

	曝光室内探伤机的工作情况,并能看到迷道门和工件大门处的情况,保证曝光室内各个地方都能拍摄到,不留死角;视频监控屏幕位置位于操作室操作台上,工作人员能在操作室内实时监控探伤过程,如果出现异常能迅速启动紧急停机装置。工件进出门处安装视频监控,防止人员误入。	
钥匙控制	每个探伤机的电源启动钥匙与人员通道门的钥匙以及控制台上的钥匙应牢固连接。该串钥匙应与便携式辐射剂量仪连在一起,随操作员进出探伤室。储源坑应配置双锁。	设计中具备
警告标志	曝光室工作人员入口门外和探伤工件出入大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,应有声光警示,控制区边界应设置明显可见的警告标志。	设计中具备
通风系统	根据曝光室空间大小、放射源活度以及探伤作业时间,曝光室内应设置相应排风量的通风系统,使臭氧浓度低于国家标准要求。	设计中具备
入口处工作状态显示	灯箱应醒目显示“预备”、“照射”。	设计中具备
个人防护用品	铅背心、铅手套、铅眼镜	设计中具备

监测设备应配备便携式辐射监测仪、个人剂量计、个人剂量报警仪;应急物质应配备灭火器材。

每次工作前探伤作业人员对应每台探伤机,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。3间探伤室内部及周围不能放置易燃易爆等危险品。

建设单位按照表 10-3、10-4 中提出的要求落实,本项目辐射防护措施合理可行。

五、环保投资

为了保证本项目安全持续开展,根据相关要求,公司需要投入一定的资金来建设必要的环保设施,配备相应的监测仪器和防护用品,本项目环保投资估算见表 10-4。

表 10-4 环保设施及投资估算一览表

类别		环保设施	投资金额 (万元)	备注
X 射	屏蔽措施	屏蔽墙体	220	新增
		工件门 1 扇、迷道门 1 扇		

线 探 伤 室	安全装置	门机联锁装置 1 套		
		门灯联锁装置 1 套		
		固定式剂量报警仪 1 套		
		声光报警仪 1 套		
		视频监控 3 套		
		进排风孔 2 个		
		紧急止动装置 5 个、紧急开门按钮 2 个		
		电离辐射警告标志若干		
¹⁹² Ir 探 伤 室	屏蔽措施	屏蔽墙体	260	新增
		工件门 1 扇、迷道门 1 扇		
		储源坑 1 个		
	安全装置	门机联锁装置 1 套		
		门灯联锁装置 1 套		
		门源联锁装置 1 套		
		门剂联锁装置 1 套		
		声光报警装置 1 套		
		自动回源装置 1 套		
		储源坑防盗锁 2 套		
		视频监控 3 套		
		进排风孔 2 个		
		紧急止动装置 5 个、紧急开门按钮 2 个		
		铅背心 1 件、铅手套 1 副、铅眼镜 1 个		
电离辐射警告标志若干				
⁶⁰ Co 探 伤 室	屏蔽措施	屏蔽墙体	292	新增
		工件门 1 扇、迷道门 1 扇		
		储源坑 1 个		
	安全装置	门机联锁装置 1 套		
		门灯联锁装置 1 套		
		门源联锁装置 1 套		
		固定式剂量监测系统 1 套		
		门剂联锁装置 1 套		
		声光报警装置 1 套		
		自动回源装置 1 套		
		储源坑防盗锁 2 套		

	视频监控 3 套		
	进排风孔 2 个		
	紧急止动装置 5 个、紧急开门按钮 2 个		
	铅背心 1 件、铅手套 1 副、铅眼镜 1 个		
	电离辐射警告标志若干		
监测设备	便携式辐射监测仪 1 台	0.6	新增
	个人剂量计 6 套	0.4	新增
	个人剂量报警仪 6 台	0.5	新增
设备维护	每个月对探伤装置的配件、机电设备进行检查、维护、及时更换部件。	0.5	新增
人员培训	辐射工作人员及应急人员的组织培训	1.0	新增
应急设施	应急和救助的资金、物资准备、应急演练	1.0	新增
危废处置	危废暂存容器及委托外单位处置危险废物费用	2.0	新增
废旧换源转运	委托外单位运输转运	2.0	新增
合计		780	/

