

核技术利用建设项目

Ir-192 源及 X 射线机室内探伤项目

环境影响报告表

（报批稿）

维都利阀门有限公司

2019 年 7 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

Ir-192 源及 X 射线机室内探伤项目 环境影响报告表

建设单位名称：维都利阀门有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省温州市龙湾区永兴街道空港新区兴宇路 20 号

邮政编码：323300 联系人：周工

电子邮箱：weidouli@163.com 联系电话：——

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	4
表 3 射线装置.....	4
表 4 废弃物（重点是放射性废弃物）	4
表 3 评价依据.....	5
表 4 保护目标与评价标准.....	6
表 5 环境质量和辐射现状.....	11
表 6 项目工程分析与源项.....	13
表 7 辐射安全与防护.....	19
表 8 环境影响分析.....	24
表 9 从事辐射活动能力要求.....	37
表 10 辐射安全管理.....	39
表 11 结论.....	45

表 1 项目基本情况

建设项目名称		Ir-192 源及 X 射线机室内探伤项目			
建设单位		维都利阀门有限公司			
法人代表	夏成锐	联系人	周工	联系电话	----
注册地址		浙江省温州市龙湾区永兴街道空港新区兴宇路 20 号			
项目建设地点		公司厂区内			
立项审批部门		----	批准文号	----	
建设项目总投资（万元）	120	项目环保投资（万元）	20	投资比例（环保投资/总投资）	16.7%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 新建 ☐ 其它		占地面积（m²）	--
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☒ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☒ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其它	无			

1.1 项目简介

维都利阀门有限公司是一家集阀门研制、开发、生产、销售于一体的高新技术企业。创建于 1989 年，工厂占地面积 9500 m²，厂区设有锻钢阀门、铸钢阀门、特种阀门三大生产中心。拥有机加中心、数控机床、普通机床、车球数控专用设备，焊接专用设备 etc 生产设备 100 余台。拥有金属材料理化试验、超声波测厚、布洛维硬度测试、无损探伤、金属热处理和整套系列试压设备等专用试验检测设备。公司始终坚持以质量求生存，以科技求发展。公司现有员工 158 人，其中高中级职称技术人员 26 人，专门从事阀门的设计、工艺、检验试验和用户服务工作。

为满足生产发展和产品质量控制的要求，公司拟在厂区新建一间探伤室并配备两台 X 射线探伤机以及两台 γ 射线探伤机（每台探伤机内含一枚活度为 3.7×10^{12} Bq 的 Ir-192 放射源，一备一用）。

经与建设单位核实，5 年内辐射活动规模为：1 间探伤室，配备 1 台 XXH-2505 型 X 射线探伤机，一台 XXQ-2505 型 X 射线探伤机，两台 γ 射线探伤机（内含一枚活度为 3.7×10^{12} Bq 的 Ir-192 放射源，一备一用），所有探伤机仅限在探伤室内工作且不同时使用。

由于 X 射线探伤机在使用过程中产生的 X 射线以及 γ 射线探伤机在使用过程中产生的 γ 射线将对环境产生电离辐射影响。根据国家有关建设项目环境管理规定，本项目应编制辐射环境影响报告表。为保护环境，保障公众健康，维都利阀门有限公司正式委托杭州旭辐检测技术有限公司对本项目进行辐射环境影响评价。

在对该公司探伤室拟建址进行辐射环境现状检测的基础上，按照《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》，编制该项目的辐射环境影响报告表。

1.2 企业概况

维都利阀门有限公司经营业务范围：阀门研制、开发、生产、销售。

该公司 X 射线机及 γ 射线机室内探伤项目主要用于工件探伤检测。探伤工件最大直径 1500mm，高度 100mm；年拍片数约 5000 张。

1.3 地理位置

维都利阀门有限公司位于浙江省温州市龙湾区永兴街道空港新区兴宇路 20 号。公司南侧、北侧为工业用地，东侧为精工阀门公司，西侧为纬一支路。拟建探伤室位于厂区东南角，拟建探伤室北侧、西侧、西南侧为厂区空地，东南侧及东北侧为工业用地。本项目 50m 范围内无民房住宅等环境敏感目标。地理位置见附图 1，平面布置示意图见附图 2，项目周围环境概况图见附图 3。

表 2 放射源

序号	核元素名称	总活度/活度	数量	半衰期(天)	类别	活动种类	用途	使用场所	储存方式、地点
1	Ir-192	3.7×10^{12} Bq	2	74.3	II	使用	厚度30-100mm的工件探伤	探伤室	探伤室储源坑

表 3 射线装置

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	用途
1	X 射线探伤机(周向)	II 类	1	XXH2505	250	5	厚度0-30mm的工件探伤
2	X 射线探伤机(定向)	II 类	1	XXQ-2505	250	5	厚度0-30mm的工件探伤

表 4 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核实名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
废弃的 Ir-192 放射源	固体	Ir-192	/	/	/	/	不进行暂存，直接回收。	由放射源生产单位回收
废气	气体	臭氧、氮氧化物	/	/	/	/	/	经通风管道排至大气中
废水	液体	废显影液、定影液	/	/	/	/	集中存放于暗室中。	交有资质单位处理
废胶片	固体	废胶片	/	/	/	/	集中存放于暗室中。	交有资质单位处理

表 3 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境影响评价法》（（2018 修订），2018 年 12 月； (2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月； (3) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修改），国务院第 682 号令，2017 年 10 月； (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，（环保部令第 499 号），2019 年 3 月； (5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，环境保护部令第 44 号，2018 年 4 月； (6) 《关于修改〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉部分内容的决定》 生态环境部令第 1 号，2018 年 4 月； (7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境保护总局令第 31 号，2017 年 12 月； (8) 关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定，国家环保部令 第 3 号，2008 年 11 月； (9) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》， 浙江省人民政府令第 288 号，2018 年 3 月； (10) 《浙江省辐射环境管理办法》， 省政府令第 289 号，2012 年 2 月。
------	--

技术标准	(1) 《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 环境保护部； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (3) 《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015） (4) 《工业 γ 射线探伤放射防护标准》（GBZ132-2008）； (5) 《关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求》，环发（2007）8 号。
其它	(1) 项目地理位置图，见附图 1； (2) 项目平面布置示意图，见附图 2； (3) 项目周围环境概况图，见附图 3； (4) 营业执照，见附件 1； (5) 委托书，见附件 2； (7) 检测报告，见附件 3； (8) 建设项目环评批文，见附件 4； (9) 建设项目竣工验收意见，见附件 5； (10) 专家函审意见，见附件 6。

表 4 保护目标与评价标准

评价范围

本项目污染为能量流污染，根据能量流的传播与距离相关的特性，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，确定以该探伤室周围 50m 作为评价范围。

保护目标

环境保护目标为探伤室周围活动的辐射工作人员以及公司内的其它非辐射工作人员和公众成员。

评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4. 3. 3 防护与安全的最优化

4. 3. 3. 1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

B1 剂量限值（标准的附录 B）

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a)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；

本项目取其四分之一即 5mSv 作为管理限值。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a)年有效剂量，1mSv；

本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为管理限值。

(2) 《工业 X 射线探伤放射防护要求》GBZ117-2015。

本标准规定了工业 X 射线探伤室探伤、工业 X 射线 CT 探伤与工业 X 射线现场探伤的放射防护要求。

本标准适用于使用 500kV 以下的工业 X 射线探伤装置(以下简称 X 射线装置或探伤机)进行探伤的工作。

4.1 防护安全要求

4.1.1 探伤室的设置应充分考虑周围的辐射安全，操作室应与探伤室分开并尽量避开有用线束照射的方向。

4.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理。一般将探伤室墙壁围成的内部区域划为控制区，与墙壁外部相邻区域划为监督区。

4.1.3 X 射线探伤室墙和入口门的辐射屏蔽应同时满足：

a) 人员在关注点的周剂量参考控制水平,对职业工作人员不大于 100 μ Sv/周,对公众不大于 5 μ Sv/周；

b) 关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 2.5 μ Sv/h。

4.1.4 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 4.1.3；

4.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置,并保证在门(包括人员门和货

物门)关闭后 X 射线装置才能进行探伤作业。门打开时应立即停止 X 射线照射,关上门不能自动开始 X 射线照射。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。

4.1.6 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。“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它报警信号有明显区别。

4.1.7 照射状态指示装置应与 X 射线探伤装置联锁。

4.1.8 探伤室内、外醒目位置处应有清晰的对“预备”和“照射”信号意义的说明。

4.1.9 探伤室防护门上应有电离辐射警告标识和中文警示说明。

4.1.10 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。按钮或拉绳应当带有标签,标明使用方法。

4.1.11 探伤室应设置机械通风装置,排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。

(3)、《工业 γ 射线探伤放射防护标准》(GBZ132-2008)

本次评价采用相关的第 4、6 项做相应的评价标准,具体内容如下:

4 γ 射线探伤机的放射防护性能要求

4.1 源容器应符合 GB/T14058 中第 5.3 条的试验要求,其周围的空气比释动能率不超过表 6-1 的数值。

表 6-1 源容器周围空气比释动能率控制值 (mGy.h⁻¹)

