

## 核技术利用建设项目

# 万禾航宇科技检测（常州）有限公司 新建 1 座固定式 X、 $\gamma$ 射线探伤房 及移动式 X 射线探伤项目 环境影响报告表

万禾航宇科技检测（常州）有限公司

2026 年 3 月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 万禾航宇科技检测（常州）有限公司 新建 1 座固定式 X、 $\gamma$ 射线探伤房 及移动式 X 射线探伤项目 环境影响报告表

建设单位名称：万禾航宇科技检测（常州）有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：常州市天宁区郑陆镇恒安路 12 号

邮政编码：213017

联系人：祖佳佳

电子邮箱：19901703752@189.com

联系电话：19901703752

**表 1 项目基本情况**

|   |  |  |  |                       |             |
|---|--|--|--|-----------------------|-------------|
| 建设项目名称  | 万禾航宇科技检测（常州）有限公司<br>新建 1 座固定式 X、γ 射线探伤房及移动式 X 射线探伤项目   |  |  |                       |             |
| 建设单位  | 万禾航宇科技检测（常州）有限公司   |  |  |                       |             |
| 法人代表  | 祖佳康  | 联系人                                    | 祖佳佳  | 联系电话                  | 19901703752 |
| 注册地址  | 常州市天宁区郑陆镇恒安路 12 号  |  |  |                       |             |
| 项目建设地点  | 常州市天宁区郑陆镇恒安路 12 号 2#车间   |  |  |                       |             |
| 立项审批部门  | /  |  | 批准文号   | /                     |             |
| 建设项目总投资（万元）   | 400  | 项目环保投资（万元）                             | 110  | 投资比例（环保投资/总投资）        | 27.5%       |
| 项目性质  | <input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他 |  |  | 占地面积（m <sup>2</sup> ） | 160         |
| 应用类型  | 放射源  | <input type="checkbox"/> 销售            | <input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类                  |                       |             |
|   |  | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类 |                       |             |
|   | 非密封放射性物质   | <input type="checkbox"/> 生产            | <input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性物质   |                       |             |
|   |  | <input type="checkbox"/> 销售            | /  |                       |             |
|   |  | <input type="checkbox"/> 使用            | <input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙  |                       |             |
|   | 射线装置   | <input type="checkbox"/> 生产            | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类   |                       |             |
|   |  | <input type="checkbox"/> 销售            | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类   |                       |             |
|   |  | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类  |                       |             |
|   | 其他   | /                                      |  |                       |             |
|   | <b>项目概述</b>  |  |  |                       |             |
| <b>1 建设单位基本情况、项目建设规模及任务由来</b>   |  |  |  |                       |             |
| <b>1.1 建设单位基本情况</b>   |  |  |  |                       |             |
| <p>万禾航宇科技检测（常州）有限公司成立于 2025 年，是一家致力于无损检测技术服务的技术型企业，持有常规航空、中美机械学会及欧盟无损检测证书，具备跨标准、多方法的检测服务能力。公司业务领域包括汽车、石化、航空、军工、电子电气、医疗器械等多个行业的供应链上下游。现因发展需要，租赁常州市恒宇钢令纺织有限公司位于常州市天宁区郑陆镇恒安路 12 号 2#车间西北部建筑面积为 500 平方米的厂</p> |  |  |  |                       |             |

房，作为经营办公使用（本项目厂区租赁合同见附件9）。

## 1.2 项目建设规模及任务由来

因业务需要，拟在租赁厂房东部新建1座固定式X、 $\gamma$ 射线探伤房（含探伤室及辅房），配备1台 $^{192}\text{Ir}$  $\gamma$ 射线探伤机（100Ci）和3台X射线探伤机（PFS450型、XXG-3005CX型及XXGH-3005Z型），用于开展固定X、 $\gamma$ 射线探伤项目；其中2台X射线探伤机（XXG-3005CX型和XXGH-3005Z型），也用于开展移动式X射线探伤项目。移动式X射线探伤项目在委托方单位厂区或野外开展，不在固定式X、 $\gamma$ 射线探伤房所在厂区进行，每次现场作业最多派出2组。

本项目线探伤机采用胶片成像，需进行洗片作业，洗片场所拟设置在探伤室北侧暗室内。本项目产生的废显（定）影剂、第一、二次洗片废水、废胶片等，拟暂存于探伤室东北侧危废库内，定期交由有资质单位处理处置。X射线探伤机不使用时拟存放于探伤室内， $\gamma$ 射线探伤机不使用时拟存放于探伤室内源坑中。

公司拟为本项目配备5名辐射工作人员，其中含1名辐射防护负责人、4名探伤工作人员。从探伤工作人员中固定1名，与辐射防护负责人共同负责放射源源坑的监管工作。本项目固定式X、 $\gamma$ 射线探伤房X射线探伤机每周开机曝光时间不超过5小时，年曝光总时间不超过250小时（包含训机时间）； $\gamma$ 射线探伤机每周出束曝光时间不超过5小时，年曝光总时间不超过250小时（包含训机时间）；移动探伤周开机曝光时间不超过4小时，年工作约50周，年开机曝光时间不超过200小时（包含训机时间）。本次核技术应用项目情况一览表见下表1-1：

表 1-1 万禾航宇科技检测（常州）有限公司本次核技术利用项目一览表

| 放射源  |                   |    |           |          |                      |                       |           |           |       |     |
|------|-------------------|----|-----------|----------|----------------------|-----------------------|-----------|-----------|-------|-----|
| 序号   | 放射源名称             | 数量 | 单枚活度      | 放射源类别    | 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    | $^{192}\text{Ir}$ | 1  | 3.7E+12Bq | II       | 固定式X、 $\gamma$ 射线探伤室 | 拟购                    | 本次环评      | 未许可       | P类探伤机 |     |
| 射线装置 |                   |    |           |          |                      |                       |           |           |       |     |
| 序号   | 射线装置名称型号          | 数量 | 最大管电压 kV  | 最大管电流 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    | PFS450型X射线探伤机     | 1  | 450       | 10       | II                   | 固定式X、 $\gamma$ 射线探伤室  | 拟购        | 本次环评      | 未许可   | 定向机 |
| 2    | XXG-3005CX型X射线探伤机 | 1  | 300       | 5        | II                   | 固定式X、 $\gamma$ 射线探伤室； |           |           |       | 定向机 |
| 3    | XXGH-3005Z型X射线探伤机 | 1  | 300       | 5        | II                   | 委托方单位厂区或野外            |           |           |       | 周向机 |

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 类放射源及 II 类射线装置，应当编制环境影响报告表。受万禾航宇科技检测（常州）有限公司委托，江苏省辐射环境保护咨询有限公司承担了该项目的环评工作。我公司在接受委托后组织评价人员进行了现场踏勘和资料收集等相关工作，在此基础上编制完成了本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

万禾航宇科技检测（常州）有限公司位于常州市天宁区郑陆镇恒安路 12 号 2#车间西北部，地理位置图见附图 1。公司东侧为 2#车间（空置厂房）；东南侧为 1#车间（鑫利德仓库、常州市昊富优机械科技有限公司仓库及常州市恒顺机械有限公司）；南侧依次为 2#车间（常州市昊富优机械科技有限公司）、厂区道路、超凡橱具及商铺；西侧为厂区道路；北侧依次为厂区道路、3#车间（常州六边形装饰建材有限公司）及 4#车间（空置厂房）。公司周围环境示意图见附图 2。

本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房拟建址位于公司东部，拟建址东侧为 2#车间（空置厂房）；南侧自西向东依次为评片室、资料室及设备间；西侧为办公室和会议室；北侧自西向东依次为操作室、暗室及危废库。本项目探伤房为一层建筑，周围建筑均为一层。上方为车间顶棚（无人员到达），下方为水泥地，源坑位于探伤室东南角。公司平面布置示意图见附图 3。

根据本项目特点，结合《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）的相关规定，确定以本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房实体屏蔽外 50m 的范围作为评价范围。根据现场调查分析及附图 2 可知，本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房拟建址周围 50m 评价范围无居民区、学校等敏感点。因此，本项目保护目标主要为本项目辐射工作人员和其他车间的工作人员，包括：（1）探伤房东侧 2#车间（空置厂房）流动人员；（2）探伤房东南侧 1#车间（常州市昊富优机械科技有限公司仓库、常州市恒顺机械有限公司）工作人员；（3）探伤房南侧本公司工作人员、2#车间（常州市昊富优机械科技有限公司）工作人员、厂区道路行人、超凡橱具及商铺工作人员；（4）探伤房西侧本公司工作人员及厂区道路行人；（5）探伤房北侧本公司工作人员、厂区道路行人及 3#车间（常州六边形装饰建材有限公司）

工作人员。

万禾航宇科技检测（常州）有限公司仅在委托方单位厂区或野外进行移动探伤检测工作，各探伤现场情况及周边环境将存在较大差异。在实施现场探伤之前，应对工作环境进行全面的评估，以保证实现安全操作。评估内容应至少包括工作地点的选择、接触的工人与附近的公众、天气条件、探伤时间、是否高空作业、作业空间等，以保证探伤过程中的辐射安全，确保进行现场探伤的选址合理可行。若探伤场所涉及居民区、科教文卫区等敏感区时，采取有效方式告知涉及人群，经充分论证并采取切实有效措施（如疏散人员、采用铅屏风及调整设备参数等），确保控制区和监督区不涉及敏感区，否则，不得探伤。

本项目在实施现场探伤时，可能受到辐射影响的人群主要是移动探伤现场辐射工作人员和周围的公众，因此本项目保护目标主要是该公司的辐射工作人员、移动探伤现场周围的公众。

### **3 原有核技术利用项目许可情况**

本项目为万禾航宇科技检测（常州）有限公司首次开展核技术利用项目。

### **4 实践正当性分析**

本项目在运行期间会产生电离辐射，可能会提高建设地点周围的辐射水平，在采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效地控制，其对周围环境的辐射影响能够满足相关标准要求。本项目的投入使用能更好地控制产品质量，在做好辐射防护的基础上，其所带来的效益远大于可能对环境造成的影响，因此，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”原则。

**表 2 放射源**

| 序号 | 核素名称              | 总活度 (Bq) /<br>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  | <sup>192</sup> Ir | 3.7×10 <sup>12</sup> (Bq) /枚×1 枚 | II | 使用   | 无损检测 | 固定式 X、γ 射线<br>探伤室 | 贮存在探伤室东<br>南角源坑内探伤<br>机中 | /  |

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 |
|----|------|------|------|---------------|---------------|------------|----|------|------|---------|
| 1  | /    | /    | /    | /             | /             | /          | /  | /    | /    | /       |

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 (μA) / 剂量率 (Gy/h) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|----|----|----|----|------|------------|------------------------|----|------|----|
| 1  | /  | /  | /  | /  | /    | /          | /                      | /  | /    | /  |

(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 | 1  | PFS450 型     | 450        | 10         | 无损检测 | 固定式 X、γ 射线探伤室                | 定向机 |
| 2  | X 射线探伤机 | II | 1  | XXG-3005CX 型 | 300        | 5          | 无损检测 | 固定式 X、γ 射线探伤室；<br>委托方单位厂区或野外 | 定向机 |
| 3  | X 射线探伤机 | II | 1  | XXGH-3005Z 型 | 300        | 5          | 无损检测 | 固定式 X、γ 射线探伤室；<br>委托方单位厂区或野外 | 周向机 |

(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 | $^{192}\text{Ir}$ | $^{192}\text{Ir}$ 通常使用 2 个半衰期退役，退役时， $^{192}\text{Ir}$ 源强约 $9.25\text{E}+11\text{Bq}$ | /       | /        | /     | 处置前暂存在探伤房源坑内 | 由放射源生产厂家回收处置                         |
| 退役 $\gamma$ 探伤机屏蔽装置（贫铀罐） | 固态 | /                 | 通常使用 10 年后退役  | /       | /        | /     |              | 由 $\gamma$ 射线探伤机生产厂家回收处置             |
| 废显（定）影剂                  | 液态 | /                 | /   | 约 30kg  | 约 360kg  | /     | 集中收集后暂存于危废库  | 收集贮存危废库后委托有危险废物经营资质的单位回收处理           |
| 第一、二次洗片废水                |    | /                 | /   | 约 100kg | 约 1200kg | /     | 集中收集后暂存于危废库  | 收集贮存危废库后委托有危险废物经营资质的单位回收处理           |
| 废胶片                      | 固态 | /                 | /   | 约 1kg   | 约 12kg   | /     | 集中收集后暂存于危废库  | 收集贮存危废库后委托有危险废物经营资质的单位回收处理           |
| 臭氧、氮氧化物                  | 气态 | /                 | /   | 少量      | 少量       | /     | 不暂存          | 排入外环境，臭氧在大气中 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，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>，年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量单位分别为比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

|      |   |
|------|---|
| 法规文件 | <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(2014 年修订版), 中华人民共和国主席令第 9 号, 2014 年 4 月 24 日修订, 2015 年 1 月 1 日施行;</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 修正版), 中华人民共和国主席令第 24 号, 2018 年 12 月 29 日修订, 2018 年 12 月 29 日起施行;</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 中华人民共和国主席令第 6 号, 2003 年 10 月 1 日起施行;</p> <p>(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;</p> <p>(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 日公布施行;</p> <p>(6) 《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, 2021 年 1 月 1 日实施;</p> <p>(7) 《关于印发&lt;关于 <math>\gamma</math> 射线探伤装置的辐射安全要求&gt;的通知》, 国家环境保护总局文件, 环发[2007]8 号;</p> <p>(8) 《关于发布放射源分类办法的公告》, 国家环境保护总局, 公告 2005 年第 62 号, 2005 年 12 月 23 日发布;</p> <p>(9) 《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;</p> <p>(10) 《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 6 日起施行;</p> <p>(11) 《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, 2021 年 1 月 4 日施行;</p> <p>(12) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》, 2023 年 12 月 27 日国家发展改革委令第 7 号公布, 2024 年 2 月 1 日起施行;</p> <p>(13) 《关于发布放射性废物分类的公告》, 环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号, 2018 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(14) 《放射性废物安全管理条例》, 国务院令第 612 号, 2012 年 3 月 1 日起施行;</p> |
|------|---|

- (15) 《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；
- (16) 《国家危险废物名录（2025年版）》，2024年11月26日生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第36号公布，自2025年1月1日起施行；
- (17) 《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，部令第9号，2019年11月1日起施行；
- (18) 《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告2019年第38号，2019年11月1日起施行；
- (19) 《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告2019年第39号，2019年11月1日起施行；
- (20) 《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；
- (21) 《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；
- (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；
- (23) 《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日发布；
- (24) 《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日发布；
- (25) 《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；
- (26) 《中华人民共和国生态环境法典》，中华人民共和国主席令（第七十号），2026年3月12日发布。

|             |   |
|-------------|---|
| <p>技术标准</p> | <p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016);</p> <p>(2) 《环境影响评价技术导则 生态影响》(HJ 19-2022);</p> <p>(3) 《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016);</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);</p> <p>(5) 《环境 <math>\gamma</math> 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021);</p> <p>(6) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019);</p> <p>(8) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022);</p> <p>(9) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 及修改单;</p> <p>(10) 《<math>\gamma</math> 射线探伤机》(GB/T 14058-2023);</p> <p>(11) 《密封放射源及密封 <math>\gamma</math> 放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ 114-2006);</p> <p>(12) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023);</p> <p>(13) 《危险废物收集 贮存 运输技术规范》(HJ2025-2012);</p> <p>(14) 《危险废物识别标志设置技术规范》(HJ 1276-2022)。</p> |
| <p>其它</p>   | <p><b>与本项目相关附件</b></p> <p>附件 1 委托书</p> <p>附件 2 放射源使用承诺书</p> <p>附件 3 射线装置使用承诺书</p> <p>附件 4 废源及废贫铀罐退役承诺书</p> <p>附件 5 废显(定)影剂、一次二次洗片废水及废胶片安全处置承诺书</p> <p>附件 6 辐射屏蔽防护设计说明</p> <p>附件 7 X 射线探伤机参数说明</p> <p>附件 8 营业执照及法人身份证照片</p> <p>附件 9 本项目厂区租赁合同</p> <p>附件 10 辐射环境现状检测报告</p> <p>附件 11 江苏省生态环境分区管控综合查询报告</p>   |

**表 7 保护目标与评价标准**

|   |
|---|
| <p><b>评价范围</b></p> <p>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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”的规定，确定分别以本项目固定式 X、<math>\gamma</math> 射线探伤房探伤室实体边界外 50m 的范围；移动式 X 射线探伤项目，探伤现场无实体边界，根据理论预测值及 HJ10.1-2016 要求，本项目评价范围视探伤现场具体情况而定，不低于现场设置的监督区边界外 100m 范围。</p>  |
| <p><b>保护目标</b></p> <p>本项目拟建固定式 X、<math>\gamma</math> 射线探伤房位于常州市天宁区郑陆镇恒安路 12 号 2# 车间，不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》第三条（一）中的国家公园、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。本项目不涉及《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022）中规定的重要物种、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。对照《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）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），本项目不涉及江苏省国家级生态红线和江苏省生态空间管控区域。本项目进入现场探伤场所时，拟对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号）和探伤地点所在地区的生态空间管控区域调整方案，对评价范围内自然保护区、风景名胜区、森林公园、地质遗迹保护区、饮用水水源地保护区、重要湿地等环境敏感区进行调查，避免涉及国家级生态保护红线、生态空间管控区域。</p> <p>通过查询“江苏省生态环境分区管控综合服务”后可以确定，本项目管控分类为重点管控单元，管控单元名称为“郑陆镇和平工业集中区”，本项目不涉及优先保护单元，满足重点管控单元的管控要求。因此，本项目保护目标主要为辐射工作人员及项目附近的其他人员，保护目标详见表 7-1。</p> |

表 7-1 本项目评价范围内保护目标情况一览表

| 项目       | 环境保护目标           |             | 方位               | 最近距离  | 人口规模   | 保护要求<br>(剂量约束值) |       |
|----------|------------------|-------------|------------------|-------|--------|-----------------|-------|
| 固定探伤     | 辐射工作人员           | 操作室、暗室、危废库  |                  | 探伤室北侧 | 紧邻     | 5人<br>(职业)      |       |
|          |                  | 评片室、资料室、设备间 |                  | 探伤室南侧 | 紧邻     |                 |       |
|          |                  | 办公室、会议室     |                  | 探伤室西侧 | 约 14m  |                 |       |
|          | 周围公众             | 2#车间流动人员    | 万禾航宇科技检测(常州)有限公司 |       | 探伤房西侧  | 紧邻              | 流动人员  |
|          |                  |             | 空置厂房             |       | 探伤房东侧  | 紧邻              | 流动人员  |
|          |                  | 1#车间工作人员    | 常州市昊富优机械科技有限公司仓库 |       | 探伤房东南侧 | 约 37m           | 约 3人  |
|          |                  |             | 常州市恒顺机械有限公司      |       |        | 约 29m           | 约 3人  |
|          |                  | 2#车间工作人员    | 常州市昊富优机械科技有限公司   |       | 探伤房南侧  | 约 5m            | 约 10人 |
|          |                  | 厂区道路行人      |                  | 约 22m |        | 流动人员            |       |
|          |                  | 超凡厨具        |                  | 约 29m |        | 约 2人            |       |
|          |                  | 商铺          |                  | 约 36m |        | 约 2人            |       |
|          |                  | 厂区道路行人      |                  | 探伤房西侧 | 约 26m  | 流动人员            |       |
|          |                  | 厂区道路行人      |                  | 探伤房北侧 | 约 5m   | 流动人员            |       |
| 3#车间工作人员 | 常州六边形装饰建材有限公司    |             | 约 10m            |       | 约 8人   |                 |       |
| 移动探伤     | 移动式 X 射线探伤辐射工作人员 |             | 控制区外监督区内         | 控制区边界 | 2人     | 5<br>(职业人员)     |       |
|          | 移动探伤监督区外公众       |             | 监督区外评价范围内        | 监督区边界 | 不固定    | 0.1<br>(公众)     |       |

## 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 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

|      | 剂量限值  |
|------|---|
| 职业照射 | 工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值：<br>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；<br>②任何一年中的有效剂量，50mSv。                |
| 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：<br>①年有效剂量，1mSv；<br>②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。 |

### 2 《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)

#### 4 使用单位放射防护要求

4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。

4.2 应建立放射防护管理组织，明确放射防护管理人员及其职责，建立和实施放射防护管理制度和措施。

4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ98 的要求进行职业健康监护。

4.4 探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格。

4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。

4.6 应制定辐射事故应急预案。

#### 5 探伤机的放射防护要求

##### 5.1 X 射线探伤机

5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100 cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 7-3 的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T 26837 的要求。

表 7-3 X 射线管头组装体漏射线所致周围剂量当量率控制值

| 管电压 kV  | 漏射线所致周围剂量当量率 mSv/h |
|---------|--------------------|
| <150    | <1                 |
| 150~200 | <2.5               |
| >200    | <5                 |

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。

5.1.3 X 射线探伤机的维护应符合下列要求：

- a) 使用单位应对探伤机的设备维护负责，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；
- b) 设备维护包括探伤机的彻底检查和所有零部件的详细检测；
- c) 当设备有故障或损坏需更换零部件时，应保证所更换的零部件为合格产品；
- d) 应做好设备维护记录。

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。

5.2.3.3 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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；
- 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。

#### 5.2.4 放射源的运输和移动

5.2.4.1 放射源的货运运输要求按 GB11806 的规定执行,应满足 A 类与 B 类运输货包要求。在运输过程中,源窗应处于关闭状态,并有专门的锁定装置。

5.2.4.2 含源装置应置于储存设施内运输,只有在合适的源容器内正确锁紧并取出钥匙后方能移动。

5.2.4.3 在不涉及公用道路的厂区内移动时,应使用小型车辆或手推车,使含源装置处于人员监视之下。

#### 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。

#### 6.1.3 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  $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ,对公众场所,其值应不大于  $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ;

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

#### 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  $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

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，在控制室的控制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。

## 7 移动式探伤的放射防护要求

### 7.1 作业前准备

7.1.1 在实施移动式探伤工作之前，使用单位应对工作环境进行全面评估，以保证实现安全操作。评估内容至少应包括工作地点的选择、接触的工人与附近的公众、天气条件、探伤时间、是否高空作业、作业空间等。应考虑移动式探伤对工作场所内其他的辐射探测系统带来的影响（如烟雾报警器等）。

7.1.2 使用单位应确保开展移动式探伤工作的每台探伤机至少应配备两名专职工作人员。

7.1.3 移动式探伤工作如在委托单位的工作场地实施准备和规划，使用单位应与委托单位协商适当的探伤地点和探伤时间、现场的通告、警告标识和报警信号等，避免造成混淆。委托单位应给予探伤作业人员充足的时间以确保探伤工作的安全开展和所需安全措施的实施。

