

$^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线探伤机	100Ci	1.332MeV	70mm
-------------------------------	-------	----------	------

本项目探伤室拟使用 γ 射线探伤机（最大装源活度为 $3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，即 100Ci）进行探伤，且所有探伤机在探伤室内使用范围相同。本项目探伤室内使用的探伤机的辐射影响进行对比，见表 11-5。

本项目探伤室内每次仅开启一台探伤机进行探伤，不允许开启多台探伤机同时探伤。屏蔽厚度理论计算选取 1 台 $^{192}\text{Ir}-\gamma$ 射线探伤机、1 台 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线探伤机最大装源活度为 $3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，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 ^{192}Ir 、 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线 γ 射线探伤室设计内部尺寸为长 25m×宽 9m×高 8m，按企业探伤时实际使用工况，保守考虑取探伤机位于离各侧屏蔽墙体最近距离约 3 米，距离地面最大高度为 1m。参考点（A2-H2、A3-H3）距离各侧屏蔽墙及工件门的表面均为 30cm，参照图 11-4、图 11-5。

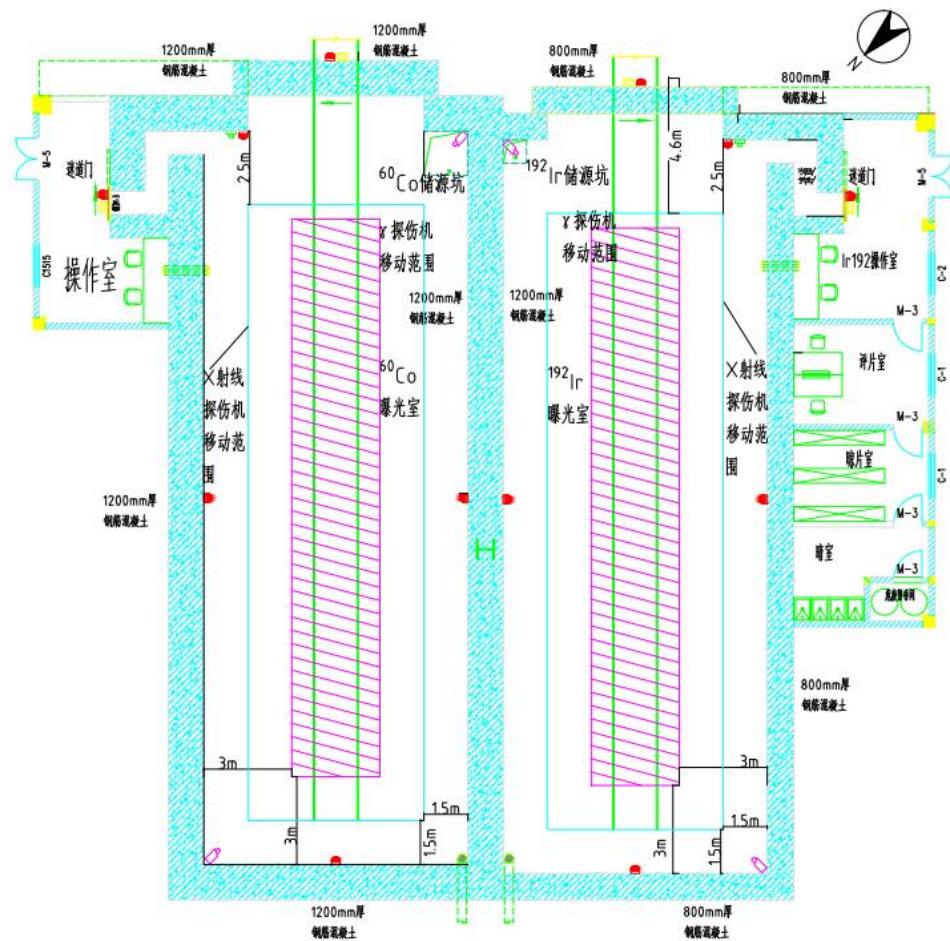


图 11-4 γ 射线探伤室关注点示意图（一）

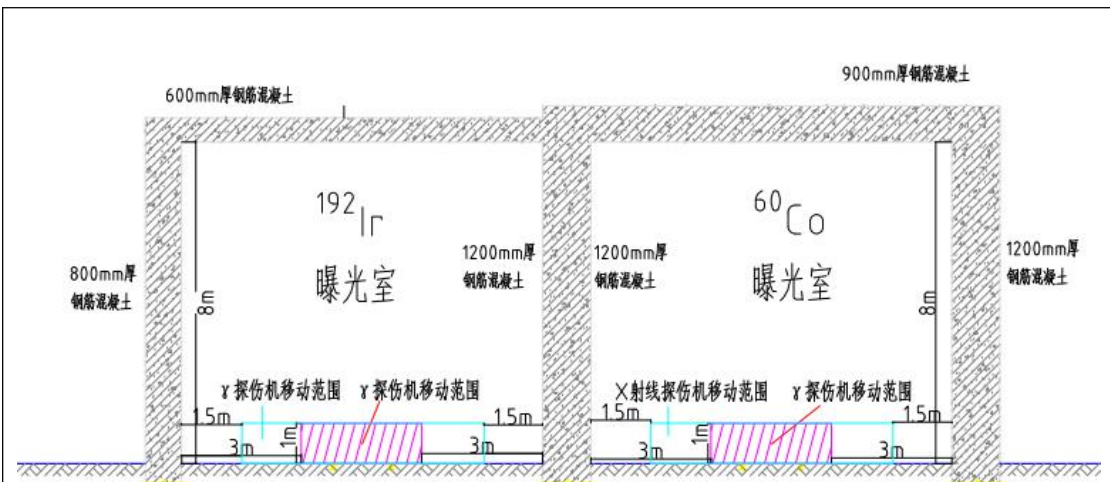


图 11-5 γ 射线探伤室关注点示意图（二）

1.1、关注点剂量率参考控制水平

γ 射线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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

探伤室顶的辐射屏蔽应满足：

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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，本项目取 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

1.2、 γ 射线探伤室墙体及工件门屏蔽厚度预测

将相关参数代入公式（11-9）～（11-10），则本项目 ^{192}Ir - γ 射线探伤机、 ^{60}Co - γ 射线探伤室墙体及工件门屏蔽墙厚度理论计算结果见表 11-6、11-7。

