铅房（内含 X 射线管）嵌套在整体机械装置的南部；装置铅房设两个检修门，正常工作期间均上锁关闭；整体机械装置另设置检修门，该检修门无法进入铅房内部，仅用于对铅房外的辅助上下料、传输的设备进行检维修。正常工作期间，辐射操作人员无需进入铅房、整体机械装置内部。

故本项目以 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房设置为控制区（图 10-1 红色区域内），在装置铅房外表面醒目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。将两个整体机械装置内除铅房外的区域及其前（南）侧外 0.8m（包括操作台）作为监督区边界（图 10-1 黄色区域内），在整体机械装置前（南）侧外 0.8m 张贴地标，在监督区边界和入口处（即地标处和整体机械装置的检修门上）张贴监督区标牌。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。

表 10-1　本项目辐射工作场所两区划分情况

项目环节	控制区	监督区
两区划分范围	1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房	两个整体机械装置内除铅房外的区域及其前（南）侧外 0.8m（包括操作台）区域
划分依据	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）6.4.1	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）： 6.4.2.1“注册者或者许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价”。 6.4.2.2 a）“采取适当的手段划出监督区的边界”。
分区管理	对控制区进行严格控制，X 射线实时成像	监督区为辐射工作人员操作仪器时工作场

措施	检测装置在曝光过程中严禁任何人进入。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）6.4.1.4c）在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合附录 F 规定的警告标志。	所，禁止非相关人员进入，避免受到不必要的照射，并根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）6.4.2.2b）在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。
辐射防护措施	在 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房外表面醒目位置设置电离辐射警告标志及中文警示说明	在整体机械装置前（南）侧外 0.8m 张贴地标，在监督区边界和入口处（即地标处和整体机械装置的检修门上）张贴监督区标牌

本项目 X 射线实时成像检测装置控制区及监督区示意图见图 10-1。



图 10-1　本项目 X 射线实时成像检测装置控制区及监督区示意图

2、辐射屏蔽设计

本项目 X 射线实时成像检测装置屏蔽防护设计见表 10-2。

表 10-2　本项目装置屏蔽设计参数一览表

序号		1 号 X 射线实时成像检测装置	2 号 X 射线实时成像检测装置
主射线方向			
屏蔽体方位、	顶部		
	底部		

材料及厚度	前侧（南侧）		
	后侧（北侧）		
	左侧（西侧）		
	右侧（东侧）		
工件进出通道	防护结构		
检修门	防护结构		
电缆孔	防护结构		
通风口	防护结构		

3、探伤操作的放射防护措施

（1）正常使用前，辐射工作人员应检查 X 射线实时成像检测装置铅房检修门的门机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施是否有效。

（2）辐射工作人员正常工作时，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，辐射工作人员应立即断电并远离装置铅房，同时防止其他人靠近装置铅房，并立即向辐射防护负责人报告。

（3）定期检测装置铅房外周围区域的剂量率水平，包括辐射工作人员操作台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，应终止无损检测工作并向辐射防护负责人报告。

（4）辐射工作人员当班使用便携式 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，则不应开始无损检测工作。

（5）在每一次开机前，辐射工作人员都应该确认装置铅房内部没有人员驻留并关闭检修门。只有在检修门关闭，所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始无损检测工作。

4、工作场所辐射安全措施

本项目正常工作情况下，X 射线实时成像检测装置铅房内部、整体机械装置内部无人员停留；仅设备维修状态下，打开装置铅房检修门，检修人员可进入装置铅房内部（打开整体机械装置检修门无法进入铅房内部）。本项目设计的辐射安全装置和保护措施主要有：

（1）**门-机联锁装置**：装置铅房检修门设置门机联锁装置，只有在铅房检修门均完全关闭后才能进行出束照射；铅房检修门被意外打开时，应能立刻停止出束，关上门时不能自动开始 X 射线照射；本项目装置铅房内有多个 X 射线管，每个 X 射线管均与检修门联锁。

（2）**紧急开门装置**：本项目装置铅房检修门日常不会打开，日常工作时工件仅从铅房左右侧工件进出通道进出；铅房内部需要维修时，此时装置处于断电状态，检修人员通过装置铅房检修门进入铅房内部维修；考虑极端情况，人员可能滞留在内部，本项目铅房检修门设置了机械式门内把手，即不依赖电气结构，纯机械解锁，能够确保铅房内部人员可手动开门，从而逃出装置内部；故不再另外设置开门按钮。

（3）**工作状态指示灯及声音提示装置**：每个整体机械装置顶部设有两个工作状态指示灯，黄灯表示整体机械装置待机（含 X 射线实时成像检测装置待机，不可自动出束），绿灯表示 X 射线管正在出束曝光（任一 X 射线管出束都是绿灯），红灯表示整体机械装置内任一部件故障；操作台设有每台 X 射线实时成像检测装置的工作状态指示灯（灯亮表示出束曝光检测状态，灯灭表示未进行出束曝光检测）；工作状态指示灯均与 X 射线管联锁；在醒目的位置处应有对工作状态指示灯信号意义的说明。本项目 X 射线管均设置在 X 射线实时成像检测装置铅房内，正常工作时禁止进入装置铅房，故未安装声音提示装置。

（4）**电离辐射警告标识**：本项目 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置表面外应设置有“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及中文警示说明。

（5）**钥匙开关**：1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置操作台上设有钥匙开关，控制整体机械装置的通电情况（含 X 射线实时成像检测装置）。只有在打开钥匙开关后，X 射线实时成像检测装置才能通电开机，后续才能开启自动检测程序；钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。钥匙开关处设有带锁的防护罩，防止无关人员靠近。

（6）**紧急停机按钮**：1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置操作台、铅房内部、整

体机械装置内部（铅房外）和外部左右侧均设有紧急停机按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。紧急停机按钮均拟设置标签，标明使用方法。

（7）**视频监控装置**：装配车间内安装有视频监控装置，监控范围包括铅房、整体机械装置；铅房内部及整体机械装置内部、铅房外部均设有视频监控装置，通过操作台电脑控制系统可清楚地看见铅房、机械装置内情况。

（8）**电缆孔防护**：1 号 X 射线实时成像检测装置的电缆孔在铅房左侧，2 号 X 射线实时成像检测装置的电缆孔在铅房右侧；电缆孔均采用了迷宫式防护铅盒作为补充防护结构，迷宫式防护铅盒材料为“2mm 钢+12mm 铅+2mm 钢”（同所在侧铅房屏蔽材料）。可避免 X 射线直接照射线缆管道口，利用散射降低线缆管道口的辐射水平。

（9）**通风装置及通风口防护**：1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置的通风口均在铅房顶部，机械通风装置设置在铅房顶部外、整体机械装置内。通风口处设有防护铅盒作为补充防护结构，铅盒材料为“2mm 钢+12mm 铅+2mm 钢”（同所在侧铅房屏蔽材料），可避免 X 射线直接照射通风口，利用散射降低通风口的辐射水平。机械排风装置设计排风量约 200m^3/h，铅房内净容积不超过 15.4m^3，每小时有效通风换气次数约 12 次，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。

（10）**装置铅房检修门搭接**：检修门为双开门，采用“止口搭接结构”设计，即两扇门中间形成的阶梯状咬合，中间重叠区域宽度约 60mm，缝隙宽度不大于 3mm，双开门重叠部分大于门缝隙宽度的 10 倍；检修门与铅房屏蔽体的搭接厚度约 35mm，缝隙宽度不大于 3mm，检修门与铅房外壳重叠部分大于门缝隙宽度的 10 倍。

（12）本项目正常工作情况下，铅房内部、整体机械装置内部均无人员停留，故无需配置固定式场所辐射探测报警装置。公司拟配备个人剂量报警仪，在工作期间，辐射工作人员将个人剂量报警仪佩戴在身上并保持开机状态，当剂量率达到报警阈值时（2.5μSv/h），个人剂量报警仪会立刻报警。

本项目辐射安全与防护措施分布详见附图 11~12，拟采取的辐射安全措施与《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的对照见表 10-3。