### 7.2 分区设置

7.2.1 探伤作业时，应对工作场所实行分区管理，将工作场所划分为控制区和监督区。并在相应的边界设置警示标识。现场射线探伤工作应在指定为控制区的区域内进行。

7.2.2 一般应将作业场所中周围剂量当量率大于  $15\mu\text{Sv/h}$  的区域划为控制区。

a) 对于 X 射线探伤, 如果每周实际开机时间高于 7 h, 控制区边界周围剂量当量率应按下面公式计算:

$$\dot{H} = \frac{100}{t}$$

式中:  $\dot{H}$  ——控制区边界周围剂量当量率, 单位为微希沃特每小时 ( $\mu\text{Sv/h}$ );

100 ——5mSv 平均分配到每年 50 工作周的数值, 即  $100\mu\text{Sv/周}$ ;

t ——每周实际开机时间, 单位为小时 (h)。

7.2.3 控制区边界上合适的位置应设置电离辐射警告标志并悬挂清晰可见的“禁止进入射线工作区”警告牌, 探伤作业人员应在控制区边界外操作, 否则应采取专门的防护措施。

7.2.4 控制区的边界尽可能设定实体屏障, 包括利用现有结构(如墙体)、临时屏障或临时拉起警戒线(绳)等。

7.2.5 移动式探伤作业工作过程中, 控制区内不应同时进行其他工作。为了使控制区的范围尽量小, 应使用合适的准直器并充分考虑探伤机和被检物体的距离、照射方向、时间和现场屏蔽等条件。视情况采用局部屏蔽措施。

7.2.6 每一个探伤作业班组应至少配备一台便携式 X- $\gamma$  剂量率仪, 并定期对其开展检定/校准工作。应配备能在现场环境条件下可听见、看见或产生震动信号的个人剂量报警仪。

7.2.7 探伤作业期间还应对控制区边界上代表点的剂量率进行检测, 尤其是探伤的位置在此方向或射线束的方向发生改变时, 适时调整控制区的边界。

7.2.8 应将控制区边界外、作业时周围剂量当率大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的范围划为监督区, 并在其边界上悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌, 必要时设专人警戒。

7.2.9 移动式探伤工作在多楼层的厂或工地实施时, 应防止移动式探伤工作区上层或下层的人员通过楼梯进入控制区。

7.2.10 探伤机控制台(X 射线发生器控制面板或  $\gamma$  绕出盘)应设置在合适位置或设有延时开机装置, 以便尽可能降低操作人员的受照剂量。

### 7.3 安全警示

7.3.1 委托单位(业主单位)应配合做好探伤作业的辐射防护工作, 通过合适的途径提前发布探伤作业信息, 应通知到所有相关人员防止误照射发生。

7.3.2 应有提示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。“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。夜晚作业时控制区边界应设置警示灯。

7.3.3 X 和  $\gamma$  射线探伤的警示信号指示装置应与探伤机联锁。

7.3.4 在控制区的所有边界都应能清楚地听见或看“预备”信号和“照射”信号。

7.3.5 应在监督区边界和建筑物进出口的醒目位置张贴电离辐射警告标志和警示语等提示信息。

#### 7.4 边界巡查与检测

7.4.1 开始移动式探伤之前，探伤工作人员应确保在控制区内没有任何其他人员，并防止有人进入控制区。

7.4.2 控制区的范围应清晰可见，工作期间应有良好的照明，确保没有人员进入控制区。如果控制区太大或某些地方不能看到，应安排足够的人员进行巡查。

7.4.3 在试运行（或第一次曝光）期间，应测量控制区边界的剂量率以证实边界设置正确。必要时应调整控制区的范围和边界。

7.4.4 开始移动式探伤工作之前，应对便携式 X- $\gamma$  剂量率仪进行检查，确认能正常工作。在移动式探伤工作期间，便携式 X- $\gamma$  剂量率仪应一直处于开机状态，防止射线曝光异常或不能正常终止。

7.4.5 移动式探伤期间，工作人员除进行常规个人监测外，还应佩戴个人剂量报警仪。个人剂量报警仪不能替代便携式 X- $\gamma$  剂量率仪，两者均应使用。

#### 7.5 移动式探伤操作要求

##### 7.5.1 X 射线移动式探伤

7.5.1.1 周向式探伤机用于移动式探伤时，应将 X 射线管头组装体置于被探伤物件内部进行透照检查。做定向照射时应使用准直器（仅开定向照射口）。

7.5.1.2 应考虑控制器与 X 射线管和被检物体的距离、照射方向、时间和屏蔽条件等因素，选择最佳的设备布置，并采取适当的防护措施。

### 3 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）

#### 3.2 需要屏蔽的辐射

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

3.2.2 散射辐射考虑以  $0^\circ$  入射探伤工件的  $90^\circ$  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，当他们的屏蔽厚度相差一个半值层厚度（*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管电压下的常用最大管电流设计屏蔽。

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

## 4 项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）及辐射防护最优化原则确定本项目的管理目标为：

### （1）剂量约束值

职业人员年剂量约束值不大于5 mSv，公众年剂量约束值不大于0.1 mSv。

### （2）探伤室墙体和门的辐射屏蔽同时满足：

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

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

### （3）探伤室顶部的辐射屏蔽满足：

探伤室顶部屏蔽体外30 cm处（无人员到达）周围剂量当量率参考控制水平不大于100  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

### （4）放射源贮存设施辐射剂量率控制限值：

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 $\mu$ Sv/h。

**(5) 移动式X射线探伤剂量率控制限值：**

- a) 控制区边界外周围剂量当量率低于15  $\mu$ Sv/h；
- b) 监督区边界外周围剂量当量率低于2.5  $\mu$ Sv/h。

**5 参考资料**

《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  $\gamma$  辐射 (空气吸收) 剂量率 (单位: nGy/h)**

| 类别 \ 类型 | 原野        | 道路         | 室内         |
|---------|-----------|------------|------------|
| 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，参考测值范围进行评价。

**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**

万禾航宇科技检测（常州）有限公司位于常州市天宁区郑陆镇恒安路 12 号 2# 车间西北部，地理位置图见附图 1。公司东侧为 2# 车间（空置厂房）；东南侧为 1# 车间（鑫利德仓库、常州市昊富优机械科技有限公司仓库及常州市恒顺机械有限公司）；南侧依次为 2# 车间（常州市昊富优机械科技有限公司）、厂区道路、超凡橱具及商铺；西侧为厂区道路；北侧依次为厂区道路、3# 车间（常州六边形装饰建材有限公司）及 4# 车间（空置厂房）。公司周围环境示意图见附图 2。

本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房拟建址位于公司东部，拟建址东侧为 2# 车间（空置厂房）；南侧自西向东依次为评片室、资料室及设备间；西侧为办公室和会议室；北侧自西向东依次为操作室、暗室及危废库。本项目探伤房为一层建筑，周围建筑均为一层。上方为车间顶棚（无人员到达），下方为水泥地，源坑位于探伤室东南角。公司平面布置示意图见附图 3。

本项目仅在委托方单位厂区或野外进行移动探伤检测工作，探伤现场不固定，没有探伤任务时拟将探伤机贮存于固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房内，由专人进行管理，拟在探伤房周围张贴电离辐射警告标志，设置监控，建立射线装置使用台账，每次使用记录领用时间、领用人、探伤地点、归还人、负责人等。本项目 X 射线机于当天作业结束后带回。

本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房拟建址周围 50m 评价范围无居民区、学校等敏感点。因此，本项目保护目标主要为本项目辐射工作人员和其他车间的工作人员，包括：（1）探伤房东侧 2# 车间（空置厂房）流动人员；（2）探伤房东南侧 1# 车间（常州市昊富优机械科技有限公司仓库、常州市恒顺机械有限公司）工作人员；（3）探伤房南侧本公司工作人员、2# 车间（常州市昊富优机械科技有限公司）工作人员、厂区道路行人、超凡橱具及商铺工作人员；（4）探伤房西侧本公司工作人员及厂区道路行人；（5）探伤房北侧本公司工作人员、厂区道路行人及 3# 车间（常州六边形装饰建材有限公司）工作人员。本项目移动式 X 射线探伤保护目标主要是为辐射工作人员、移动探伤现场周围的公众。本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房拟建址周围现状见图 8-1。



探伤房拟建址



探伤房拟建址东侧



探伤房拟建址南侧



探伤房拟建址西侧



探伤房拟建址北侧



探伤房拟建址东侧 2#车间（空置厂房）



拟建址东南侧 1#车间



拟建址南侧超凡厨具



图 8-1 本项目拟建址及周围现状照片

## 2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

评价对象：本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房拟建址周围辐射环境。

监测因子：本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房拟建址周围环境  $\gamma$  辐射剂量率。

监测点位：在本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房拟建址处及周围进行布点，具体点位见图 8-2。

## 3 监测方案、质量保证措施及监测结果

### 3.1 监测方案

监测单位：江苏省辐射环境保护咨询有限公司。

监测仪器：FH40G 型 X- $\gamma$  辐射监测仪（仪器编号：030850+11392），检定有效期：2025 年 6 月 20 日~2026 年 6 月 19 日。

监测项目： $\gamma$  辐射空气吸收剂量率。

监测布点：在本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房拟建址周围进行布点，具体点位见图 8-2。

监测时间：2026 年 1 月 15 日。

监测方法：《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）。

数据记录及处理： $\gamma$  辐射空气吸收剂量率监测每个点位读取 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标准差。本项目空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG 393，使用  $^{137}\text{Cs}$  作为检定/校准参考辐射源，换算系数取 1.20 Sv/Gy。

### 3.2 质量保证措施

监测单位：江苏省辐射环境保护咨询有限公司，已通过资质认定。

监测布点质量保证：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）有关布点原则进行布点。

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）、《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合格证书，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校准或检验，监测报告实行三级审核。

### 3.3 监测结果

监测结果见表 8-1，详细检测结果见附件 8。

**表 8-1 项目拟建址及周围环境  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率**

| 序号 | 检测点位                                | 检测结果<br>(nGy/h) | 标准偏差<br>(nGy/h) | 备注     |
|----|-------------------------------------|-----------------|-----------------|--------|
| 1  | 探伤房拟建址处                             | 71              | 1               | 室内（平房） |
| 2  | 探伤房拟建址东侧                            | 72              | 1               | 室内（平房） |
| 3  | 探伤房拟建址南侧                            | 64              | 1               | 室内（平房） |
| 4  | 探伤房拟建址西侧                            | 65              | 1               | 室内（平房） |
| 5  | 探伤房拟建址北侧                            | 78              | 1               | 室内（平房） |
| 6  | 探伤房拟建址东南侧 1#车间<br>(常州市昊富优机械科技有限公司仓) | 66              | 1               | 室内（平房） |
| 7  | 探伤房拟建址东南侧 1#车间<br>(常州市恒顺机械有限公司)     | 66              | 1               | 室内（平房） |
| 8  | 探伤房拟建址南侧 2#车间<br>(常州市昊富优机械科技有限公司)   | 72              | 1               | 室内（平房） |
| 9  | 探伤房拟建址南侧厂区道路                        | 63              | 1               | 道路     |
| 10 | 探伤房拟建址南侧超凡橱具 1 楼                    | 71              | 1               | 室内（楼房） |
| 11 | 探伤房拟建址南侧商铺内                         | 66              | 1               | 室内（平房） |
| 12 | 探伤房拟建址西侧厂区道路                        | 63              | 1               | 道路     |
| 13 | 探伤房拟建址北侧厂区道路                        | 62              | 1               | 道路     |
| 14 | 探伤房拟建址北侧 3#车间<br>(常州六边形装饰建材有限公司)    | 72              | 1               | 室内（平房） |

注：检测结果已扣除仪器宇宙射线响应值，标准偏差为测值标准偏差计算所得。

### 4 环境现状调查结果评价

从现场监测结果可知，本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房拟建址室内环境  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率为（64~78）nGy/h，位于江苏省室内环境天然  $\gamma$  辐射水平正常范围（47.2~131.2）nGy/h；本项目周围道路环境  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率为（62~63）nGy/h，位于江苏省道路环境天然  $\gamma$  辐射水平正常范围（18.1~102.3）nGy/h。

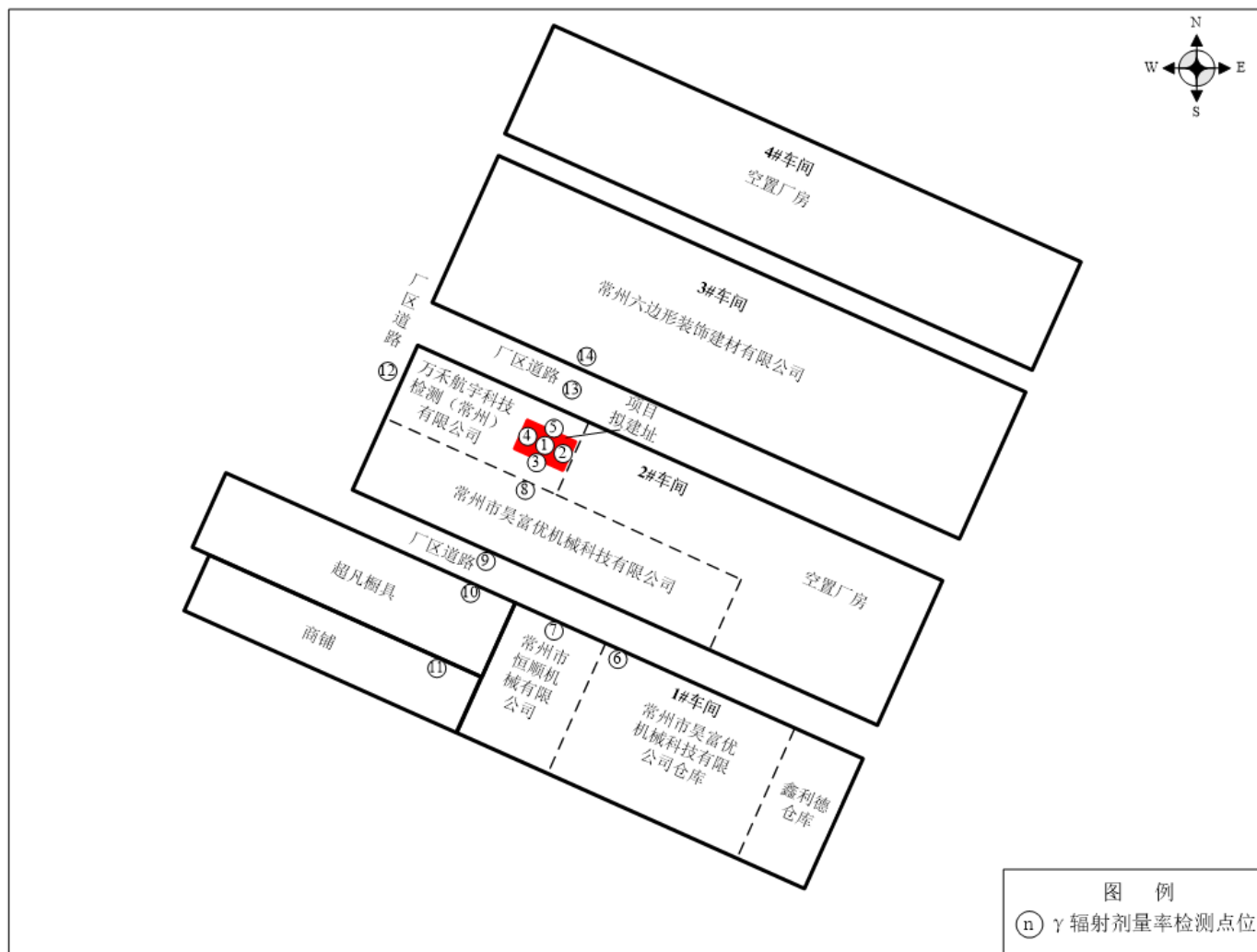


图 8-2 本项目拟建址周围辐射环境现状检测点位示意图

## 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

##### 1.1 X 射线探伤机

根据业务需要，万禾航宇科技检测（常州）有限公司拟配备 3 台 X 射线探伤机，本项目 X 射线探伤机主要由以下各部分组成：X 射线发生器、控制器以及电源电缆、连接电缆等附件，其常见的 X 射线机外观见图 9-1。



图 9-1 常见 X 射线探伤机外观图

##### 1.2 $\gamma$ 射线探伤机

本项目  $\gamma$  射线探伤机是  $^{192}\text{Ir}$  放射源的储存装置， $^{192}\text{Ir}$  放射源储存装置内装约 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， $\gamma$  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。本项目  $\gamma$  射线探伤机采用电动遥控装置控制探伤机出源。典型的  $\gamma$  探伤设备外观见图 9-2，内部结构示意图见图 9-3。



图 9-2  $\gamma$  射线探伤机实物图

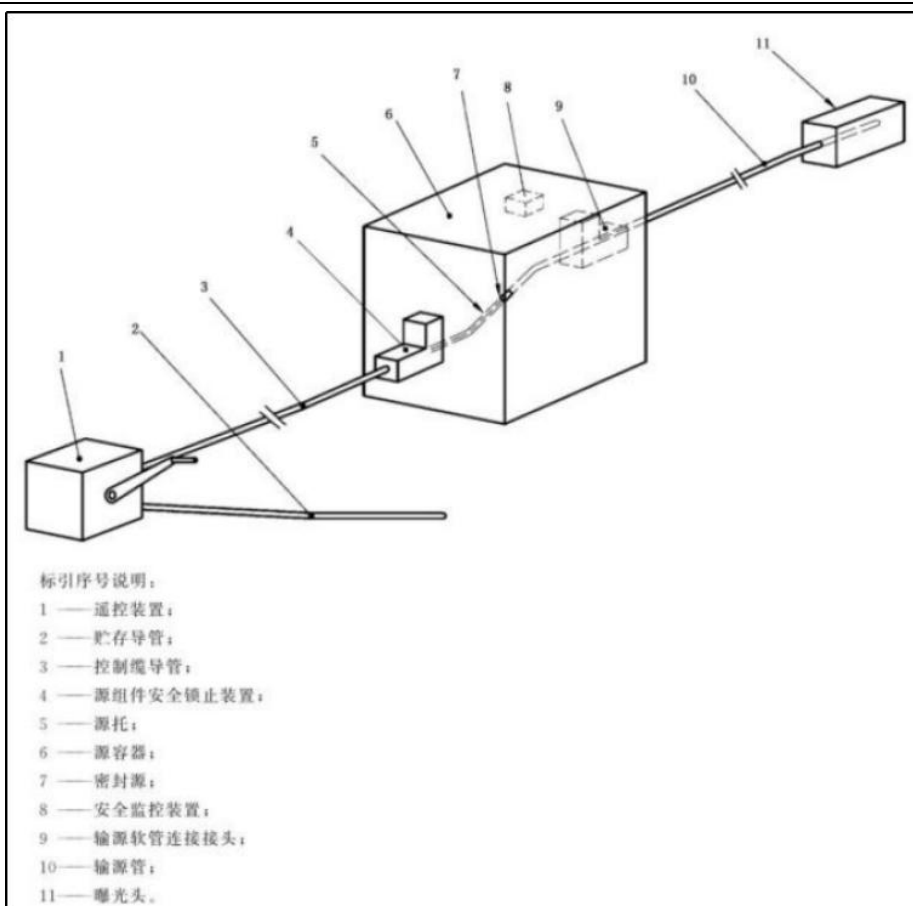


图 9-3  $\gamma$  射线探伤机结构示意图

## 2 工作原理

### 2.1 X 射线探伤机

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 9-4。

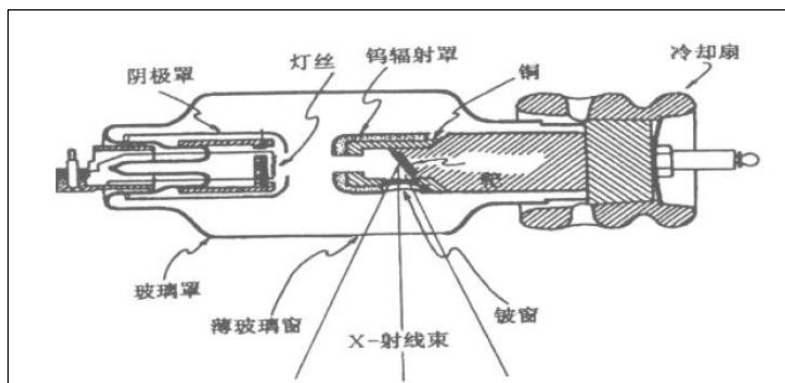


图9-4 常见X射线管结构图

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，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 $\gamma$ 射线探伤机

本项目  $\gamma$  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。 $\gamma$  射线探伤机在工作过程中通过  $\gamma$  放射源产生的  $\gamma$  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。

## 2.3 无损检测原理

X、 $\gamma$  射线无损检测过程中，由于被检工件内部结构密度不同，其对射线的阻挡能力也不一样，物质的密度越大，射线强度减弱越大，底片感光量就小。当工件内部存在气孔、裂缝、夹渣等缺陷时，射线穿过有缺陷的路径比没有缺陷的路径所透过的物质密度要小得多，其强度减弱较小，即透过的射线强度较大，底片感光量较大，从而可以从底片曝光强度的差异判断焊接的质量、缺陷位置和被检样品内部的细微结构等。

## 3 工艺流程

### 3.1 固定式 X 射线探伤工作流程及产物环节

（1）每日工作前，辐射工作人员检查 X 射线探伤机外观是否完好，电缆是否有断裂、扭曲及破损，液体制冷设备是否有渗漏，探伤房的安全连锁是否正常工作，报警设备和警示灯是否正常运行，螺栓等连接件是否连接良好，探伤房内安装的固定辐射检测仪是否正常。辐射工作人员将个人剂量计别在胸前并携带开机的个人剂量报警仪和便携式 X- $\gamma$  剂量率仪才能进入探伤房。确认上述均正常方可从事今日探伤工作；

- (2) 将被探伤工件经防护门运至探伤室内固定，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，人员离开探伤室，关闭防护门；
- (4) 探伤工作人员在操作台开启 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<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>；
- (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探伤室取下胶片；
- (6) 辐射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、胶片冲洗废水及废胶片；
- (7) 将被探伤工件运出探伤室；
- (8) 出具检测报告。