探伤机类别	容器外表面	距容器外表面
-------	-------	--------

		50mm	1m
手提式	2	0.5	0.02
移动式	2	1	0.05
固定式	2	1	0.10

本项目以手提式源容器周围空气比释动能率控制值作为管理限值。

6.固定式探伤的放射防护要求

6.1 探伤室的屏蔽要求

γ 射线探伤室的屏蔽墙应充分考虑直射、散射和屏蔽物材料和结构等各种因素。在进行屏蔽墙设计时约束值可取 $0.1\sim 0.3\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ ，并要求探伤室屏蔽墙外 30cm 处空气比释动能率不大于 $2.5\ \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ，无迷道探伤室门的防护性能应与同侧墙的防护性能相同。

6.2 安全设施要求

6.2.1 应安装门-机联锁装置和工作警示灯；探伤室入口处必须有固定的电离辐射警告标志；探伤室入口处及被探物件出入口处必须设置声光报警装置，该装置在 γ 射线探伤机工作时应自动接通以给出声光警告信号。

6.2.2 应在屏蔽墙内外合适位置上设置紧急停止按钮，并给出清晰的标记和说明。

6.2.3 应配置固定式辐射检测系统，并与门-机联锁相联系。同时配置便携式辐射检测仪和个人剂量报警仪。

6.2.4 辐射安全装置检查

应定期对探伤室的探伤室防护门-机联锁装置、紧急停止按钮、出束信号指示灯等安全措施进行检查。

6.3 操作要求

6.3.1 工作人员进出探伤室时应佩带个人剂量计、剂量报警仪和便携式剂量测量仪。

6.3.2 每次工作前，探伤作业人员应检查安全装置、联锁装置的性能及警告信号、标志的状态，只有确认探伤室内无人且门已关闭，所有安全装置起作用并给出启动信号后才能启动照射。

(4) 《关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求》，环发(2007)8号

使用固定 γ 射线探伤室的单位可参照从事移动 γ 射线探伤工作的单位进行管理。固定 γ 射线探伤室应满足下述要求：

1、探伤室建筑（包括辐射防护墙、门、辐射防护迷道）的防护厚度应充分考虑 γ 射线直射、散射效应。

2、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。

3、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。

4、探伤室工作人员入口门外和被探伤物件出入口门外应设置固定的电离辐射警告标志和工作状态指示灯箱。探伤作业时，应由声音警示，灯箱应醒目显示“禁止入内”。

5、 γ 射线探伤室的各项安全措施必须定期检查，并做好记录。

表 5 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

为了解维都利阀门有限公司 X 射线探伤室拟建址周围的辐射环境现状水平，杭州旭辐检测技术有限公司于 2019 年 4 月 22 日对探伤室拟建址周围进行了辐射环境现状水平检测。检测结果见表 5-1。

5.1 检测因子及频次

为掌握维都利阀门有限公司探伤室外周围区域的辐射水平或环境

的周围剂量当量率，杭州旭辐检测技术有限公司对该公司拟建探伤室及周围环境辐射水平进行了检测。

检测因子： γ 辐射剂量当量率

检测频次：每测点每次读 10 个数，取其平均值作为测量结果。

检测时间：2019 年 4 月 22 日

5.2 检测布点

用检测仪器对拟建探伤室周围的辐射水平进行巡测，在巡测的基础上，定点检测。

具体检测点位见图 5-1。

5.3 检测仪器

检测仪器的参数与规范见表 5-1。

表 5-1 X- γ 射线剂量当量率检测仪器参数与规范

仪器名称	环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪
仪器型号	JC-5000
仪器编号	JC70-09-2019
能量响应	48Kev $\sim$ 3Mev $\leq \pm 30\%$ （相对于 ^{137}Cs ）
量程	1nGy/h $\sim$ 200uGy/h, 1nSv/h $\sim$ 200uSv/h
检定机构	上海市计量测试技术研究院
检定证书号	2019H21-20-1782071001 号
有效期	2019 年 04 月 04 日-2020 年 04 月 03 日
检测规范	环境地表 γ 辐射剂量率测定规范 GB/T 14583-1993

5.5 检测结果

公司探伤室拟建址各检测点位的辐射剂量率检测结果见表 5-3。

表 5-3 探伤室拟建址周围辐射环境现状检测结果^{*}

检测点位	检测点位描述	辐射剂量率（nSv/h）	
		平均值	标准差
▲1	探伤室拟建址东侧	121	6.1
▲2	探伤室拟建址南侧	144	10.0
▲3	探伤室拟建址西侧	123	7.3
▲4	探伤室拟建址北侧	129	8.9

※检测结果未扣除宇宙射线的响应；

由表 5-3 的检测结果可知，该公司探伤室拟建址各检测点位的辐射剂量率为 121~144 nSv/h。根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查报告》，温州市室内 γ 辐射剂量率在 73~198 nSv/h 之间，可见，该公司探伤室拟建址辐射现状水平未见异常。

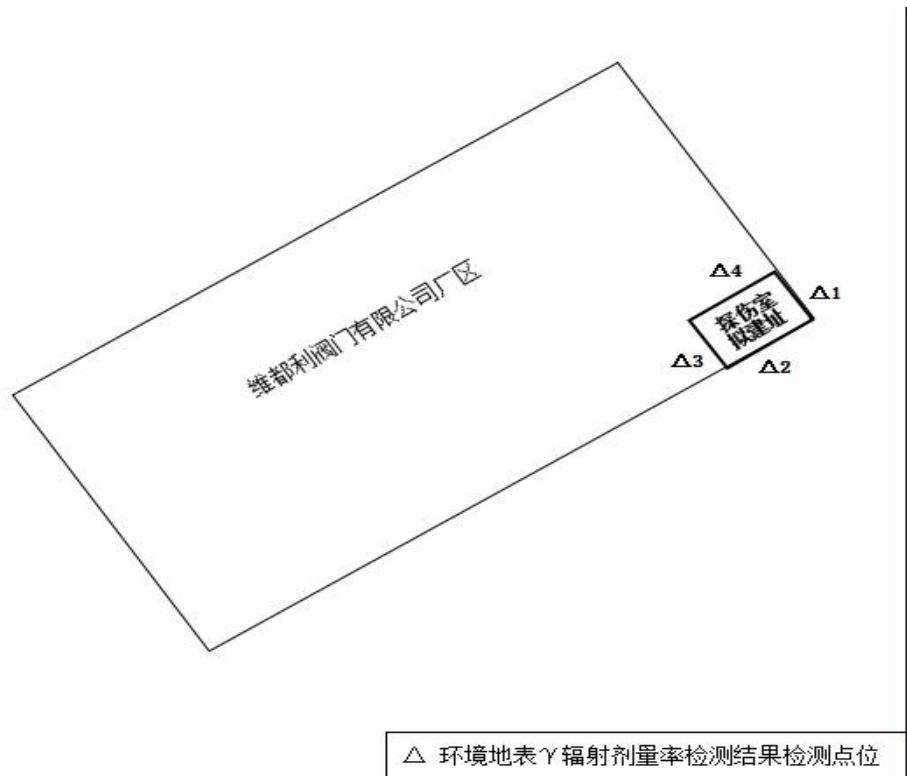


图 5-1 维都利阀门有限公司探伤室拟建址环境地表 γ 辐射剂量率检测点位示意图

表 6 项目工程分析与源项

6.1 工程设备和工艺分析

6.1.1 工作原理

(1) X 射线探伤机

X 射线探伤机是利用 X 射线对对象进行透射拍片的检测装置。通过 X 射线管产生的 X 射线对受检工件焊缝处所贴的 X 线感光片进行照射，当射线在穿过裂缝时其衰减明显减少，胶片接受的辐射增大，在显影后的胶片上产生一个较黑的图像显示裂缝所在的位置，X 射线探伤机就据此实现探伤目的。X 射线探伤机主要由 X 射线管和高压

电源组成。

X 射线管由阴极和阳极组成。阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据应用的需要，由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钽等）制成。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度。这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型的 X 射线管结构图见图 6-1。

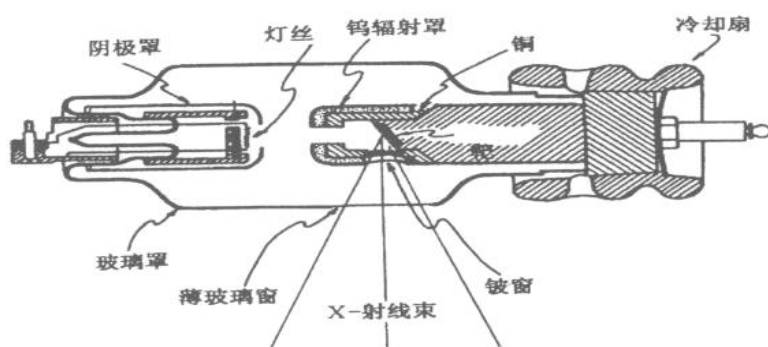


图 6-1 典型的 X 射线管结构图

(2) γ 射线探伤机

γ 射线探伤机在工作过程中，通过产生的 γ 射线对受检工件进行照射，当射线在穿过裂缝时其衰减明显减少，胶片接受的辐射增大，在显影后的胶片上产生一个较黑的图像显示裂缝所在的位置。

本次新建的 2 台 γ 探伤机内含一枚活度为 3.7×10^{12} Bq 的 Ir-192 放射源，两台探伤机一备一用，备用探伤机存放于储源坑中。Ir-192 放射源的半衰期为 74.3 天，衰变放出的 γ 射线最大能量为 1.3785MeV， γ 射线平均能量为 0.468MeV。