表 10-3　本项目辐射安全措施与标准对照一览表

序号	标准要求	拟采取措施	是否满足
1	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。	装置铅房检修门设置门机联锁装置，只有在铅房检修门均完全关闭后才能进行出束照射；铅房检修门被意外打开时，应能立刻停止出束，关上门时不能自动开始 X 射线照射；本项目装置铅房内有多个 X 射线管，每个 X 射线管均与检修门联锁。	满足
2	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。	每个整体机械装置顶部设有两个工作状态指示灯，黄灯表示整体机械装置待机（含 X 射线实时成像检测装置待机，不可自动出束），绿灯表示 X 射线管正在出束曝光（任一 X 射线管出束都是绿灯），红灯表示整体机械装置内任一部件故障；操作台设有每台 X 射线实时成像检测装置的工作状态指示灯（灯亮表示出束曝光检测状态，灯灭表示未进行出束曝光检测）；工作状态指示灯均与 X 射线管联锁；在醒目的位置处应有对工作状态指示灯信号意义的说明。 本项目 X 射线管均设置在 X 射线实时成像检测装置铅房内，正常工作时禁止进入装置铅房，故未安装声音提示装置。	满足
3	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。	装配车间内安装有视频监控装置，监控范围包括铅房、整体机械装置；铅房内部及整体机械装置内部、铅房外部均设有视频监控装置，通过操作台电脑控制系统可清楚地看见铅房、机械装置内情况。	满足
4	6.1.8 探伤室防护门上应有符合GB18871要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。	本项目 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置表面外应设置有“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及中文警示说明。	满足
5	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。	1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置操作台、铅房内部、整体机械装置内部（铅房外）和外部左右侧均设有紧急停机按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。紧急停机按钮均拟设置标签，标明使用方法。	满足
6	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。	1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置的通风口均在铅房顶部，机械通风装置设置在铅房顶部外、整体机械装置内。机械排风装置设计排风量约 200m³/h，铅房内净容积不超过 15.4m³，每小时有效通风换气次数约 12 次。	满足
7	6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	本项目正常工作情况下，铅房内部、整体机械装置内部均无人员停留，故无需配置固定式场所辐射探测报警装置。	/

		公司拟为每位辐射工作人员配备个人剂量报警仪，在工作期间，辐射工作人员将个人剂量报警仪佩戴在身上并保持开机状态，当剂量率达到报警阈值时（2.5μSv/h），个人剂量报警仪会立刻报警。	

5、探伤设施的退役要求

（1）当本项目 X 射线实时成像检测装置不再使用时，应根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）6.3 的要求实施退役：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。

（2）清除本项目涉及的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，本项目能够符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的相关辐射安全要求。

三废的治理

1、辐射污染治理

本项目运行后不会产生放射性固体废物及放射性废水。

2、非辐射污染治理

（1）废气

X 射线实时成像检测装置在工作状态下，产生的 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

本项目 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房顶部拟设通风口，机械通风装置设置在铅房顶部外、整体机械装置内。机械排风装置设计排风量约 200m^3/h，铅房内净容积不超过 15.4m^3，每小时有效通风换气次数约 12 次，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。同时，铅房所在的装配车间设有排风扇，少量臭氧和氮氧化物通过通风口排出装置铅房后，最终通过装配车间排风扇排入外环境。臭氧常温下 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

（2）生活污水、生活垃圾

本项目辐射工作人员产生少量生活污水和生活垃圾，生活污水依托公司污水处理装置、接管口接入市政污水管网，生活垃圾随公司其他生活垃圾一起委托环卫清运。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目 X 射线实时成像检测装置及其配套整体机械装置在设备厂家生产、组装，仅在本项目厂内完成安装，无厂房建设等土建内容，过程中会产生少量的噪声和固体废物。但本项目施工期较短，施工量不大，对厂房周围环境影响较小。施工期结束后，施工期环境影响将随之消失。

运行阶段对环境的影响

1、辐射环境影响分析

本项目 1 号 X 射线实时成像检测装置铅房内自西向东依次为 1#~6#X 射线管，主要通过 1 号装置铅房的“钢板+铅板+钢板”对 X 射线进行防护；2 号 X 射线实时成像检测装置铅房内自西向东依次为 7#~12#X 射线管，主要通过 2 号装置铅房的“钢板+铅板+钢板”对 X 射线进行防护。根据《辐射防护手册》（第三分册，李德平、潘自强主编）P63 表 3.4 不同屏蔽材料的铅当量，采用 150kV 下 11mm 钢板对应 1mm 铅当量（130kV 保守选用该换算数值），则等效后铅房各侧铅当量见表 11-1。

表 11-1 本项目 X 射线实时成像检测装置铅房各侧铅当量一览表

源点距离所在铅房外表面的最近距离见表 11-2。

表 11-2　本项目 X 射线实时成像检测装置 X 射线管射线源点距离所在装置铅房外表面的最近距离（mm）

本项目每台 X 射线实时成像检测装置周曝光时间不超过 144h，年曝光时间不超过 7200h。本次评价时选取 X 射线实时成像检测装置内 X 射线管同时满功率运行的工况进行预测，将铅房底部、顶部按照有用线束照射进行预测计算，将前（含检修门）、后、左、右按照非有用线束照射进行预测计算。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）中的计算公式。

本项目计算点位示意图见图 11-1（图上序号为计算点序号）。

1 号 X 射线实时成像检测装置计算点位（正视图，单位：mm）

1 号 X 射线实时成像检测装置计算点位（俯视图，单位：mm）

2 号 X 射线实时成像检测装置计算点位（正视图，单位：mm）

2 号 X 射线实时成像检测装置计算点位（俯视图，单位：mm）

图 11-1　本项目计算点位示意图

1.1 理论预测公式

（1）有用射束方向屏蔽效果预测公式

$$\dot{H}=\frac{I\cdot B\cdot H_0}{R^2} \quad (1)$$

式中：$\dot{H}$：关注点处剂量率，μSv/h；

H_0：距辐射源（靶点）1m 处输出量，参数由厂家提供，详见表 9-2；

I：X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，详见表 9-2；

R：辐射源靶点至关注点的距离，m；

B：透射因子，《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）图 B.1 为 150~400kV 管电压下，不同材质滤过条件下 X 射线穿过 0~40mm 铅的透射因子，本项目射线装置的参数不在图 B.1 范围内，故按公式（2）计算得出：

$$B=10^{-X/TVL} \quad (2)$$

式中：X：屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL：什值层厚度，mm。

（2）非有用线束屏蔽效果预测

①泄漏辐射

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_L\cdot B}{R^2} \quad (3)$$

式中：B：屏蔽透射因子，按公式（2）计算得到；

R：辐射源靶点至关注点的距离，单位为米（m）；

$\dot{H}_L$：距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，详见表 9-2。

②散射辐射

$$H=\frac{I\cdot H_0\cdot B}{R^2}\cdot\frac{F\cdot a}{R_0^{\ 2}} \quad (4)$$

式中：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 150kV 的 X 射线 90° 散射辐射最高能量对应的 kV 值为 150kV，故散射 TVL 取 150kV 对应的 TVL，再按公式（2）计算得到；130kV 射线装置散射辐射保守不考虑能量损失，散射 TVL 保守取主射线的 TVL，按公式（2）计算得到。

H_0：距辐射源点（靶点）1m 处输出量，μSv·m²/（mA·h），详见表 9-2；

I：X 射线装置最高管电压对应的常用最大电流，详见表 9-2；

F：R_0 处的辐射野面积，单位为平方米（m^2）；

R_0：辐射源点（靶点）至探伤工件的距离，单位为米（m）；

a：散射因子，入射辐射被单位面积（$1m^2$）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。与散射物质有关，在未获得相应物质的 a 值时，可以水的 a 值保守估计，见附录 B 表 B.3；

由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）B.4.2，本项目 R_0^2 /F·a 保守取 60；

R：散射体至关注点的距离，单位为米（m）。本次评价保守不考虑源点与工件散射体之间的距离，取源点至关注点的最近距离。

（3）人员周剂量当量/年剂量估算

$$H_c = \dot{H}_{cd} \times t \times U \times T \quad (5)$$

式中：H_c—参考点的周剂量当量/年剂量水平，μSv/周或 μSv/年；

$\dot{H}_{cd}$—参考点处剂量率，μSv/h；

t—受照时间，h/周或 h/年；

T—居留因子，无量纲；

U—使用因子，无量纲。

1.2 屏蔽计算结果

（1）1 号 X 射线实时成像检测装置

1 号 X 射线实时成像检测装置周围各关注点处的剂量控制水平和理论计算结果见表 11-3~6。

表 11-3　1 号 X 射线实时成像检测装置有用线束方向关注点剂量率计算结果表

关注点		屏蔽材料及厚度	射线管序号	I（mA）	H_0 μSv·m²/（mA·h）	B	R（m）	$\dot{H}$（μSv/h）	
（1）	底部							3.67E-04 3.67E-04	1.47E-03

		3.67E-04	
		3.67E-04	
（2）	下方一楼	2.47E-05	9.88E-05
		2.47E-05	
		2.47E-05	
		2.47E-05	
（3）	顶部	4.00E-08	8.00E-08
		4.00E-08	

表 11-4　1 号 X 射线实时成像检测装置泄漏射线关注点剂量率计算结果表

关注点		屏蔽材料及厚度	射线管序号	H_L（μSv/h）	B	R（m）	*H*（μSv/h）	
（1）	底部						1.31E-03	2.62E-03
							1.31E-03	
（2）	下方一楼						1.12E-05	2.24E-05
							1.12E-05	
（3）	顶部						6.81E-15	2.73E-14
							6.81E-15	
							6.81E-15	
							6.81E-15	
（4）	左（西）侧						4.64E-10	6.23E-10
							1.59E-10	
							1.07E-15	
							6.92E-16	
							5.06E-16	
							3.74E-16	
（5）	右（东）侧						2.71E-07	6.43E-07
							3.67E-07	
							3.70E-10	
							6.36E-10	
							1.19E-09	
							3.54E-09	
（6）	前（南）侧						2.26E-08	4.53E-08
							2.26E-08	
							2.05E-12	
							2.51E-12	
							2.05E-12	
							2.55E-12	