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 9-3。

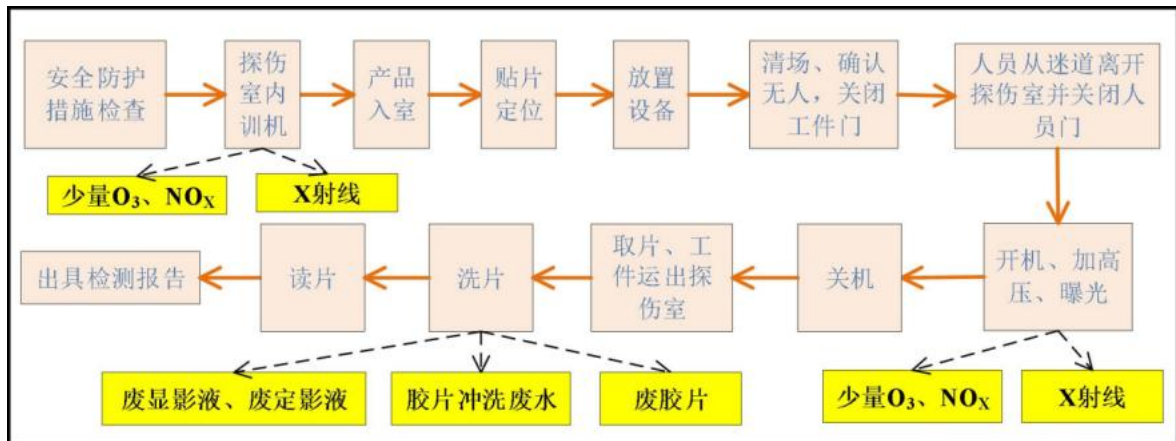


图 9-5 固定式 X 射线探伤工作流程及产物环节分析示意图

### 3.2 固定式 γ 射线探伤工作流程及产污环节

- (1) 每日工作前，辐射工作人员检查探伤房的安全联锁是否正常工作，报警设备和警示灯是否正常运行，探伤房内安装的固定辐射检测仪是否正常，确认上述均正常方可从事今日探伤工作；
- (2) 将被探伤工件通过平板车运至探伤室内固定，并在检测部位贴上感光胶片；
- (3) 辐射工作人员将个人剂量计佩戴在胸前并携带开机的个人剂量报警仪和辐射巡测仪，去放射源源坑领取 γ 射线探伤机，此过程会产生 γ 射线；
- (4) 辐射工作人员检查 γ 射线探伤机状态是否正常(根据 GB117-2022 中 5.2.1.2 条款逐项检查)，确认无问题后将 γ 射线探伤机放置在合适位置，此过程会产生 γ 射线；
- (5) 关闭探伤室工件门；

- (6) 把控制部件和输源管连接好，开启  $\gamma$  射线探伤机闭锁装置；
- (7) 检查探伤室内人员滞留情况，确定无人后，辐射工作人员通过人员门离开探伤室，并关闭人员门；
- (8) 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  $\gamma$  射线、少量氮氧化物及臭氧；
- (9) 确认放射源回到贮源位后，辐射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探伤室，将  $\gamma$  射线探伤机通过小推车运至探伤室角落暂时放置，此过程会产生  $\gamma$  射线；
- (10) 将工件通过平板车运出探伤室，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，此过程会产生废显（定）影剂、废胶片及胶片冲洗废水等；
- (11) 开始下一次探伤工作，重复（4）~（10）的操作流程，待一天探伤任务全部完成后，将领取的  $\gamma$  射线探伤机归还至放射源源坑内，此过程会产生  $\gamma$  射线。

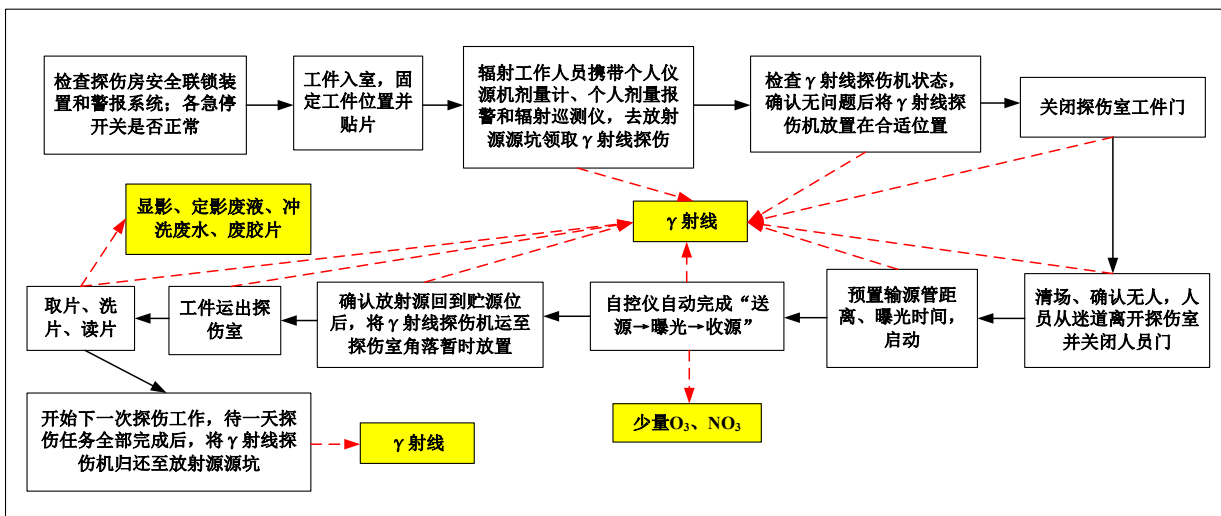


图 9-6 固定式  $\gamma$  射线探伤工作流程及产污环节分析示意图

### 3.3 移动式 X 射线探伤工艺流程及产污环节

移动式 X 射线探伤作业时现场拟配备至少 2 名辐射工作人员，主要负责场所区域的划分与控制、场所限制区域的人员管理、X 射线探伤机的操作、场所辐射剂量水平监测等安全相关工作，并承担探伤装置的领取、归还以及确认探伤源是否返回装置等工作。移动式 X 射线探伤前辐射工作人员划定监督区及控制区，设置警戒设施，清场并确定区域内无人后开机，随后辐射工作人员退至安全区域（控制区外的屏蔽体后），对被测工件进行无损检测，移动式 X 射线探伤工作流程及产污环节如图 9-7 所示，工作流程如下：

- (1) 现场探伤工作之前，工作人员对工作环境进行评估，与委托单位协商适当的地点和探伤时间，发布 X 射线探伤通知，告知探伤时间及地点等；
- (2) 开展探伤前，辐射工作人员将探伤设备放到指定位置；
- (3) 充分利用现场的建筑、墙体、大型工件等屏蔽物，必要时使用屏蔽材料进行屏蔽防护，以降低探伤作业现场周围的辐射水平，缩小控制区和监督区的范围；
- (4) 根据经验初步划定控制区和监督区边界，设立警戒区及警示标志；
- (5) 对探伤现场进行清场，确保场内无人员且各种辐射安全措施到位后，连接好 X 射线探伤机控制部件，并对探伤机各部件及各项辐射安全措施进行检查核对；
- (6) 探伤工作人员远距离操作探伤机进行试曝光（试曝光过程中会产生 X 射线、少量 O<sub>3</sub> 和 NO<sub>x</sub>），探伤工作人员携带便携式剂量仪对控制区、监督区边界进行修定，重新确定监督区、控制区边界及各项辐射安全措施；
- (7) 试曝光结束后，探伤工作人员远距离控制探伤机开始曝光（曝光过程中会产生 X 射线、少量 O<sub>3</sub> 和 NO<sub>x</sub>），在达到预定照射时间和曝光量后，曝光结束，探伤人员携带个人剂量报警仪和辐射巡测仪进入控制区，收回 X 射线探伤机及平板探测器等装置，探伤工作人员解除警戒并离场；
- (8) 辐射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，并出具检测报告。

移动式 X 射线探伤工作流程图及产污环节见图 9-7 所示：

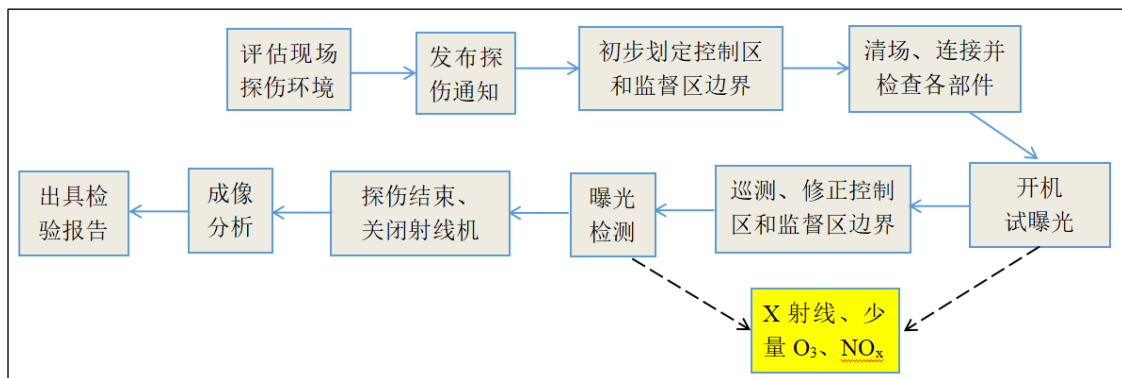


图 9-7 移动式 X 射线探伤工作流程及产污环节分析示意图

## 4 工件信息和工作负荷

### 4.1 工件信息

本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房主要用于小工件，工件厚度为 20~50mm，直径为 500~800mm，见图 9-8。本项目移动式 X 射线探伤主要用于大型工件。



图 9-8 本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房检测工件样品照片

#### 4.2 人员配置及工作制度

公司拟为本项目配备 5 名辐射工作人员，其中含 1 名辐射防护负责人、4 名探伤工作人员。从探伤工作人员中固定 1 名，与辐射防护负责人共同负责放射源源坑的监管工作。本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房 X 射线探伤机每周开机曝光时间不超过 5 小时，年曝光总时间不超过 250 小时（包含训机时间）； $\gamma$  射线探伤机每周出束曝光时间不超过 5 小时，年曝光总时间不超过 250 小时（包含训机时间）；移动探伤周开机曝光时间不超过 4 小时，年工作约 50 周，年开机曝光时间不超过 200 小时（包含训机时间）。

#### 污染源项描述

##### 1 放射性污染源

##### 1.1 X 射线探伤机

由便携式 X 射线探伤机工作原理可知，X 射线管只有在开机并处于出束状态时（曝光状态）才会发出 X 射线，对装置周围的工作人员和公众产生一定外照射，因此 X 射线管在开机曝光期间，X 射线是本项目主要污染物。本项目 X 射线辐射类型分为以下 3 类，X 射线探伤机参数见表 9-1。

##### （1）有用线束

又称主射线，根据设备厂家提供的资料（见附件 8），本项目 PFS450 型 X 射线探伤机 450kV 的 X 射线管 1m 处的输出量为  $132\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ；XXG-3005CX 型 X 射线探伤机 300kV 的 X 射线管 1m 处的输出量为  $19.9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ；XXGH-3005ZX 射线探伤机 300kV 的 X 射线管 1m 处的输出量为  $16.5\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。

##### （2）漏射线

由辐射源点在各个方向上从屏蔽装置中泄漏出来的射线，根据《工业探伤放射防护

标准》(GBZ 117-2022)中表 1, 本项目管电压 300kV、450 kV 的探伤机距辐射源点(靶点) 1m 处的泄漏辐射剂量率 $<5.0 \text{ mSv/h}$  ( $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ )。

### (3) 散射线

当主射线照射到检测工件时, 会产生散布于各个方向上的散射辐射。参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)表 2, 300kV 的 X 射线  $90^\circ$  散射辐射最高能量相应的 kV 值为 200kV; 依据康普顿散射公式估算 450kV 的 X 射线  $90^\circ$  散射后的最高能量为 240kV, 为下文“环境影响分析”章节中  $90^\circ$  散射辐射的 TVL 便于取值, 本项目保守取 250kV。

表 9-1 本项目 X 射线探伤机参数一览表

| 设备型号               | 最大管电压 (kV) | 最大管电流 (mA) | 发射率常数 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ | 辐射角 ( $^\circ$ ) | 滤过材料         | 泄漏辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | $90^\circ$ 散射后能量 (kV) |
|--------------------|------------|------------|--|------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|
| PFS450 型 (定向机)     | 450        | 10         | 132  | 40               | 3mm 铝 +2mmBe | 5000                         | 250                   |
| XXG-3005CX 型 (定向机) | 300        | 5          | 19.9   | 40               | 3mm 铝        | 5000                         | 200                   |
| XXGH-3005Z 型 (周向机) | 300        | 5          | 16.5   | $360 \times 30$  | 2mm 铝        | 5000                         | 200                   |

## 1.2 $\gamma$ 射线探伤机

本项目中  $^{192}\text{Ir}$  源为密封源, 核素特性见表 9-2。

表 9-2 本项目放射性核素特性一览表

| 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 ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ) |
|-------------------|-----|-------------------------|--|---|
| $^{192}\text{Ir}$ | 74d | $\beta^-$<br>$\epsilon$ | $\beta^-$ 0.672 (46%)<br>$\gamma$ 0.468(58.0%) 0.316 (82.9%) | 0.17  |

$\gamma$  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  $\gamma$  射线对周围环境产生的外照射, 其可能对探伤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  $\gamma$  射线外照射影响。因此  $\gamma$  射线是本项目主要的污染物。本项目拟使用的  $^{192}\text{Ir}$  放射源最大活度为 100 Ci ( $3.7 \times 10^{12} \text{ Bq}$ ),  $^{192}\text{Ir}$  通常在使用 2 个半衰期后退役, 退役时  $^{192}\text{Ir}$  源强约  $9.25 \times 10^{11} \text{ Bq}$ 。

根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)表 2, 便携式  $\gamma$  射线探伤机 (P 类) 离源容器表面 5 cm 处最大周围当量剂量率不大于  $0.5 \text{ mSv/h}$ , 离源容器表面 1cm 处最大周围当量剂量率不大于  $0.02 \text{ mSv/h}$ 。

本项目  $\gamma$  射线探伤机退役时还会产生  $\gamma$  探伤机屏蔽装置（贫铀罐）。

## 2 非放射性污染源

### 2.1 固体废物

本项目 X 射线探伤机及  $\gamma$  射线探伤机拟使用胶片成像，运行时会产生废胶片，属于《国家危险废物名录（2025 年版）》中编号为 HW16（900-019-16）的危险废物，每年预计产生废胶片 12kg。

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）影剂及胶片冲洗废水，废显（定）影剂属于《国家危险废物名录（2025 年版）》中编号为 HW16（900-019-16）的危险废物，第一、二次胶片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 30kg，胶片冲洗废水 100kg，每年预计产生废显（定）影剂 360kg，胶片冲洗废水 1200kg。

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 1 座固定式 X 射线探伤项目的射线装置在运行过程中，产生的 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。为有效排出臭氧及氮氧化物，探伤室东北角设有排风系统，将探伤室内产生的废气通过管道从地下经过辅房排放至室外。本项目探伤室体积约为 162m<sup>3</sup>，本项目探伤室内通风管道的通风量拟设置为 500m<sup>3</sup>/h，每小时约能对探伤室进行 3 次换气，能满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中探伤室每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。

**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) 固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房项目

万禾航宇科技检测（常州）有限公司拟建固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房包括探伤室（含源坑）和辅房（含操作室、暗室、危废库、评片室、资料室及设备间），均为单层结构。其中源坑位于探伤室东南角；操作室、暗室及危废库位于探伤室北侧；评片室、资料室及设备间位于探伤室南侧；探伤室结构采用迷道型式。本项目拟配备 3 台 X 射线探伤机，周向机主射线朝东墙、西墙、顶部及底部照射，定向机主射线朝东墙、西墙、顶部及底部照射，探伤机照射方向均避开了操作室方向，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探伤室分开的要求，布局设计合理。

本项目拟将固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房探伤室实体屏蔽边界作为控制区边界，在探伤室出入口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；将操作室、暗室、危废库、评片室、资料室、设备间的实体边界作为监督区边界，并设置明显的电离辐射警示标志和警告标语，拟在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》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房平面布置及分区见图 10-1。

**表 10-1 本项目辐射工作场所两区划分情况**

| 固定探伤   | 控制区                                       | 监督区   |
|--------|---|---|
| 两区划分范围 | 探伤室（含源坑）                                  | 操作室、暗室、危废库、评片室、资料室、设备间的实体边界范围内区域  |
| 划分依据   | 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）6.4.1。 | 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：6.4.2.1“注册者或者许可证持有者应将下述区域定位为监督区：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”。<br>6.4.2.2 a) “采取适当的手段划出监督区的边界”。 |
| 分区管理措施 | 对控制区进行严格控制，探伤室内在曝光过程中严禁任何人员               | 监督区为辐射工作人员操作仪器时工作场所，禁止非相关人员进入，避免受到不必要的照射，并  |

|        |   |  |
|--------|---|--|
|        | 进入。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 6.4.1.4 c) 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。 | 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 6.4.2.2 b) 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 | 探伤房工件门上粘贴电离辐射警告标识。  | 入口处的适当地点设立标明监督区的标牌。  |



图 10-1 本项目平面布置、分区示意图

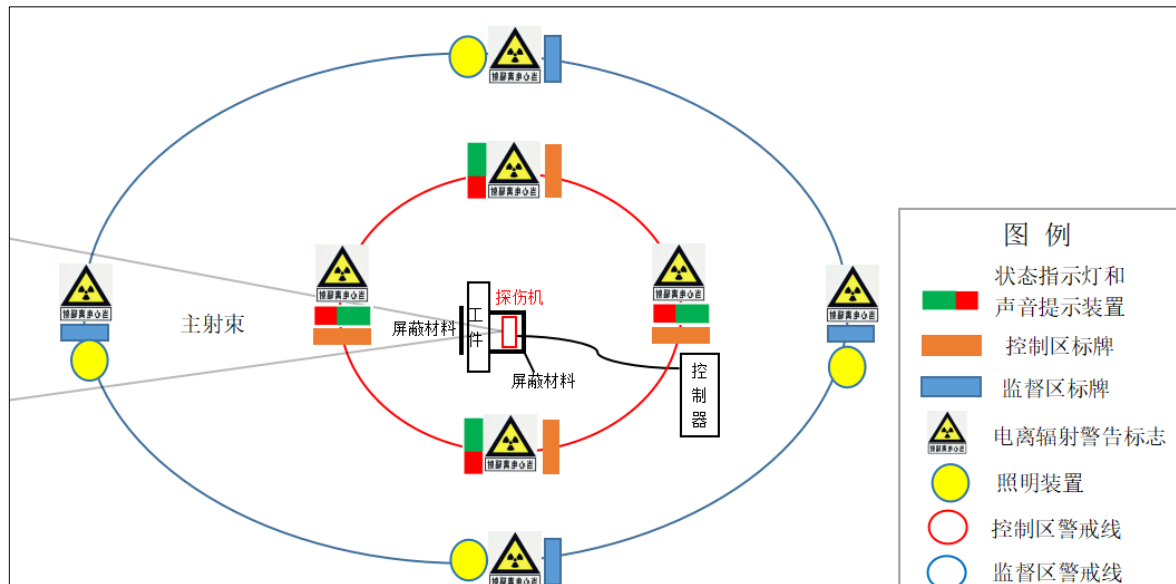
### (2) 移动式 X 射线探伤项目

万禾航宇科技检测(常州)有限公司在开展移动式 X 射线探伤作业时,探伤工作人员参考本报告表不同工况下理论计算结果,并结合现场具体情况,利用 X- $\gamma$  辐射剂量率仪巡测,将作业场所中周围剂量当量率大于 15  $\mu\text{Sv/h}$  的范围内划为控制区,并拟在其边界悬挂清晰可见的“禁止进入射线工作区”警告牌及电离辐射警告标志。将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于 2.5  $\mu\text{Sv/h}$  的范围划为监督区,并拟在其边界上悬挂“无关人员禁止入内”警告牌及电离辐射警告标志,必要时现场设安全人员警戒。本项目控制器与 X 射线机的连接电缆约 25m,辐射工作人员在控制箱一端操作,若控制区的划定范围大于 25m 时,则采用建筑、工件、铅屏蔽等遮挡或通过延时装置延迟曝光,确保曝光时辐射工作人员位于控制区边界外。

以上项目布局及控制区、监督区的划分能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）对现场探伤的设置的要求，本项目移动式 X 射线探伤分区及布局合理。

**表 10-2 本项目辐射工作场所两区划分情况**

| 移动探伤   | 控制区  | 监督区  |
|--------|--|--|
| 两区划分范围 | 周围剂量当量率大于 15 $\mu\text{Sv/h}$ 的范围  | 将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的范围  |
| 辐射防护措施 | 禁止人员进入控制区，控制区边界拟根据现场情况优先利用现场墙体、工件等进行划区，没有墙体、工件等实体防护时，拟在边界处设置显眼的警戒线；东、南、西、北边界处均拟悬挂清晰可见的“禁止进入射线工作区”警告牌 | 禁止无关人员进入监督区，监督区边界拟设置显眼的警戒线，在东、南、西、北边界处均拟悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，并拟设置明显的电离辐射警告标志和警告标语，同时在监督区边界设置人员进行警戒 |



**图 10-2 本项目移动式 X 射线探伤项目两区划分及辐射安全措施布置示意图**

综上所述，本项目拟采取的辐射安全防护措施满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中的相关要求。

## 2 固定式 X、 $\gamma$ 射线探伤房辐射防护屏蔽设计

本项目探伤室内部净长宽高为 8000mm（长） $\times$ 4500mm（宽） $\times$ 4500mm（高），探伤室屏蔽设计见表 10-3 和附图 5。

**表 10-3 本项目探伤房屏蔽设计一览表**

| 屏蔽体名称      | 屏蔽材料及厚度            | 备注   |
|------------|--------------------|--|
| 东、南、西、北侧墙体 | 均拟采用 900 mm 砼      | (1) 周向机主射线朝东墙、西墙、顶部及底部照射；<br>(2) 定向机主射线朝东墙、西墙、顶部及底部照射。               |
| 顶部         | 拟采用 650 mm 砼       |  |
| 迷道墙体       | 拟采用 900 mm 砼       |  |
| 工件门        | 拟采用 900 mm 砼       |  |
| 人员门        | 拟采用 30 mmPb+4 mmFe |  |
| 源坑盖板       | 拟采用 20 mmPb        | 源坑长宽深为 800mm (长) ×800mm (宽) ×800mm (深), 源坑盖板 1000mm (长) ×1000mm (宽)。 |

注：本项目混凝土的密度不小于 2.35t/m<sup>3</sup>。

工件门门洞 3.0m 宽×4.0m 高，工件门 4.5m 宽×4.6m 高，工件门左右各搭接 750mm，上下各搭接 300mm；人员门门洞 0.8m 宽×2.0m 高，人员门 1.3m 宽×2.3m 高，人员门左右各搭接 250mm，上下各搭接 150mm；工件门、人员门与墙体之间的缝隙宽度均小于 10mm，工件门、人员门与墙体重叠部分不小于工件门、人员门与墙体缝隙宽度的 10 倍。

本项目探伤室东北角拟采用 U 型地下穿墙通风管道，通风管道直径 300mm，埋地深度为 500mm，从探伤室地下穿过北墙，穿过辅房延至室外。探伤室北墙与操作室之间拟设 U 型地下穿墙电缆管道，电缆管道直径 160mm，埋地深度为 300mm。