6.1.2 探伤过程

(1) X 射线探伤机

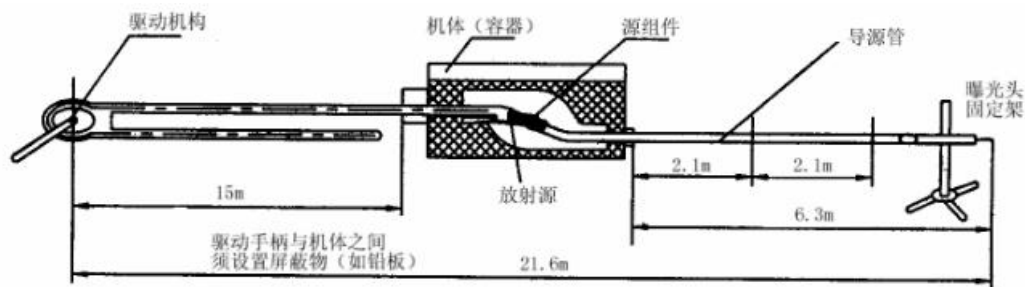
该公司使用 X 射线机探伤在固定的探伤室内，将需要进行射线探伤的工件放置于平板小车，送入探伤室，设置适当位置，在工件待检部位布设 X 射线胶片并加以编号，检查无误，工作人员撤离探伤室，并将工件门关闭，然后按照检测标准选择透照方式，根据工件规格选择一次透照长度及张数，根据曝光曲线选择合适的管电压以及曝光时间，检查无误即进行曝光，当达到预定的照射时间后，关闭电源。待全部曝光摄片完成后，工作人员进入探伤室，打开工件门将探伤工件送出探伤室外，从探伤工件上取下已经曝光的 X 片，待暗室冲洗处理后给予评片，完成一次探伤。

(2) γ 探伤射线机

操作前，操作人员必须关闭曝光室大门、打开场地剂量报警器，随身佩带好个人射线报警器。布设胶片并加以编号完毕后，将 γ 射线探伤机从储源坑内取出（距源 0.5m 处的时间约为 0.5min），打开探伤机的开关，连接探伤机的输源管道（距源 1m 处的时间约为 1min）。

检查曝光室大门是否关闭，确定后，将选择环顺时针旋至工作状态，全体人员撤离曝光室，关闭通道小门后在操作室内进行手工（或自动）送源、收源操作。

如探伤机工作状态下，“卡源”或“源掉出”事故发生，回源装置失效，工作人员手动回源。处理卡源事故的工作人员应按照厂家提供的操作规程进行，且持证上岗。在处理完事故后，尽快对处理卡源事故的工作人员个人剂量计进行监测—发现个人剂量超标现象，及时采取相应的措施，建设单位应定期检查。

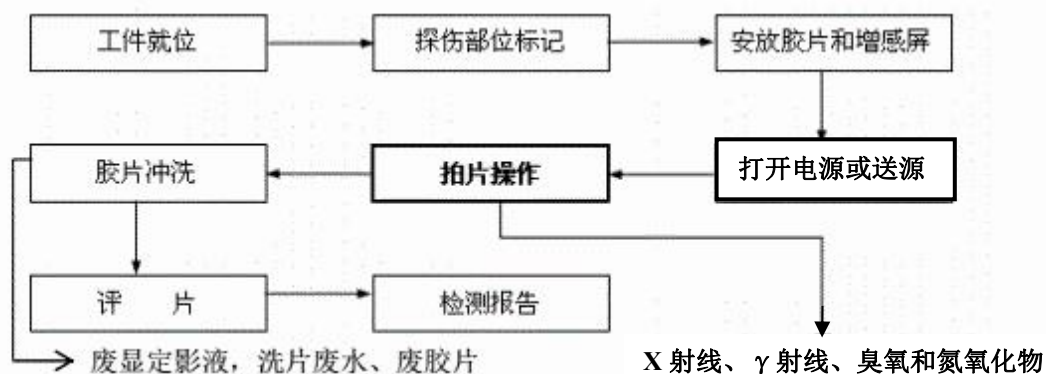


γ射线探伤机驱动机构 工作示意图

收源操作结束后使用剂量监测仪检测确认源是否收回，当源确定收回时，操作人员应随身佩带好个人射线报警器后进入曝光室。进入曝光室将选择环旋转选择到连接位置，取下连接爪定位环。打开连接爪，将驱动缆旋转到 90 度，从阴接头内取出阳接头后将选择环逆时针旋至“锁定”处，再进行取片等工作。

在探伤过程中，技术人员应做好个人的防护，并在整个过程中使用监测仪器进行场所监测。公司应对周围非放射工作人员作好疏散工作。

6.1.3 探伤工艺流程图及产污位置图



6.2 污染源项描述

(1) X 射线探伤机

由 X 射线探伤机的工作原理可知，X 射线随机器的开、关而产生和消失。本项目使用的 X 射线探伤机只有在开机并处于出线状态时（曝光状态）才会发出 X 射线。因此，在开机曝光期间，X 射线成

为污染环境的主要污染因子。

该公司 X 射线探伤机工作时的最大管电压、最大管电流分别为 250kV、5mA，开机产生的 X 射线使空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物，X 射线探伤机运行时无其它固体废弃物产生。

X 射线探伤机探伤过程中产生的废显（定）影液及胶片属于国家危险废物名录中感光材料废物 HW16，废物代码为 900-019-16，并无放射性。

（2） γ 射线探伤机

γ 射线探伤机在不进行照相工作时，其所使用的放射源置于探伤机内置的贮源容器内，贮源容器对放射源产生的 γ 射线有很好的屏蔽作用，但当使用 γ 射线探伤机对工件进行照相时，必须将放射源从贮源容器中顶出，对被检工件进行照相，在此过程中， γ 射线经透射、反射，对作业场所及周围环境产生辐射影响。因此， γ 射线探伤机的主要污染因子为 γ 射线。

此外，在开机期间，空气被电离，产生臭氧和氮氧化物。洗片过程中产生的废显、定影液及胶片属于国家危险废物名录中感光材料废物 HW16，废物代码为 900-019-16，并无放射性。

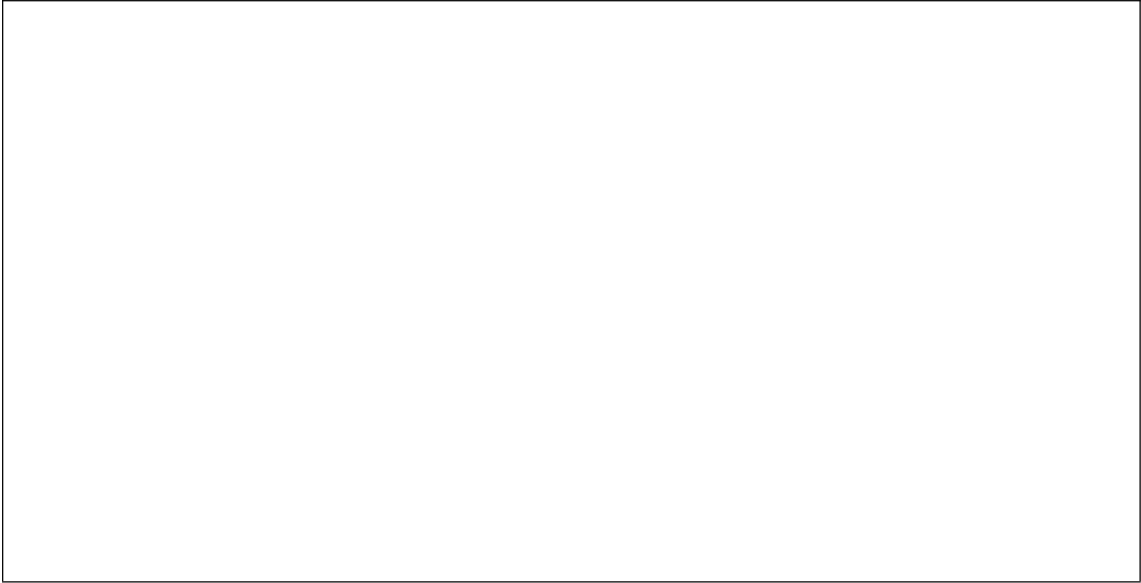


表 7 辐射安全与防护

7.1 项目安全设施

7.1.1 探伤室概况

该公司探伤室为自行设计建造的一层建筑，其面积约为 38.5m^2 ，其中长 $7\text{m} \times$ 宽 $5.5\text{m} = 38.5\text{m}^2$ ，探伤室高 4.7m 。