本项目总投资 900 万元，环保投资 780 万元，占总投资的 86.67%。今后公司在项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合公司实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要。公司应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

三废的治理

一、废气

本项目 X 射线、 γ 射线探伤机运行时产生的臭氧量很少，在正常情况下，本项目工作人员不会进入曝光室内。项目运行时曝光室产生的少量臭氧通过排风系统引至厂区屋顶排放。厂区外，空间宽敞、通风条件较好，产生的臭氧经自然分解和稀释，不会对周围大气环境造成影响。

二、废水

产生的废水包括洗片废水和生活污水。清洗胶片时产生洗片废水约 3000kg/a，工作人员生活污水产生量约 0.6m³/d；本项目废水经厂区预处理池处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入市政污水管网再进

入青白江区污水处理厂处理。

三、噪声

本项目产生的噪声主要来自 X 射线探伤机和通风设备，建设单位拟采用低噪声设备（噪声源强低于 65dB（A）），对厂界噪声的贡献较小，对项目所在区域声环境影响较小。

四、固体废物

工作人员产生的生活垃圾约 3.0kg/d，依托厂区垃圾桶统一收集后由环卫部门统一清运。

五、危险废物

本项目产生的废显影液、废定影液及废胶片委托有危废资质的单位回收处理。

六、射线装置报废处理

按照国务院 449 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第 33 条要求“报废的射线装置应去功能化处理”和《四川省辐射污染防治条例》要求“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。

本项目使用的 X 射线探伤机在进行报废处理时，应将 X 射线探伤机中的 X 射线管进行拆解并破碎处理，同时将 X 射线探伤机的电源线绞断，使 X 射线探伤机不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。使用放射源的单位应当按照废旧放射源返回协议规定将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。确实无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。使用 II 类、III 类放射源的场所和生产放射性同位素的场所，以及终结运行后产生放射性污染的射线装置，应当依法实施退役。在射线装置、放射源退役后应及时在全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>）上对信息进行更新，并到发证机关更换辐射安全许可证。