（7）	后（北）侧						3.49E-08	6.98E-08
							3.49E-08	
							4.07E-12	
							3.16E-12	
							4.07E-12	
							3.11E-12	

表 11-5　1 号 X 射线实时成像检测装置散射线关注点剂量率计算结果表

关注点		屏蔽材料及厚度	射线管序号	I（mA）	H_0 μSv·m²/（mA·h）	B	R（m）	$F \cdot a/R_0^2$	H（μSv/h）	
（1）	底部								9.20E-03	1.84E-02
									9.20E-03	
（2）	下方一楼								7.84E-05	1.57E-04
									7.84E-05	
（3）	顶部								1.27E-13	5.07E-13
									1.27E-13	
									1.27E-13	
									1.27E-13	
（4）	左（西）侧								3.25E-09	4.36E-09
									1.11E-09	
									1.98E-14	
									1.29E-14	
									9.42E-15	
									6.96E-15	
（5）	右（东）侧								1.89E-06	4.57E-06
									2.57E-06	
									6.88E-09	
									1.18E-08	
									2.22E-08	
									6.58E-08	
（6）	前（南）侧								1.58E-07	3.17E-07
									1.58E-07	
									3.82E-11	
									4.67E-11	
									3.82E-11	

									4.74E-11	
（7）	后（北）侧								2.44E-07 2.44E-07 7.57E-11 5.89E-11 7.57E-11 5.78E-11	4.89E-07

注：同表 11-3 注。

表 11-6　1 号 X 射线实时成像检测装置关注点剂量率计算结果评价表

关注点		有用线束（μSv/h）	漏射辐射（μSv/h）	散射辐射（μSv/h）	总剂量率（μSv/h）	剂量率参考控制水平（μSv/h）	评价
（1）	底部	1.47E-03	2.62E-03	1.84E-02	2.25E-02	2.5	达标
（2）	下方一楼	9.88E-05	2.24E-05	1.57E-04	2.78E-04	2.5	达标
（3）	顶部	8.00E-08	2.73E-14	5.07E-13	8.00E-08	100	达标
（4）	左（西）侧	0	6.23E-10	4.36E-09	4.98E-09	2.5	达标
（5）	右（东）侧	0	6.43E-07	4.57E-06	5.21E-06	2.5	达标
（6）	前（南）侧	0	4.53E-08	3.17E-07	3.62E-07	2.5	达标
（7）	后（北）侧	0	6.98E-08	4.89E-07	5.59E-07	2.5	达标

根据表 11-6，当本项目 1 号 X 射线实时成像检测装置内 1#~6#X 射线管同时满功率运行时，装置外 30cm 关注点处（底部为地面处）的最大辐射剂量率约为 0.0225μSv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中辐射屏蔽剂量率参考控制水平的要求。关注点剂量率水平最高的位置为 1 号 X 射线实时成像检测装置底部地面处，辐射操作人员操作位处（计算同铅房前侧）的剂量率为 3.62E-07μSv/h。

（2）2 号 X 射线实时成像检测装置

2 号 X 射线实时成像检测装置周围各关注点处的剂量控制水平和理论计算结果见表 11-7~10。

表 11-7　2 号 X 射线实时成像检测装置有用线束方向关注点剂量率计算结果表

关注点		屏蔽材料及厚度	射线管序号	I（mA）	H_0 μSv·m²/（mA·h）	B	R（m）	$\dot{H}$（μSv/h）	
（8）	底部							3.67E-04 3.67E-04 3.67E-04 3.67E-04	1.47E-03
（9）	下方一楼							2.47E-05 2.47E-05 2.47E-05 2.47E-05	9.88E-05

（10）	顶部							4.00E-08	8.00E-08
								4.00E-08	

表 11-8　2 号 X 射线实时成像检测装置泄漏射线关注点剂量率计算结果表

关注点		屏蔽材料及厚度	射线管序号	H_L（μSv/h）	B	R（m）	*H*（μSv/h）	
（8）	底部						1.31E-03	2.62E-03
							1.31E-03	
（9）	下方一楼						1.12E-05	2.24E-05
							1.12E-05	
（10）	顶部						6.81E-15	2.73E-14
							6.81E-15	
							6.81E-15	
							6.81E-15	
（11）	左（西）侧						3.54E-09	6.43E-07
							1.19E-09	
							6.36E-10	
							3.70E-10	
							3.67E-07	
							2.71E-07	
（12）	右（东）侧						3.74E-16	6.23E-10
							5.06E-16	
							6.92E-16	
							1.07E-15	
							1.59E-10	
							4.64E-10	
（13）	前（南）侧						2.55E-12	4.53E-08
							2.05E-12	
							2.51E-12	
							2.05E-12	
							2.26E-08	
							2.26E-08	
（14）	后（北）侧	1					3.11E-12	6.98E-08
							4.07E-12	
							3.16E-12	
							4.07E-12	
							3.49E-08	
							3.49E-08	

注：检修门在铅房前（南）侧，屏蔽材料及厚度同前（南）侧，计算点位同关注点（13）；

辐射工作人员在铅房前（南）侧操作，距离铅房约 0.3m，计算点位同关注点（13）；
电缆孔在 2 号 X 射线实时成像检测装置铅房右（东）侧，已采取相同效果的屏蔽防护措施，计算点位同关注点（12）；
通风口在 2 号 X 射线实时成像检测装置铅房顶部，已采取相同效果的屏蔽防护措施，计算点位同关注点（10）；
工件进出通道为弯管防护通道，在 2 号 X 射线实时成像检测装置铅房左（西）侧、右（东）侧，已采取与同侧铅房相同效果的屏蔽防护措施，工件进出通道外计算结果同关注点（11）、（12）；
R：为射线源点至装置铅房各侧的最近距离（详见表 11-2）+0.3m。

表 11-9　2 号 X 射线实时成像检测装置散射线关注点剂量率计算结果表

关注点		屏蔽材料及厚度	射线管序号	I（mA）	H_0 μSv·m²/（mA·h）	B	R（m）	$F \cdot a/R_0^2$	H（μSv/h）	
（8）	底部	6.64mm 铅当量							9.20E-03	1.84E-02
									9.20E-03	
（9）	下方一楼	6.64mm 铅当量							7.84E-05	1.57E-04
									7.84E-05	
（10）	顶部	12.36mm 铅当量							1.27E-13	5.07E-13
									1.27E-13	
									1.27E-13	
									1.27E-13	
（11）	左（西）侧	8.36mm 铅当量							6.58E-08	4.57E-06
									2.22E-08	
									1.18E-08	
									6.88E-09	
									2.57E-06	
									1.89E-06	
（12）	右（东）侧	12.36mm 铅当量							6.96E-15	4.36E-09
									9.42E-15	
									1.29E-14	
									1.98E-14	
									1.11E-09	
									3.25E-09	
（13）	前（南）侧	10.36mm 铅当量							4.74E-11	3.17E-07
									3.82E-11	
									4.67E-11	
									3.82E-11	
									1.58E-07	
									1.58E-07	
（14）	后（北）侧	10.36mm 铅当量							5.78E-11	4.89E-07
									7.57E-11	
									5.89E-11	
									7.57E-11	
									2.44E-07	
									2.44E-07	

注：同表 11-8 注。

表 11-10　2 号 X 射线实时成像检测装置关注点剂量率计算结果评价表

关注点		有用线束（μSv/h）	漏射辐射（μSv/h）	散射辐射（μSv/h）	总剂量率（μSv/h）	剂量率参考控制水平（μSv/h）	评价
（8）	底部	1.47E-03	2.62E-03	1.84E-02	2.25E-02	2.5	达标
（9）	下方一楼	9.88E-05	2.24E-05	1.57E-04	2.78E-04	2.5	达标
（10）	顶部	8.00E-08	2.73E-14	5.07E-13	8.00E-08	100	达标
（11）	左（西）侧	0	6.43E-07	4.57E-06	5.21E-06	2.5	达标
（12）	右（东）侧	0	6.23E-10	4.36E-09	4.98E-09	2.5	达标
（13）	前（南）侧	0	4.53E-08	3.17E-07	3.62E-07	2.5	达标
（14）	后（北）侧	0	6.98E-08	4.89E-07	5.59E-07	2.5	达标

根据表 11-10，当本项目 2 号 X 射线实时成像检测装置内 7#~12#X 射线管同时满功率运行时，装置外 30cm 关注点处（底部为地面处）的最大辐射剂量率约为 0.0225μSv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中辐射屏蔽剂量率参考控制水平的要求。关注点剂量率水平最高的位置为 2 号 X 射线实时成像检测装置底部地面处，辐射操作人员操作位处（计算同铅房前侧）的剂量率为 3.62E-07μSv/h。