探伤室平面布置见图 7-1，各侧墙体、防护门的设置及屏蔽情况见表 7-1。图中监督区用黄色标出，控制区用红色标出。

表 7-1 探伤室屏蔽情况一览表

项目	内容
面积高度	探伤室尺寸为 $7000\text{mm} \times 5500\text{mm} \times 4700\text{mm}$
各屏蔽墙厚	四侧为 1000mm 混凝土
顶棚厚度	500mm 混凝土
工件门	框架钢结构制作电动平开门，尺寸为宽 $2.8\text{m} \times$ 高 3m ，敷设铅板厚度为 80mm ，门洞尺寸为宽 $2\text{m} \times$ 高 2.6m （两侧门与墙体的搭接为 400mm ，上、下搭接各为 200mm ，按照搭接长度须大于等于 10 倍间隙的原则，间隙应尽量小。）
工作人员出入口	框架钢结构制作电动平开门，尺寸为宽 $1.2\text{m} \times$ 高 2.5m ，敷设铅板厚度为 12mm ，门洞尺寸为宽 $0.8\text{m} \times$ 高 2.2m （两侧门与墙体的搭接为 200mm ，上、下搭接各为 150mm ，按照搭接长度须大于等于 10 倍间隙的原则，间隙应尽量小。）
通风设施	U 型排风口
电缆沟设置	地下 U 型线管
储源坑	尺寸为 $0.8\text{m} \times 0.8\text{m} \times 0.8\text{m}$ ，上盖 20mm 铅当量坑盖，并采取双人双锁管理方式。上口应高出地面 $10 \sim 15\text{cm}$ 。

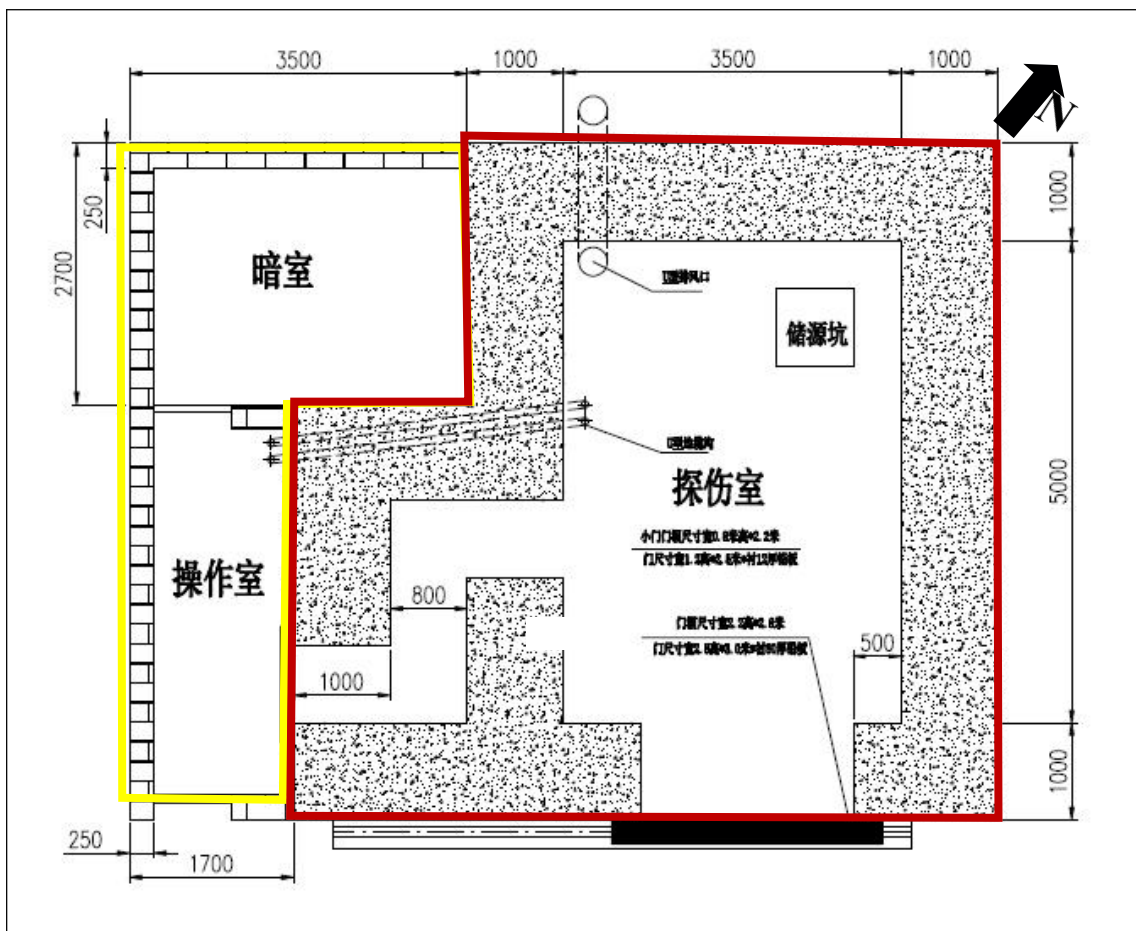


图 7-1 探伤室布置示意图

7.1.2 环境保护目标

表 7-2 本项目环境保护目标一览表

项目地点	照射类型	环境保护目标	最近距离
探伤室	职业	辐射工作人员	/
	公众	非辐射工作人员	10-30m
		辐射工作场所周边公众	20-50m

7.1.3 污染防治措施

该公司 I-192 源及 X 射线机室内探伤项目须具备以下污染防治措施：

(1) 探伤室防护门与两边墙体有搭接，搭接的长度大于 10 倍的间隙，防止射线外泄。

(2) 对探伤工作场所实行分区管理。一般将探伤室墙壁围成的内部区域划为控制区，与墙壁外部相邻区域划为监督区，见图 7-1。

(3) 探伤室须安装门-机联锁安全装置和灯光警示装置，只有在门关闭后 X 射线装置与 γ 射线装置才能进行透照检查。探伤室内应安装固定式辐射检测系统，剂量率水平应显示在控制机房（即操作机房）内，并与门-机联锁相联系。

(4) 探伤室周围均须设置电离辐射警告标志，并用中文注明“当心电离辐射”，探伤室门外 1m 处划黄色警戒线，告诫无关人员不得靠近。各项相关辐射环境管理规章制度应张贴于工作现场处。

(5) 探伤室内 X 射线机操作电缆设计为 U 型电缆孔， γ 探伤的操作孔为 U 型孔。

(6) 探伤室内应设置紧急停机按钮，并明显标志。

(7) 公司须制定制度，禁止将探伤机移出探伤室外作业。

(8) 检测室人员入口应设置迷道，有用线束朝向应尽量避免工件出入口、控制室和迷道。

(9) 检测室迷道防护门内侧应安设标识明显的紧急开门开关，确保异常情况时人员能从检测室内迅速开门离开。

(10) 检测室应设置通风装置，每小时有效通风次数应不小 3 次，每次通风量不低于降低室内臭氧和氮氧化物的浓度。

(11) 辐射工作人员操作及进出探伤室时需配戴个人剂量计、个人剂量报警仪和便携式剂量测量仪，个人剂量报警仪应与防护门钥匙、探伤装置的安全锁钥匙串结一起。

(12) 须建立探伤机与放射源的档案和台帐，贮存、使用探伤机时及时进行登记、检查，做到帐物相符，并要求有专人负责保管。

(13) 放射源换源工作必须由放射源生产单位进行，换源时穿上

专门的辐射防护服，并佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

(14) γ 射线探伤机使用过程中会产生废弃的放射源，废弃放射源应交由有回收资质的单位回收，公司不得随意处置。储源坑在探伤室地面。因此探伤室应加设防盗报警装置与当地公安“110”联网，认真做好防火、防盗、防泄漏的“三防”工作；探伤室须设置红外监控录像设备，且录像保存时间在 30 天以上。

(15) 废显影液、定影液及胶片要求集中存放在有锁的危废暂存室内，危废暂存间地面及四周 1m 高的墙裙必须做防渗处理，暂存间外明显处设置危险废物警示标识；暂存桶加盖，桶外贴附标签；桶四周设置 0.2m 高围堰（砖混结构，外表面贴瓷砖），废显影液、定影液暂存应对贮存容器双重保护，防止泄露，并由专人保管，并与有资质的单位签订废液回收协议，定期送交有资质的单位处理，建立台帐。

7.2 三废的治理

(1) 探伤室设计有 U 型通风管，工作期间应保证探伤作业时开启通风管进行机械排风，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，降低室内臭氧和氮氧化物的浓度。

(2) 该公司每年拍片数大约为 5000 张，产生一定量的废显影液、定影液，废显影液、定影液及胶片要求集中存放在有锁的危废暂存室内，危废暂存间地面及四周 1m 高的墙裙必须做防渗处理，暂存间外明显处设置危险废物警示标识；暂存桶加盖，桶外贴附标签；桶四周设置 0.2m 高围堰（砖混结构，外表面贴瓷砖），废显影液、定影液暂存应对贮存容器双重保护，防止泄露，并由专人保管，并与有资质的单位签订废液回收协议，定期送交有资质的单位处理，建立台帐。

(3) γ 射线探伤机使用过程中会产生废弃的放射源，废弃放射源

由有回收资质的单位回收，公司不进行暂存。

表 8 环境影响分析

8.1 建设阶段对环境的影响

由于 X 射线探伤机只有在无损检测过程中才会产生辐射，其产生的射线是随机器的开、关而产生和消失的。 γ 探伤机不进行探伤时，探伤机内的源放置在探伤机内的储源空间内，不会对外界产生大量辐射。在建设过程中，X 射线探伤机与 γ 射线探伤机未运行，故不会对周围环境造成电离辐射影响，也无放射性废气、废水及固体废弃物产生。

8.2 运行阶段对环境的影响

探伤室内 X 射线探伤机、 γ 探伤机的对环境的影响分析采用理论计算。

8.2.1 理论计算

8.2.1.1 X 射线探伤机

(1) 计算公式及参数选取

根据《放射物理与防护》中“屏蔽厚度的确定方法”，可查透射量图得 X 射线初级防护混凝土屏蔽墙的厚度。

$$B = \frac{Pd^2}{WUT} \dots\dots\dots (1)$$

其中: B:有用射线的最大允许透射量, $\text{mSv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$;