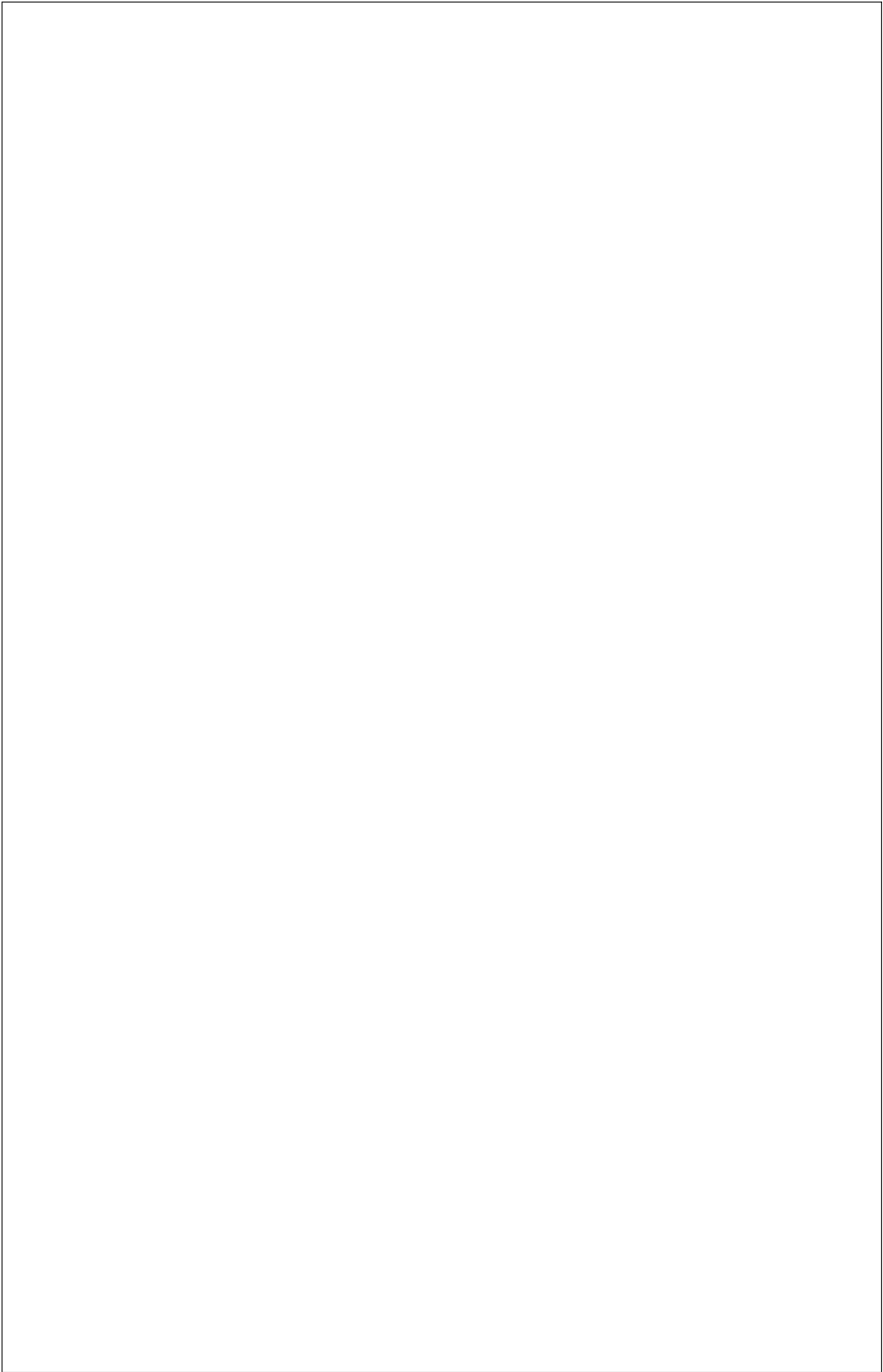


表 11 环境影响分析

施工期环境影响分析

一、施工阶段

本项目在施工活动中，会产生施工噪声、建筑垃圾、施工扬尘和污水，对环境存在一定影响。为此，评价特作如下建议：

(1) 对施工时间、时段、施工进度，施工原材料购进时间作精心安排、系统规划；对可能受影响和破坏的对象加以保护；

(2) 施工中应防止机械噪声的超标，特别是应避免机械噪声夜间作业；应使用商品混凝土，不得使用混凝土搅拌机现场作业；

(3) 施工中产生的废弃物（如废材料、废纸张、废包装材料、废塑料薄膜等）应妥善保管、及时处理；

(4) 施工中产生的弃土应及时回填和清运；

(5) 长期干燥无雨天气应定期洒水，防止弃土扬尘；

(6) 保持施工场地清洁卫生。

由此，只要工程施工期严格做到以上基本要求，就可以使其对环境的影响降至最小程度。施工结束后，项目施工期环境影响即可消除。

二、设备安装和调试阶段

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。在 X 射线探伤机建设过程中，机器未通电运行，故不会对周围环境造成点电离辐射影响，也无放射性废气、废水及固体废物产生。

γ 射线探伤机只有在项目建成后，经生态环境部门批准方可购置放射源。因此，在建设过程中对周围环境无辐射影响。

根据环发〔2007〕8号精神：“探伤装置装源（包括更换放射源）应由放射源生产单位进行操作，并承担安全责任。生产、销售、使用探伤装置单位不得自行进行装源操作”，公司所用的 γ 射线探伤机内置放射源将由放射源专业单位定期更换。因此，换装放射源具体实施过程不会对公司辐射工作人员产生辐射影响。

运行期环境影响分析

本项目通过理论计算的评价方法来预测运行期间 X 射线探伤机投入使用后的辐射环境影响。

一、X 射线环境影响分析

1、X 射线曝光室内使用 X 射线探伤机辐射影响分析

表 11-1 本项目使用 X 射线探伤机相关参数

序号	射线装置名称	使用场所	型号	主要参数	投射方向	辐射角度	穿透厚度	曝光时间	年曝光时间
1	X 射线探伤机	X 射线探伤室	RX2505D	250kV/5mA	定向	45°	30mm	3min/次	500h
2	X 射线探伤机	X 射线探伤室	RX3005D	300kV/5mA	定向	45°	40mm	4min/次	
3	X 射线探伤机	X 射线探伤室	RX3505D	350kV/5mA	定向	45°	50mm	5min/次	
4	X 射线探伤机	X 射线探伤室	RX2505P	250kV/5mA	周向	360°*25°	30mm	3min/次	
5	X 射线探伤机	X 射线探伤室	RX3005P	300kV/5mA	周向	360°*25°	40mm	4min/次	
6	X 射线探伤机	X 射线探伤室	RX3505P	350kV/5mA	周向	360°*25°	50mm	5min/次	