1.3 天空反散射、地面反散射影响分析

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

根据表 11-6 可知，本项目 1 号 X 射线实时成像检测装置内 1#~6#X 射线管满功率运行时，装置铅房顶部外 30cm 处的辐射剂量率为 8.00E-08μSv/h，经天空反散射到达地面辐射剂量率远小于 8.00E-08μSv/h；底部地面处辐射剂量率为 2.25E-02μSv/h，经底部地面散射后剂量率将远小于 2.25E-02μSv/h。能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中辐射屏蔽剂量率参考控制水平的要求。

根据表 11-10 可知，本项目 2 号 X 射线实时成像检测装置内 7#~12#X 射线管满功率运行时，装置铅房顶部外 30cm 处的辐射剂量率为 8.00E-08μSv/h，经天空反散射到达地面辐射剂量率远小于 8.00E-08μSv/h；底部地面处辐射剂量率为 2.25E-02μSv/h，经底部地面散射后剂量率将远小于 2.25E-02μSv/h。能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中辐射屏蔽剂量率参考控制水平的要求。

1.4 电缆孔辐射防护效果分析

本项目 1 号 X 射线实时成像检测装置的电缆孔位于装置铅房左（西）侧，2 号 X 射线实时成像检测装置的电缆孔位于装置铅房右（东）侧，电缆孔均采用了迷宫式防护铅盒作为补充防护结构，迷宫式防护铅盒材料为“2mm 钢+12mm 铅+2mm 钢”（同所在侧铅房屏蔽材料）。X 射线在电缆孔的散射示意图如图 11-2。

图 11-2　电缆孔散射路径示意图

根据图 11-2，X 射线至少经过 3 次散射才能经电缆孔到达铅房外。根据《辐射防护导论》P189“实例也证明，如果一个能使辐射至少散射三次的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全”，可推断电缆孔处的辐射剂量率能够满足标准要求。

1.5 通风口辐射防护效果分析

本项目 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置的通风口均位于装置铅房顶部，机械通风装置设置在铅房顶部外、整体机械装置内。通风口处设有防护铅盒作为补充防护结构，铅盒材料为“2mm 钢+12mm 铅+2mm 钢”（同所在侧铅房屏蔽材料）。X 射线在通风口的散射示意图如图 11-3。

图 11-3　通风口散射路径示意图

根据图 11-3，X 射线至少经过 3 次散射才能经通风口到达装置铅房外。根据《辐射防护导论》P189“实例也证明，如果一个能使辐射至少散射三次的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全”，可推断通风口处的辐射剂量率能够满足标准要求。

1.6 工件进出通道辐射防护效果分析

X 射线实时成像检测装置铅房设两个工件进出通道，位于铅房左右（东西）两侧，为弯管防护结构，进出口高度和工件散射面高度不在同一水平面。X 射线在工件进出通道的散射示意图如图 11-4。

图 11-4　工件进出通道散射路径示意图

根据图 11-4，因进出口高度和工件散射面高度不在同一水平面，且进出口为弯管设计，故 X 射线至少经过 3 次散射才能经工件进出通道到达铅房外。根据《辐射防护导论》P189“实例也证明，如果一个能使辐射至少散射三次的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全”，可推断工件进出通道的辐射剂量率能够满足标准要求。

工件进出通道在铅房内的长度约 190mm，采用了与所在侧屏蔽相同的材料及厚度；与铅房接触处，工件进出通道外翻与铅房墙壁紧密搭接（缝隙小于 0.5mm），环形搭接宽度约 25mm，即工件进出通道外翻环形搭接宽度是搭接处缝隙的 10 倍以上，可确保工件进出通道不会破坏铅房屏蔽体的屏蔽效果。

1.7 装置铅房检修门辐射防护效果分析

本项目装置铅房的检修门为双开门，闭合处采用“止口搭接结构”设计，即两扇门中间形成的阶梯状咬合，具体见图 11-5。检修门闭合时两扇门的重叠区域宽度约 60mm，缝隙宽度不大于 3mm，双开门重叠部分大于门缝隙宽度的 10 倍；检修门与铅房屏蔽体的搭接厚度约 35mm，缝隙宽度不大于 3mm，检修门与铅房外壳重叠部分大于门缝隙宽度的 10 倍。即工件门所有搭接处的重叠宽度是缝隙宽度的 10 倍以上，可确保工件门不会破坏铅房屏蔽体的屏蔽效果。由此可以推断，本项目铅房检修门的搭接设计能够满足辐射防护要求。

图 11-5　检修门闭合后“止口搭接结构”设计意图（单位：mm）

1.8 人员受照剂量预测评价

本项目辐射工作人员为射线装置操作人员，公众主要为 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置实体边界外 50m 范围内其他人员。

本项目每台 X 射线实时成像检测装置每天 24h 自动运行，但仅在检测位处有工件

时出束曝光，故保守考虑，周曝光时间不超过 144h，年曝光时间不超过 7200h。每台 X 射线实时成像检测装置拟配备 2 名辐射工作人员，12 小时两班制，每班 1 人，故每人每天受照时间最多约 12h，每周受照时间最多约 72h（含训机时间），每年受照时间最多约 3600h（含训机时间）。

1#~6#、7#~12#X 射线管可能会同时出束曝光，1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房最近距离约 22.4m。本次人员受照剂量预测时，考虑换班，辐射工作人员、公众按照每天每班最大受照时间计算；并对 1 号 X 射线实时成像检测装置、2 号 X 射线实时成像检测装置评价范围重叠区域内人员在两个铅房的受照剂量进行叠加计算。

（1）1 号 X 射线实时成像检测装置周边人员受照剂量预测评价

将表 11-6 估算结果代入公式（5），计算得到 1 号 X 射线实时成像检测装置辐射工作人员及公众周剂量当量及年有效剂量。

表 11-11　1 号 X 射线实时成像检测装置周围人员周受照剂量结果评价

关注点		剂量率值（μSv/h）	居留因子	使用因子	周工作时间（h）	周剂量估算值（μSv）	周剂量当量参考控制水平（μSv）	评价
1 号 X 射线实时成像检测装置操作位	南侧	3.62E-07	1	1	72	2.61E-05	100（职业人员）	满足
2 号 X 射线实时成像检测装置操作位	东侧	5.21E-06	1	1	72	3.75E-04		
装配线 1 生产区	东侧	5.21E-06	1	1	72	3.75E-04	5（公众）	满足
车间内通道		5.21E-06	1/2	1	72	1.88E-04		
装配线 2 生产区		5.21E-06	1	1	72	3.75E-04		
厂房内过道		5.21E-06	1/2	1	72	1.88E-04		
9#动辅机房		5.21E-06	1/2	1	72	1.88E-04		
货梯		5.21E-06	1/8	1	72	4.69E-05		
9#楼梯		5.21E-06	1/8	1	72	4.69E-05		
2#配电间		5.21E-06	1/2	1	72	1.88E-04		
10#动辅机房		5.21E-06	1/2	1	72	1.88E-04		
配电房		5.21E-06	1/2	1	72	1.88E-04		
厂区内通道		5.21E-06	1/8	1	72	4.69E-05		
厂外空地		5.21E-06	1/10	1	72	3.75E-05		
装配线 1、2 生产区	南侧	3.62E-07	1	1	72	2.61E-05		
装配维修间		3.62E-07	1	1	72	2.61E-05		
装配线 1 生产区	西侧	4.98E-09	1	1	72	3.59E-07		
负极极卷静置库		4.98E-09	1	1	72	3.59E-07		
正极极卷静置库		4.98E-09	1	1	72	3.59E-07		
厂房内过道		4.98E-09	1/2	1	72	1.79E-07		
2#动辅机房		4.98E-09	1/2	1	72	1.79E-07		
7#卫生间		4.98E-09	1/8	1	72	4.48E-08		

2#楼梯		4.98E-09	1/8	1	72	4.48E-08		
3#动辅机房		4.98E-09	1/2	1	72	1.79E-07		
货梯		4.98E-09	1/8	1	72	4.48E-08		
3#楼梯		4.98E-09	1/8	1	72	4.48E-08		
4#动辅机房		4.98E-09	1/2	1	72	1.79E-07		
厂区内通道		4.98E-09	1/8	1	72	4.48E-08		
1#甲类危化品仓库		4.98E-09	1/2	1	72	1.79E-07		
装配线 1、2 生产区	北侧	5.59E-07	1	1	72	4.02E-05		
2#厂房一楼车间及辅房	下方一楼	2.78E-04	1	1	72	0.0200		

注：保守不考虑墙壁、楼板的屏蔽效果。

从表 11-11 中预测结果可以看出，本项目 1 号 X 射线实时成像检测装置周围辐射工作人员周剂量当量最大值为＜0.001μSv，公众成员周剂量当量最大值为 0.0200μSv，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）剂量限值和本项目的要求：职业人员周剂量当量不超过 100μSv，公众周剂量当量不超过 5μSv。