P: 周剂量限值。

根据《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015) 第 4.1.3 条, X 射线探伤室墙和入口门的辐射屏蔽应同时满足: a) 人员在关注点的周剂量参考控制水平,对职业工作人员不大于 $100 \mu\text{Sv}/\text{周}$,对公众不大于 $5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。b) 关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。本项目评价时保守考虑: 各侧墙及入口门处的周剂量值不大于 $5 \mu\text{Sv}$ 。

d: 参考点到焦点的距离, 本项目探伤室长 $7\text{m}\times$ 宽 5.5m (已考虑墙体厚度), 根据该公司实际使用工况, 保守考虑取探伤机位于离各侧墙体最近距离约为长或宽的三分之一, 到东侧与西侧墙外的最小距离为 3.13m ($1.83+0.3=2.13$), 到防护门外 30cm 的最小距离为 3.43m ($2.33+0.8+0.3=3.43\text{m}$), 到北侧、南侧墙外 30cm 的最小距离均为 2.63m ($2.33+0.3=2.63\text{m}$)。

WUT: 有效工作负荷。其中, W 为周工作负荷 (It), 单位为

$\text{mA}\cdot\text{min}\cdot\text{w}^{-1}$ ，本项目根据该单位预计每天开机的情况，取每天开机探伤时间 120min，每周工作 5 天。另外，U 为利用因子，取 1/4，T 为居留因子，公众成员居留因子取 1/4。

（2）屏蔽厚度估算

①四侧防护墙

根据公式（1），东侧、西侧墙距离取 2.13m，北侧、南侧防护墙距离取 2.63m，可以估算出本项目电压等级为 250kV 的探伤机其东侧、西侧防护墙最大允许的透射量为 $1.12\times 10^{-3} (\text{mSv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$ ，北侧、南侧防护墙最大允许的透射量为 $1.34\times 10^{-3} (\text{mSv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$ 。

查 250kV 的宽束 X 线对混凝土的透射曲线图可知，东侧、西侧所需的初级防护混凝土屏蔽墙的厚度为 392mm，北侧、南侧所需的初级防护混凝土屏蔽墙的厚度为 367mm，考虑 2 倍安全系数，加上一个半阶层厚度。查“不同管电压下铅和混凝土的半阶层（半阶层：使 X 射线强度衰弱 50%所需特定吸收体的厚度）”表可知，250kV 的 X 射线所需混凝土的半阶层为 28mm。

因此，本项目探伤室东侧、西侧防护墙须建造不小于 420mm 的混凝土防护墙，北侧、南侧须建造不小于 395mm。

②防护门铅防护厚度

（1）工件门

根据公式（1），工件门屏蔽计算距离取 3.43m，可以估算出本项目电压等级为 250kV 的探伤机其最大允许的透射量为 $1.6\times 10^{-3} (\text{mSv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$ 。

查宽束 X 线对铅的透射曲线图可知，所需的铅防护门的厚度为 40mm，考虑 2 倍安全系数，加上一个半阶层厚度。查“不同管电压下铅和混凝土的半阶层”表可知道，参照 250kV 的 X 射线所需铅的半阶层为

0.86mm。

因此，本项目探伤室须建造厚度不小于 40.86mm 的铅防护门。

（2）工作人员门

对于工作人员出入门工作人员出入门的射线经迷道折射后，屏蔽的是散射线。

散射后的 X 射线能量可以用一次散射作偏安全的近似计算：

$$f = \frac{E}{E_0} = \frac{1}{1 + E_0 \frac{1 - \cos \theta}{0.511}} = 0.532$$

因此，散射后的 X 射线能量可按 $250 \times 0.532 = 133\text{kV}$ ，近似按 150kV 的管电压来计算。根据公式（1），距离取 3.45m（ $2.33 + 0.8 + 0.6 + 0.3 + 0.12 = 4.15\text{m}$ ），可以估算出工作人员门最大允许的透射量为 $2.29 \times 10^{-4} \text{ (mSv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$ 。

查宽束 X 线对铅的透射曲线图可知，所需的铅防护门的厚度为 4mm，考虑 2 倍安全系数，加上一个半阶层厚度。查“不同管电压下铅和混凝土的半阶层”表可知道，参照 150kV 的 X 射线所需铅的半阶层为 0.27mm。

因此，工作人员出入门铅防护厚度须建不小于 4.27mm 的铅防护门。

③顶棚厚度

探伤室为一层建筑，由于探伤室近顶棚处人员活动很少，居留因子取 1/16，利用因子 U 取 1/8。

根据公式（1），距离取 4m（高 4.7m+墙外 0.3m-探伤机位置 1m=4m），可以估算出本项目电压等级为 250kV 的探伤机其最大允许的透射量为 $2.89 \times 10^{-2} \text{ (mSv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$ 。

查 250kV 的宽束 X 线对混凝土的透射曲线图可知，所需的混凝土顶棚的厚度为 301mm，考虑 2 倍安全系数，加上一个半阶层厚度。查“不同管电压下铅和混凝土的半阶层表可知道，250kV 的 X 射线所需混凝土

的半阶层为 28mm。

因此，本项目探伤室须建造厚度不小于 329mm 的混凝土顶棚。

④屏蔽设计符合性分析

由以上计算，可比较该公司探伤室的屏蔽是否符合理论计算的结果，比较结果见表 8-1。

表 8-1 探伤室屏蔽符合情况一览表

项目	理论估算值水平	实际屏蔽水平	是否符合
东侧、西侧屏蔽墙厚度	420mm 混凝土墙	1000mm 混凝土墙	符合
北侧、南侧屏蔽墙厚度	395mm 混凝土墙	1000mm 混凝土墙	符合
顶棚厚度	329mm 混凝土	500mm 混凝土	符合
工件门	40.86mm 铅板	80mm 铅板	符合
工作人员出入门	4.27mm 铅板	12mm 铅板	符合

由表 8-1 可见，该探伤室防护墙、铅防护门及顶棚的屏蔽均符合要求。该公司 X 射线探伤操作人员年工作时间约为 50 周，根据理论计算结果，在满足辐射防护屏蔽要求的前提下，辐射工作人员受到辐射照射剂量不超过 0.25mSv/a。

8.2.1.2 γ 射线探伤机

(1) 关注点剂量率计算

a) γ 探伤室屏蔽厚度估算：根据《辐射防护导论》中“ γ 射线的屏蔽计算”，可查透射比 η_γ 图得 γ 射线初级防护混凝土屏蔽墙的厚度。

$$\eta_\gamma = \frac{H_{L,h} \cdot r^2}{1.4 \times 10^5 A \Gamma q} \dots\dots\dots (2)$$

其中: A: γ 点源的活度，为 $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$;

$H_{L,h}$: 参考点上剂量当量的控制水平，Sv/h。

q: 居留因子，取 1/4。

Γ : 照射率常数， $\text{c} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq/kg} \cdot \text{s}$ 。

r: 参考点到焦点的距离, 本项目探伤室长 7m×宽 5.5m (已考虑墙体厚度), 根据该公司实际使用工况, 保守考虑取探伤机位于离各侧墙体最近距离约为长或宽的三分之一, 到东侧与西侧墙外的最小距离为 3.13m ($1.83+0.3=2.13$), 到防护门外 30cm 的最小距离为 3.43m ($2.33+0.8+0.3=3.43$), 到北侧、南侧墙外 30cm 的最小距离均为 2.63m ($2.33+0.3=2.63$)。

①四侧防护墙

根据公式 (1), 东侧、西侧墙距离取 3.13m, 北侧、南侧防护墙距离取 2.63m, 可以估算出本项目源活度为 3.7×10^{12} Bq 的 γ 探伤机其东侧、西侧防护墙透射比为 6.9×10^{-4} , 北侧、南侧防护墙透射比为 9.8×10^{-4} 。

查宽束放射源对混凝土的透射曲线图可知, 东侧、西侧所需的初级防护混凝土屏蔽墙的厚度为 680mm, 北侧、南侧所需的初级防护混凝土屏蔽墙的厚度为 705mm, 考虑 2 倍安全系数, 加上一个半阶层厚度。查“宽束 γ 射线的平衡 $\Delta_{1/2}$ ($\Delta_{1/2}$ 即半阶层: 使 X 射线强度减弱 50%所需特定吸收体的厚度)”表可知, 所需混凝土的半阶层为 41mm。

因此, 本项目探伤室东侧、西侧防护墙须建造不小于 721mm 的混凝土防护墙, 北侧、南侧须建造不小于 746mm。

②防护门铅防护厚度

(1) 工件门

工件门屏蔽计算距离取 3.43m, 可以估算出本项目源活度为 3.7×10^{12} Bq 的 γ 探伤机其透射比为 1.2×10^{-3} 。查宽束 γ 辐射源对铅的透射曲线图可知, 所需的铅防护门的厚度为 64mm, 考虑 2 倍安全系数, 加上一个半阶层厚度。查“宽束 γ 射线的平衡 $\Delta_{1/2}$ ”表可知, 所需铅的半阶层为 6mm。