### 3 辐射安全措施设计

#### 3.1 辐射防护措施

##### 3.1.1 固定式 X 射线探伤辐射安全装置和保护措施

为确保辐射安全，保障 X 射线探伤机安全运行，公司拟根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022) 设计相应的辐射安全装置和保护措施，符合性分析一览表见表 10-4 和附图 4。

**表 10-4 本项目固定探伤拟采取辐射安全装置和保护措施及符合性评价一览表**

| 序号 | 装置和措施   | GBZ 117-2022 标准要求   | 本项目拟采取的辐射安全措施  | 是否满足 |
|----|---------|---|--|------|
| 1  | 门-机联锁装置 | 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 | 探伤室工件门及人员门拟设置门机联锁装置，即使用中的 X 射线探伤机或 γ 射线探伤机与防护门联锁。只有当工件门及人员门完全关闭后才能进行探伤作业。在 | 是    |

|   |        |  |   |   |
|---|--------|--|---|---|
|   |        | 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   | 探伤过程中，工件门或人员门被意外打开时，X射线探伤机能立刻停止出束，γ射线探伤机能自动回源。在探伤室工件门旁及迷道口处拟设置紧急开门开关，以方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室   |   |
| 2 | 信号指示装置 | 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 | 探伤室工件门、人员门上方及探伤室内拟设置显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，X射线探伤机工作时，指示灯和声音提示装置开启，警告无关人员勿靠近探伤室或在探伤室外做不必要的逗留。<br>“预备”信号拟持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开，“预备”信号和“照射”信号拟有明显的区别，并且拟与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。探伤室工件门、人员门上方及探伤室内醒目位置处拟设置对“预备”和“照射”信号意义的清晰说明。探伤室拟设置照射状态指示装置与X射线探伤机或γ射线探伤机进行联锁 | 是 |
| 3 | 监视装置   | 6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况   | 拟在探伤室内东北角、西南角、迷道内及工件门外各安装1个摄像头，在操作台拟设置专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况   | 是 |
| 4 | 标志标识   | 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  | 探伤室防护门外拟设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明，提醒无关人员勿在其附近出入和逗留  | 是 |
| 5 | 急停装置   | 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   | 拟在探伤室内东墙、南墙、西墙及北墙处各设置1个急停按钮，在迷道内及操作台处各设置1个急停按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。本项目紧急停机按钮的设置能够使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。紧急停机按钮拟设有标签，标明使用方法   | 是 |
| 6 | 机械通风装置 | 6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于3次  | 本项目探伤室拟设直径300mm的U型埋地通风管，从探伤室地下穿过北墙，最终将臭氧和氮氧化物排出探伤室。本项目探伤室体积约为162m <sup>3</sup> ，本项目探伤室内通风管道的通风量拟设置为500m <sup>3</sup> /h，每小时约能对探伤  | 是 |

|    |          |   |  |   |
|----|----------|---|--|---|
|    |          |   | 室进行 3 次换气,能够满足每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求  |   |
| 7  | 辐射探测报警装置 | 6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置  | 拟在探伤室内设置 1 个固定式辐射探测报警装置,操作台处拟设置对应报警灯及剂量率显示界面   | 是 |
| 8  | 钥匙开关     | /   | 操作台处每台设备各自设有钥匙开关,仅授权的辐射工作人员方可使用,只有在打开操作台钥匙开关后,X、 $\gamma$ 射线探伤机才能出束;钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出  | 是 |
| 9  | 辐射监测仪器   | 4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ 128 的要求进行个人剂量监测,按 GBZ 98 的要求进行职业健康监护;<br>4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪 | 公司拟为本项目配备 3 台便携式辐射监测仪(2 台用于移动探伤、1 台用于固定探伤)以及 5 台个人剂量报警仪,并委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测及职业健康体检 | 是 |
| 10 | 规章制度     | 4.2 应建立放射防护管理组织,明确放射防护管理人员及其职责,建立和实施放射防护管理制度和措施;<br>4.6 应制定辐射事故应急预案                 | 公司拟成立辐射防护管理机构,并拟制定相关辐射安全管理规章制度及辐射事故应急预案,工作过程中严格执行相应的规章制度,避免发生误照射事故                     | 是 |

### 3.1.2 移动式 X 射线探伤辐射安全措施

为确保辐射安全,保障 X 射线探伤机安全运行,公司拟根据《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)标准要求,本项目移动式 X 射线探伤项目拟落实下表 10-5 中的辐射安全和防护措施要求。

表 10-5 本项目移动探伤拟采取辐射安全措施及符合性评价一览表

| 序号 | 装置和措施 | GBZ 117-2022 标准规定  | 本项目拟采取的辐射安全措施   | 是否满足 |
|----|-------|--|---|------|
| 1  | 工作前检查 | 5.1.2 工作前检查项目应包括:<br>a) 探伤机外观是否完好;<br>b) 电缆是否有断裂、扭曲以及破损;<br>c) 液体制冷设备是否有渗漏;<br>d) 安全联锁是否正常工作;<br>e) 报警设备和警示灯是否正常运行;<br>f) 螺栓等连接件是否连接良好;<br>5.1.3 X 射线探伤机的维护应符合下列要求:<br>a) 使用单位应对探伤机的设备维护负责,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;<br>b) 设备维护包括探伤机的彻底检查和 | (1) 人员在拟探伤工作前对 X 射线探伤机进行检查,检查项目主要包括:<br>a) 探伤机外观是否完好;<br>b) 电缆是否有断裂、扭曲以及破损;<br>c) 液体制冷设备是否有渗漏;<br>d) 安全联锁是否正常工作;<br>e) 报警设备和警示灯是否正常运行;<br>f) 螺栓等连接件是否连接良好;<br>(2) 拟定期对 X 射线探伤机进行检查维护,发现问题及时维修 | 是    |

|   |       |  |   |   |
|---|-------|--|---|---|
|   |       | <p>所有零部件的详细检测；</p> <p>c) 当设备有故障或损坏需更换零部件时，应保证所更换的零部件为合格产品；</p> <p>d) 应做好设备维护记录</p>   |   |   |
| 2 | 作业前准备 | <p>7.1.1 在实施移动式探伤工作之前，使用单位应对工作环境进行全面评估，以保证实现安全操作。评估内容至少应包括工作地点的选择、接触的工人与附近的公众、天气条件、探伤时间、是否高空作业、作业空间等。应考虑移动式探伤对工作场所内其他的辐射探测系统带来的影响（如烟雾报警器等）；</p> <p>7.1.2 使用单位应确保开展移动式探伤工作的每台探伤机至少应配备两名专职工作人员</p>   | <p>（1）本项目现场探伤工作之前，辐射工作人员对拟探伤现场的环境进行评估，确认是否可进行现场探伤作业，如可进行现场探伤作业，则选择适当的地点和探伤时间，与委托单位进行规划和协商，提前发布 X 射线探伤通知；</p> <p>（2）本项目开展移动式探伤工作时，每台探伤机至少应配备 2 名辐射工作人员</p>   | 是 |
| 3 | 两区划分  | <p>7.2.1 探伤作业时，应对工作场所实行分区管理，将工作场所划分为控制区和监督区。并在相应的边界设置警示标识。现场射线探伤工作应在指定为控制区的区域内进行；</p> <p>7.2.2 一般应将作业场所中周围剂量当量率大于 15 <math>\mu\text{Sv/h}</math> 的区域划为控制区；7.2.3 控制区边界上合适的位置应设置电离辐射警告标志并悬挂清晰可见的“禁止进入射线工作区”警告牌，探伤作业人员应在控制区边界外操作，否则应采取专门的防护措施；</p> <p>7.2.4 控制区的边界尽可能设定实体屏障，包括利用现有结构（如墙体）、临时屏障或临时拉起警戒线（绳）等；</p> <p>7.2.5 移动式探伤作业工作过程中，控制区内不应同时进行其他工作。为了使控制区的范围尽量小，应使用合适的准直器并充分考虑探伤机和被检物体的距离、照射方向、时间和现场屏蔽等条件。视情况采用局部屏蔽措施；</p> <p>7.2.6 每一个探伤作业班组应至少配备一台便携式 X-<math>\gamma</math> 剂量率仪，并定期对其开展检定/校准工作。应配备能在现场环境下可听见、看见或产生震动信号的个人剂量报警仪；</p> <p>7.2.7 探伤作业期间还应对控制区边界上代表点的剂量率进行检测，尤其是探伤的位置在此方向或射线束的方向发生改变时，适时调整控制区的边界；</p> <p>7.2.8 应将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于 2.5<math>\mu\text{Sv/h}</math> 的范围划为监督区，</p> | <p>（1）X 射线探伤工作拟安排在夜间 10 点后进行，根据现场条件来划定防护距离，运用距离、时间及屏蔽物等防护原则进行防护。现场探伤拟根据现场情况划定并标志出控制区和监督区范围和边界。拟将周围剂量当量率大于 15 <math>\mu\text{Sv/h}</math> 的区域划定为控制区，控制区的边界拟尽可能利用探伤现场的实体屏障（如墙体）、大型工件等，无实体屏障时拟在控制区边界外拉警戒线，设置电离辐射警告标志并悬挂“禁止进入射线工作区”警告牌，探伤作业人员在控制区边界外操作；移动探伤作业前进行清场，确保在控制区内没有任何其他人员工作，为使控制区的范围尽量小，视现场情况采取调整照射方向或局部屏蔽等措施；</p> <p>（2）拟配备 3 台便携式 X-<math>\gamma</math> 剂量率仪（2 台用于移动探伤、1 台用于固定探伤），并定期对巡测仪进行校准和检定，每名辐射工作人员均配备 1 台个人剂量报警仪；</p> <p>（3）探伤作业期间拟对控制区边界上代表点的剂量率进行检测，探伤的位置或射线束的方向发生改变时，重新对控制区边界剂量率进行检测，适时调整控制区的边界；</p> | 是 |

|   |         |  |  |   |
|---|---------|--|--|---|
|   |         | <p>并在其边界上悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，必要时设专人警戒；</p> <p>7.2.9 移动式探伤工作在多楼层的厂或工地实施时，应防止移动式探伤工作区上层或下层的人员通过楼梯进入控制区；</p> <p>7.2.10 探伤机控制台（X 射线发生器控制面板）应设置在合适位置或设有延时开机装置，以便尽可能降低操作人员的受照剂量</p>   | <p>（4）拟将控制区边界外、作业时周围剂量当率大于 2.5<math>\mu</math>Sv/h 的范围划定监督区边界，并在边界上悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，根据需要设专人警戒；</p> <p>（5）移动探伤现场在多楼层的现场实施时，拟对每个出入口拉警戒线，并设置警告牌；</p> <p>（6）本项目探伤机控制器与 X 射线机的连接电缆约 25m，辐射工作人员在控制台一端操作，控制器具有 0-99 秒延时曝光设置功能，确保曝光时辐射工作人员撤离至控制区边界外。</p>   |   |
| 4 | 安全警示    | <p>7.3.1 委托单位（业主单位）应配合做好探伤作业的辐射防护工作，通过合适的途径提前发布探伤作业信息，应通知到所有相关人员防止误照射发生；</p> <p>7.3.2 应有提示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。“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。夜晚作业时控制区边界应设置警示灯；</p> <p>7.3.3 X 射线探伤的警示信号指示装置应与探伤机联锁；</p> <p>7.3.4 在控制区的所有边界都应能清楚地听见或看到“预备”信号和“照射”信号；</p> <p>7.3.5 应在监督区边界和建筑物进出口的醒目位置张贴电离辐射警告标志和警示语等提示信息</p>   | <p>（1）探伤作业前，要求委托单位通过有效的内部途径提前发布 X 射线探伤通知。移动探伤过程中严格执行移动 X 射线探伤操作规程及移动 X 射线探伤流程，坚持先示警再开机的操作程序，以防发生误照射事故；</p> <p>（2）在控制区边界拟设置提示“预备”“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁；</p> <p>（3）在监督区边界和建筑物进出口悬挂醒目的“无关人员禁止入内”的警告牌和电离辐射警告标志，并设专人警戒</p>  | 是 |
| 5 | 边界巡查与检测 | <p>7.4.1 开始移动式探伤之前，探伤工作人员应确保在控制区内没有任何其他人员，并防止有人进入控制区；</p> <p>7.4.2 控制区的范围应清晰可见，工作期间应有良好的照明，确保没有人员进入控制区。如果控制区太大或某些地方不能看到，应安排足够的人员进行巡查；</p> <p>7.4.3 在试运行（或第一次曝光）期间，应测量控制区边界的剂量率以证实边界设置正确。必要时调整控制区的范围和边界；</p> <p>7.4.4 开始移动式探伤工作之前，应对便携式 X-<math>\gamma</math> 剂量率仪进行检查，确认能正常工作。在移动式探伤工作期间，便携式 X-<math>\gamma</math> 剂量率仪应一直处于开机状态，防止射线曝光异常或不能正常终止；</p> <p>7.4.5 移动式探伤期间，工作人员除进行常规个人监测外，还应佩戴个人剂量报警仪。个人剂量报警仪不能替代便携式 X-<math>\gamma</math> 剂量率仪，两者均应使用</p> | <p>（1）开始移动式探伤之前，辐射工作人员应确保在控制区内没有任何其他人员，并防止有人进入控制区；</p> <p>（2）控制区的范围应清晰可见，工作期间应有良好的照明，确保没有人员进入控制区。如果控制区太大或某些地方不能看到，应安排足够的人员进行巡查；</p> <p>（3）在试运行（或第一次曝光）期间，应测量控制区边界的剂量率以证实边界设置正确。必要时调整控制区的范围和边界；</p> <p>（4）开始移动式探伤工作之前，拟对便携式 X-<math>\gamma</math> 剂量率仪进行检查，确认能正常工作。在移动式探伤工作期间，便携式 X-<math>\gamma</math> 剂量率仪应一直处于开机状态，防止射线曝光异常或不能正常终止；</p> <p>（5）移动式探伤期间，辐射工作</p> | 是 |

|   |           |   |   |   |
|---|-----------|---|---|---|
|   |           |   | 人员除进行常规个人监测外，还应佩戴个人剂量报警仪。个人剂量报警仪不能替代便携式 X-γ 剂量率仪，两者均应使用 |   |
| 6 | 移动探伤的操作要求 | 7.5.1.2 应考虑控制器与 X 射线管和被检物体的距离、照射方向、时间和屏蔽条件等因素，选择最佳的设备布置，并采取适当的防护措施； | 现场作业时，拟根据照射方向、时间、周围屏蔽条件等进行合理布局，视情况采取屏蔽措施                | 是 |

公司拟为本项目移动式 X 射线探伤配备相应的辐射安全设施及设备，见表 10-6。

**表 10-6 本项目移动式 X 射线探伤拟配备的防护用品和监测仪器一览表**

| 用品/仪器名称                       | 配备数量                                  |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| X-γ辐射剂量率仪（巡检仪）                | 3台（2台用于移动探伤、1台用于固定探伤）                 |
| 个人剂量报警仪                       | 5台                                    |
| 个人剂量计                         | 5个                                    |
| 电离辐射警告标志                      | ≥4个（控制区边界4个）                          |
| “禁止进入射线工作区”控制区标牌              | ≥4个                                   |
| “无关人员禁止入内”监督区标牌               | ≥4个                                   |
| 警戒绳                           | 2000m（100米/卷*20卷）                     |
| 提示“预备”“照射”工作指示灯与声音提示装置并与探伤机联锁 | 至少4个                                  |
| 照明灯（光线不良使用）                   | 至少4个                                  |
| 移动式铅屏蔽材料                      | 4块（如铅板等，2mm铅当量，宽1.0m*高1.5m，可根据实际需要调整） |

### 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 要求对本项目固定式 X、γ 射线探伤房进行检查，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）辐射工作人员在进入探伤室时，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，辐射工作人员立即退出探伤室，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。

（3）辐射工作人员拟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）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）辐射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，辐射工作人员都拟确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门人员门关闭、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。

(7) 周向式探伤机用于移动式探伤时，应将 X 射线管头组装体置于被探伤物件内部进行透照检查。做定向照射时应使用准直器（仅开定向照射口）。

(8) 应考虑控制器与 X 射线管和被检物体的距离、照射方向、时间和屏蔽条件等因素，选择最佳的设备布置，并采取适当的防护措施。

### 3.3 放射源源坑辐射安全措施

(1) 放射源源坑盖板外表面拟设置电离辐射警告标志。

(2) 从探伤工作人员中固定 1 名，与辐射防护负责人共同负责放射源库的监管工作，放射源源坑实行双人双锁管理。

(3) 放射源源坑外拟设置 1 个摄像头（探伤室东北角），对放射源实施 24h 监控。

(4) 放射源源坑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。

(5) 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、出源坑均进行登记，对  $\gamma$  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。

### 3.4 关于 $\gamma$ 探伤的其他安全措施要求

2007 年，针对  $\gamma$  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  $\gamma$  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  $\gamma$  射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》（环发〔2007〕8 号）中关于  $\gamma$  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。**---该公司拟设置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申领辐射安全许可证，符合要求。

(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  $\gamma$  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，符合要求。

(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，符合要求。

(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 $\gamma$ 射线探伤时，至少有2名辐射工作人员在场；公司拟为从事 $\gamma$ 射线探伤的每名辐射工作人员配备个人剂量计及个人剂量报警仪，个人剂量计定期送检，并建立个人剂量档案，同时携带便携式X- $\gamma$ 剂量率仪，符合要求。

(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。---该公司拟制定相关制度，并在制度中明确上述要求，在今后的生产实践过程中严格按照制度执行，符合要求。

(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。---该公司拟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，符合要求。

(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。---从探伤工作人员中固定1名，与辐射防护负责人共同负责放射源源坑的监管工作。放射源库拟设置与公安联网的红外报警系统、监视器及双人双锁。铅门表面明显位置将粘贴电离辐射警告标志。

(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，一一对应。核实时应有2人在场，核实记录应妥善保存，并建立计算机管理档案。

---该公司拟制定相关的档案管理制度，从探伤工作人员中固定 1 名，与辐射防护负责人共同负责放射源源坑的监管工作，防护负责人做好放射源领用情况的登记、收集和存档工作，符合要求。

(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。---该公司拟根据上述内容制定辐射事故应急预案，符合要求。

(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  $\gamma$  射线直射、散射效应。---公司本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房拟采用混凝土及铅板对  $\gamma$  射线进行屏蔽，经理论预测，其能够充分屏蔽  $\gamma$  射线，符合要求。

(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。---公司本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房探伤室内均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，符合要求。

(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。---公司拟为本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房配备 5 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，符合要求。

(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，应有声音警示，灯箱应醒目显示“禁止入内”。---本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房探伤室内及工件门上方、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，探伤作业时，有声音警示，灯箱拟醒目显示“禁止入内”，符合要求。

(15)  $\gamma$  射线探伤室的各项安全措施必须定期检查，并做好记录。---公司拟对本项目固定式 X、 $\gamma$  射线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，符合要求。

### 3.5 探伤机退役处理措施

当 X 射线探伤机及  $\gamma$  射线探伤机不再使用时，公司计划实施退役程序。

(1) 本项目  $\gamma$  射线探伤机内  $^{192}\text{Ir}$  密封源退役后仍有较强的放射性，公司已承诺  $\gamma$  射线探伤机内  $^{192}\text{Ir}$  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拟与  $\gamma$  射线源一样对待，公司承诺掺入贫铀的屏蔽装置由原生产厂家回收。

(3) 公司计划将 X 射线探伤机的 X 射线发生器处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。

(4) 当所有辐射源从现场移走后，公司拟按监管机构要求办理相关手续。

(5) 公司计划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) 公司计划清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

综上所述，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》(GBZ 117-2022) 中的相关要求。

## 三废的治理

### 1 放射性三废

本项目运行过程中没有放射性废水、废气产生。

本项目  $\gamma$  射线探伤机内  $^{192}\text{Ir}$  密封源退役后仍有较强的放射性， $\gamma$  射线探伤机退役时产生的  $\gamma$  探伤机屏蔽装置（贫铀罐）也具有一定的放射性，公司已承诺  $\gamma$  射线探伤机内  $^{192}\text{Ir}$  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

公司拟于探伤室东北侧新建 1 座危废库，拟将探伤作业时产生的洗片废液、胶片冲洗废水及废胶片暂存于危废库内。公司拟新建的危废库为独立场所，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）和江苏省固体废物管理信息系统等管理规定，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。

### 2.1 固体废物

本项目运行后产生的废胶片属《国家危险废物名录(2025 年版)》中编号为 HW16 的危险废物。万禾航宇科技检测(常州)有限公司已承诺将与有资质单位签订洗片废液及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

本项目运行后产生的显影、定影废液属于《国家危险废物名录(2025 年版)》中编号为 HW16 的危险废物，胶片第一、二次冲洗废水拟按危险废物进行管理处置，不得随意排放。公司已承诺将与有资质单位签订洗片废液及废胶片处理处置合同(见附件 5)，探伤过程中产生的显影、定影废液及胶片冲洗废水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，工作人员会产生一定量的生活污水，生活污水排入公司污水管网，最终进入污水处理厂处理。

### 2.3 废气

本项目 1 座固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房的 X 射线探伤机工作时产生的 X 射线可使空气电离从而产生少量臭氧和氮氧化物。

本项目探伤室拟设直径 300mm 的 U 型埋地通风管，从探伤室地下穿过北墙，最终将臭氧和氮氧化物排出探伤室。本项目探伤室体积约为 162m<sup>3</sup>，本项目探伤室内通风管道的通风量拟设置为 500m<sup>3</sup>/h，每小时约能对探伤室进行 3 次换气，能够满足每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。且每次更换工件都将打开防护门，也可实现通风。臭氧在常温下 50 min 可以自行分解为氧气，其产生臭氧和氮氧化物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**

本项目厂内移动式 X 射线探伤项目无需进行挖掘地基、混凝土浇筑等作业，建设阶段对周围环境无影响。本项目 1 座固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房在建设过程中将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，对环境会产生如下影响：

(1) 大气

本项目在建设施工期需进行拆除墙体、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，在施工过程中，对照《施工场地扬尘排放标准》（DB32/ 4437-2022），在施工场地设置 1 个扬尘排放监测点位；d.对施工机械和车辆燃油造成的废气排放污染应引起重视，应要求其燃用符合国家标准的高热值清洁燃料，安装尾气净化器，尽量减少废气污染物的排放。

(2) 噪声

整个建筑施工阶段，建筑设备在运行中将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）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，按照《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。