表 11-6 ^{192}Ir - γ 射线探伤室各侧墙体及工件门屏蔽厚度合理性预测

参数	西南墙 A2	东南墙 D2	东北墙 C2	西北墙 B2	顶棚 H2	工件门 E2
r (m)	4.1	4.6	4.5	4.1	7.91	5.0
A (Bq)	3.7×10^{12}	3.7×10^{12}	3.7×10^{12}	3.7×10^{12}	3.7×10^{12}	3.7×10^{12}
Γ_k $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	1.13×10^{-7}	1.13×10^{-7}	1.13×10^{-7}	1.13×10^{-7}	1.13×10^{-7}	1.13×10^{-7}
\dot{k} ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	24872	19758	20646	24872	6682	16724
关注点剂量 K ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5	10.0	2.5

屏蔽厚度 计算值	664mm 厚钢 筋混凝土	647mm 厚钢 筋混凝土	651mm 厚钢 筋混凝土	664mm 厚钢 筋混凝土	469mm 厚钢 筋混凝土	635mm 厚钢 筋混凝土
屏蔽厚度 设计值	800mm 厚钢 筋混凝土	800mm 厚钢 筋混凝土	1200mm 厚钢 筋混凝土	800mm 厚钢 筋混凝土	600mm 厚钢 筋混凝土	800mm 厚钢 筋混凝土

表 11-7 ⁶⁰Co-γ射线探伤室各侧墙体及工件门屏蔽厚度合理性预测

参数	西南墙 C3	东南墙 E3	东北墙 A3	西北墙 B3	顶棚 H3	工件门 D3
r (m)	4.5	5.1	4.5	4.5	8.21	5.7
A (Bq)	3.7×10 ¹²	3.7×10 ¹²	3.7×10 ¹²	3.7×10 ¹²	3.7×10 ¹²	3.7×10 ¹²
Γ_k μGy·m ² ·Bq ⁻¹ ·h ⁻¹	3.12×10 ⁻⁷	3.12×10 ⁻⁷	3.12×10 ⁻⁷	3.12×10 ⁻⁷	3.12×10 ⁻⁷	3.12×10 ⁻⁷
\dot{k} (μGy/h)	58651	45663	58651	58651	17620	36555
关注点剂量 K (μSv/h)	2.5	2.5	2.5	2.5	10	2.5
屏蔽厚度 计算值	1016mm 厚 钢筋混凝土	991mm 厚 钢筋混凝土	1016mm 厚 钢筋混凝土	1016mm 厚 钢筋混凝土	755mm 厚 钢筋混凝土	969mm 厚 钢筋混凝土
屏蔽厚度 设计值	1200mm 厚 钢筋混凝土	1200mm 厚 钢筋混凝土	1200mm 厚 钢筋混凝土	1200mm 厚 钢筋混凝土	900mm 厚 钢筋混凝土	1200mm 厚 钢筋混凝土