表 11-12　1 号 X 射线实时成像检测装置周围人员年受照有效剂量结果评价

关注点		剂量率值（μSv/h）	居留因子	使用因子	年工作时间（h）	年剂量估算值（mSv）	年剂量约束值（mSv）	评价
1 号 X 射线实时成像检测装置操作位	南侧	3.62E-07	1	1	3600	1.30E-06	5（职业人员）	满足
2 号 X 射线实时成像检测装置操作位	东侧	5.21E-06	1	1	3600	1.88E-05		
装配线 1 生产区	东侧	5.21E-06	1	1	3600	1.88E-05	0.1（公众）	满足
车间内通道		5.21E-06	1/2	1	3600	9.38E-06		
装配线 2 生产区		5.21E-06	1	1	3600	1.88E-05		
厂房内过道		5.21E-06	1/2	1	3600	9.38E-06		
9#动辅机房		5.21E-06	1/2	1	3600	9.38E-06		
货梯		5.21E-06	1/8	1	3600	2.34E-06		
9#楼梯		5.21E-06	1/8	1	3600	2.34E-06		
2#配电间		5.21E-06	1/2	1	3600	9.38E-06		
10#动辅机房		5.21E-06	1/2	1	3600	9.38E-06		
配电房		5.21E-06	1/2	1	3600	9.38E-06		
厂区内通道		5.21E-06	1/8	1	3600	2.34E-06		
厂外空地		5.21E-06	1/10	1	3600	1.88E-06		
装配线 1、2 生产区	南侧	3.62E-07	1	1	3600	1.30E-06		
装配维修间		3.62E-07	1	1	3600	1.30E-06		
装配线 1 生产区	西侧	4.98E-09	1	1	3600	1.79E-08		
负极极卷静置库		4.98E-09	1	1	3600	1.79E-08		
正极极卷静置库		4.98E-09	1	1	3600	1.79E-08		
厂房内过道		4.98E-09	1/2	1	3600	8.96E-09		
2#动辅机房		4.98E-09	1/2	1	3600	8.96E-09		

7#卫生间		4.98E-09	1/8	1	3600	2.24E-09		
2#楼梯		4.98E-09	1/8	1	3600	2.24E-09		
3#动辅机房		4.98E-09	1/2	1	3600	8.96E-09		
货梯		4.98E-09	1/8	1	3600	2.24E-09		
3#楼梯		4.98E-09	1/8	1	3600	2.24E-09		
4#动辅机房		4.98E-09	1/2	1	3600	8.96E-09		
厂区内通道		4.98E-09	1/8	1	3600	2.24E-09		
1#甲类危化品仓库		4.98E-09	1/2	1	3600	8.96E-09		
装配线 1、2 生产区	北侧	5.59E-07	1	1	3600	2.01E-06		
2#厂房一楼车间及辅房	下方一楼	2.78E-04	1	1	3600	0.0010		

注：保守不考虑墙壁、楼板的屏蔽效果。

从表 11-12 中预测结果可以看出，本项目 1 号 X 射线实时成像检测装置周围辐射工作人员年有效剂量最大值为＜0.001mSv，公众成员年有效剂量最大值为 0.0010mSv，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：职业人员年有效受照剂量不超过 5mSv，公众年有效受照剂量不超过 0.1mSv。

（2）2 号 X 射线实时成像检测装置周边人员受照剂量预测评价

将表 11-10 估算结果代入公式（5），计算得到 2 号 X 射线实时成像检测装置辐射工作人员及公众周剂量当量及年有效剂量。

表 11-13　2 号 X 射线实时成像检测装置周围人员周受照剂量结果评价

关注点		剂量率值（μSv/h）	居留因子	使用因子	周工作时间（h）	周剂量估算值（μSv）	周剂量当量参考控制水平（μSv）	评价
2 号 X 射线实时成像检测装置操作位	南侧	3.62E-07	1	1	72	2.61E-05	100（职业人员）	满足
1 号 X 射线实时成像检测装置操作位	西侧	5.21E-06	1	1	72	3.75E-04		
装配线 2 生产区		4.98E-09	1	1	72	3.59E-07	5（公众）	满足
厂房内过道		4.98E-09	1/2	1	72	1.79E-07		
8#楼梯		4.98E-09	1/8	1	72	4.48E-08		
9#动辅机房		4.98E-09	1/2	1	72	1.79E-07		
货梯		4.98E-09	1/8	1	72	4.48E-08		
9#楼梯	东侧	4.98E-09	1/8	1	72	4.48E-08		
2#配电间		4.98E-09	1/2	1	72	1.79E-07		
10#动辅机房		4.98E-09	1/2	1	72	1.79E-07		
配电房		4.98E-09	1/2	1	72	1.79E-07		
厂区内通道		4.98E-09	1/8	1	72	4.48E-08		
厂外空地		4.98E-09	1/10	1	72	3.59E-08		
装配线 1、2 生产区	南侧	3.62E-07	1	1	72	2.61E-05		

装配维修间		3.62E-07	1	1	72	2.61E-05		
装配线 2 生产区	西侧	5.21E-06	1	1	72	3.75E-04		
车间内通道		5.21E-06	1/2	1	72	1.88E-04		
装配线 1 生产区		5.21E-06	1	1	72	3.75E-04		
负极极卷静置库		5.21E-06	1	1	72	3.75E-04		
正极极卷静置库		5.21E-06	1	1	72	3.75E-04		
厂房内过道		5.21E-06	1/2	1	72	1.88E-04		
3#动辅机房		5.21E-06	1/2	1	72	1.88E-04		
装配线 1、2 生产区	北侧	5.59E-07	1	1	72	4.02E-05		
2#厂房一楼车间及辅房	下方一楼	2.78E-04	1	1	72	0.0200		

注：保守不考虑墙壁、楼板的屏蔽效果。

从表 11-13 中预测结果可以看出，本项目 2 号 X 射线实时成像检测装置周围辐射工作人员周剂量当量最大值为＜0.001μSv，公众成员周剂量当量最大值为 0.0200μSv，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）剂量限值和本项目的要求：职业人员周剂量当量不超过 100μSv，公众周剂量当量不超过 5μSv。

表 11-14　2 号 X 射线实时成像检测装置周围人员年受照有效剂量结果评价

关注点		剂量率值（μSv/h）	居留因子	使用因子	年工作时间（h）	年剂量估算值（mSv）	年剂量约束值（mSv）	评价
2 号 X 射线实时成像检测装置操作位	南侧	3.62E-07	1	1	3600	1.30E-06	5（职业人员）	满足
1 号 X 射线实时成像检测装置操作位	西侧	5.21E-06	1	1	3600	1.88E-05		
装配线 2 生产区	东侧	4.98E-09	1	1	3600	1.79E-08	0.1（公众）	满足
厂房内过道		4.98E-09	1/2	1	3600	8.96E-09		
8#楼梯		4.98E-09	1/8	1	3600	2.24E-09		
9#动辅机房		4.98E-09	1/2	1	3600	8.96E-09		
货梯		4.98E-09	1/8	1	3600	2.24E-09		
9#楼梯		4.98E-09	1/8	1	3600	2.24E-09		
2#配电间		4.98E-09	1/2	1	3600	8.96E-09		
10#动辅机房		4.98E-09	1/2	1	3600	8.96E-09		
配电房		4.98E-09	1/2	1	3600	8.96E-09		
厂区内通道		4.98E-09	1/8	1	3600	2.24E-09		
厂外空地		4.98E-09	1/10	1	3600	1.79E-09		
装配线 1、2 生产区	南侧	3.62E-07	1	1	3600	1.30E-06		
装配维修间		3.62E-07	1	1	3600	1.30E-06		
装配线 2 生产区	西侧	5.21E-06	1	1	3600	1.88E-05		
车间内通道		5.21E-06	1/2	1	3600	9.38E-06		
装配线 1 生产区		5.21E-06	1	1	3600	1.88E-05		
负极极卷静置库		5.21E-06	1	1	3600	1.88E-05		
正极极卷静置库		5.21E-06	1	1	3600	1.88E-05		

厂房内过道		5.21E-06	1/2	1	3600	9.38E-06		
3#动辅机房		5.21E-06	1/2	1	3600	9.38E-06		
装配线 1、2 生产区	北侧	5.59E-07	1	1	3600	2.01E-06		
2#厂房一楼车间及辅房	下方一楼	2.78E-04	1	1	3600	0.0010		

注：保守不考虑墙壁、楼板的屏蔽效果。

从表 11-14 中预测结果可以看出，本项目 2 号 X 射线实时成像检测装置周围辐射工作人员年有效剂量最大值为＜0.001mSv，公众成员年有效剂量最大值为 0.0010mSv，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：职业人员年有效受照剂量不超过 5mSv，公众年有效受照剂量不超过 0.1mSv。

（3）叠加影响

评价范围内同时经 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置受照的周剂量情况见表 11-15，年受照剂量见表 11-16。