综合考虑本项目确定的年剂量约束值和《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）（距探伤室屏蔽体外表面 30cm 外控制目标处剂量值不大于 2.5 μ Sv/h），本次评价以两者中相对更严格的剂量水平进行墙体校核；对于人不可到达的屋顶，取 10 μ Sv/h 控制限值。

1.1、X 射线曝光室屏蔽厚度合理性分析

以下分析中保守选取 X 射线周向探伤机最大电压参数 350kV，电流参数 5mA，出束时间为 500 小时/年；X 射线周向探伤机有用线束照射方向按实际情况朝曝光室 5 面墙体照射，有用线束不朝工件门照射；X 射线曝光室内不涉及 2 台或多台探伤机同时出束的情况。探伤室下方为地基，人员不可达，地面防护不予考虑。

1.1、关注点剂量率参考控制水平

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014），关注点剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 为关注点最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ 和导出剂量率

参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 中的较小值。

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

(2) 导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 按下式计算:

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots \text{(式11-1)}$$

式中: $\dot{H}_{c,d}$ —导出剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

H_c —年剂量参考控制水平, 职业人员取 5mSv/a , 公众取 0.1mSv/a ;

U —— 探伤装置向关注点照射的使用因子, 此处取 1;

T —— 人员在相应关注点驻留的居留因子;

t —— 探伤装置年工作时间, 500h。

X 射线探伤室关注点示意图如图 11-1, 11-2 图; 剂量率参考控制水平参数

\dot{H}_c 选取计算结果见表 11-2。

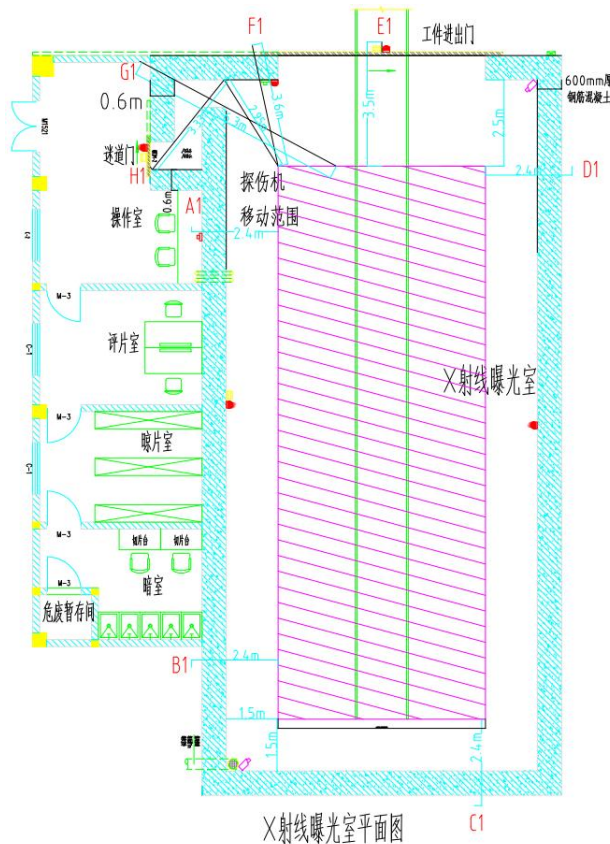


图 11-1 X射线探伤室关注点示意图 (一)