(3) 固体废物

项目施工期间，产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

(4) 废水

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

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 固定式 X 射线探伤项目辐射环境影响

本项目拟配备 3 台 X 射线探伤机，其中周向机主射线朝东墙、西墙、顶部及底部照射，定向机主射线朝东墙、西墙、顶部及底部照射。每次探伤仅开启 1 台探伤机。

探伤室内每次仅开启 1 台探伤机进行探伤，本次评价选取 PFS450 型定向探伤机满功率运行时的工况进行预测，其最大管电压为 450kV，管电流为 10mA。本次评价拟将探伤室东墙、西墙（含工件门）及顶部墙体按照有用射束照射进行估算，将探伤室北墙（含人员门）、南墙按照非有用线束照射进行预测计算。探伤机工作时最大离地高度约为 1.5m（与顶部内侧距离为 3m），结合被探伤工件形状尺寸和人员进出空间需要取探伤机至工件门内侧最近距离为 2.5m，取探伤机至东墙、南墙、北墙内侧最近距离为 1.5m，本项目 X 射线探伤机活动区域见附图 11-1。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，关注点及其需要防护的射线见表 11-1。

##### 1.1.1 固定式 X 射线探伤房辐射屏蔽预测

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。本项目探伤室周围关注点选取示意图 11-1，关注点及其需要防护的射线见表 11-1。

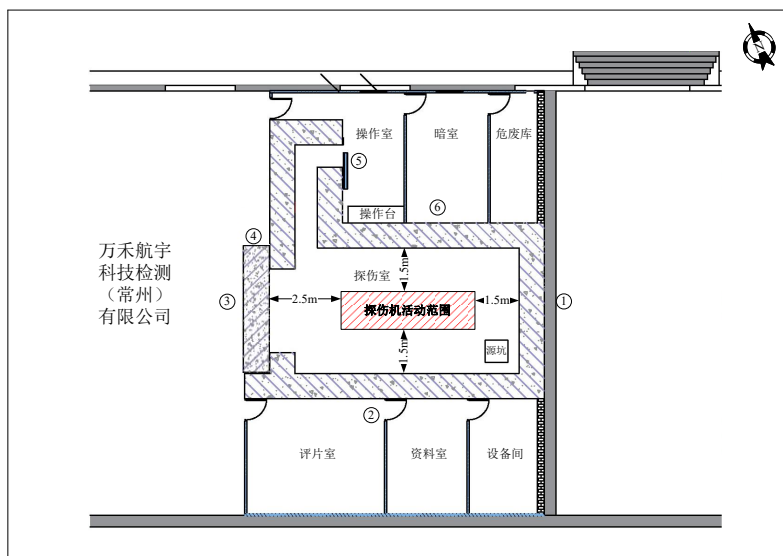




表 11-2 本项目探伤房探伤室 X 射线探伤机有用线束方向屏蔽效果预测表

| 关注点            | 屏蔽材料及厚度 | $I$<br>(mA) | $H_0$<br>$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ | $B$      | $R$<br>(m) | $H$<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 剂量率参考控制水平<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 评价结果 |
|----------------|---------|-------------|---|----------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|------|
| ①东墙外<br>30cm   | 900mm 砼 | 10          | $132\times 60\times 10^3$                                       | 6.04E-09 | 2.7        | 6.56E-02                    | 2.5                               | 满足   |
| ③工件门外<br>30cm  | 900mm 砼 | 10          | $132\times 60\times 10^3$                                       | 6.04E-09 | 4.6        | 2.26E-02                    | 2.5                               | 满足   |
| ④西墙外<br>30cm   | 900mm 砼 | 10          | $132\times 60\times 10^3$                                       | 6.04E-09 | 3.7        | 3.49E-02                    | 2.5                               | 满足   |
| ⑦顶部表面外<br>30cm | 650mm 砼 | 10          | $132\times 60\times 10^3$                                       | 1.16E-06 | 3.95       | 5.88E+00                    | 100                               | 满足   |

注：关注点① $R$ =探伤机距离东墙内侧最近距离 1.5m+墙厚 0.9m+关注点 0.3m=2.7m；

关注点③ $R$ =探伤机距离西墙内侧最近距离 2.5m+墙厚 0.9m+工件门厚 0.9m+关注点 0.3m=4.6m；

关注点④ $R$ =探伤机距离西墙内侧最近距离 2.5m+墙厚 0.9m +关注点 0.3m=3.7m；

关注点⑦ $R$ =探伤机距离屋顶内侧最近距离 3.0m+屋顶厚 0.65m+关注点 0.3m=3.95m。

表11-2预测结果表明，本项目PFS450型探伤机在管电压450kV、管电流10mA工况下满功率运行且无工件的条件下，有用线束分别对探伤室东墙、西墙（含工件门）外关注点贡献的最大剂量率约为6.56E-02 $\mu\text{Sv/h}$ ，有用线束对探伤室顶部外30cm处关注点贡献的最大剂量率约为5.88E+00 $\mu\text{Sv/h}$ ，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/T 250-2014）中探伤室辐射屏蔽剂量率参考控制水平要求。

### （2）非有用线束屏蔽效果预测

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

#### ①泄漏辐射

$$\dot{H} = \frac{H_L \cdot B}{R^2} \quad \text{公式（2）}$$

式中：

$\dot{H}$ ：关注点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_L$ ：距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，本项目取 5.00E+03  $\mu\text{Sv/h}$ ；

$B$ ：屏蔽透射因子；利用《工业 X 射线探室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的什值层公式  $B=10^{-X/TVL}$  计算  $B$  值， $X$  取值为探伤房屏蔽设计厚度， $TVL$  取值取

值参考《辐射防护导论》(方杰著)表 3.5, 由插值法得出在 450kV 下混凝土的 TVL 为 109.5mm;

$R$ : 辐射源点(靶点)至关注点的距离, m。

② 散射辐射

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{公式 (3)}$$

式中:

$\dot{H}$ : 关注点处剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$I$ : X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流, mA, 详见表 9-1;

$H_0$ : 距辐射源点(靶点) 1m 处输出量,  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ , 详见表 9-1;

$B$ : 屏蔽透射因子; 利用《工业 X 射线探室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中的什值层公式  $B=10^{-X/TVL}$  计算  $B$  值,  $X$  取值为探伤房屏蔽设计厚度,  $TVL$  取值根据《工业 X 射线探室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中的表 B.2, 250kV 下 X 射线在混凝土中的什值层厚度  $TVL$  取 90 mm;

$F$ :  $R_0$  处的辐射野面积,  $\text{m}^2$ 。

$\alpha$ : 散射因子, 入射辐射被单位面积 ( $1\text{m}^2$ ) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。与散射物质有关, 在未获得相应物质的  $\alpha$  值时, 可以用水的  $\alpha$  值保守估计, 取值参考《工业 X 射线探室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中的附录 B 表 B.3。

$R_s$ : 散射体至关注点的距离, m。

$R_0$ : 辐射源点(靶点)至探伤工件的距离, m。

表 11-3 非有用线束方向关注点屏蔽效果预测表

| 关注点     |                             | ②南墙外 30cm | ⑤人员门外 30cm | ⑥北墙外 30cm |
|---------|-----------------------------|-----------|------------|-----------|
| 屏蔽材料及厚度 |                             | 900 mm 砼  | 900 mm 砼   | 900 mm 砼  |
| 泄漏辐射    | $TVL(\text{mm})$            | 109.5     | 109.5      | 109.5     |
|         | $B$                         | 6.04E-09  | 5.71E-04   | 6.04E-09  |
|         | $\dot{H}_L(\mu\text{Sv/h})$ | 5.00E+03  | 5.00E+03   | 5.00E+03  |
|         | $R(\text{m})$               | 2.7       | 4.4        | 2.7       |
|         | $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$   | 4.14E-06  | 1.56E-06   | 4.14E-06  |
| 散射辐射    | 散射后能量对应的 kV 值               | 250       | 250        | 250       |
|         | $TVL(\text{mm})$            | 90        | 90         | 90        |
|         | $B$                         | 1.00E-10  | 1.00E-10   | 1.00E-10  |

|  |   |                           |                           |
|--|---|---------------------------|---------------------------|
| $I(\text{mA})$   | 10  | 10                        | 10                        |
| $H_0 (\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h}))$ | $132\times 60\times 10^3$   | $132\times 60\times 10^3$ | $132\times 60\times 10^3$ |
| $F (\text{m}^2)$   | $\frac{F\cdot\alpha}{R_0^2}$ 保守取 $\frac{1}{50}$<br>(数据取自《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》<br>(GBZ/T 250-2014) B.4.2) |                           |                           |
| $\alpha$   |   |                           |                           |
| $R_0(\text{m})$  |   |                           |                           |
| $R_s(\text{m})$  | 2.7   | 4.4                       | 2.7                       |
| $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$                                    | 2.17E-05  | 8.18E-06                  | 2.17E-05                  |
| 泄漏辐射和散射辐射的复合作用<br>( $\mu\text{Sv/h}$ )                       | 2.59E-05  | 9.74E-06                  | 2.59E-05                  |
| 剂量率参考控制水平( $\mu\text{Sv/h}$ )                                | 2.5   | 2.5                       | 2.5                       |
| 评价   | 满足  | 满足                        | 满足                        |

注：关注点② $R$ =探伤机距离南墙内侧最近距离 1.5m+墙厚 0.9m+关注点 0.3m=2.7m；  
 关注点⑤ $R$ =探伤机距离北墙内侧最近距离 1.5m+墙厚 0.9m+关注点至北墙外侧的距离 2.0m=4.4m；

关注点⑥ $R$ =探伤机距离北墙内侧最近距离 1.5m+墙厚 0.9m+关注点 0.3m=2.7m；

表 11-3 预测结果表明，本项目 PFS450 型探伤机在管电压 450kV、管电流 10mA 工况下满功率运行且无工件的条件下，非有用线束对探伤室南墙、人员门及北墙外 30cm 等处关注点贡献的最大剂量率为  $2.59\text{E-}05\mu\text{Sv/h}$ ，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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

### (3) 迷道散射辐射影响分析

本项目固定式 X 射线探伤房探伤室采用“L”型外迷道设计，利用散射降低人员门口处的辐射水平。本项目使用定向机开展探伤工作时迷道及射线进入迷道后散射示意图见图 11-2，X 射线经西墙、迷道内墙两次散射后到达人员门，散射路径如图中  $O\rightarrow A\rightarrow B\rightarrow C$  所示，人员门采用 30 mmPb+4 mmFe 防护，散射公式见（公式 4）（美国辐射防护委员会 NCRP51 号报告）。

$$H_{rj} = \frac{D_0\alpha_1A_1(\alpha_2A_2)^{j-1}}{(d_i\cdot d_{r1}\cdot d_{r2}\cdots d_{rj})^2} \quad \text{公式 (4)}$$

式中：

$H_{rj}$ ：经  $j$  次散射后迷道口处的辐射剂量率，( $\mu\text{Sv/h}$ )；

$D_0$ ：距靶点 1m 的辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )；对于 X 射线， $D_0=H_0\cdot I=132\times 60\times 10^3\times 10=7.92\text{E}+07\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

$\alpha_1$ ：X 射线第一个散射体的散射系数。根据 NCRP 151 表 B.8a，通过线性插值法估算：散射角取  $66^\circ$  时，450 kV 的 X 射线第一反射系数  $\alpha_1$  约为 0.013；

$a_2$ : 随后从屏蔽层材料表面散射出来的对应 0.5MeV 的能量 X 射线的散射系数 (假设对以后所有散射过程是相同的), 根据 NCRP 151 表 B.8a 取 0.017;

$A_1$ : X 射线入射到第一散射物质的散射面积,  $m^2$ ;

$A_2$ : 迷道出口的截面积,  $m^2$ ;

$d_i$ : X 射线辐射源到第一散射体的距离,  $m$ ;

$d_{r_1}, d_{r_2} \dots d_{r_j}$ : 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。

迷道散射的计算参数及结果如下:

表 11-4 本项目 X 射线迷道散射计算

| 参数  | 主射线散射    |
|---|----------|
| $D_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$ | 7.92E+07 |
| $a_1$                                       | 0.013    |
| $a_2$                                       | 0.017    |
| $A_1(\text{m}^2)$                           | 3.6      |
| $A_2(\text{m}^2)$                           | 1.6      |
| $d_i(\text{m})$                             | 1.2      |
| $d_{r_1}(\text{m})$                         | 4.8      |
| $d_{r_2}(\text{m})$                         | 1.3      |
| $H_{r_j}(\mu\text{Sv}/\text{h})$            | 4.89E+01 |
| 经过一次散射后能量对应的 kV 值 (保守取值)                    | 250kV    |
| 人员门 TVL(mm)                                 | 2.9      |
| 人员门 X 设计厚度(mm)                              | 30       |
| $B$   | 4.52E-11 |
| $H(\mu\text{Sv}/\text{h})$                  | 2.21E-09 |

注: [1]基于康普顿散射公式, 450kV X 射线经过一次散射 (散射角保守取  $90^\circ$ ) 后的能量约为 240kV; 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, 保守取 250kV 下铅的半值层为 2.9 mm。根据公式  $B=10^{-X/TVL}$  计算得到屏蔽透射因子 B 值;

[2] $A_1$ : 本项目取迷道入口的截面积,  $m^2$ ;  $A_1$ =迷道入口高 4.5 m×宽 0.8 m=3.6  $m^2$ ;

[3] $A_2$ : 本项目取迷道出口的截面积,  $m^2$ ;  $A_2$ =迷道出口高 2.0 m×宽 0.8 m=1.6  $m^2$ ;

[4]人员门屏蔽仅考虑铅的厚度, 未考虑 Fe 的厚度。

表 11-4 预测结果表明, 本项目固定式 X 射线探伤室使用 PFS450 型定向探伤机探伤时, 经两次散射并经人员门屏蔽后在门外的辐射剂量率约为 2.21E-09 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 叠加主射线穿墙、穿门辐射剂量率后, 探伤室迷道出口辐射剂量率约为 9.74E-06  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

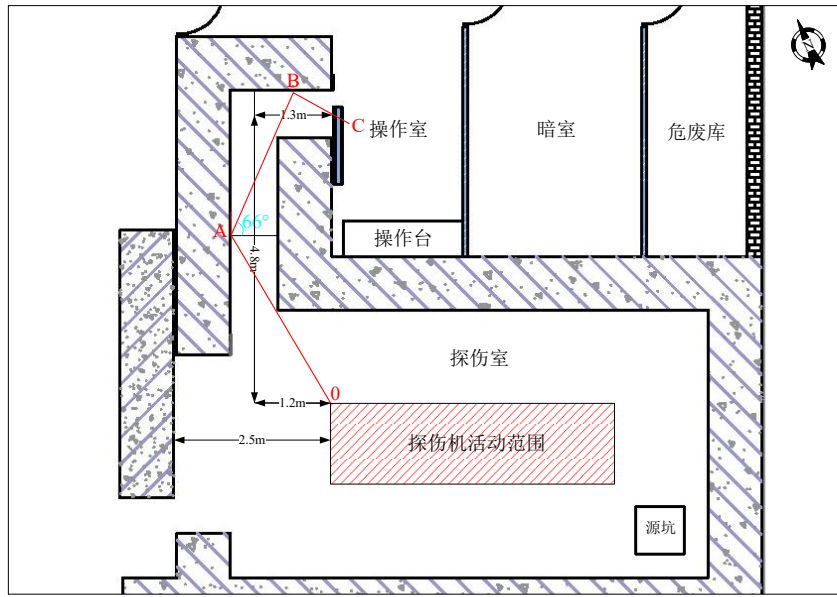


图 11-2 迷道及射线进入迷道后散射示意图

(4) 天空反散射辐射影响分析

探伤室顶的屏蔽主要考虑穿透 X 射线的天空反散射影响，天空反散射示意图见图 11-3。

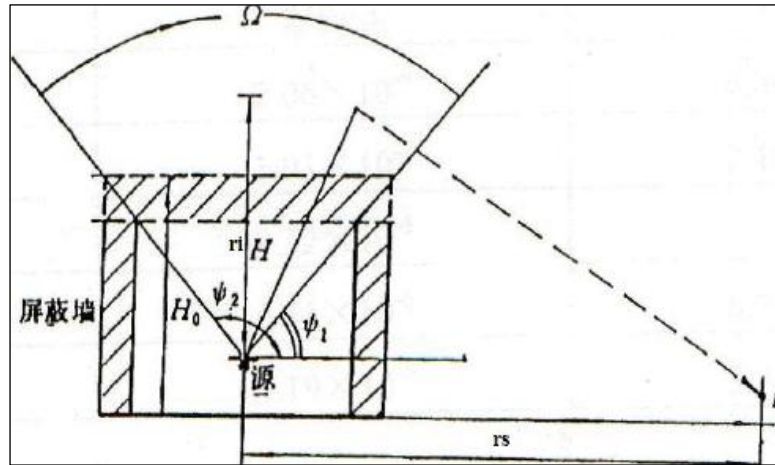


图 11-3 天空反散射示意图

天空反散射辐射水平预测模式采用《辐射防护导论》中推荐模式，具体计算公式如下：

$$\eta_{ys} \leq 0.67 \frac{H_{L,h} \cdot r_i^2 \cdot r_s^2}{\dot{D}_{10} \cdot \Omega^{1.3}}$$

推导出：

$$H_{L,h} = \frac{\eta_{ys} \cdot \dot{D}_{10} \cdot \Omega^{1.3}}{0.67 \cdot r_i^2 \cdot r_s^2} \quad \text{公式 (5)}$$

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；

$\eta_{ys}$ ：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， $r_s$  通过公式  $r_s = \frac{b \cdot r_i}{r_i - c}$  计算得到；

$\dot{D}_{10}$ ：离源上方 1m 处的吸收剂量指数率， $\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ ；对于 X 辐射源， $\dot{D}_{10} = I \delta_a$  其中  $I$  是电流，mA； $\delta_a$  是 X 射线发射率常数， $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，从《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 表 B.1 查取 ( $\delta_a$  与 GBZ/T 250-2014 表 B.1 中的 X 射线输出量为同一物理量)，该物理量取值与有用射束辐射影响预测计算中取值均查自 GBZ/T 250-2014 表 B.1。对于  $\gamma$  辐射源， $\dot{D}_{10} = f_m A \Gamma$ ，其中  $A$  是放射源活度，Bq； $\Gamma$  是照射量率常数  $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ，本项目  $\Gamma(^{192}\text{Ir}) = 8.966\text{E}-19 \text{C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ； $f_m$  是以  $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$  为单位的照射量换算到以 Gy 为单位的吸收剂量的换算因子， $\text{J} \cdot \text{C}^{-1}$ ，本项目保守取值  $f_m = 37.29 \text{J} \cdot \text{C}^{-1}$ 。

$\Omega$ ：辐射源对屋顶张的立体角，单位为球面度，sr。 $\Omega = 4 \tan^{-1} \frac{ab}{cd}$ ，其中  $a$ 、 $b$  是屋顶受照最长范围之半（出束角按  $40^\circ$  考虑， $3.0\text{m} \times \tan 20^\circ = 1.09\text{m}$ ）， $c$  是辐射源到屋顶表面中心的最小距离 ( $3.0\text{m} + 0.65\text{m}$ ) = 1.95m； $d$  是源到屋顶边缘的距离， $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$ 。

表 11-5 本项目 X 射线天空反散射计算

| 参数  | 主射线散射                         |
|---|-------------------------------|
| $\dot{D}_{10}(\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min})$ | $132 \times 10 / 1000 = 1.32$ |
| $\Omega(\text{sr})$                                   | 0.33                          |
| $\eta_{ys}$   | 1.16E-06                      |
| $r_i(\text{m})$                                       | 5.65                          |
| $a(\text{m})$   | 1.092                         |
| $b(\text{m})$   | 1.092                         |
| $c(\text{m})$   | 3.65                          |
| $d(\text{m})$   | 3.96                          |
| $r_s(\text{m})$                                       | 3.08                          |
| $H_{L,h}(\text{Sv/h})$                                | 8.18E-09                      |

表 11-5 预测结果表明，当本项目管电压为 450kV，管电流为 10mA 的定向探伤机满功率运行时，天空反散射影响值约  $8.18E-09\mu\text{Sv/h}$ ，叠加 X 射线探伤室四周墙体最大辐射剂量率  $6.56E-02\mu\text{Sv/h}$  后，关注点总剂量率约为  $6.56E-02\mu\text{Sv/h}$ ，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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

#### (5) 电缆沟、通风管道及门—墙接缝处辐射防护分析

本项目通风管道和电缆管道均拟采用埋地 U 型设计，其中通风管道直径为 300 mm，管道埋地深约 500 mm，从探伤室地下穿过北墙，经过辅房延至室外；电缆管道直径为 160 mm，管道埋地深约 300 mm，从探伤室内越墙穿至操作台。X 射线经过 U 型埋地管道至少会经过 3 次散射到达管道口处，本项目 X 射线进入电缆管道后散射示意图如图 11-4，进入通风管道后散射示意图如图 11-5。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”，可推断通风口及电缆管道口处的辐射剂量率能够满足标准要求。

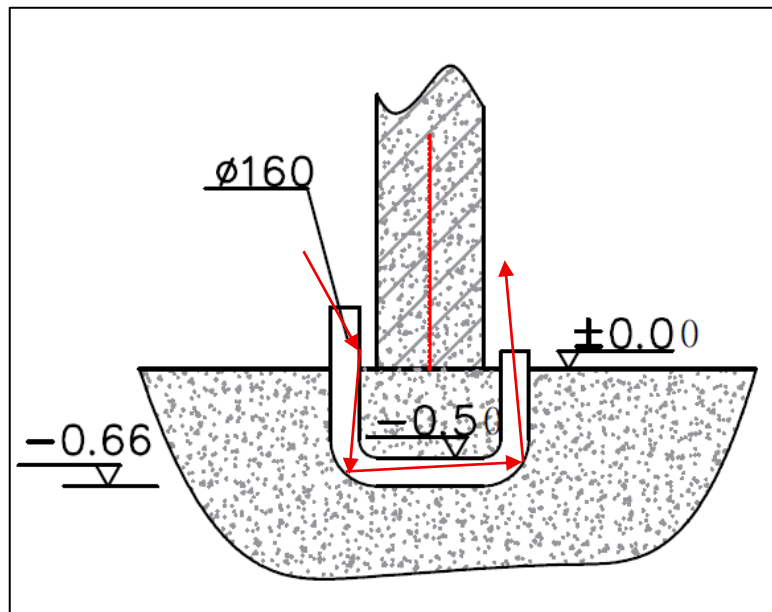


图 11-4 本项目电缆管道散射示意图

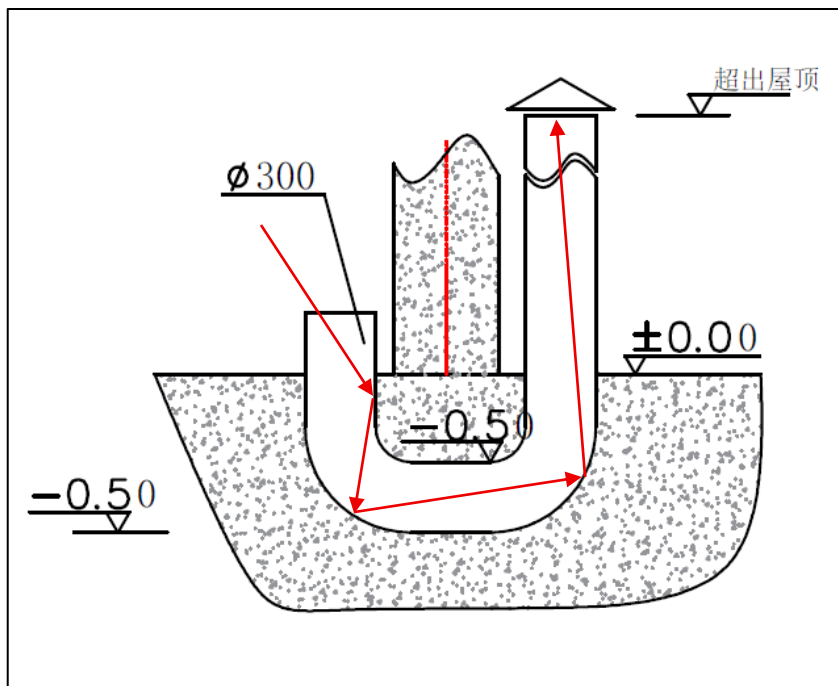


图 11-5 本项目通风管道散射示意图

本项目探伤室工件门门洞 3.0m 宽×4.0m 高，工件门 4.5m 宽×4.6m 高，工件门左右各搭接 750mm，上下各搭接 300mm；人员门门洞 0.8m 宽×2.0m 高，人员门 1.3m 宽×2.3m 高，人员门左右各搭接 250mm，上下各搭接 150mm；工件门、人员门与墙体之间的缝隙宽度均小于 10mm，工件门、人员门与墙体重叠部分不小于工件门、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。