表 11-15　叠加后周受照剂量结果评价

关注点		1 号装置周剂量（μSv）	2 号装置周剂量（μSv）	叠加后周剂量（μSv）	周剂量当量参考控制水平（μSv）	评价
1 号装置操作位		2.61E-05	3.75E-04	4.01E-04	100（职业人员）	满足
2 号装置操作位		3.75E-04	2.61E-05	4.01E-04		
装配线 1 生产区	1 号装置东侧 2 号装置西侧	3.75E-04	3.75E-04	7.50E-04	5（公众）	满足
车间内通道		1.88E-04	1.88E-04	3.76E-04		
装配线 2 生产区		3.75E-04	3.75E-04	7.50E-04		
装配线 2 生产区	1 号、2 号装置东侧	3.75E-04	3.59E-07	3.75E-04		
厂房内过道		1.88E-04	1.79E-07	1.88E-04		
9#动辅机房		1.88E-04	1.79E-07	1.88E-04		
货梯		4.69E-05	4.48E-08	4.69E-05		
9#楼梯		4.69E-05	4.48E-08	4.69E-05		
2#配电间		1.88E-04	1.79E-07	1.88E-04		
10#动辅机房		1.88E-04	1.79E-07	1.88E-04		
配电房		1.88E-04	1.79E-07	1.88E-04		
厂区内通道		4.69E-05	4.48E-08	4.69E-05		
厂外空地		3.75E-05	3.59E-08	3.75E-05		
装配线 1、2 生产区	1 号、2 号装置南侧	2.61E-05	2.61E-05	5.22E-05		
装配维修间		2.61E-05	2.61E-05	5.22E-05		
装配线 1 生产区	1 号、2 号装置西侧	3.59E-07	3.75E-04	3.75E-04		
负极极卷静置库		3.59E-07	3.75E-04	3.75E-04		
正极极卷静置库		3.59E-07	3.75E-04	3.75E-04		
厂房内过道		1.79E-07	1.88E-04	1.88E-04		

3#动辅机房		1.79E-07	1.88E-04	1.88E-04		
装配线 1、2 生产区	1 号、2 号装置北侧	4.02E-05	4.02E-05	8.04E-05		
2#厂房一楼车间及辅房	下方一楼	0.0200	0.0200	0.0400		

注：“X 射线实时成像检测装置”简称“装置”。

表 11-16　叠加后年受照剂量结果评价

关注点		1 号装置年剂量（mSv）	2 号装置年剂量（mSv）	叠加后年剂量（mSv）	年剂量约束值（mSv）	评价
1 号装置操作位		1.30E-06	1.88E-05	2.01E-05	5（职业人员）	满足
2 号装置操作位		1.88E-05	1.30E-06	2.01E-05		
装配线 1 生产区	1 号装置东侧 2 号装置西侧	1.88E-05	1.88E-05	3.76E-05	0.1（公众）	满足
车间内通道		9.38E-06	9.38E-06	1.88E-05		
装配线 2 生产区		1.88E-05	1.88E-05	3.76E-05		
装配线 2 生产区	1 号、2 号装置东侧	1.88E-05	1.79E-08	1.88E-05		
厂房内过道		9.38E-06	8.96E-09	9.39E-06		
9#动辅机房		9.38E-06	8.96E-09	9.39E-06		
货梯		2.34E-06	2.24E-09	2.34E-06		
9#楼梯		2.34E-06	2.24E-09	2.34E-06		
2#配电间		9.38E-06	8.96E-09	9.39E-06		
10#动辅机房		9.38E-06	8.96E-09	9.39E-06		
配电房		9.38E-06	8.96E-09	9.39E-06		
厂区内通道		2.34E-06	2.24E-09	2.34E-06		
厂外空地		1.88E-06	1.79E-09	1.88E-06		
装配线 1、2 生产区	1 号、2 号装置南侧	1.30E-06	1.30E-06	2.60E-06		
装配维修间		1.30E-06	1.30E-06	2.60E-06		
装配线 1 生产区	1 号、2 号装置西侧	1.79E-08	1.88E-05	1.88E-05		
负极极卷静置库		1.79E-08	1.88E-05	1.88E-05		
正极极卷静置库		1.79E-08	1.88E-05	1.88E-05		
厂房内过道		8.96E-09	9.38E-06	9.39E-06		
3#动辅机房		8.96E-09	9.38E-06	9.39E-06		
装配线 1、2 生产区	1 号、2 号装置北侧	2.01E-06	2.01E-06	4.02E-06		
2#厂房一楼车间及辅房	下方一楼	0.0010	0.0010	0.0020		

注：“X 射线实时成像检测装置”简称“装置”。

根据表 11-15、16，叠加后，本项目 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置周围辐射工作人员周剂量当量最大值为＜0.001μSv，公众成员周剂量当量最大值为 0.0400μSv；辐射工作人员年有效剂量最大值为＜0.001mSv，公众成员年有效剂量最大值为 0.0020mSv。均能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）剂量限值和本项目的要求：职业人员周剂量当量不超过 100μSv，公众周剂量当量不超过 5μSv；

职业人员年有效受照剂量不超过 5mSv，公众年有效受照剂量不超过 0.1mSv。

综上本项目扩建的 X 射线实时成像检测装置的屏蔽设计满足辐射防护要求。

2、三废的治理

（1）废气处理措施评价

X 射线实时成像检测装置在工作状态下，产生的 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

本项目 X 射线实时成像检测装置铅房顶部拟设通风口，配备风机对装置铅房内进行换气，每个铅房的排风扇有效通风量约为 200m^3/h，铅房内净容积不超过 15.4m^3，每小时能对曝光室内进行约 12 次有效换气，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。同时，X 射线实时成像检测装置所在的装配车间设有排风扇，少量臭氧和氮氧化物通过通风口排出铅房后，最终通过装配车间排风扇排入外环境。臭氧常温下 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

（2）废水、固体废物处理措施

本项目辐射工作人员产生少量生活污水和生活垃圾，生活污水依托公司污水处理装置、接管口接入市政污水管网，生活垃圾随公司其他生活垃圾一起委托环卫清运。

事故影响分析

1、事故分级

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。本项目拟使用的 X 射线实时成像检测装置属于II类射线装置，根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《江苏省辐射污染防治条例》的规定，该类射线装置可能发生的事故是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射，通常情况下属于一般辐射事故。

2、可能发生的辐射事故

（1）门-机联锁装置失灵，X 射线实时成像检测装置铅房检修门未关闭就进行检测探伤作业或者检测探伤时铅房检修门被意外打开时不能立即停止出束，可能造成 X 射线泄漏到铅房外面，给周围活动的人员造成不必要的照射。

（2）机器调试、检修时误照。X 射线实时成像检测装置在调试或检修过程中，责任者脱岗，无关人员由前侧检修门进入装置铅房内部、不注意防护或他人误开机，可能给周围活动的人员造成不必要的照射。

（3）设备检修时，没有采取可靠的断电措施，意外开机致使检修人员意外受照。

3、事故工况估算

（1）事故假设

安全联锁装置发生故障，检修门未关闭时人员开机工作受到误照射。

（2）剂量估算

假定在事故情况下，保守按照事故人员同时受到装置内 6 个射线管主射线的影响。当发生辐射事故时，相关人员可以立即通过急停按钮中断电源，整个处理时间保守估计约 1min，该名人员未穿戴铅衣等个人防护用品。本项目 X 射线实时成像检测装置作业发生事故时对受照人员的有效剂量计算结果见表 11-17。

表 11-17　本项目 X 射线实时成像检测装置事故情况下人员受到的剂量估算

（3）事故后果

4、辐射事故预防措施

（1）严格要求辐射工作人员按照操作规程进行检测作业，每次检测前均检查门机联锁、急停按钮等安全措施的有效性。

（2）定期检测 X 射线实时成像检测装置铅房周围的辐射水平，确保工作安全有效运转。

（3）公司在实际工作中应不断对辐射安全管理制度进行完善，加强职工辐射防护知识的培训。

（4）定期检查 X 射线实时成像检测装置、监测仪器的性能，尽可能避免辐射事故的发生。

（5）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，装置运行时定期巡测铅房周围剂量率水平。当个人剂量报警仪发出报警时（报警阈值设为 2.5μSv/h），辐射工作人员应尽快采取应对措施。

（6）人员进入装置进行维修时，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，人员立即退出装置铅房，同时防止其他人进入，并立即向辐射防护负责人报告。铅房外部另有一人陪同，防止误开机使人员受到照射。

5、辐射事故处置方法

（1）切断装置电源，确保 X 射线实时成像检测装置停止出束并确保人员立即转移。

（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。

（4）出现事故后，应尽快组织人力、物力，有组织、有计划地进行处理，要在合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

清陶动力科技发展（昆山）有限公司应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行无损检测作业，每次无损检测前均检查门机联锁、急停按钮等安全措施的有效性，定期监测 X 射线实时成像检测装置铅房周围的辐射水平，确保工作安全有效运转。同时，公司在实际工作中应不断对辐射安全管理制度进行完善，加强职工辐射防护知识的培训，定期检查探伤设备及监测仪器的性能，尽可能避免辐射事故的发生。