因此, 本项目探伤室须建造厚度不小于 70mm 的铅防护门。

③顶棚厚度

探伤室为一层建筑，由于探伤室近顶棚处人员活动很少，居留因子取 1/16。根据公式（1），距离取 4.5m（高 4.7m+墙外 0.3m-探伤机位置 0.5m=4.5m），可以估算出本项目电压等级为 250kV 的探伤机其最大允许的透射量为 $8.1 \times 10^{-3} \text{ (mSv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$ 。

查宽束 γ 射线对混凝土的透射曲线图可知，所需的混凝土顶棚的厚度为 430mm，考虑 2 倍安全系数，加上一个半阶层厚度。查“宽束 γ 射线的平衡 $\Delta_{1/2}$ ”表可知道，所需混凝土的半阶层为 41mm。

因此，本项目探伤室须建造厚度不小于 471mm 的混凝土顶棚。

γ 射线探伤室屏蔽符合情况见表 8-2。

表 8-2 探伤室屏蔽符合情况一览表

序号	位置	屏蔽墙体厚度 X_e (mm)	距离 (m)	理论计算所需屏蔽墙厚度 (mm)	是否符合
1(G)	东墙外 30cm	1000 混凝土	3.13	721 混凝土	符合
2(H)	北墙外 30cm	1000 混凝土	2.63	746 混凝土	符合
3(I)	南墙外 30cm	1000 混凝土	3.13	721 混凝土	符合
4(J)	西墙外 30cm	1000 混凝土	2.63	746 混凝土	符合
5(K)	工件门	80 铅板	3.43	70 铅板	符合
6(L)	顶棚外 30cm	500 混凝土	4.5	471 混凝土	符合

c) 迷道入口处剂量率的计算：

$$H = \frac{D_o \cdot \alpha_1 A_1 \cdot (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 d_{r1} d_{r2} \dots d_{rj})^2}$$

按式 计算，相关参数如下：

α_1 ——入射到第一反射层材料的 X 射线反散射系数；由《辐射防护导论》P186 光子在普通混凝土上的反射（等角入射和反射， $\theta R=90^\circ$ ，光子能量为 0.468MeV）查得，取 2×10^{-2} 。

α_2 ——从随后屏蔽材料层反散射的取对应 0.21MeV X 射线的反散射

系数，取 3×10^{-2} 。

A1—X 射线入射到第一反射面上，撞击的面积，取 1.8m^2 。

A2—迷道的截面积，取 1.8m^2 。

di—X 射线源到第一反射层的距离。

dr1, dr2, dr3, …drj—沿着每一迷宫通道长度的中心线的距离，m。

j——第 j 次反射过程。

代入相关参数计算得：

迷道入口剂量率为 $0.29 \mu\text{Sv/h}$

迷道口防护门的铅厚度为 12mm，透射系数为 0.298，则迷道入口防护门外的剂量率为 $0.09 \mu\text{Sv/h}$ 。

天空反散射计算：

已知屏蔽体厚度，求因天空散射至关注点的剂量率计算按

$$H = \frac{2.5 \cdot 10^{-2} \cdot D_0 \cdot B \cdot \Omega^{1.3}}{(r_i \cdot r_s)^2} \quad \text{计算。相关参数如下：}$$

r_i ——靶至屋顶表面上方 2m 的距离，取值 6.7m。

r_s ——靶至关注点位置的距离，取值 20m（经验值）。

D_0 ——距靶 1m 处的剂量率， $481000 \mu\text{Sv/h}$ ；因本项目射线装置主射线方向不朝顶棚方向。

B——X 射线在混凝土中的屏蔽透射系数，由表 8-2 可知， $B=1.19 \times 10^{-6}$ 。

Ω ——靶与屋顶屏蔽层之间所长的立体角；按式 $\Omega = 4\arctan \frac{a \cdot b}{c \cdot d}$ 和式 $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$ 计算。

其中，a 为屋顶长度之半，本项目为 3.5m。

b 为屋顶宽度之半，本项目为 2.5m。

c 为辐射源到屋顶表面中心的距离，本项目取 4.7m。

d 为辐射源到屋顶边缘的距离,按式 $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$ 计算得 $d=6.4\text{m}$ 。

将上述参数代入式 $\Omega = 4\arctan \frac{a \cdot b}{c \cdot d}$, 得到 $\Omega = 0.78$, 再代入式 $H = \frac{2.5 \cdot 10^{-2} \cdot D_0 \cdot B \cdot \Omega^{1.3}}{(r_i \cdot r_s)^2}$, 得到天空散射至关注点的剂量率为 $7.1 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$, 因此对周边的影响较小。

(2) 年有效剂量估算

由《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)可知,有效剂量的计算公式如下:

$$H_{E,r} = D_r \times t \times 0.7 \times 10^{-6} (\text{mSv})$$

式中: $H_{E,r}$ —— γ 射线外照射人均年有效剂量当量, 0.25mSv;

D_r —— γ 射线空气吸收剂量率, nGy/h;

t —— γ 射线照射时间, 公司每年开机 500 小时;

0.7——剂量换算系数, Sv/Gy。

γ 射线探伤机每天曝光时间约为 2h/天, 年工作天数为 250 天, 则年曝光时间为 500h。工作人员剂量率为迷道防护门外 30cm 处的剂量率, 公众人员的剂量率以机房周边公众能达到的最大剂量率计算, 即工件防护门处, 居留因子取 1/4。

表 8-3 γ 探伤机房周围工作人员和公众最大年有效剂量估算表

位置	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	工作时间 (h)	居留因子	年有效剂量(mSv)
东墙外 30cm	1.92×10^{-3}	500	1/4	<0.01
北墙外 30cm	1.60×10^{-3}	500	1/4	<0.01
南墙外 30cm	1.60×10^{-3}	500	1/4	<0.01
西墙外 30cm	1.92×10^{-3}	500	1/4	<0.01
迷道防护门外 30cm (辐射工作人员)	0.09	500	1	0.05

由表 8-3 的预测结果可知, 公司 γ 探伤机房正常运行时对辐射工作人员年有效剂量约为 0.05mSv, 探伤操作人员同时操作 X 射线探伤机和

γ 射线探伤机。由上面 X 射线探伤的计算可得，该公司 X 射线探伤操作人员年受到辐射照射剂量不超过 0.25mSv/a，即探伤操作人员受到的最大的年有效剂量约为 0.30mSv，符合本次评价标准要求（职业剂量管理限值 5mSv）。

8.2.1.3 贮源坑

（1）贮源坑屏蔽能力分析

本报告也采用理论计算的方式，保守考虑在最大可能工况条件下，对贮源坑辐射屏蔽符合性进行分析。

根据《工业 γ 射线探伤放射防护标准》（GBZ132-2008）中关于照射容器周围空气比释动能率控制值的要求，在本项目以手提式探伤机源容器周围空气比释动能率控制值作为管理限值，保守假设，选取本项目源容器 5cm 处空气比释动能率为控制限值 KN 取 0.5mGy/h，Ir-192 的铅什值层厚度为 19mm，放射源距源坑表面 30cm 处的距离取 0.9m，铅板厚度 20mm，代入式 $H_M = \frac{D_0 \cdot B \cdot f}{1 \times 10^{-6} \cdot d^2}$ 得到源坑表面剂量率为 0.88 μ Gy/h，满足《工业 γ 射线探伤放射防护标准》（GBZ132-2008）中应能使设施外表面的空气比释动能率小于 2.5 μ Gy/h 的要求。

（2）放射源保管员年剂量估算

根据实际情况，假设：a、Ir-192 放射源每天存取各 2 次；b、每次搬运、贴片、安装输源管及输源机构的时间共 2 分钟（按源容器表面 1m 处空气比释动能率按 0.02mGy/h 计算）；c、一年工作 250 天；d、所有操作由 2 名辐射工作人员完成，按式 $H_{E,r} = D_r \times t \times 0.7 \times 10^{-6} (mSv)$ 预测得到辐射工作人员的年附加有效剂量为 0.46mSv。

放射源保管员也是探伤操作人员，同时操作 X 射线探伤机和 γ 射线探伤机。该公司 X 射线探伤操作人员年工作时间约为 50 周，根据理论计算结果，在满足辐射防护屏蔽要求的前提下，辐射工作人员受到辐射

照射剂量不超过 0.25mSv/a，根据表 8-3 的预测结果，考虑最不利情况，预测放射源保管员的年附加有效剂量为 $0.05+0.46+0.25=0.76\text{mSv}$ ，符合本次评价标准（职业剂量管理限值 5mSv）要求。

8.2.2 剂量分析

① 辐射工作人员

该公司辐射工作人员年工作时间约为 50 周，根据理论计算结果，在满足辐射防护屏蔽要求的前提下，辐射工作人员受到辐射照射剂量不超过 0.25mSv/a，根据表 8-3 的预测结果，考虑最不利情况辐射工作人员的年附加有效剂量为 $0.05+0.46+0.25=0.76\text{mSv}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量管理限值”的要求。

② 公众成员

X 射线探伤机或者 γ 探伤机开机工作时，将开启工作灯光警示装置，告诫车间其它工作人员不要在探伤室周围停留。公司已有严格的管理制度，公众成员一般不进入该公司区，车间其它工作人员和公众人员不会接受明显的额外的辐射照射，因此，公众成员所接受的剂量也能符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