1.3、γ射线探伤室迷道门屏蔽厚度预测

本项目中 ¹⁹²Ir、⁶⁰Co-γ射线探伤室迷道门受放射源散射辐射影响，散射路径图参照图 11-4 中的参考点 F2、F3。

根据 NCRP Report No.51: Radiation protection design guidelines for 0.1-100 MeV particle accelerator facilities (0.1-100MeV 粒子加速器设施辐射防护设计准则) 中 P63 公示 (13)，无屏蔽防护时，经 i 次散射后迷道外入口的剂量率计算公式如下：

$$H = \frac{H_0 \alpha_1 A_1 (\alpha_2 A_2)^{i-1}}{(d_1 \bullet d_{r1} \bullet d_{r2} \dots d_{ri})^2} \dots \dots \dots (11-10)$$

式中：H——经 i 次散射后关注点处的辐射剂量率，μGy/h；

H₀——对于γ辐射源，数值上由 AΓ_k确定，其中 A 是放射源活度，均取

$3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$, 对于 ^{192}Ir , $\Gamma_K = 1.13 \times 10^{-7} \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 则 $H_0 = 4.18 \times 10^5 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$;

对于 ^{60}Co , $\Gamma_K = 3.12 \times 10^{-7} \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 则 $H_0 = 1.15 \times 10^6 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$;

a_1 ——入射到第一个散射体的 γ 射线的散射系统;

a_2 ——从以后的物质散射出来的 γ 射线的散射系数; 本次评价偏安全考虑, γ 射线散射后能量等同原射线, 对于后续散射过程, 假设能量不在改变, 由 NCRP Report No.51: Radiation protection design guidelines for 0.1-100 MeV particle accelerator facilities (0.1-100MeV 粒子加速器设施辐射防护设计准则) 中 P110 附录 E.15, 本项目 α 均取 0.01。

A_1 —— γ 射线入射到第一散射物质的散射面积, m^2 ;

A_2 ——迷道的截面积, m^2 ;

d_1 —— γ 射线源与第一散射物质的距离, m ;

d_{r1} , d_{r2} ——沿着迷道长轴的中心线距离, m ;

j ——指第 j 个散射过程;

本项目 ^{192}Ir - γ 射线探伤室散射次数为 2 次, $d_1=5.0\text{m}$, $d_{r1}=2.6\text{m}$, $d_{r2}=1.7\text{m}$, $A_1=A_2=6.4\text{m}^2$; ^{60}Co - γ 射线探伤室散射次数为 2 次, $d_1=5.1\text{m}$, $d_{r1}=2.9\text{m}$, $d_{r2}=2\text{m}$, $A_1=A_2=6.4\text{m}^2$ 。

经理论预测可知:

^{192}Ir - γ 射线探伤室 γ 射线经 2 次散射后 (无防护门屏蔽) 空气比释动能率为 $3.5 \mu\text{Gy/h}$, ^{60}Co - γ 射线探伤室 γ 射线经 2 次散射后 (无防护门屏蔽) 空气比释动能率为 $5.38 \mu\text{Gy/h}$, 均高于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 的标准限值要求, 需增设防护门。根据公式 11-9、11-10 计算得, 达到 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 的标准限值的需要。 ^{192}Ir - γ 射线探伤室迷道防护门屏蔽厚度为 1.5mmPb , ^{60}Co - γ 射线探伤室迷道防护门屏蔽厚度为 14.4mmPb 。