### 1.1.2 固定式 $\gamma$ 射线探伤项目探伤室辐射环境影响分析

#### (1) 探伤室屏蔽墙体、工件门和人员门理论计算

$\gamma$  射线辐射影响预测采用《辐射防护导论》(方杰编)  $\gamma$  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(空气中周围剂量当量率与比释动能率在数值上相等)：

$$\dot{H}_0 = \frac{A \cdot \Gamma_K \cdot B}{r^2} \quad \text{公式 (6)}$$

式中：

$\dot{H}_0$ ：参考点的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$A$ ：放射源活度， $\text{Bq}$ ；

$\Gamma_K$ ：周围剂量当量率常数，通过查阅《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)

表 A.1,  $^{192}\text{Ir}$  放射源的  $\Gamma_k=0.17\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ , 详见表 9-1;

$r$ : 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  $X$  和  $\gamma$  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 GBZ 117-2022 表 A.2,  $^{192}\text{Ir}$  对混凝土的半值层为 50mm,  $^{192}\text{Ir}$  对铅的半值层为 3mm。

本项目探伤室内拟采用 100Ci 的  $^{192}\text{Ir}$   $\gamma$  射线探伤机。正常检测工作中工件运至探伤室, 放射源被放置在工件内进行照射。根据探伤室设计参数, 按公司探伤时实际工作情况, 探伤机工作时最大离地高度约为 1.5m (与顶部内侧距离为 3m), 取探伤机至西墙内侧最近距离为 2.5m, 取探伤机至东墙、南墙、北墙内侧最近距离为 1.5m, 本项目  $\gamma$  射线探伤机活动区域见图 11-1。将相关参数代入公式 (6), 探伤室屏蔽墙外辐射防护水平理论计算结果见表 11-6。

表 11-6 本项目探伤房探伤室  $\gamma$  射线探伤机屏蔽效果预测表

| 关注点         | 屏蔽材料及厚度  | $A$<br>(Bq) | $\Gamma_k$<br>( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ) | $B$      | $R$<br>(m) | $\dot{H}_0(\mu\text{Sv/h})$ | 剂量率参考控制水平<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 评价结果 |
|-------------|----------|-------------|---|----------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|------|
| ①东墙外 30cm   | 900 mm 砼 | 3.70E+12    | 0.17  | 3.81E-06 | 2.7        | 0.329                       | 2.5                               | 满足   |
| ②南墙外 30cm   | 900 mm 砼 |             |   | 3.81E-06 | 2.7        | 0.329                       | 2.5                               | 满足   |
| ③工件门外 30cm  | 900 mm 砼 |             |   | 3.81E-06 | 4.6        | 0.113                       | 2.5                               | 满足   |
| ④西墙外 30cm   | 900 mm 砼 |             |   | 3.81E-06 | 3.7        | 0.175                       | 2.5                               | 满足   |
| ⑤人员门外 30cm  | 900 mm 砼 |             |   | 3.81E-06 | 4.4        | 0.124                       | 2.5                               | 满足   |
| ⑥北墙外 30cm   | 900 mm 砼 |             |   | 3.81E-06 | 2.7        | 0.329                       | 2.5                               | 满足   |
| ⑦顶部表面外 30cm | 650 mm 砼 |             |   | 1.22E-04 | 3.95       | 4.921                       | 100                               | 满足   |

注: 关注点① $R$ =探伤机距离东墙内侧最近距离 1.5m+墙厚 0.9m+关注点 0.3m=2.7m;  
 关注点② $R$ =探伤机距离南墙内侧最近距离 1.5m+墙厚 0.9m+关注点 0.3m=2.7m;  
 关注点③ $R$ =探伤机距离西墙内侧最近距离 2.5m+墙厚 0.9m+工件门厚 0.9m+关注点 0.3m=4.6m;  
 关注点④ $R$ =探伤机距离西墙内侧最近距离 2.5m+墙厚 0.9m+关注点 0.3m=3.7m;  
 关注点⑤ $R$ =探伤机距离北墙内侧最近距离 1.5m+墙厚 0.9m+关注点至北墙外侧的距离 2.0m=4.4m;  
 关注点⑥ $R$ =探伤机距离北墙内侧最近距离 1.5m+墙厚 0.9m+关注点 0.3m=2.7m;  
 关注点⑦ $R$ =探伤机距离屋顶内侧最近距离 3.0m+屋顶厚 0.65m+关注点 0.3m=3.95m。

表 11-6 预测结果表明, 当探伤室内开启 1 台活度为  $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$  的  $^{192}\text{Ir}$   $\gamma$  射线

探伤机探伤时，探伤室各侧屏蔽墙体和工件门、人员门外最大辐射剂量率约为 0.329 $\mu$ Sv/h，顶部外最大辐射剂量率约为 4.921 $\mu$ Sv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 2.5  $\mu$ Sv/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 100  $\mu$ Sv/h”的管理目标要求。

### （3）迷道散射辐射影响分析

将探伤室相关参数代入公式（4），计算结果见表 11-7。

表 11-7 本项目  $\gamma$  射线迷道散射计算

| 参数  | $\gamma$ 射线散射 |
|---|---------------|
| $D_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$ | 6.29E+05      |
| $a_1$                                       | 0.015         |
| $a_2$                                       | 0.017         |
| $A_1(\text{m}^2)$                           | 3.6           |
| $A_2(\text{m}^2)$                           | 1.6           |
| $d_i(\text{m})$                             | 1.2           |
| $d_{r_1}(\text{m})$                         | 4.8           |
| $d_{r_2}(\text{m})$                         | 1.3           |
| $H_{rj}(\mu\text{Sv}/\text{h})$             | 4.48E-01      |
| 人员门 HVL(mm)                                 | 3             |
| 人员门 X 设计厚度(mm)                              | 30            |
| B   | 9.77E-04      |
| H( $\mu$ Sv/h)                              | 4.38E-04      |

注：

[1]屏蔽透射因子，根据屏蔽体厚度 X 和  $\gamma$  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 GBZ 117-2022 表 A.2， $^{192}\text{Ir}$  对铅的半值层为 3mm；

[2]对于  $\gamma$  射线  $D_0=0.17\times 3.7\times 10^6=6.29\text{E}+05\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

[3] $^{192}\text{Ir}$  的平均  $\gamma$  射线（平均能量取 0.38 MeV）第一反射系数  $a_1$  约为 0.015；

[4] $A_1$ ：本项目取迷道入口的截面积， $\text{m}^2$ ； $A_1$ =迷道入口高 4.5 m $\times$ 宽 0.8 m=3.6  $\text{m}^2$ ；

[5] $A_2$ ：本项目取迷道出口的截面积， $\text{m}^2$ ； $A_2$ =迷道出口高 2.0 m $\times$ 宽 0.8 m=1.6  $\text{m}^2$ ；

[6]人员门屏蔽仅考虑铅的厚度，未考虑 Fe 的厚度。

表 11-7 预测结果表明，本项目探伤室内开启 1 台活度为  $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$  的  $^{192}\text{Ir}$   $\gamma$  射线探伤机探伤时，经两次散射并经人员门屏蔽后在门外的辐射剂量率约为 4.38E-04  $\mu$ Sv/h，叠加  $\gamma$  射线穿墙、穿门辐射剂量率后，探伤室迷道出口辐射剂量率约为 0.124  $\mu$ Sv/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 2.5 $\mu$ Sv/h”的要求。

(4) 天空反散射辐射影响分析

将探伤室相关参数代入公式 (5)，计算结果见表 11-8。

**表 11-8 本项目  $\gamma$  射线天空反散射计算**

| 参数  | $\gamma$ 射线散射 |
|---|---------------|
| $\dot{D}_{10}(\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min})$ | 1.24E-04      |
| $\Omega(\text{sr})$                                 | 1.59          |
| $\eta_{\gamma s}$                                   | 1.22E-04      |
| $r_i(\text{m})$                                     | 5.65          |
| $a(\text{m})$                                       | 4             |
| $b(\text{m})$                                       | 2.25          |
| $c(\text{m})$                                       | 3.65          |
| $d(\text{m})$                                       | 5.86          |
| $r_s(\text{m})$                                     | 6.36          |
| $H_{L,h}(\text{Sv/h})$                              | 1.17E-12      |

注： $\Omega$ ：辐射源对屋顶张的立体角，单位为球面度，sr。 $\Omega = 4 \tan^{-1} \frac{ab}{cd}$ ，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  $a$ 、 $b$  的值统一取探伤室的内净尺寸，不包含四周墙体的厚度， $c$  统一取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， $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$ 。

表 11-8 预测结果表明，本项目探伤室内开启 1 台活度为  $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$  的  $^{192}\text{Ir}$   $\gamma$  射线探伤机探伤时，天空反散射影响值约  $1.17\text{E-}12 \mu\text{Sv/h}$ ，叠加  $\gamma$  射线探伤室四周墙体外最大辐射剂量率  $0.329 \mu\text{Sv/h}$  后，关注点总剂量率约为  $0.329 \mu\text{Sv/h}$ ，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  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

(5) 电缆沟、通风管道及门-墙接缝处辐射防护分析

使用  $\gamma$  射线探伤机时对管线洞口影响与使用 X 射线探伤机时同理。

**1.1.3 固定式  $\gamma$  射线探伤项目放射源源坑辐射环境影响分析**

当本项目  $^{192}\text{Ir}$  放射源处于  $\gamma$  射线探伤机源容器内时，根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022），P 类探伤机源容器外 5cm 处周围当量剂量率  $\leq 0.5 \text{mSv/h}$ ，表面 1m 处周围当量剂量率  $\leq 0.02 \text{mSv/h}$ 。周围当量剂量率与距离平方成反比，可根据公式 (7) 计算得出距离探伤机不同位置处的辐射水平，详见表 11-9。

$$\dot{K}_1 = \dot{K}_0 \cdot \frac{(R_0+0.07)^2}{(R_1+0.07)^2} \quad (\text{公式 7})$$

式中：

$\dot{K}_1$ : 距探伤机源容器表面 $R_1$ 处的周围当量剂量率, mSv/h;

$\dot{K}_0$ : 距探伤机源容器表面 1m 处的周围当量剂量率, 即距离放射源 1.07m 处的周围当量剂量率, 0.02mSv/h;

$R_0$ : 源容器表面外 1m;

$R_1$ : 参考点距探伤机源容器表面的距离;

0.15: 源贮存位置至源容器表面的距离。

表 11-9 距探伤机放射源不同距离处的辐射水平估算结果

|                       |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| 参考点至源容器表面距离 $R_1$ (m) | 0.3  | 0.5  | 1.0  | 2.0  | 3.0  |
| 参考点至放射源距离(m)          | 0.37 | 0.57 | 1.07 | 2.07 | 3.07 |
| 周围当量剂量率( $\mu$ Sv/h)  | 167  | 70.5 | 20   | 5.34 | 2.43 |

注: 源贮存位置至探伤机表面距离取 7cm。

通过表 11-9 中计算数据可以看出,  $\gamma$  射线探伤机未工作时由于探伤机自身源容器的屏蔽防护, 放射源对探伤室外环境影响较小, 但工作人员在探伤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, 在探伤室内进行工件调运、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。

本项目探伤室内的东南角拟建 1 个放射源源坑, 用于贮存本项目拟使用的 1 台  $^{192}\text{Ir}\gamma$  射线探伤机。放射源源坑的尺寸为 0.8m (长)  $\times$  0.8m (宽)  $\times$  0.8m (深), 源坑盖板为长 1.0m, 宽 1.0m, 厚 20mm 的铅板。

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, 放射源源坑表面 30cm 处的周围剂量当量率可按公式 (8) 计算:

$$\dot{K} = \dot{K}_0 \cdot \frac{(R_0+0.07)^2}{R^2} \cdot B \quad (\text{公式 8})$$

式中:

$\dot{K}$ : 距源 R 处的周围剂量当量率,  $\mu$ Sv/h;

R: 参考点至源的距离, m;

$R_0$ : 源容器外表面 1m (注: 公式 9 中 0.07m 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,  $\mu$ Sv/h; 依据《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022) 表 2, P 类探伤机取 0.02mSv/h;

B: 屏蔽透射因子, 无量纲, 按公式  $B=2^{-X/HVL}$  计算; 依据《工业探伤放射防护标

准》(GBZ 117-2022)表 A.2,  $^{192}\text{Ir}$  在铅中的  $HVL$  为 3mm;

将相关参数代入公式 (9), 计算得到放射源源坑外表面 30cm 处的周围剂量当量率见下表 11-10。

**表 11-10 本项目放射源源坑屏蔽效果预测表**

| 关注点        | 屏蔽材料及厚度 | $\dot{K}_0(\mu\text{Sv/h})$ | $B$      | $R$<br>(m) | $\dot{K}(\mu\text{Sv/h})$ | 剂量率参考控制水平( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 评价结果 |
|------------|---------|-----------------------------|----------|------------|---------------------------|-------------------------------|------|
| 源坑表面外 30cm | 20 mmPb | 20                          | 9.84E-03 | 1.05       | 0.204                     | 2.5                           | 满足   |

注: 源坑表面外 30cm 的  $R$ =源坑深度 0.8m-0.07m+盖板厚 0.02m+关注点 0.3m=1.05m;

表 11-10 预测结果表明, 探伤室内放射源源坑表面外 30cm 处周围剂量当量率约为  $0.204\mu\text{Sv/h}$ , 由于该源坑位于探伤室内部, 公众无法接近, 该处辐射水平满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)中关于职业人员受照剂量约束值的相关要求。

#### 1.1.4 固定式 X、 $\gamma$ 射线探伤房项目有效剂量估算

探伤室外各关注点处周有效剂量可按下式计算, 计算结果见表 11-18。训机过程对人员产生的年有效剂量保守按最大管电压和额定功率工况下考虑, 公式如下:

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \text{公式 (9)}$$

式中:

$H_c$ : 周剂量参考控制水平, mSv/周;

$\dot{H}_{c,d}$ : 参考点的剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$t$ : 探伤装置周照射时间, 单位为小时每周 (h/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。

本项目运行后, 辐射工作人员的年有效剂量贡献值, 主要包括四部分: (1) X、 $\gamma$  射线探伤机正常探伤作业时, 探伤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、 $\gamma$  射线产生的有效剂量; (2) 在从放射源源坑内提取、归还  $\gamma$  射线探伤机以及在  $\gamma$  射线探伤机摆位过程中, 由于近距离接触  $\gamma$  射线探伤机而受到的有效剂量; (3) 将  $\gamma$  射线探伤机运输至探伤房探伤室内时, 由于近距离接触  $\gamma$  射线探伤机而受到的有效剂量; (4) 中途更换被检测工件和重新贴片期间受到的剂量。

本项目拟为本项目配备 5 名辐射工作人员, 其中含 1 名辐射防护负责人、4 名探伤工作人员。从探伤工作人员中固定 1 名, 与辐射防护负责人共同负责放射源源

坑的监管工作。本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房 X 射线探伤机每周开机曝光时间不超过 5 小时，年曝光总时间不超过 250 小时； $\gamma$  射线探伤机每周出束曝光时间不超过 5 小时，年曝光总时间不超过 250 小时。各操作过程中辐射工作人员周/年工作时间详见表 11-11。

**表 11-11 各操作过程中辐射工作人员周/年工作时间表**

| 操作过程                        | 周工作时间 (h) | 年工作时间 (h) |
|-----------------------------|-----------|-----------|
| X 射线机探伤作业                   | 5         | 250       |
| $\gamma$ 射线机探伤作业            | 5         | 250       |
| 提取、归还及摆位 $\gamma$ 射线探伤机     | 0.25      | 12.5      |
| $\gamma$ 射线探伤作业更换被检测工件和重新贴片 | 4         | 200       |
| X 射线探伤作业摆位、更换被检测工件和重新贴片     | 4         | 200       |

注：每周提取、归还及摆位  $\gamma$  射线探伤机约 5 次，每次约 3min，则每周提取、归还及摆位  $\gamma$  射线探伤机时间约为 0.25h；每周更换被检测工件和重新贴片约 300 次，每次约 48s，则每周更换被检测工件和重新贴片时间约为 4h。

(1) 辐射工作人员探伤作业时周/年有效剂量

对于本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房操作室内的辐射工作人员，保守取探伤室周围最大辐射剂量率进行预测分析。根据表 11-2~11-5 计算结果可知，探伤室使用 X 射线机时辐射工作人员周围的辐射剂量率最大约为  $6.56E-02\mu\text{Sv/h}$ ；根据表 11-6~11-8 计算结果可知，探伤室使用  $\gamma$  射线机时辐射工作人员周围的辐射剂量率最大约为  $0.329\mu\text{Sv/h}$ ，将相关参数代入公式 (9) 中计算得到辐射工作人员有效剂量见表 11-12。

**表 11-12 本项目正常探伤作业时辐射工作人员周/年有效剂量估算表**

| 关注点       | T | 距离 (m) | $\dot{H}_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 周工作时间 (h) | 周剂量估算值 ( $\mu\text{Sv/周}$ ) | 年工作时间 (h) | 年剂量估算值 (mSv/年) | 备注              |
|-----------|---|--------|--------------------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|----------------|-----------------|
| 本项目操作室等辅房 | 1 | 紧邻     | $6.56E-02$                           | 5         | $3.28E-01$                  | 250       | $1.64E-02$     | X射线探伤作业         |
| 本项目操作室等辅房 | 1 | 紧邻     | 0.329                                | 5         | 1.65                        | 250       | 0.082          | $\gamma$ 射线探伤作业 |

注：[1]使用因子保守取 1；

[2]本项目操作室等辅房关注点剂量率保守取本项目探伤室周围剂量率最大值进行估算。

(2) 辐射工作人员提取、归还及摆位  $\gamma$  射线探伤机所受周/年有效剂量

本项目辐射工作人员提取和归还  $\gamma$  探伤机以及摆位时近距离接触放射源会受到一定剂量的  $\gamma$  射线照射，辐射工作人员受照射时间见表 11-11。假设提取、归还及摆位  $\gamma$  射线探伤机时，辐射工作人员离  $\gamma$  射线探伤机表面约 50cm，根据表 11-9 可知，辐射工作人员所受剂量率约为 70.5 $\mu$ Sv/h。将相关参数代入公式（11-11）中计算得到辐射工作人员有效剂量见表 11-13。

**表 11-13 本项目提取、归还及摆位  $\gamma$  射线探伤机作业时辐射工作人员周/年有效剂量估算表**

| 关注点                        | T | $\dot{H}_{c,d}$<br>( $\mu$ Sv/h) | 周工作时间<br>(h) | 周剂量<br>估算值<br>( $\mu$ Sv/周) | 年工作<br>时间<br>(h) | 年剂量<br>估算值<br>(mSv/年) |
|----------------------------|---|----------------------------------|--------------|-----------------------------|------------------|-----------------------|
| 未开机时 $\gamma$ 射线探伤机表面50cm处 | 1 | 70.5                             | 0.25         | 17.63                       | 12.5             | 0.881                 |

注：使用因子保守取 1。

(3) 辐射工作人员  $\gamma$  射线探伤作业更换被检测工件和重新贴片所受周/年有效剂量

本项目辐射工作人员  $\gamma$  射线探伤作业中途更换被检测工件和重新贴片期间会受到一定剂量的  $\gamma$  射线照射，辐射工作人员探伤过程中在探伤室内搬运工件及贴取胶片时间见表 11-11。设工作期间辐射工作人员距  $\gamma$  射线探伤机最小距离为 3m，根据表 11-9，辐射工作人员所受剂量率约为 2.43 $\mu$ Sv/h。假设探伤室内的 2 名辐射工作人员轮流作业，将相关参数代入公式（11-11）中计算得到辐射工作人员有效剂量见表 11-14。

**表 11-14 本项目辐射工作人员更换被检测工件和重新贴片所受周/年有效剂量估算表**

| 关注点                      | T | $\dot{H}_{c,d}$<br>( $\mu$ Sv/h) | 周工作时间<br>(h) | 周剂量估算值<br>( $\mu$ Sv/周) | 年工作时间<br>(h) | 年剂量估算值<br>(mSv/年) |
|--------------------------|---|----------------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------|
| 未开机时 $\gamma$ 射线探伤机表面3m处 | 1 | 2.43                             | 2            | 4.86                    | 100          | 0.243             |

注：估算时 2 名辐射工作人员轮流作业，则周工作时间约为 2h，年工作时间 100h；使用因子保守取 1。

(4) 辐射工作人员 X 射线探伤作业摆位、更换被检测工件和重新贴片受源库影响所受年有效剂量

本项目辐射工作人员 X 射线探伤作业中途摆位、更换被检测工件和重新贴片期间会受到储存于源库的  $\gamma$  射线探伤机的照射，辐射工作人员摆位、更换被检测工件和重新贴片时间见表 11-11。根据表 11-10，放射源源坑外最大辐射剂量率约为

0.204 $\mu$ Sv/h。将相关参数代入公式（11-11）中计算得到辐射工作人员有效剂量见表11-15。

**表 11-15 本项目辐射工作人员进行 X 射线探伤时，摆位、更换被检测工件和重新贴片受源库影响所受年有效剂量表**

| 关注点              | T | $\dot{H}_{c,d}$<br>( $\mu$ Sv/h) | 周工作时间<br>(h) | 周剂量估算值<br>( $\mu$ Sv/周) | 年工作时间<br>(h) | 年剂量估算值<br>(mSv/年) |
|------------------|---|----------------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------|
| 放射源源坑表面<br>外30cm | 1 | 0.204                            | 2            | 0.408                   | 100          | 0.020             |