根据《江苏省辐射污染防治条例》第二十六条，公司制定的辐射事故应急方案，报所在地生态环境主管部门备案，发生辐射事故的，应当立即启动事故应急预案，采取必要防范措施，并在事故发生后一小时内向公安机关、卫生健康主管部门和生态环境主管部门报告，禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

本项目拟使用的射线装置为II类装置。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《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》等法律法规要求，使用II类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。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。

清陶动力科技发展（昆山）有限公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确了管理人员职责，辐射防护负责人已通过类别为“辐射安全管理”的线上考核。

本项目拟新增 4 名辐射工作人员专门从事本项目 X 射线实时成像检测装置的辐射工作，均需通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加类别为“X 射线探伤”的核技术利用辐射安全与防护考核，通过考核后，方能从事本项目辐射工作。

辐射工作人员及辐射防护负责人持有的原辐射安全培训合格证书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方可继续上岗。

辐射安全管理规章制度

清陶动力科技发展（昆山）有限公司已根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等文件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、台账管理制度、事故应急方案等。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，满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。公司相关制度均已落实且严格执行，公司各项辐射安全管理制度执行情况良好。

本项目为扩建项目，公司应将本项目纳入日常管理内，还应根据本项目情况对相关辐射安全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。本报告对各项管理制度要点提出如下建议进行完善：

操作规程：明确本项目辐射工作人员的资质条件要求、操作的具体流程及操作过程中应采取的具体防护措施，重点是明确 X 射线实时成像检测装置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：明确岗位职责、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

辐射防护和安全保卫制度：根据公司的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是X射线实时成像检测装置的安全防护和管理落实到个人。

设备检修维护制度：明确X射线实时成像检测装置的各项安全联锁装置、辐射监测设备维修计划、在日常运行过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保X射线实时成像检测装置、剂量报警仪等仪器保持良好的工作状态。

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

辐射环境监测方案：完善辐射环境监测方案，方案中应明确监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。

个人剂量监测和职业健康体检制度：完善个人剂量监测和职业健康体检制度，明确辐射工作人员开展辐射工作时应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测。个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量监测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标。明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，并完善个人累积剂量和职业健康体检档案。

台账管理制度：对X射线实时成像检测装置使用情况进行登记，标明设备名称、型号、电压、电流等，并对装置使用进行严格管理。当X射线实时成像检测装置不再使用时，应实施退役程序。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，并及时在台账中进行更新。

辐射事故应急方案：针对可能产生的辐射事故完善辐射事故应急方案，明确X射线实时成像检测装置辐射防护措施及事故处理程序等。公司制定的辐射事故应急方案，报所在地生态环境主管部门备案，发生辐射事故的，应当立即启动事故应急预案，采取必要防范措施，并在事故发生后一小时内向公安机关、卫生健康主管部门和生态环境主管部门报告，禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。建设单位事故应急预案应做好与苏州市辐射事故应急预案/突发环境事件应急预案的衔接。

本项目 X 射线实时成像检测装置操作人员应在公司辐射安全与防护领导小组的领导下，明确各人员岗位职责，严格落实辐射安全管理规章制度，定期对设备的安全措施进行检查。此外，对于操作规程、岗位职责和辐射事故应急方案响应程序等制度

应张贴于铅房拟建处附近的醒目处。

辐射监测

本项目为扩建项目，公司已配备 1 台环境辐射剂量巡测仪、6 台个人剂量报警仪；已为现有辐射工作人员建立了个人剂量档案，定期进行个人剂量监测及职业健康体检；公司现有核技术利用项目自正式投入运行至今尚未满 3 个月，故尚无个人剂量检测结果；公司委托有资质单位每年对现有射线装置周围环境进行辐射水平监测。本项目对监测方案及监测仪器提出如下要求。

1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用射线装置的单位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，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

本项目拟沿用现有 1 台环境辐射剂量巡测仪，另新增 2 台个人剂量报警仪、4 台个人剂量仪，配备后将能够满足辐射监测仪器配置要求。表 12-1 为本项目仪器推荐技术参数，实际采购设备参数以到货设备为准，性能不低于现行规范及本报告控制要求。

表 12-1　本项目新增监测仪器主要技术参数

设备名称	数量	报警阈值	用途	备注	主要技术参数
环境辐射剂量巡测仪	1	2.5μSv/h	用于 X 射线实时成像检测装置周围剂量当量率的日常监测	依托现有	剂量率测量范围：0.01μSv/h~15mSv/h 累积剂量范围：0.00μSv/h~999Sv/h 能量响应范围：48keV~3MeV 相对基本误差：≤±5%
个人剂量报警仪	2	2.5μSv/h	辐射工作人员个人佩戴，当周围剂量率达到预设的报警值时，发出警报	本次增加	能量响应范围：48keV~3MeV 剂量率测量范围：0.01μSv/h~1mSv/h 相对基本误差：≤±5%
个人剂量仪	4	/	辐射工作人员个人佩戴，监测累积剂量，定期送检	本次增加	探测原理：热释光/光释光探测 最低探测限：≤0.1mSv 测量量程：0.1mSv～10Sv

2、监测方案

（1）本项目环境保护设施竣工后 3 个月内（最长不超过 1 年），委托有资质单位对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行监测；

（2）公司每年（不少于 1 次/年）委托有资质单位定期对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行监测，并选择部分关注点位开展 γ 辐射空气吸收剂量率（开关机时各测量一次）监测。

（3）在进行检测作业时，公司定期（建议每 3 个月一次）对辐射工作场所和周围

环境的辐射水平进行监测，并做好相关记录；

（4）本项目辐射工作人员均佩戴个人剂量计监测累积剂量，定期（最长不超过 3 个月/次）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案；

（5）公司定期（两次检查的时间间隔不应超过 2 年）安排辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康档案；

表 12-2　本项目辐射监测计划

监测项目		监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	控制要求
工作场所及周围环境监测	竣工验收监测	X-γ 辐射剂量率	委托资质单位监测，建设项目竣工后 3 个月内，最长不超过 1 年	①X 射线实时成像检测装置铅房屏蔽体外、检测门外、门缝隙处、通风口、电缆孔、工件进出通道外 30cm 处，操作位、下方一楼； ②X 射线实时成像检测装置铅房外周围人员经常活动的位置。	辐射剂量率不大于 2.5μSv/h（铅房顶部外 30cm 处不大于 100μSv/h）
	年度监测	X-γ 辐射剂量率	委托资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	X-γ 辐射剂量率	自主监测，建议每 3 个月一次		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	委托有资质单位监测，最长不超过 3 个月/次	/	年有效剂量不超过 5mSv

本项目运行后，应落实上述监测方案，方能满足辐射安全管理的要求。

辐射事故应急

根据关于应急报告与处理的相关要求，清陶动力科技发展（昆山）有限公司已依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》《江苏省辐射污染防治条例》的要求制定了辐射事故应急方案，应急预案内容有：

（1）应急机构、组成人员以及职责分工；

（2）辐射事故分级与应急响应措施；

（3）应急人员的组织、培训、联系方式以及应急救助的装备、资金、物资准备；

（4）辐射事故调查、报告和处理程序；

（5）应急演习计划。

公司明确了辐射事故应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急演练，辐射事故分类与应急响应的措施，明确了事故情况下应采取的防护措施和执行程序。公司制定的事故应急预案较为全面，并具有一定的可行性，公司开展辐射活动至今，未发生过辐射安全事故。

公司应针对本项目装置可能产生的辐射事故情况完善辐射事故应急预案，明确 X

射线实时成像检测装置辐射防护措施及事故处理程序等，使其具有一定的可操作性。公司应加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结；积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，尽可能避免辐射事故的发生，并将演练记录在案。

根据《江苏省辐射污染防治条例》第二十六条，公司制定的辐射事故应急方案，报所在地生态环境主管部门备案，发生辐射事故的，应当立即启动事故应急预案，采取必要防范措施，并在事故发生后一小时内向公安机关、卫生健康主管部门和生态环境主管部门报告，禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

表 13 结论与建议

结论

1、项目概况

清陶动力科技发展（昆山）有限公司因“年产 10GWh 固态动力电池一期项目”检测需要，区分固态锂电池电芯的良品和不良品，拟在 2#厂房装配车间内建设 2 台 X 射线实时成像检测装置用于固态锂电池电芯无损检测。

2、实践正当性评价

本项目的建设将满足企业的生产需求、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，其建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则。

3、选址、布局合理性评价

清陶动力科技发展（昆山）有限公司位于苏州市昆山市开发区剑湖路北侧、蓬溪路西侧，公司东面隔空地为蓬溪北路河、蓬溪北路、空地，南面隔剑湖路为恒美光电股份有限公司，西面为深圳建业、昆山聚创新能源科技有限公司，北面隔东光路为空地、东电光电半导体设备（昆山）有限公司。