1.4、 ^{192}Ir - γ 射线探伤室使用 X 射线探伤机的 X 射线辐射影响分析

^{192}Ir - γ 射线曝光室使用 X 射线探伤机相关参数见表 11-8。

表 11-8 ¹⁹²Ir-γ射线曝光室使用 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	¹⁹² Ir-γ 射线探伤室	RX3505 P	350kV/ 5mA	周向	360°*25°	50mm	5min/ 次	100h
2	X 射线探伤机	¹⁹² Ir-γ 射线探伤室	RX3505 D	350kV/ 5mA	定向	45°	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 2.5μSv/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 10μSv/h 控制限值。

在 ¹⁹²Ir-γ 射线曝光室内使用 1 台 3505 型 X 射线定向探伤机（350kV、5mA）和 1 台 3505 型 X 射线周向探伤机（350kV、5mA）。探伤室内不同时使用两台及多台探伤机同时探伤。

表11-9 关注点控制剂量水平参数选取及计算结果表

预测点位置	使用因子	居留因子	受照类型	导出剂量率参考控制水平（μSv/h）	关注点最高剂量率参考控制水平（μSv/h）	关注点剂量率参考控制水平（μSv/h）
¹⁹² Ir-γ射线操作室工作人员	1/4	1	职业	200	2.5	2.5
¹⁹² Ir-γ射线曝光室西南侧墙外 30cm 公众	1/4	1/4	公众	16	2.5	2.5
¹⁹² Ir-γ射线曝光室东南侧墙外 30cm 公众	1/4	1/4	公众	16	2.5	2.5
¹⁹² Ir-γ射线曝光室东北侧墙外 30cm 公众	1/4	1/4	公众	16	2.5	2.5
¹⁹² Ir-γ射线曝光室西北侧墙外 30cm 公众	1/4	1/4	公众	16	2.5	2.5
¹⁹² Ir-γ射线屋顶外 30cm 公众	/	/	公众	10	10	10
¹⁹² Ir-γ射线曝光室工件门外 30cm 公众	1/4	1/4	公众	16	2.5	2.5

迷道外墙30cm	1/4	1	职业	200	2.5	2.5
迷道门外30cm	1/4	1	职业	200	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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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；X 射线探伤机有用线束朝向不朝向工件门照射计算，参照图 11-4 和图 11-5， $^{192}\text{Ir-}\gamma$ 射线曝光室四周墙面屏蔽参数选取及计算结果见表 11-10。

**表 11-10 $^{192}\text{Ir-}\gamma$ 射线曝光室使用 X 射线探伤机探伤时
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	透射因子 B	理论计算屏蔽厚度 (mm)	屏蔽厚度设计值
曝光室东北墙	2.5	3.0	3.19×10^{-6}	550mm 厚钢筋混凝土	800mm 厚钢筋混凝土
曝光室西北墙	2.5	2.6	2.40×10^{-6}	562mm 厚钢筋混凝土	800mm 厚钢筋混凝土
曝光室西南墙	2.5	2.6	2.40×10^{-6}	562mm 厚钢筋混凝土	800mm 厚钢筋混凝土
曝光室东南墙	2.5	3.7	4.85×10^{-6}	532mm 厚钢筋混凝土	800mm 厚钢筋混凝土
曝光室顶棚	10	7.9	8.85×10^{-5}	406mm 厚钢筋混凝土	600mm 厚钢筋混凝土
迷道外墙	2.5	7.2	1.84×10^{-5}	474mm 厚钢筋混凝土	800mm 厚钢筋混凝土
工件门	2.5 (漏射)	4.6	1.1×10^{-2}	196mm 厚钢筋混凝土	800mm 厚钢筋混凝土
	2.5 (散射)	4.6	3.75×10^{-4}	343mm 厚钢筋混凝土	800mm 厚钢筋混凝土
迷道门	2.5 (散射)	7.6	1.02×10^{-3}	8.7mmPb 铅门	10mmPb 铅门

根据表11-10，在 $^{192}\text{Ir-}\gamma$ 射线曝光室内使用X射线探伤机探伤，该曝光室的屏蔽墙体、工件门、迷道门设计屏蔽厚度均能满足屏蔽要求。

1.5、 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 射线探伤室使用 X 射线探伤机的 X 射线辐射影响分析