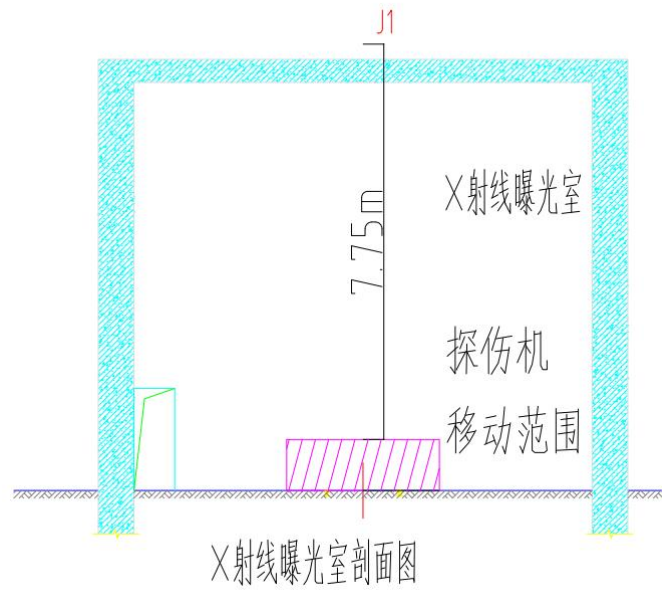


图 11-2 X射线探伤室关注点示意图（二）

以下分析中保守选取3505型X射线探伤机最大容量，350kV、5mA，出束时间为500小时/年开展理论计算。

表11-2 关注点控制剂量水平参数选取及计算结果表

关注点	使用因子	居留因子	受照类型	导出剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点最高剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
曝光室东北侧操作室墙外30cmA1	1/4	1	职业	40	2.5	2.5
曝光室东北侧墙体外30cmB1	1/4	1/4	公众	3.2	2.5	2.5
曝光室西北侧墙外30cmC1	1/4	1/4	公众	3.2	2.5	2.5
曝光室西南侧墙外30cmD1	1/4	1/4	公众	3.2	2.5	2.5
曝光室东南侧墙外30cmF1	1/4	1/4	公众	3.2	2.5	2.5
迷道外墙30cmG1	1/4	1	职业	40	2.5	2.5
迷道门外30cmH1	1/4	1	职业	40	2.5	2.5
曝光室屋顶上方30cmJ1	1/4	/	公众	10	10	10
工件门外30cmE1	1/4	1/4	公众	3.2	2.5	2.5

注：根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）①关注点的最高剂量率参考控制水平（ $H_{e,max}$ ）为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，本次评价参考较小水平进行评价；屋顶保守取值为 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

1.2、X 射线曝光室墙体、工件门、迷道门屏蔽厚度核算

有用线束屏蔽因子由式 11-2、11-3 计算。

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

$$X = -TVL \cdot \lg B \dots\dots\dots(\text{式 11-3})$$

式中： \dot{H} —— 剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R —— 辐射源至关注点的距离，取 m；

I —— 最大管电流，取 5mA；

H_0 —— 距辐射源点（靶点）1m 处输出量，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.1，本项目保守估算采用管电压为 350kV 的探伤机计算。参照 400kV 探伤机靶过滤参数为 3mm 铜， H_0 保守取值 $23.5\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ ，即 $1.41 \times 10^6 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

TVL——什值层厚度，管电压 350kV 的探伤机 X 射线束在混凝土的什值层取值 100mm，铅中保守取值 6.95mm；可在《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.2 中查得；

B —— 屏蔽透射因子公式见（式 11-2）；

工件门考虑漏射和散射辐射影响，漏射屏蔽透射因子用 11-4 计算

$$B_{\text{工件进出门}} = \frac{\dot{H} \cdot R^2}{H_L} \dots\dots\dots(\text{式 11-4})$$

H_L —— 距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为微希伏每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ），当管电压 $\geq 200\text{kV}$ 时距靶点 1m 处 X 射线管组装体的漏射辐射剂量率取值为 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ ；查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 1 中可得；

X 射线探伤机排放范围位置如图 11-1，辐射源漏射距离工件门外表面 30cm

处距离为 3.5m；辐射源散射距离迷道门的散射路径距离为 3.5m。

迷道门的辐射剂量率考虑散射辐射的影响，由式11-5核算。屏蔽物质厚度由式11-6计算。

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot a}{R_0^2} \dots\dots\dots(\text{式11-5})$$

$$B = 10^{-X/TVL} \dots\dots\dots(\text{式11-6})$$

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{I \cdot H_0} \cdot \frac{R_0^2}{F \cdot a} \dots\dots\dots(\text{式11-7})$$

\dot{H}_c —表11-1中确定的剂量率参考水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H} —关注点散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R_s —散射体至关注点的距离，m；