注：估算时 2 名辐射工作人员轮流作业，则周工作时间约为 2h，年工作时间 100h。

（5）本项目辐射工作人员探伤期间所受叠加周/年有效剂量汇总

根据表 11-12~表 11-15，辐射工作人员探伤期间所受叠加周/年有效剂量汇总见表 11-16。

**表 11-16 本项目辐射工作人员探伤期间所受叠加周/年有效剂量汇总表**

| 项目                                  | 周剂量<br>估算值<br>( $\mu$ Sv/周) | 周剂量<br>估算值汇总<br>( $\mu$ Sv/周) | 周剂量约<br>束值<br>( $\mu$ Sv/周) | 年剂量<br>估算值<br>(mSv/年) | 年剂量<br>估算值汇总<br>(mSv/年) | 年剂量<br>约束值<br>(mSv/年) |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| X射线探伤作业                             | 3.28E-01                    | <b>24.876</b>                 | <b>100</b>                  | 1.64E-02              | <b>1.242</b>            | <b>5</b>              |
| $\gamma$ 射线探伤作业                     | 1.65                        |                               |                             | 0.082                 |                         |                       |
| 提取、归还及摆位 $\gamma$<br>射线探伤机          | 17.63                       |                               |                             | 0.881                 |                         |                       |
| $\gamma$ 射线探伤作业更换<br>被检测工件和重新<br>贴片 | 4.86                        |                               |                             | 0.243                 |                         |                       |
| X射线探伤作业摆<br>位、更换被检测工<br>件和重新贴片      | 0.408                       |                               |                             | 0.020                 |                         |                       |

表 11-16 表明，本项目 X、 $\gamma$  射线探伤房投入运行后，探伤室辐射工作人员所受叠加周有效剂量最大值约为 24.876 $\mu$ Sv，叠加年有效剂量最大值约为 1.242 mSv，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标中对辐射工作人员的剂量约束值要求：职业人员周有效剂量不超过 100 $\mu$ Sv，年有效剂量不超过 5mSv。

由于本项目  $\gamma$  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。

(7) 公众周/年有效剂量估算

由于本项目放射源源坑位于探伤室内，源坑表面外 30cm 处最大辐射剂量率为 0.204 $\mu$ Gy/h，剂量较小，加上探伤房的屏蔽，其对辐射工作人员及周围公众产生的辐射影响可忽略不计。因此，本项目探伤房周围公众所受年有效剂量仅需考虑探伤室内的 X 射线探伤机和  $\gamma$  探伤机正常探伤作业时，探伤室周围的公众人员受到的经过墙体和防护门屏蔽衰减后的 X、 $\gamma$  射线产生的有效剂量。根据表 11-1~表 11-8 中计算结果，将相关参数代入公式 (9) 可估算出本项目 X、 $\gamma$  射线探伤房探伤室周围公众的周/年有效剂量见表 11-17。

表 11-17 本项目探伤房周围公众人员周/年有效剂量估算表

| 工作场所              | 关注点                    | T     | 距离 (m)   | $\dot{H}_{c,d}$ ( $\mu$ Sv/h) | 周工作时间 (h) | 周剂量估算值 ( $\mu$ Sv/周) | 年工作时间 (h) | 年剂量估算值 (mSv/年)  |
|-------------------|------------------------|-------|----------|-------------------------------|-----------|----------------------|-----------|-----------------|
| 本项目 X 射线探伤室       | 2#车间空置厂房               | 1     | 紧邻       | 6.56E-02                      | 5         | <b>3.28E-01</b>      | 250       | <b>1.64E-02</b> |
|                   | 1#车间常州市昊富优机械科技有限公司仓库   | 1     | 约 37m    | 3.08E-04                      | 5         | 1.54E-03             | 250       | 7.70E-05        |
|                   | 1#车间常州市恒顺机械有限公司        | 1     | 约 29m    | 4.85E-04                      | 5         | 2.43E-03             | 250       | 1.21E-04        |
|                   | 2#车间常州市昊富优机械科技有限公司     | 1     | 约 5m     | 3.44E-06                      | 5         | 1.72E-05             | 250       | 8.60E-07        |
|                   | 南侧厂区道路                 | 1/16  | 约 22m    | 3.17E-07                      | 5         | 9.91E-08             | 250       | 4.95E-09        |
|                   | 超凡橱具                   | 1     | 约 29m    | 1.91E-07                      | 5         | 9.55E-07             | 250       | 4.78E-08        |
|                   | 商铺                     | 1     | 约 36m    | 1.28E-07                      | 5         | 6.40E-07             | 250       | 3.20E-08        |
|                   | 2#车间万禾航宇科技检测 (常州) 有限公司 | 1/16  | 紧邻       | 6.56E-02                      | 5         | 2.05E-02             | 250       | 1.03E-03        |
|                   | 西侧厂区道路                 | 1/16  | 约 26m    | 5.53E-04                      | 5         | 1.73E-04             | 250       | 8.64E-06        |
|                   | 北侧厂区道路                 | 1/16  | 约 5m     | 3.44E-06                      | 5         | 1.08E-06             | 250       | 5.38E-08        |
| 3#车间常州六边形装饰建材有限公司 | 1                      | 约 10m | 1.23E-06 | 5                             | 6.15E-06  | 250                  | 3.08E-07  |                 |

| 工作场所                         | 关注点                  | T    | 距离<br>(m) | $\dot{H}_{c,d}$<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 周工作<br>时间<br>(h) | 周剂量<br>估算值<br>( $\mu\text{Sv/周}$ ) | 年工作<br>时间<br>(h) | 年剂量<br>估算值<br>( $\text{mSv/年}$ ) |
|------------------------------|----------------------|------|-----------|---|------------------|------------------------------------|------------------|----------------------------------|
| 本项目<br>$\gamma$<br>射线探<br>伤室 | 2#车间空置厂房             | 1    | 紧邻        | 0.329                                   | 5                | <b>1.65E+00</b>                    | 250              | <b>8.23E-02</b>                  |
|                              | 1#车间常州市昊富优机械科技有限公司仓库 | 1    | 约 37m     | 0.002                                   | 5                | 1.00E-02                           | 250              | 5.00E-04                         |
|                              | 1#车间常州市恒顺机械有限公司      | 1    | 约 29m     | 0.002                                   | 5                | 1.00E-02                           | 250              | 5.00E-04                         |
|                              | 2#车间常州市昊富优机械科技有限公司   | 1    | 约 5m      | 0.044                                   | 5                | 2.20E-01                           | 250              | 1.10E-02                         |
|                              | 南侧厂区道路               | 1/16 | 约 22m     | 0.004                                   | 5                | 1.25E-03                           | 250              | 6.25E-05                         |
|                              | 超凡橱具                 | 1    | 约 29m     | 0.002                                   | 5                | 1.00E-02                           | 250              | 5.00E-04                         |
|                              | 商铺                   | 1    | 约 36m     | 0.002                                   | 5                | 1.00E-02                           | 250              | 5.00E-04                         |
|                              | 2#车间万禾航宇科技检测(常州)有限公司 | 1/16 | 紧邻        | 0.329                                   | 5                | 1.03E-01                           | 250              | 5.14E-03                         |
|                              | 西侧厂区道路               | 1/16 | 约 26m     | 0.003                                   | 5                | 9.38E-04                           | 250              | 4.69E-05                         |
|                              | 北侧厂区道路               | 1/16 | 约 5m      | 0.044                                   | 5                | 1.38E-02                           | 250              | 6.88E-04                         |
|                              | 3#车间常州六边形装饰建材有限公司    | 1    | 约 10m     | 0.016                                   | 5                | 8.00E-02                           | 250              | 4.00E-03                         |

注：[1]本项目周围车间工作人员居留因子保守取 1；南、北墙外忽略辅房屏蔽效果；考虑到东侧空置厂房后期租赁情况，居留因子保守取 1；本公司及厂区道路流动人员居留因子为 1/16；  
[2]使用因子保守取 1。

[3]本项目探伤室上方无建筑，人员不可到达，下方为土层；

根据表 11-17 中的计算结果可知，本项目探伤房周围公众周有效剂量最大值约为 1.973（3.28E-01 叠加 1.65E+00） $\mu\text{Sv}$ ，年有效剂量最大值约为 0.099（1.64E-02 叠加 8.23E-02） $\text{mSv}$ ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值和本项目剂量约束值的要求，即：公众周有效剂量不超过 5 $\mu\text{Sv}$ ，年有效剂量不超过 0.1 $\text{mSv}$ 。

## 1.2 移动式 X 射线探伤项目辐射环境影响分析

### 1.2.1 移动式 X 射线探伤项目辐射环境预测估算

根据工程分析可知，本项目运行后主要的环境影响是 X 射线机工作时产生的 X 射线对周围环境的辐射影响。

万禾航宇科技检测（常州）有限公司拟按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的要求，将 X 射线移动探伤现场划分为控制区与监督区，其中控制区边界周围剂量当量率值不超过 15 $\mu\text{Sv/h}$ ，监督区边界周围剂量当量率值不超过 2.5  $\mu\text{Sv/h}$ ，并

落实在其规章制度里。

该公司在开展 X 射线现场探伤时，辐射工作人员根据待检测工件的外形、厚度等情况设置管电压、管电流及照射时间，经与建设单位核实，本项目典型工况见下表。

表 11-18 典型工况一览表

| 序号 | 探伤机型号        | 开机管电压 | 开机管电流 | 探伤工件厚度    | 备注  |
|----|--------------|-------|-------|-----------|-----|
| 1  | XXG-3005CX 型 | 300kV | 5mA   | 30mm 厚度钢板 | 定向机 |
| 2  | XXGH-3005Z 型 | 300kV | 5mA   | 30mm 厚度钢板 | 周向机 |

定向探伤机工作时，探伤机放置于工件的内部或外部，出束孔朝向被探伤工件；周向探伤机工作时，探伤机一般放置于被探伤工件的内部，射线方向皆有工件。现场探伤时，辐射工作人员根据探伤工件不同厚度设置管电压、管电流及照射时间，然后将根据 X 射线探伤机开机参数、探伤工件的厚度等初步划出控制区及监督区的范围，远距离操作探伤机进行延时试曝光，利用巡测仪对控制区、监督区边界进行修定。本次环评对探伤机满功率运行时典型工况下的辐射环境影响范围进行计算和评价，给出控制区及监督区的参考划分范围。

(1) 有用射束方向辐射影响

有用射束预测计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中有用射束屏蔽估算的计算公式推导出：

$$R = \sqrt{\frac{I \cdot H_0 \cdot B}{\dot{H}}} \quad \text{公式 (10)}$$

式中：

$I$ ：X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，本项目取 5 mA；

$H_0$ ：距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，详见表 9-1；

$\dot{H}$ ：关注点处剂量率控制水平，单位为 ( $\mu\text{Sv/h}$ )，控制区边界为  $15\mu\text{Sv/h}$ ，监督区边界为  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

$B$ ：屏蔽透射因子，本项目探伤工件材质为钢，利用《工业 X 射线探室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中的什值层公式  $B=10^{-X/TVL}$  计算  $B$  值， $X$  取值为工件屏蔽设计厚度， $TVL$  取值根据 IAEA No.47 中表 18，300kV 下 X 射线在钢中的什值层厚度  $TVL$  为 22.2 mm，计算得出 40mm 钢  $B$  值为  $1.58\text{E}-02$ ；

$R$ ：辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米 (m)。

(2) 非有用射束方向

非有用射束方向需考虑漏射线、散射线的叠加影响:

① 泄漏辐射

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

式中:

$\dot{H}$ : 关注点处剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$\dot{H}_L$ : 距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ , 本项目取  $5.00\text{E}+03$   $\mu\text{Sv/h}$ ;

$B$ : 屏蔽透射因子, 参考《工业 X 射线探室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 根据公式  $B=10^{-X/\text{TVL}}$ , 计算出  $B$ 。X 表示屏蔽体厚度。探伤机在工件内探伤时会因工件的影响使测算结果偏低, 因此, 本项目保守按工件外探伤作业计算,  $B$  值取 1。

$R$ : 辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, m。

② 散射辐射

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B_S}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{公式 (12)}$$

式中:

$\dot{H}$ : 关注点处剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$I$ : 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,  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ , 详见表 9-1;

$B_S$ : 屏蔽透射因子, 按《工业 X 射线探室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中表 2 确定  $90^\circ$  散射辐射的射线能量, 然后根据公式  $B=10^{-X/\text{TVL}}$ , 计算出  $B$ ; 探伤机在工件内探伤时会因工件的影响使测算结果偏低, 因此, 本项目保守按工件外探伤进行计算,  $B$  值取 1。

$F$ :  $R_0$  处的辐射野面积,  $\text{m}^2$ ;

$\alpha$ : 散射因子, 入射辐射被单位面积 ( $1 \text{m}^2$ ) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。取值参考《工业 X 射线探室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中的附录 B 表 B.3;

$R_s$ : 散射体至关注点的距离, m;

$R_0$ : 辐射源点 (靶点) 至探伤工件的距离, m。

③漏射线和散射线复合

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中公式 (8) 和公式 (10) 推导得出:

$$R = \sqrt{\frac{\dot{H}_L \cdot B}{H} + \frac{I \cdot H_0 \cdot B_S}{H} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2}} \quad \text{公式 (13)}$$

将相关参数分别代入公式 (10)、(13), 可以分别估算出本项目 X 射线机典型工况下现场探伤时有用射束方向、非有用射束方向控制区和监督区的边界范围, 估算结果分别见表 11-19、表 11-20。

**表 11-19 有用射束方向控制区与控制区边界范围核算结果**

| 探伤机型号      | 工况参数      | 探伤工件   | B        | H <sub>0</sub><br>μSv·m <sup>2</sup> /(mA·h) | R 估算值 (m) |     |
|------------|-----------|--------|----------|--|-----------|-----|
|            |           |        |          |  | 控制区       | 监督区 |
| XXG-3005CX | 300kV/5mA | 40mm 钢 | 1.58E-02 | 1.19E+06                                     | 80        | 195 |
| XXGH-3005Z | 300kV/5mA | 40mm 钢 | 1.58E-02 | 9.90E+05                                     | 73        | 177 |

**表 11-20 非有用射束方向控制区与控制区边界范围核算结果**

| 探伤机型号      | 工况参数      | 泄漏辐射                |   | 散射辐射   |                |                                | R 估算值 (m) |     |
|------------|-----------|---------------------|---|--|----------------|--------------------------------|-----------|-----|
|            |           | $\dot{H}_L$ (μSv/h) | B | H <sub>0</sub><br>μSv·m <sup>2</sup> /(mA·h) | B <sub>S</sub> | $\frac{F \cdot \alpha}{R_0^2}$ | 控制区       | 监督区 |
| XXG-3005CX | 300kV/5mA | 5.00E+03            | 1 | 1.19E+06                                     | 1              | 1/50                           | 92        | 224 |
| XXGH-3005Z | 300kV/5mA | 5.00E+03            | 1 | 9.90E+05                                     | 1              | 1/50                           | 84        | 204 |

从理论计算结果可知, 在无屏蔽措施典型工况下, 有用射束方向控制区边界最大约 80m, 监督区约 195m; 非有用射束方向控制区边界最大约 92m, 监督区约 224m。

因本项目主要在委托方单位厂区内进行探伤, 若委托方现场条件不能满足划定控制区与监督区距离要求, 可利用实体屏蔽缩小控制区与控制区边界。使用实体屏蔽下控制区、监督区的范围估算结果参考表 11-21、表 11-22。

**表 11-21 实体屏蔽下有用射束方向控制区与控制区边界范围核算结果**

| 探伤机型号      | 工况参数      | 探伤工件   | 屏蔽材料及厚度 | B        | H <sub>0</sub><br>μSv·m <sup>2</sup> /(mA·h) | R 估算值 (m) |     |
|------------|-----------|--------|---------|----------|--|-----------|-----|
|            |           |        |         |          |  | 控制区       | 监督区 |
| XXG-3005CX | 300kV/5mA | 40mm 钢 | 2mmPb   | 7.04E-03 | 1.19E+06                                     | 53        | 130 |
| XXGH-3005Z | 300kV/5mA | 40mm 钢 | 2mmPb   | 7.04E-03 | 9.90E+05                                     | 49        | 118 |

注：TVL 钢取值根据 IAEA No.47 中表 18，300kV 下 X 射线在钢中的什值层厚度 TVL 为 22.2 mm；TVL 铅取值参考《工业 X 射线探室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的附录 B 表 B.2，取 300kV 下的 5.7mm，两种材料屏蔽透射因子相乘，计算得 40mm 钢+2mmPb 的 B 值为 7.04E-03。

表 11-22 2mm 铅当量实体屏蔽下非有用射束方向控制区与控制区边界范围核算结果

| 探伤机<br>型号  | 工况参数      | 泄漏辐射                             |          | 散射辐射  |          |                              | R 估算值<br>(m) |         |
|------------|-----------|----------------------------------|----------|---|----------|------------------------------|--------------|---------|
|            |           | $\dot{H}_L$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | B        | $H_0$<br>$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ | $B_s$    | $\frac{F\cdot\alpha}{R_0^2}$ | 控制<br>区      | 监督<br>区 |
| XXG-3005CX | 300kV/5mA | 5.00E+03                         | 4.46E-02 | 1.19E+06  | 3.73E-02 | 1/50                         | 18           | 44      |
| XXGH-3005Z | 300kV/5mA | 5.00E+03                         | 4.46E-02 | 9.90E+05  | 3.73E-02 | 1/50                         | 17           | 40      |

注：TVL 铅取值参考《工业 X 射线探室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的附录 B 表 B.2，泄漏辐射取 300kV 下的 5.7mm，计算得 2 mmPb 的 B 值为 4.46E-02；散射辐射取 200kV 下的 1.4mm，计算得 2 mmPb 的 B 值为 3.73E-02。

从理论计算结果可知，在使用 2mm 铅当量实体屏蔽典型工况下，有用射束方向控制区边界最大约 53m，监督区约 130m；非有用射束方向控制区边界最大约 18m，监督区约 44m。

上述理论计算结果选取典型工况下进行预测，X射线机的管电压及管电流的大小、射线水平照射角度的改变、被检测工件的厚度的改变以及探伤现场的遮蔽物都会使辐射场的辐射剂量率发生改变，因此上述估算结果不能完全作为划分控制区与监督区边界的依据，仅供现场初次布置时参考。

建设单位在进行移动X射线探伤过程中应根据实际情况对控制区及监督区边界进行修正调整，重新划定控制区和监督区，此外，还应加强对控制区和监督区的管理和控制，并利用屏蔽材料或探伤现场的建筑物、工件等实体防护措施来降低探伤作业现场周围的辐射水平，从而缩小控制区和监督区的范围。

在实际探伤过程中探伤工作人员拟根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的要求：在每次探伤开始前，根据上述理论估算值和经验划定并标志出控制区边界；在试曝光期间，借助环境辐射巡测仪进行检测或修正，将周围剂量当量率在 $15\mu\text{Sv/h}$ 以上的范围内划为控制区，控制区边界外周围剂量当量率在 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 以上的范围内划为监督区。

万禾航宇科技检测（常州）有限公司在日常探伤工作中还需落实以下要求：

① 探伤现场应满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“移动式探伤的放射防护要求”；

② 应考虑控制器与 X 射线管和被检测物体的距离、照射方向、时间和屏蔽条件等因素，选择最佳的设备布置。操作人员尽可能利用各种屏蔽方式保护自己；

③ 探伤作业人员应在控制区边界外操作，否则必须采取专门的防护措施；对每次工作现场情况进行记录；

④ 当 X 射线探伤装置、场所、被检测体（材料、规格、形状）、照射方向、屏蔽等条件发生变化时，均应重新进行巡测，确定新的划区界线；

⑤ 在进行 X 射线移动探伤过程中应注意对控制区和监督区的管理和控制，若探伤现场环境不能满足监督区的防护距离时，辐射工作人员应对 X 射线探伤机附加一定的防护装置如集光筒、活动防护罩、防护挡板等或采取其他防护措施，限制射线束中的无用射线，减小散射面积，减少散射量，屏蔽漏射线，降低探伤作业现场周围的辐射水平，缩小控制区和监督区的范围。

⑥ 若在厂区内开展移动探伤，应采取各种措施确保厂区边界处辐射剂量率达到监督区边界辐射剂量率水平，否则不宜在此开展移动探伤。

### 1.2.2 移动式 X 射线探伤项目辐射工作人员和公众剂量估算

本项目探伤过程中操作人员一般通过延迟曝光撤至控制区边界外，或采取局部屏蔽措施，在控制区边界外操作，以便尽可能降低操作人员的受照剂量。控制区边界辐射剂量率不超过  $15 \mu\text{Sv/h}$ ，辐射工作人员保守取控制区边界辐射剂量率  $15 \mu\text{Sv/h}$ ，本项目辐射工作人员年探伤时间不超过 200 小时，居留因子取 1，根据公式（9），计算出本项目辐射工作人员移动 X 射线探伤曝光受照的最大年有效剂量为  $3.0 \text{ mSv}$ 。

控制区边界外周围剂量当量率在  $2.5\mu\text{Sv/h}$  以上的范围内划为监督区，公众位于监督区边界外，公众保守取监督区边界辐射剂量率  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；因移动探伤现场不固定，每个探伤现场一般最长不超过 4 周，周曝光时间不超过 5 小时，每个探伤现场年探伤时间一般不超过 20 小时，居留因子保守取 1，根据公式（4），计算公众 X 探伤曝光受照年有效剂量为  $0.05 \text{ mSv}$ 。

### 1.3 本项目固定式和移动式 X 射线探伤项目辐射工作人员剂量估算

表 11-16 中估算结果表明，本项目探伤房周围辐射工作人员年有效剂量不超过  $1.242 \text{ mSv}$ ；根据公式（4），计算出本项目辐射工作人员移动 X 射线探伤曝光受照的最大年有效剂量为  $3.0\text{mSv}$ ，综合考虑本项目辐射工作人员最大年有效剂量  $4.242$

mSv。

根据以上估算，万禾航宇科技检测（常州）有限公司在做好安全防护措施的情况下，辐射工作人员和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）中对辐射工作人员和公众受照剂量限值和本项目管理目标值的要求（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 非放射性环境影响分析

### （1）废水

工作人员产生的生活污水直接排入市政污水管网，对周围水环境无影响。

### （2）噪声

项目营运期噪声主要来源于通排风系统的风机，拟采购低噪节能排风机，其噪声源强、一般低于 60dB(A)，经距离衰减后对厂界噪声排放影响较小。

### （3）一般固废

工作人员产生的生活垃圾由公司统一收集后，由环卫部门定期清理，对周围环境影响较小。

### （4）臭氧和氮氧化物

X 射线探伤机在探伤时，会使探伤室内的空气电离产生少量臭氧（O<sub>3</sub>）和氮氧化物（NO<sub>x</sub>），为有效排出臭氧及氮氧化物，探伤室顶部设有排风系统，风机罩外接法兰口，将探伤室内产生的废气通过通风管道排放至屋顶。本项目探伤室体积约为 162m<sup>3</sup>，本项目探伤室内通风管道的通风量拟设置为 500m<sup>3</sup>/h，每小时约能对探伤室进行 3 次换气，能满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中探伤室每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。