8.2.4 探伤室屏蔽能力分析

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）《工业 γ 射线探伤卫生防护标准》（GBZ132-2008）的规定，结合该公司探伤室屏蔽防护相关数据及上述辐射环境影响预测分析结果，对该公司使用的探伤室的辐射屏蔽能力符合性进行如下分析：

（1）设计中，该探伤室的设置已充分考虑周围的放射安全，且探伤室与操作室分开；探伤室工件出入门防护性能（工件门有 80mm 厚的铅板）工作人员出入门防护性能（工作人员出入门有 12mm 厚的铅板）、

各侧墙的防护性能及顶棚的防护性能结合理论计算结果可知，其已能满足辐射防护。

（2）由辐射环境影响预测分析可知，辐射工作人员和公众成员所受辐射照射能符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量管理限值”的要求。

（3）该公司使用的探伤机开机产生的 X 射线使空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物，探伤室利用通风管机械排风，将臭氧和氮氧化物排出探伤室外，不会对工作人员和公众成员产生影响。

因此，该公司探伤室屏蔽能力能达到管电压不大于 250kV、管电流不大于 5mA 的 X 射线探伤机与 γ 射线探伤机（内含一枚 I-192 放射源）分别正常工作时的辐射防护要求。

8.3 事故影响分析

1、X 射线探伤机

该公司使用的射线装置属 II 类射线装置，可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

(1) X 射线探伤机在对工件进行照相的工况下，门-机联锁失效，至使铅防护门未完全关闭，X 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；或工作人员误入探伤室，使其受到额外的照射。

(2) 人为故意引起的辐射照射。

为了杜绝事故发生，该公司必须进行门机联锁装置的定期检查，严格按照操作规程进行作业，确保安全。

2、 γ 射线探伤机

(1)、探伤机在对工件进行照射的工况下，探伤室门机联锁失效，工作人员误入探伤室，或铅防护门未完全关闭，至使射线泄漏到探伤室外面，给工作人员及周围活动的人员造成不必要的照射。

(2) 放射源源闸开关出现故障不能收回或放射源安装不到位时，须由有经验和经过培训的技术人员进行处理，技术人员应做好个人的防护，并在整个过程中使用监测仪器进行场所监测。

(3) 检修机器时 γ 射线探伤机中的放射源从容器中掉出来。会对操作工人及可能到达的公众成员产生很强的辐射照射，检修应由有经验和经过培训的技术人员进行处理，技术人员应做好个人的防护，公司对周围工作人员作好疏散工作。

(4) γ 射线探伤机的放射源换源有专业的厂家进行，但在换源过程中出现故障（源不能及时安装到密封容器内）时，须由专业厂家有经验和经过培训的技术人员进行处理，技术人员应做好个人的防护，公司对周

围工作人员作好疏散工作。

(5) 管理人员疏忽或人为故意造成源丢失或偷盗事故, 将造成严重的安全隐患。

(6) 探伤机工作状态下, “卡源” 或 “源掉出” 事故发生, 回源装置失效, 工作人员手动回源。处理卡源事故的工作人员应按照厂家提供的操作规程进行, 且持证上岗。在处理完事故后, 尽快对处理卡源事故的工作人员个人剂量计进行监测一发现个人剂量超标现象, 及时采取相应的措施建设单位应定期检查, 维修设备, 杜绝此类事故发生。

(7) 人为故意引起的辐射照射。

发生辐射事故时, 现场操作人员或工作人员应当本单位的辐射事故应急预案, 采取必要的防范措施, 并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故, 应首先向当地生态环境主管部门报告, 造成或可能造成人员超剂量照射的, 还应同时向当地卫生行政部门报告。如发生射线装置、放射源被盗的事故, 则还须向公安部门报告。

表 9 从事辐射活动能力要求

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定，使用放射性同位素、射线装置的单位应具备相应的条件。对企业从事本项目内辐射活动能力的评价见表 9-1。

表 9-1 从事本项目辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
（一）使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少 1 名具有本科以上学历的计算人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	企业需成立辐射安全管理领导小组。
（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	该企业 2 名辐射工作人员已参加辐射安全和防护培训，并取得中级辐射安全培训合格证书；取得辐射安全培训合格证书后，应当每四年接受一次复训。新上岗辐射工作人员应参加辐射安全和防护培训，并取得中级辐射安全培训合格证书再进行探伤工作。
（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备	探伤室地面配备源库（含保险箱）
（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施。	根据设计资料，本项目平面合理，防护门、墙、顶棚均具有相应的屏蔽能力。企业须制定相应的操作规程，并须张贴电离辐射警示标志，安装工作状态指示灯，门外一米处须划有黄色警戒线。
（五）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，包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应有表面污染仪。	本项目须配备个人剂量计，剂量报警装置，便携式 γ 剂量率仪一台。
（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	须完善
（七）有完善的辐射事故应急措施	须完善

由表 9-1 可知，企业须尽快按规定要求落实各项能力要求，在满足规定要求的前提下，方能具备从事辐射活动的技术能力。

表 10 辐射安全管理

10.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

该公司 γ 射线机、X 射线机室内探伤项目正处于环评阶段，尚未制定系统的辐射环境管理规章制度。按照《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》及生态环境主管部门的要求，该公司必须成立辐射防护管理机构，制订辐射环境管理规章制度，并在取得相应的《辐射安全许可证》后射线装置方可正式使用。具体如下：

该公司必须制定《放射防护安全管理机构及职责》。内容包括：

①该公司应确定本单位辐射工作安全责任人，设置以行政主管领导为组长的辐射防护领导机构，并指定专人负责射线装置运行时的安全和防护工作。

②辐射防护领导机构应规定各成员的职责，做到分工明确、职责分明。

③辐射防护领导机构应加强监督管理，切实保证各项规章制度的实施。

10.2 安全管理规章制度

(1) 该公司必须制定《安全防护管理工作制度》。内容应包括：

a. 该公司须按法律法规要求，尽快向环保部门申请办理《辐射安全许可证》，领取许可证且办理登记手续后方可从事许可范围内的放射工作，需改变许可登记内容或终止放射工作时，必须按规范向审批部门办理变更或注销手续。

b. 该公司在从事辐射操作前，须制订《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》、《辐射工作安全责任书》等规章制度；同时该公司须组织辐射工作人员进行上岗培训和辐射安全防护知识的培训，并进行个人剂量检测和职业

健康检查。

(2) 该公司必须制定《操作规程》。

a. 凡涉及对射线装置及放射源进行的操作，都有应有明确的操作规程（包括开机检查、门机连锁检查等一系列工作），操作人员必须按操作规程进行操作。

b. 操作人员必须熟悉探伤机的性能和使用方法，并做好相应的个人防护，操作规程应张贴在操作人员可看到的显眼位置，防止误操作。

(3) 该公司必须制定《岗位职责》。

该公司必须制定评片人员职责、拍片操作人员职责和暗室处理人员职责。

(4) 该公司必须制定《辐射防护和安全保卫制度》。

a. 射线装置的使用场所，应有门—机联锁安全装置、开机工作警示灯，电离辐射警示标志及中文警示说明等防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。

b. 建立射线装置及放射源的档案和台帐，贮存、使用射线装置及放射源时及时进行登记、检查，做到帐物相符。

(5) 该公司必须制定《设备检修维护制度》

对可能引起操作失灵的关键零配件及时进行更换。设备检修时禁止开启探伤机，待检修完毕，开启探伤机试探伤，确认检修完成。

(6) 该公司须制定《自行检查和年度评估制度》

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

(一) 辐射安全和防护设施的运行与维护情况；

(二) 辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；

(三) 辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训

（以下简称“辐射安全培训”）情况；

（四）场所辐射环境检测和个人剂量检测情况及检测资料；

（五）辐射事故及应急回应情况；

（六）核技术利用项目新建、改建、新建情况；

（七）存在的安全隐患及其整改情况；

（八）其它有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

a. 定期对探伤室的安全装置和防护措施、设施的安全防护效果进行检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患，必须立即进行整改，避免事故的发生。

如每天进行门-机联锁安全装置、工作指示灯和电离辐射标志检查，每月核实规章制度执行情况，每季度进行个人剂量档案归档及检查，每年进行身体健康档案归档及检查等。

b. 该公司应当编写 X 射线探伤机及 γ 探伤机使用的安全和防护状况年度评估报告，其中年度评估报告需包括每年的常规检测报告，于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告，接受行政机关的监督检查。

10.3 辐射监测

(1) 环境监测

该公司须定期（每年一次）请有资质的单位对探伤室周围环境进行辐射环境监测，建立监测技术档案。监测资料每年年底向当地环保局上报备案。

① 监测频度：每年常规检测一次。

② 监测范围：探伤室屏蔽墙外、防护门及缝隙处、工作人员操作室、储源坑以及周围评价范围内等。

③ 监测项目：X- γ 辐射剂量率。

④ 监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

(2) 个人剂量监测

所有辐射工作人员均须配备个人剂量计，个人剂量计每 3 个月到有资质的单位检测一次，并建立个人剂量，加强档案管理：个人剂量档案应终身保存。

10.4 辐射事故应急

为有效预防和及时控制突发放射性事故，规范放射工作防护管理和突发放射性事故的应急处置工作，提高应对辐射事故的能力，切实保障工作人员及公众的生命安全，根据《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》（国务院第 449 号令）、其它有关法律、法规的规定和职能管理部门要求，企业必须结合自身实际，建立《辐射事故应急预案》。