R_0 —靶点至探伤工件的距离，取 0.5m；

I —最大管电流，取 5mA；

X —屏蔽体厚度，mm；

B —屏蔽透射因子。由GBZ/T250-2014中的要求，在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B ，按表2查出原始X射线电压值介于300kV与400kV之间，X射线90°散射辐射电压取值为250kV；

TVL—查附录表B.2查出，探伤机散射辐射管电压取250kV，铅值层厚度2.9mm；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m处输出量；

F — R_0 处的辐射野面积；

α —散射因子可保守取值为 $\alpha_w \cdot 10000/400$ ， α_w 保守取 1.9×10^{-3} ，则 α 取值0.0475，见GBZ/T250-2014附录B中表B.3。

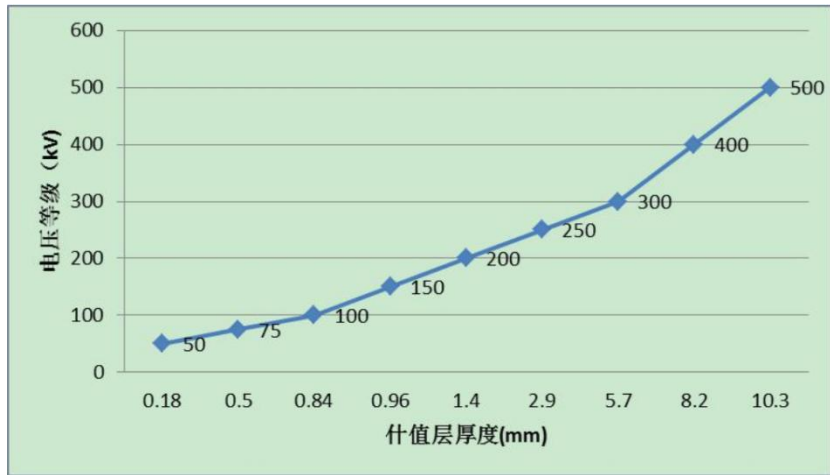


图11-3 不同电压X射线在铅中的半值层厚度相对关系

通过图11-3可知，3505型X射线探伤机在电压介于300kV~400kV之间，其对应的X射线在铅中的半值层厚度大致呈线性关系，因此使用内插法计算出电压为350kV的X射线在铅中的半值层TVL厚度约为6.95mm。

本次评价中，保守选取 X 射线周向探伤机最大电压参数 350kV，电流参数 5mA 计算，探伤室四周墙面屏蔽参数选取及计算结果见表 11-3。

表 11-3 X 射线探伤室屏蔽体屏蔽理论厚度计算表

墙体	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点至辐射源的距离 R(m)	透射因子 B	理论计算屏蔽厚度 (mm)
曝光室东北墙	2.5	2.4	2.04×10^{-6}	569mm 厚 钢筋混凝土
曝光室西北墙	2.5	2.4	2.04×10^{-6}	569mm 厚 钢筋混凝土
曝光室西南墙	2.5	2.4	2.04×10^{-6}	569mm 厚 钢筋混凝土
曝光室东南墙	2.5	3.6	4.60×10^{-6}	534mm 厚 钢筋混凝土
曝光室顶棚	10	7.75	8.50×10^{-5}	407mm 厚 钢筋混凝土
迷道外墙	2.5	6.3	1.41×10^{-5}	485mm 厚 钢筋混凝土
工件门	2.5 (漏射)	3.5	6.13×10^{-3}	15.4mmPb 铅门
	2.5 (散射)	3.5	2.17×10^{-5}	13.5mmPb 铅门
迷道门	2.5	6.28	6.99×10^{-4}	9.2mmPb 铅门

1.3、X射线探伤室屏蔽复合分析

根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014），漏射辐射的屏蔽厚度与散射辐射的屏蔽厚度相差一个什值层（TVL）厚度或更大时，采用其中较厚的屏蔽；相差不足一个什值层（TVL）厚度时，在较厚的屏蔽上增加一个半值层（HVL）厚度。本项目在铅中取TVL=6.95mm、HVL=2.1mm。考虑漏射和散射计算结果，该工件门屏蔽厚度为17.5mmPb。综上，X射线探伤室屏蔽体厚度汇总下表11-4。