### （5）废显（定）影剂、洗片废水、废胶片

本项目运行过程中无放射性废水、放射性固废、放射性废气产生。本项目洗片作业每年将产生废显（定）影剂，评片后将产生废胶片，属于《国家危险废物名录》中编号为 HW16 的危险废物。公司已承诺将与有资质单位签订废显（定）影剂、一次、二次洗片废水及废胶片处理处置合同，探伤过程中产生的废显（定）影剂、一次、二次洗片废水及废胶片在收集后拟临时贮存于危废库，定期交由有资质单位处理处置，使废显（定）影剂、一次、二次洗片废水及废胶片得到安全处置。三次以上洗片废水排入厂区拟建的污水管网，最终进入园区拟建的污水处理厂，相关设施建成前使用污水桶收集处理。

## 事故影响分析

### 1 潜在事故分析

(1) 固定式 X 射线可能发生的辐射事故:

1) 由于安全联锁装置失灵, 防护门未关闭时辐射工作人员开机工作, 致使周围人员受到误照射。

2) 探伤时未进行清场, 探伤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。

3) 机器调试、检修时误照射。X 射线探伤房内的 X 射线探伤机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。

4) 两人协同作业时, 因配合失误导致人员受照。两个人一起作业时, 一人去开机, 而另一人却仍在探伤室内而受到误照射。

5) 作业前未按规定人工巡视清场, 作业时人员误入, 导致人员受到误照射。

(2)  $\gamma$  射线探伤潜在事故分析:

1)  $\gamma$  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)  $\gamma$  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)  $\gamma$  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)  $\gamma$  射线探伤过程中辐射工作人员或其他人员误留在探伤室内, 致使其受到大剂量照射。

5)  $\gamma$  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探伤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  $\gamma$  射线泄漏到探伤室外面, 给周围活动的人员造成不必要的照射。

(3) 移动式 X 射线探伤事故:

1) 现场探伤时, 探伤前清场不完全或探伤过程中警戒工作未到位, 致使工作人员或公众误入控制区和监督区, 使其受到超剂量的外照射。

2) 现场探伤时, 现场控制区和监督区划分不合理, 探伤过程中未对两区边界的辐射水平进行检测, 对辐射工作人员和公众造成超剂量的外照射。

3) 现场探伤时, 探伤人员违反操作规程强行探伤, 对辐射工作人员和公众造成超剂量的外照射。

4) 现场探伤时, 探伤机控制器失灵或失控等意外情况, 可能对辐射工作人员造成超剂量的外照射。

5) 探伤机停止工作时, 未按 GBZ 117—2022 中 8.4.1.4 的要求检测操作者所在位置的辐射水平即认为探伤机已停止工作而实际未停止工作, 造成对人员的误照射。

6) 射线装置管理不善, 被盗并开机造成的人员受照。

万禾航宇科技检测(常州)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操作, 并在实际工作中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, 尽可能避免辐射事故的发生。

## 2 辐射事故处置方法及预防措施

### (1) 固定式 X 射线探伤事故预防措施

1) 探伤室内拟设置紧急停机按钮及开门开关, 若人员误入探伤室可及时按下急停按钮, 停止探伤机曝光。

2) 辐射工作人员应经常检查门机联锁装置, 确保安全措施完好。确保在所有防护门关闭后, X 射线探伤机才能进行照射; 定期认真地对本单位射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查, 定期对探伤机进行维护、保养, 对可能引起操作失灵的关键零配件定期进行更换。制定各项管理制度并严格按照要求执行, 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) 制定 X 射线探伤机操作规程。凡涉及对 X 射线探伤机进行操作, 必须按操作规程执行, 探伤作业时, 至少有 2 名操作人员同时在场, 操作人员按照操作规程进行操作, 并做好个人的防护, 并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置。

5) 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。

6) 公司在日常工作中应加强辐射安全管理, 定期对 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, 每次探伤前检查探伤室门机联锁、急停按钮等安全防护措施的有效性, 定期检测探伤室的周围辐射水平, 确保安全措施有效运行; 同时针对可能发生的辐射安全事故, 完善切实可行的辐射事故应急预案, 以能够有序应对事故。此外, 公司应制定

应急计划演练，配备应急物品，通过演练确定应急措施是否可行。同时公司应在今后的工作实践中不断完善辐射安全制度，提高制度的可操作性。

### (2) $\gamma$ 射线探伤事故预防措施

1) 探伤室内拟设置紧急停机按钮及开门开关，若人员误入探伤室可及时按下急停按钮，停止探伤机曝光。

2) 辐射工作人员应经常检查门机联锁装置，确保安全措施完好。确保在所有防护门关闭后， $\gamma$  射线探伤机才能启动出源；每月应对  $\gamma$  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)  $\gamma$  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) 辐射工作人员进出探伤房探伤室时必须携带个人剂量报警仪。

5) 制定  $\gamma$  射线探伤机操作规程。凡涉及对  $\gamma$  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) 加强放射源源坑管理，落实双人双锁制度，从探伤工作人员中固定 1 名，与辐射防护负责人共同负责放射源源坑的监管工作，加强源容器出入放射源源坑登记记录。

7) 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。

8)  $\gamma$  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  $\gamma$  射线探伤装置。

### (3) 移动式 X 射线探伤事故预防措施

1) 发现人员误入或未完全清场时应立即停止探伤机曝光，核算人员误照射剂量，并及时到专业医院就诊检查治疗。

2) 建设单位制定各项管理制度并严格按照要求执行，加强人员培训，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

3) 移动 X 射线探伤前应确保完全清场下进行探伤作业，辐射工作人员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) 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。

6) 公司定期对探伤机进行检查、维护，发现问题及时维修；严格要求辐射工作人员按照操作规程进行探伤操作，每次探伤前对探伤机进行检查，确保各项安全措施有效运行；同时针对可能发生的辐射安全事故，制定切实可行的辐射事故应急预案，以能够有序应对事故。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。

公司在日常工作中应加强辐射安全管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行探伤操作，每次探伤前检查探伤室门机联锁、急停按钮等安全防护措施的有效性，定期检测探伤室的周围辐射水平，确保安全措施有效运行；同时针对可能发生的辐射安全事故，完善切实可行的辐射事故应急预案，以能够有序应对事故。此外，公司应制定应急计划演练，配备应急物品，通过演练确定应急措施是否可行。同时公司应在今后的工作实践中不断完善辐射安全制度，提高制度的可操作性。

### 3 辐射事故报告

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 X 射线探伤机属于 II 类射线装置， $\gamma$  射线探伤拟使用的  $^{192}\text{Ir}$  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  $\gamma$  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预案，采取必要的防范措施，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

#### 1 辐射防护与安全管理机构

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》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；辐射工作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。

万禾航宇科技检测（常州）有限公司拟根据法律法规要求成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，拟指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员管理职责。

#### 2 辐射工作人员

##### （1）辐射安全培训

根据环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关要求，本项目辐射工作人员应当通过辐射安全与防护考核，并考核合格持证上岗。

万禾航宇科技检测（常州）有限公司拟为本项目配备 5 名辐射工作人员，其中含 1 名辐射防护负责人、4 名探伤工作人员。从探伤工作人员中固定 1 名，与辐射防护负责人共同负责放射源源坑的监管工作。该 5 名辐射工作人员均应取得辐射安全知识考核合格证书后方能上岗。关于辐射工作人员上岗资格的考核，根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》要求，进行网上报名时，操作人员选择“伽马射线探伤”及“X 射线探伤”科目，辐射防护负责人还应选择“辐射安全管理”科目进行考核。

##### （2）职业人员的个人剂量管理

万禾航宇科技检测（常州）有限公司拟为 5 名辐射工作人员配备个人热释光剂量计，要求工作期间必须佩带个人剂量计。另外，公司计划按每季度 1 次（一年 4 次）的频率安排辐射工作人员进行个人剂量检测，并按《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部 18 号令）的要求，建立辐射工作人员个人剂量档案，将检测结果记录到个人剂量档案中。

## 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预案。

本项目为新建项目，公司拟根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中相关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、放射源领用、归还登记制度、监测方案、台账管理制度、事故应急预案等，在实际工作中公司还应不断对其进行补充和完善，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完善要点提出如下建议：

**探伤操作规程：**明确 X、 $\gamma$  射线探伤辐射人员的资质条件要求、X 射线探伤机及  $\gamma$  射线探伤机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 X 射线探伤机及  $\gamma$  射线探伤机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、放射源源坑管理员的岗位责任。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 射线探伤机、 $\gamma$  射线探伤机的管理、维护等均要落实到个人，明确放射源源坑处安装监控探头，对放射源实施 24h 监控等。

**设备维修制度：**明确 X 射线探伤机、 $\gamma$  射线探伤机、环境辐射剂量巡测仪、个人剂量报警仪等维修计划、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，明确环境辐射剂量巡测仪、个人剂量报警仪的定期检定/校准，确保 X 射线探伤机、 $\gamma$  射线探伤机、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：**从探伤工作人员中固定 1 名，与辐射防护负责人共同负责  $\gamma$  放射源的管理，建立  $\gamma$  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  $\gamma$  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  $\gamma$  射线探伤机放回放射源源坑，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 X 射线探伤机及  $\gamma$  射线探伤机使用情况进行登记，标明设备名称、型号、电压、电流、放射源种类、源编码等，并对 X 射线探伤机及  $\gamma$  射线探伤机使用进行严格管理。

**放射性固体废物管理制度：**明确专人管理放射性固体废物，本项目放射性固体废物主要为退役的放射源及退役  $\gamma$  射线探伤机屏蔽装置（贫铀罐），公司需明确退役的放射源及退役  $\gamma$  射线探伤机屏蔽装置（贫铀罐）在退回厂家回收前暂存于探伤室内的放射源源坑内，放射源由放射源生产厂家回收处置， $\gamma$  射线探伤机屏蔽装置（贫铀罐）由  $\gamma$  射线探伤机生产厂家回收处置。

**危险废物管理制度：**明确专人管理危险废物，建立危险废物台账，如实记载产生危险废物的种类、数量、利用、贮存、处置、流向等信息，并定期委托有资质的单位处理处置。

**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。

## 辐射监测

### 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 II 类放射源及 II 类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。

万禾航宇科技检测（常州）有限公司拟配备 3 台辐射巡测仪，每名探伤工作人员配备 1 台个人剂量报警仪和个人剂量计，辐射巡测仪定期送检。

落实以上措施后，本项目监测仪器能够满足本项目的仪器配备要求。

### 2 监测方案

根据辐射管理要求，万禾航宇科技检测（常州）有限公司应制定如下监测方案：

（1）检测方法及范围：在开展固定探伤作业时，公司应定期对探伤房周围的辐射水平进行监测，并做好相关记录；在开展移动探伤作业时，在探伤机处于照射状态，用便携式 X- $\gamma$  剂量率仪从探伤位置四周由远及近测量周围剂量当量率，以 15 $\mu$ Sv/h 为控制区边界，以 2.5 $\mu$ Sv/h 为监督区边界。检测操作位置，确保操作位置的辐射水平是可以接受的。探伤机停止工作时，检测操作者所在位置的辐射水平，以确认探伤机确已停止工作。

（2）检测周期：每次开展探伤作业时，辐射工作人员应对辐射工作场所周围的辐射水平进行监测并记录档案。每次移动式探伤作业时，运营单位均要开展此项监测。凡属下列情况之一时，应由有相应资质的技术服务机构进行此项监测：①新开展现场射线探伤的单位；②每年抽检一次；③在居民区进行的移动式探伤；④发现个人季度剂量（3 个月）可能超过 1.25mSv。

（3）项目建成运行后，委托有相应资质的技术服务机构进行验收监测。

（4）辐射工作人员佩戴个人剂量计，并定期（1 次/3 个月）送有资质部门进行监测，建立个人累积剂量档案，个人剂量档案应终身保存。

（5）所有辐射工作人员上岗前均进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，均定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），确认可继续从事放射工作，并建立个人职业健康档案。

（6）年度监测：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《核医学辐射防护

与安全要求》(HJ 1188-2021), 本项目正常运行时, 公司应定期委托有资质公司对本项目进行监测, 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提交。

### 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, 万禾航宇科技检测(常州)有限公司拟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, 应急方案内容应包括:

- (1) 应急机构和职责分工;
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、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。

万禾航宇科技检测(常州)有限公司应依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求, 明确建立应急机构和人员职责分工, 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备, 辐射事故分类与应急响应的措施。并在今后工作中定期组织应急人员进行应急演练。

发生辐射事故时, 公司应立即启动本单位的事事故应急方案, 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。事故发生后公司将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**

万禾航宇科技检测（常州）有限公司位于常州市天宁区郑陆镇恒安路 12 号 2#车间西北部。公司东侧为 2#车间（空置厂房）；东南侧为 1#车间（鑫利德仓库、常州市昊富优机械科技有限公司仓库及常州市恒顺机械有限公司）；南侧依次为 2#车间（常州市昊富优机械科技有限公司）、厂区道路、超凡橱具及商铺；西侧为厂区道路；北侧依次为厂区道路、3#车间（常州六边形装饰建材有限公司）及 4#车间（空置厂房）。

**（1）固定式 X、 $\gamma$  射线探伤项目**

本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房拟建址位于公司东部，拟建址东侧为 2#车间（空置厂房）；南侧自西向东依次为评片室、资料室及设备间；西侧为办公室和会议室；北侧自西向东依次为操作室、暗室及危废库。本项目探伤房为一层建筑，周围建筑均为一层。上方为车间顶棚（无人员到达），下方为水泥地，源坑位于探伤室东南角。探伤房拟建址周围 50m 范围内无居民区、学校等环境敏感目标。

**（2）移动式 X 射线探伤项目**

万禾航宇科技检测（常州）有限公司仅在委托方单位厂区或野外进行移动探伤检测工作，各探伤现场情况及周边环境将存在较大差异。在实施现场探伤之前，应对工作环境进行全面的评估，以保证实现安全操作。

**1.2 项目分区及布局**

**（1）固定式 X、 $\gamma$  射线探伤项目**

万禾航宇科技检测（常州）有限公司拟建固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房包括探伤室（含源坑）和辅房（含操作室、暗室、危废库、评片室、资料室及设备间），均为单层结构。其中源坑位于探伤室东南角；操作室、暗室及危废库位于探伤室北侧；评片室、资料室及设备间位于探伤室南侧；探伤室结构采用迷道型式。

本项目拟将固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房探伤室实体屏蔽边界作为控制区边界，工作时任何人不得进入；将操作室、暗室、危废库、评片室、资料室、设备间的实体边界作为监督区边界，工作时无关人等不得进入。辐射防护分区满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）及

《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中辐射工作场所控制区和监督区的划分要求。

本项目拟配备 3 台 X 射线探伤机, 周向机主射线朝东墙、西墙、顶部及底部照射, 定向机主射线朝东墙、西墙、顶部及底部照射。操作台位于操作室北侧, 已合理避开探伤机有用线束方向。本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房布局设计满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022) 中关于操作室避开主射线方向、操作室与探伤室分开设置的要求, 本项目布局设计合理。

### (2) 移动式 X 射线探伤项目

本项目 X 射线机于当天作业结束后带回, 拟将固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房探伤室设置为探伤机贮存点。

万禾航宇科技检测(常州)有限公司在开展移动式 X 射线探伤时, 拟将作业场所中周围剂量当量率大于  $15\mu\text{Sv/h}$  的范围内划为控制区; 将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的范围划为监督区。

以上控制区及监督区的划分及布局能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022) 的要求, 本项目移动式 X 射线探伤的分区及布局划分合理。

## 1.3 辐射安全措施

### (1) 固定式 X、 $\gamma$ 射线探伤项目

本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房探伤室工件门及人员门拟设置门机联锁装置, 探伤室工件门旁及迷道口处拟设置紧急开门开关; 探伤室工件门、人员门上方及探伤室内拟设置显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置, 并与 X 射线探伤机进行联锁; 探伤室工件门、人员门上方及探伤室内醒目位置处拟设置对“预备”和“照射”信号意义的清晰说明; 探伤房防护门外拟设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明; 拟在探伤室内东墙、南墙、西墙及北墙处各设置 1 个急停按钮, 在迷道内及操作台处各设置 1 个急停按钮; 操作台处每台设备各自设有钥匙开关; 拟在探伤室内设置固定式辐射探测报警装置; 拟在探伤室内东北角、西南角、迷道内及工件门外各安装 1 个摄像头。

放射源源坑盖板外表面拟设置电离辐射警告标志; 由 2 名人员负责放射源源坑的管理工作, 放射源源坑实行双人双锁管理, 钥匙授权专门的人员保管; 放射源源坑外

拟设置 1 个摄像头，对放射源实施 24h 监控；放射源源坑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；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、出源坑均进行登记，对  $\gamma$  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。

当 X 射线探伤机及  $\gamma$  射线探伤机不再使用时，公司计划实施退役程序。本项目  $\gamma$  射线探伤机内  $^{192}\text{Ir}$  密封源退役后仍有较强的放射性，公司已承诺  $\gamma$  射线探伤机内  $^{192}\text{Ir}$  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拟与  $\gamma$  射线源一样对待，公司承诺掺入贫铀的屏蔽装置由原生产厂家回收。公司计划将 X 射线探伤机的 X 射线发生器处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。当所有辐射源从现场移走后，公司拟按监管机构要求办理相关手续。公司计划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。公司计划清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

#### (2) 移动式 X 射线探伤项目

万禾航宇科技检测（常州）有限公司在开展移动 X 射线现场探伤作业时，拟严格按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）利用辐射巡测仪巡测，将作业场所周围剂量当量率在  $15\mu\text{Sv/h}$  以上的范围内划为控制区，控制区边界外周围剂量当量率在  $2.5\mu\text{Sv/h}$  以上的范围内划为监督区。并在控制区边界设置“禁止进入射线工作区”警告牌、电离辐射警告标志、提示“预备”“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与 X 射线探伤机连锁；在监督区边界上悬挂醒目的“无关人员禁止入内”的警告牌和电离辐射警告标志，必要时设专人警戒。探伤期间通过辐射剂量巡测对边界进行检测或修正，确定场内无其他人员后开始探伤。

该公司在进行 X 射线探伤过程中应注意对控制区和监督区的管理和控制，必要时附加一定的防护装置如集光筒、活动防护罩、防护挡板等或采取其他防护措施，限制射线束中的无用射线，减小散射面积，减少散射量，屏蔽漏射线，降低探伤作业现场周围的辐射水平，缩小控制区和监督区的范围。

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。

### 1.4 辐射安全管理

万禾航宇科技检测（常州）有限公司拟成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确各成员管理职责，拟制定相关的辐射安全管理制度及辐射事故应急预案。本项目拟配备 5 名辐射工作人员（其中 1 人为辐射防护负责人负责放射源源坑的日常监管工作），以上辐射工作人员均通过辐射安全和防护专业知识考核合格后上岗。同时，项目运行后，辐射工作人员拟进行个人剂量监测和职业健康体检，并建立辐射工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案。

该公司拟为本项目配备 3 台环境辐射剂量巡测仪，用于对本项目探伤现场周围的辐射水平进行监测。该公司还拟为本项目辐射工作人员各配备 1 台个人剂量报警仪。

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

## **2 环境影响分析结论**

### **2.1 辐射防护影响预测**

#### **（1）固定式 X 射线探伤项目**

本项目固定式 X、 $\gamma$  射线探伤室东、南、西、北侧墙体均拟采用 900mm 砼，顶部墙体拟采用 650mm 砼，迷道内、外墙均拟采用 900mm 砼，工件门拟采用 900mm 砼，人员门拟采用 30mmPb+4mmFe。放射源源坑盖板拟采用 20mmPb。

根据理论预测结果，本项目探伤房运行后周围的辐射剂量率均能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）及《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）的辐射剂量率限值要求。

#### **（2）移动式 X 射线探伤项目**

本项目运行后，X 移动探伤现场拟严格按照标准进行控制区、监督区的划定和辐射安全管理，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）对现场探伤作业场所实行分区管理的要求。

### **2.2 保护目标剂量**

根据理论预测结果，本项目投入运行后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）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中对职业人员和公众有效剂量限值要求以及本项目管理目标限值要求：辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

## **3 三废处理**

本项目运行过程中没有放射性废水、废气产生。

本项目  $\gamma$  射线探伤机内  $^{192}\text{Ir}$  密封源退役后仍有较强的放射性， $\gamma$  射线探伤机退役时产生的  $\gamma$  探伤机屏蔽装置（贫铀罐）也具有一定的放射性，公司已承诺  $\gamma$  射线探伤机内  $^{192}\text{Ir}$  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，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。

公司拟于探伤室东北侧新建 1 座危废库，拟将探伤作业时产生的洗片废液、胶片冲洗废水及废胶片暂存于危废库内。公司拟新建的危废库为独立场所，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）和江苏省固体废物管理信息系统等管理规定，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。

#### 4 可行性分析结论

综上所述，万禾航宇科技检测（常州）有限公司新建 1 座固定式 X、 $\gamma$  射线探伤房及移动式 X 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。

#### 建议和承诺

- （1）所有设备资料、射线装置台账和监测资料等妥善保管，存档备案。
- （2）该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对工作人员的培训，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，使对环境的影响降到最低。
- （3）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。
- （4）项目取得环评批复且建成后，建设单位应根据《放射性同位素与射线装置安

全许可管理办法》要求及时申领辐射安全许可证。

(5) 项目运行后，建设单位应根据《建设项目环境保护管理条例》(2017 修改版)，参考《建设项目竣工环境保护验收技术指南污染影响类》要求，及时完成自主竣工验收。验收期限一般不超过 3 个月，需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

(6) 该项目运行后，应定期或不定期针对 X、 $\gamma$  射线移动探伤的各种管理、操作、安全措施落实情况进行检查，确保仪器和各项防护设施的完好和有效。

(7) 凡属下列情况之一时，应由有相应资质的技术服务机构进行辐射防护检测：  
a) 新开展现场射线探伤的单位； b) 每年抽检一次； c) 在居民区进行的移动式探伤；  
发现个人季度剂量（3 个月）可能超过 1.25mSv。

(8) 针对本项目可能出现的辐射事故，应加强辐射工作人员的安全思想教育，避免意外事故造成对人员的影响，使其对环境的影响降到最低。

(9) 建设单位应按照江苏省生态环境厅发布的《核技术利用单位辐射安全标准化建设指南（工业射线探伤类）》编制自评估报告，每年一月各单位根据上一年度辐射安全改进提升情况再次进行自评估，自评估报告作为年度评估报告附件，于 1 月 31 日前一并上传至国家核技术利用申报系统。

## 表 14 审批

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