本项目 2 台 X 射线实时成像检测装置拟建于 2#厂房 2 层装配车间内，其中 1 号 X 射线实时成像检测装置布置在装配线 1 中部，1 号装置内自西向东依次为 1#~6#X 射线管；2 号 X 射线实时成像检测装置布置在装配线 2 中部，2 号装置内自西向东依次为 7#~12# X 射线管；装配线 1、装配线 2 镜像并列、相邻、南北向布置在装配车间内，自西向东依次为装配线 1、车间内通道、装配线 2。本项目 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房拟建址周围 50m 评价范围内主要为清陶动力科技发展（昆山）有限公司厂区、厂区外空地，无居民区、学校等环境敏感目标。

本项目X射线实时成像检测装置主射线自上向下/自下向上，出束角的照射范围仅在装置铅房底部、顶部；操作台在装置铅房前（南）侧，辐射工作人员在操作台前（南）工作，避开了X射线主射线方向，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开”的要求，布局设计合理。

本项目装置铅房和辅助上下料、传输的物流线（磁悬浮环形线）、扫码设备、上下料机械手等装置设计为一套整体机械装置布置在装配线1、装配线2的生产线上，装置铅房（内含X射线管）嵌套在整体机械装置的南部；装置铅房设两个检修门，正常工作期间均上锁关闭；整体机械装置另设置检修门，该检修门无法进入铅房内部，仅用于对铅房外的辅助上下料、传输的设备进行检维修。正常工作期间，辐射操作人员无需进入铅房、整体机械装置内部。

故本项目以1号、2号X射线实时成像检测装置铅房设置为控制区（图10-1红色区域内），在装置铅房外表面醒目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。将两个整体机械装置内除铅房外的区域及其前（南）侧外0.8m（包括操作台）作为监督区边界，在整体机械装置前（南）侧外0.8m张贴地标，在监督区边界和入口处（即地标处和整体机械装置的检修门上）张贴监督区标牌。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。

4、辐射防护措施评价

根据估算结果，本项目 X 射线实时成像检测装置铅房的辐射防护设计能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的要求。

5、辐射安全措施评价

本项目 X 射线实时成像检测装置采取的辐射安全装置和保护措施如下：

装置铅房检修门均设置门机联锁装置，检修门内设有紧急开门装置；铅房顶部、操作台设工作状态指示灯，与 X 射线管联锁，在醒目的位置处应有对工作状态指示灯信号意义的说明；装置铅房表面外设置有“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及中文警示说明；1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置操作台上设有钥匙开关，控制整体机械装置的通电情况（含 X 射线实时成像检测装置），只有在打开钥匙开关后，X 射线实时成像检测装置才能通电开机，后续才能开启自动检测程序，钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出；1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置操作台、铅房内部、整体机械装置内部（铅房外）和外部左右侧均设有紧急停机按钮，紧急停机按钮均拟设置标签，标明使用方法；装配车间内安装有视频监控装置，监控范围包括铅房、整体机械装置；铅房内部、整体机械装置内部（铅房外）设有视频监控装置，通过操作台电脑控制系统可清楚地看见铅房、整体机械装置内情况；铅房顶部设有机械通风装置，设计排风量约 200m^3/h。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

6、保护目标剂量评价

根据理论预测结果，本项目投入运行后辐射工作人员和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》（GB18871-2002）中对职业人员和公众有效剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求：职业人员周剂量当量不超过100μSv，公众周剂量当量不超过 5μSv；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。

7、三废处理处置

本项目无放射性三废产生。

本项目 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房顶部拟设通风口，机械通风装置设置在装置铅房顶部外、整体机械装置内。机械排风装置设计排风量约 200m^3/h，铅房内净容积不超过 15.4m^3，每小时有效通风换气次数约 12 次，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。同时，铅房所在的装配车间设有排风扇，少量臭氧和氮氧化物通过通风口排出铅房后，最终通过装配车间排风扇排入外环境。臭氧常温下 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

本项目辐射工作人员产生少量生活污水和生活垃圾，生活污水依托公司污水处理装置、接管口接入市政污水管网，生活垃圾随公司其他生活垃圾一起委托环卫清运。

8、辐射安全管理

公司已成立辐射防护管理机构，并以文件的形式明确各成员管理职责，同时拟在本项目运行前完善各项辐射安全管理制度。公司现有辐射防护负责人已通过类别为“辐射安全管理”的线上考核。本项目拟新增 4 名辐射工作人员专门从事本项目 X 射线实时成像检测装置的辐射工作，均需通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加类别为“X 射线探伤”的核技术利用辐射安全与防护考核，通过考核后，方能从事本项目辐射工作。

公司拟对本项目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个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

本项目拟沿用现有 1 台环境辐射剂量巡测仪，另新增 2 台个人剂量报警仪、4 台个人剂量仪，配备后将能够满足辐射监测仪器配置要求。

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。

可行性分析结论

综上所述，清陶动力科技发展（昆山）有限公司扩建 2 台 X 射线实时成像检测装置项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

（1）本项目需在主体项目相关设施建成投运后运行。

（2）项目建成投入运行前应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求重新申领辐射安全许可证，并在许可范围内从事检测工作。

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

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

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

（6）建设单位在该工程竣工后，应根据《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。

表 14 审批

审批意见   <

附表“三同时”措施一览表

清陶动力科技发展（昆山）有限公司辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施内容	预期效果	预计投资（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》使用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管理要求。	-
辐射安全和防护措施	辐射防护设计： 本项目 1 号 X 射线实时成像检测装置、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房外尺寸均为 4500mm×1812mm×1900mm，铅房四周、顶部、底部、检修门、工件进出通道、电缆孔及通风口补充防护屏蔽材料采用“钢+铅+钢”的结构进行防护，详细设计见表 10-2。	装置表面外 30cm 处辐射剂量率能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）关于 X 射线探伤室的屏蔽防护要求； 辐射工作人员及周围公众受照剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相应的剂量限值要求和本项目管理目标限值要求（职业人员年剂量约束值 5mSv、公众年剂量约束值 0.1mSv）。	50
	装置铅房检修门均设置门机联锁装置，检修门内设有紧急开门装置；铅房顶部、操作台设工作状态指示灯，与 X 射线管联锁，在醒目的位置处应有对工作状态指示灯信号意义的说明；装置铅房表面外设置有“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及中文警示说明；1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置操作台上设有钥匙开关，控制整体机械装置的通电情况（含 X 射线实时成像检测装置），只有在打开钥匙开关后，X 射线实时成像检测装置才能通电开机，后续才能开启自动检测程序，钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出；1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置操作台、铅房内部、整体机械装置内部（铅房外）和外部左右侧均设有紧急停机按钮，紧急停机按钮均拟设置标签，标明使用方法；装配车间内安装有视频监控装置，监控范围包括铅房、整体机械装置；铅房内部、整体机械装置内部（铅房外）设有视频监控装置，通过操作台电脑控制系统可清楚地看见铅房、整体机械装置内情况；铅房顶部设有机械通风装置，设计排风量约 200m³/h。	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的管理要求。	
	岗位职责及操作规程等工作制度在合适的墙上张贴，标明控制区、监督区边界。		
污染防治措施	本项目无放射性三废产生。 本项目 1 号、2 号 X 射线实时成像检测装置铅房顶部拟设通风口，机械通风装置设置在铅房顶部外、整体机械装置内。机械排风装置设计排风量约 200m³/h，铅房内净容积不超过 15.4m³，每小时有效通风换气次数约 12 次，	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中 6.1.10 要求。	10

	能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。同时，铅房所在的装配车间设有排风扇，少量臭氧和氮氧化物通过通风口排出铅房后，最终通过装配车间排风扇排入外环境。臭氧常温下 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。 本项目辐射工作人员产生少量生活污水和生活垃圾，生活污水依托公司污水处理装置、接管口接入市政污水管网，生活垃圾随公司其他生活垃圾一起委托环卫清运。		
人员配备	公司现有辐射防护负责人已通过类别为“辐射安全管理”的线上考核。 本项目拟新增 4 名辐射工作人员专门从事本项目 X 射线实时成像检测装置的辐射工作，均需通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加类别为“X 射线探伤”的核技术利用辐射安全与防护考核，通过考核后，方能从事本项目辐射工作。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《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》，辐射工作人员应持有培训合格证或考核合格证。	5
	公司辐射工作人员均配备个人剂量计，定期（最长不超过 3 个月）送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对辐射工作人员必须开展个人剂量监测及建立个人剂量监测档案的管理要求。	
	公司辐射工作人员均定期（两次检查的时间间隔不应超过 2 年）进行职业健康体检，并建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对辐射工作人员定期进行职业健康体检及建立职业健康监护档案的管理要求。	
监测仪器和防护用品	本项目拟沿用现有 1 台环境辐射剂量巡测仪，另新增 2 台个人剂量报警仪、4 台个人剂量仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》辐射监测仪器配置要求。	2
辐射安全管理制度	对已制定的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、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辐射安全管理制度进行补充和完善。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》使用射线装置的单位应具备健全的辐射安全管理制度的管理要求。	1
合计			68

“三同时”措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。