表11-4 X射线探伤室屏蔽厚度计算与实际设计厚度汇总表

关注点	有用线束辐射屏蔽厚度 (mm)	漏射辐射屏蔽厚度 (mm)	散射辐射屏蔽厚度 (mm)	理论计算屏蔽厚度 (mm)	屏蔽厚度设计值
曝光室东北墙	569mm 厚钢筋混凝土	/	/	569mm 厚钢筋混凝土	600mm 厚钢筋混凝土
曝光室西北墙	569mm 厚钢筋混凝土	/	/	569mm 厚钢筋混凝土	600mm 厚钢筋混凝土
曝光室西南墙	569mm 厚钢筋混凝土	/	/	569mm 厚钢筋混凝土	600mm 厚钢筋混凝土
曝光室东南墙	534mm 厚钢筋混凝土	/	/	534mm 厚钢筋混凝土	600mm 厚钢筋混凝土
曝光室顶棚	407mm 厚钢筋混凝土	/	/	407mm 厚钢筋混凝土	450mm 厚钢筋混凝土
迷道外墙	485mm 厚钢筋混凝土	/	/	485mm 厚钢筋混凝土	600mm 厚钢筋混凝土
工件门	/	15.4mmPb 铅门	/	17.5mmPb 铅门	32mmPb 铅门
	/	/	13.5mmPb 铅门		
迷道门	/	/	9.2mmPb 铅门	9.2mmPb 铅门	15mmPb 铅门

根据表11-4，X射线探伤室屏蔽墙体、工件门、迷道门设计屏蔽厚度均能满足屏蔽要求。

二、 γ 射线环境影响分析

在 ^{60}Co - γ 、 ^{192}Ir - γ 射线探伤室内各配置1台3505型X射线定向探伤机、1台3505型X射线周向探伤机， ^{60}Co - γ 、 ^{192}Ir - γ 射线年曝光时间分别最大时间为

100h。

1、 γ 射线探伤室屏蔽厚度合理性分析

γ 射线辐射影响预测采用《辐射防护导论》（方杰主编，P76）中 γ 点源空气比释动能率计算公式，无屏蔽体情况下参考点的空气比释动能率 \dot{K} ：

$$\dot{K} = \frac{A \cdot \Gamma_K}{r^2} \dots\dots\dots (11-8)$$

式中： \dot{K} ——无屏蔽防护时，参考点的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

A ——放射性活度， Bq ；

Γ_K ——空气比释动能率常数，对于 ^{192}Ir ， $\Gamma_K = 1.13 \times 10^{-7} \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；对于 ^{60}Co ， $\Gamma_K = 3.12 \times 10^{-7} \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；（该数值取自《辐射防护导论》（方杰主编，P75）中表 3.2）；

r ——参考点距离放射源的距离， m 。

探伤作业时，有屏蔽体情况下参考点的空气比释动能率 K ：

$$K = \frac{\dot{K}}{N} \dots\dots\dots (11-9)$$

式中： K ——有屏蔽体情况下参考点的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

^{192}Ir 源、 ^{60}Co 源 γ 射线屏蔽室四周墙体 30cm 处的 K 取 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ ，无人到达的屏蔽室屋顶墙体通常取 $100 \mu\text{Gy/h}$ ，本项目取 $10 \mu\text{Gy/h}$ 。

N ——减弱倍数；

$$N = 2^{(d/HVL)} \dots\dots\dots (11-10)$$

式中 d ：屏蔽层厚度， mm ；

HVL ：不同材料的半值层厚度， mm 。根据《工业探伤放射防护标准》GBZ 117-2021 附录 A 表 A.2 不同材料在不同放射源能量下半值层厚度的近似值， ^{192}Ir 放射源在混凝土中半值层厚度为 50mm，在铅中的半值层厚度为 3mm； ^{60}Co 放射源在混凝土中半值层厚度为 70mm，在铅中的半值层厚度为 13mm。

表 11-5 本项目 ^{192}Ir 、 ^{60}Co 探伤机辐射影响对比

探伤机型号	活度	最大射线能量	在混凝土中的半值层厚度
^{192}Ir - γ 射线探伤机	100Ci	0.672MeV	50mm