对突发放射性事故，企业应坚持以预防为主、防治结合、严格管理、安全第一的方针，建立和加强相应的监测、应急制度，做到及时发现、及时报告、快速反应、及时控制。同时要不断完善应急反应机制，增强应急处理能力，实现应急工作的科学化、规范化。

（一）组织机构及职责

①由辐射防护领导机构全面负责辐射事故的应急处理，保障事故处理的有效性、快捷性。

②由总经理或行政主管领导担任总指挥。其职责：听取事故情况汇报，并组织放射防护安全管理领导小组会议，制定处理方案，并及时向环保部门、卫生部门和公安部门报告。

③辐射防护领导机构其它成员在总指挥的统一领导下，开展事故现场救援、调查处理和善后处理工作。

（二）应急处置程序

①发生放射性事故时，现场工作人员应立即采取切断射线装置电源、并报告公司领导。

②公司领导接到报告必须立即赶往现场，并采取封闭现场等有效措施，防止事故的进一步扩大和蔓延，2 小时内填写辐射事故初始报告表，明确事故类型（丢失、被盗、误照射等），并根据事故类型及时（两小时内）向当地环保、卫生、公安等职能部门报告。

③环保部门接到事故报告后立即赶赴现场，进行处理，企业应积极配合，做好相关工作。

④事故发生后，企业应认真配合环保部门进行调查。

（三）还需包括辐射事故调查、报告和处理程序及人员和联系方式。

（四）该公司应每年至少组织一次事故应急演练，演习报告存盘。

10.5 安全培训及健康管理

（1）该公司从事辐射操作的工作人员 2 名已参加有资质单位的辐

射安全和防护知识培训，经考核合格并取得了中级辐射安全培训合格证书。取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每四年接受一次复训。新上岗辐射工作人员应参加辐射安全和防护培训，并取得中级辐射安全培训合格证书再进行探伤工作。辐射安全复训包括新颁布的相关法律、法规和辐射安全与防护专业标准、技术规范，以及辐射事故案例分析与经验回馈等内容。不参加再培训的人员或者复训考核不合格的人员，其辐射安全培训合格证书自动失效。

（2）所有辐射工作人员均须配备个人剂量计，个人剂量计每 3 个月到有资质的单位监测一次，并建立个人剂量档案，加强档案管理：个人剂量档案应终身保存。

（3）该公司须组织辐射工作人员到有资质的医院进行上岗前体检，并至少每两年进行身体健康检查，建立个人健康档案。在本公司从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也要进行放射性职业健康体检。

表 11 结论

11.1 实践的正当性

维都利阀门有限公司新建 Ir-192 源及 X 射线机室内探伤项目，配备两台 X 射线探伤机、两台 γ 探伤机(内含一枚活度为 3.7×10^{12} Bq 的 Ir-192 放射源，一备一用。)的目的在于实现对工件的无损检测，提高产品的质量与生产安全，其探伤机运行所致辐射工作人员和周围公众成员的剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量管理限值”的要求。因而，只要按规范操作，该公司使用探伤机是符合辐射防护“正当实践”原则的。因此，该项目使用探伤机的目的是正当可行的。

11.2 选址合理性

维都利阀门有限公司位于浙江省温州市龙湾区永兴街道空港新区兴宇路 20 号。公司南侧、北侧为工业用地，东侧为精工阀门公司，西侧为纬一支路。拟建探伤室位于厂区东南角，拟建探伤室北侧、西侧、西南侧为厂区空地，东南侧及东北侧为工业用地。本项目 50m 范围内无民房住宅等环境敏感目标。本项目 50m 范围内无民房住宅等环境敏感目标。因此，本项目的选址合理可行。

11.3 辐射防护屏蔽能力分析

探伤室工件门有 80mm 铅板做防护，工作人员出入门有 12mm 铅板做防护，防护墙四侧有 1000mm 混凝土墙做防护，顶棚有 500mm 混凝土做防护。屏蔽能力均能符合《工业 X 射线探伤放射防护要求》GBZ117-2015 及《工业 γ 射线探伤放射防护标准的要求》GBZ132-2008。

11.4 主要污染因子和辐射环境影响评价

本项目的污染因子为 X 射线及 γ 射线,另外探伤过程中产生一定量的臭氧和氮氧化物,洗片过程中产生一定量的废显(定)影液及胶片。

该公司通过四侧墙体、顶棚及防护门来屏蔽 X 射线。根据理论计算结果,探伤室屏蔽设计符合《工业 X 射线探伤放射防护要求》GBZ117-2015 及《工业 γ 射线探伤卫生防护标准》(GBZ132-2008)的相关要求,该公司从事辐射操作的工作人员、公司其他工作的非辐射工作人员和公众成员所受到的辐射照射,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量管理限值”的要求。

产生的废显(定)影液及胶片要求集中存放在有锁的存储室内,废显影液、定影液暂存应对贮存容器双重保护,防止泄露,并由专人保管,并与有资质的单位签订废液回收协议,定期送交有资质的单位处理,建立台帐。

11.5 污染防治措施

(1) 探伤室防护门与两边墙体有搭接,搭接的长度大于 10 倍的间隙,防止射线外泄。

(2) 对探伤工作场所实行分区管理。一般将探伤室和铅房墙壁围成的内部区域划为控制区,与墙壁外部相邻区域划为监督区,见图 7-1。

(3) 探伤室须安装门-机联锁安全装置和灯光警示装置,只有在门关闭后 X 射线装置才能进行透照检查。探伤室内应安装固定式辐射检测系统,剂量率水平应显示在控制机房(即操作机房)内,并与门-机联锁相联系。

(4) 探伤室周围均须设置电离辐射警告标志,并用中文注明“当心电离辐射”,探伤室门外 1m 处划黄色警戒线,告诫无关人员不得

靠近。各项相关辐射环境管理规章制度应张贴于工作现场处。

(5) 探伤室内 X 射线机操作电缆设计为 U 型电缆孔, γ 探伤的操作孔为 U 型孔。

(6) 探伤室内应设置紧急停机按钮, 并明显标志。

(7) 公司须制定制度, 禁止将探伤机移出探伤室外作业。

(8) 检测室人员入口应设置迷道, 有用线束朝向应尽量避免工件出入口、控制室和迷道。

(9) 检测室迷道防护门内侧应安设标识明显的紧急开门开关, 确保异常情况时人员能从检测室内迅速开门离开。

(10) 检测室应设置通风装置, 每小时有效通风次数应不小 3 次, 每次通风量不低于降低室内臭氧和氮氧化物的浓度。

(11) 辐射工作人员操作及进出探伤室时时需配戴个人剂量计、个人剂量报警仪和便携式剂量测量仪, 个人剂量报警仪应与防护门钥匙、探伤装置的安全锁钥匙串结一起。

(12) 须建立探伤机与放射源的档案和台帐, 贮存、使用探伤机时及时进行登记、检查, 做到帐物相符, 并要求有专人负责保管。

(13) 放射源换源工作必须由放射源生产单位进行, 换源时穿上专门的辐射防护服, 并佩带个人剂量计和个人剂量报警仪。

(14) γ 射线探伤机使用过程中会产生废弃的放射源, 废弃放射源应交由有回收资质的单位回收, 公司不得随意处置。储源坑在探伤室地面。因此探伤室应加设防盗报警装置与当地公安“110”联网, 认真做好防火、防盗、防泄漏的“三防”工作; 探伤室须设置红外监控录像设备, 且录像保存时间在 30 天以上。

(15) 废显影液、定影液及胶片要求集中存放在有锁的危废暂存室内, 危废暂存间地面及四周 1m 高的墙裙必须做防渗处理, 暂存间

外明显处设置危险废物警示标识；暂存桶加盖，桶外贴附标签；桶四周设置 0.2m 高围堰（砖混结构，外表面贴瓷砖），废显影液、定影液暂存应对贮存容器双重保护，防止泄露，并由专人保管，并与有资质的单位签订废液回收协议，定期送交有资质的单位处理，建立台帐。

11.6 辐射环境管理制度

该公司在从事辐射操作前，必须制订《放射防护安全管理机构及职责》、《安全防护管理工作制度》、《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》、《辐射事故应急预案》等规章制度。

11.7 安全培训及健康管理

辐射工作人员须经过辐射安全培训考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗，并须佩带个人剂量计，每 3 个月检测一次，建立个人剂量档案。辐射工作人员上岗前须进行体检，并至少每两年进行身体健康检查，建立个人健康档案。在本公司从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也要进行放射性职业健康体检。

11.8 结论

维都利阀门有限公司新建 1 间探伤室（配备 1 台 XXH-2505 型 X 射线探伤机，一台 XXQ-2505 型 X 射线探伤机，2 台 γ 射线探伤机）项目，在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施和辐射环境管理计划后，该公司将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其 X 射线探伤机及 γ 探伤机在探伤室内运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该公司 2 台 X 射线探伤机（XXH-2505 与 XXQ-2505 最大管电压 250kV，最大管电流 5mA），2 台 γ 射线探伤机（内含一枚活度为 3.7×10^{12} Bq 的 Ir-192 放射源，探伤机一备一用，不同时使用。）在其探伤室内的

运行是可行的。

下一级环保部门预审意见:

经办人

公章

年 月 日

审批意见:

经办人

公章

年 月 日