^{60}Co - γ 射线曝光室内使用 X 射线探伤机相关参数见表 11-11。

表 11-11 ^{60}Co - γ 射线曝光室内使用 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	^{192}Ir - γ 射线探伤室	RX3505 P	350kV /5mA	周向	360°*25°	50mm	5min/次	100h
2	X 射线探伤机	^{192}Ir - γ 射线探伤室	RX3505 D	350kV /5mA	定向	45°	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 $\mu\text{Sv/h}$ ），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 $\mu\text{Sv/h}$ 控制限值。

在 ^{60}Co - γ 射线曝光室内使用 1 台 3505 型 X 射线定向探伤机（350kV、5mA）和 1 台 3505 型 X 射线周向探伤机（350kV、5mA）。探伤室内不同时使用两台及多台探伤机同时探伤。

表 11-12 关注点控制剂量水平参数选取及计算结果表

预测点位置	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（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
^{60}Co - γ 射线操作室工作人员	1/4	1	职业	200	2.5	2.5
^{60}Co - γ 射线曝光室西南侧墙外 30cm 公众	1/4	1/4	公众	16	2.5	2.5
^{60}Co - γ 射线曝光室东南侧墙外 30cm 公众	1/4	1/4	公众	16	2.5	2.5
^{60}Co - γ 射线曝光室东北侧墙外 30cm 公众	1/4	1/4	公众	16	2.5	2.5
^{60}Co - γ 射线曝光室西北侧墙外 30cm 公众	1/4	1/4	公众	16	2.5	2.5
^{60}Co - γ 射线屋顶外 30cm 公众	/	/	公众	10	10	10

⁶⁰ Co-γ射线曝光室工件门外30cm公众	1/4	1/4	公众	16	2.5	2.5
迷道外墙30cm	1/4	1	职业	200	2.5	2.5
迷道门外30cm	1/4	1	职业	200	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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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；X 射线探伤机有用线束朝向不朝向工件门照射计算，参照图 11-4 和图 11-5，⁶⁰Co-γ射线曝光室四周墙面屏蔽参数选取及计算结果见表 11-13。

**表 11-13 ⁶⁰Co-γ射线曝光室使用 X 射线探伤机探伤时
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	透射因子 B	理论计算屏蔽厚度 (mm)	屏蔽厚度设计值
曝光室东北墙	2.5	3.0	3.19×10^{-6}	550mm 厚钢筋混凝土	1200mm 厚钢筋混凝土
曝光室西北墙	2.5	3.0	3.19×10^{-6}	550mm 厚钢筋混凝土	1200mm 厚钢筋混凝土
曝光室西南墙	2.5	3.0	3.19×10^{-6}	550mm 厚钢筋混凝土	1200mm 厚钢筋混凝土
曝光室东南墙	2.5	4.0	5.67×10^{-6}	525mm 厚钢筋混凝土	1200mm 厚钢筋混凝土
曝光室顶棚	10	8.2	9.54×10^{-5}	403mm 厚钢筋混凝土	900mm 厚钢筋混凝土
迷道外墙	2.5	8.3	2.44×10^{-5}	462mm 厚钢筋混凝土	1200mm 厚钢筋混凝土
工件门	2.5 (漏射)	5.2	1.35×10^{-2}	187mm 厚钢筋混凝土	1200mm 厚钢筋混凝土
	2.5 (散射)	5.2	4.79×10^{-4}	299mm 厚钢筋混凝土	1200mm 厚钢筋混凝土
迷道门	2.5 (散射)	7.8	1.08×10^{-3}	8.6mmPb 铅门	15mmPb 铅门

根据表11-13，在⁶⁰Co-γ射线曝光室内使用X射线探伤机探伤，该曝光室的

屏蔽墙体、工件门、迷道门设计屏蔽厚度均能满足屏蔽要求。

1.6、储源坑辐射影响预测

(1) 储源坑设计

本项目 ^{192}Ir - γ 射线探伤室、 ^{60}Co - γ 射线探伤室分别在曝光室内靠近工件门处设有一个储源坑，呈下沉式用于分别贮存 ^{192}Ir 、 ^{60}Co - γ 射线探伤机。由于本项目 ^{192}Ir 放射源为一用一换源周转， ^{60}Co 不使用时暂存于储源坑。储源坑一般情况下生产厂家换新源时会将废源一并收回，故本次储源坑设计原则为“一源一坑”。 ^{192}Ir 源坑设计尺寸为：800mm（长） \times 800mm（宽） \times 1000mm（深）； ^{60}Co 源坑设计尺寸为：1500mm（长） \times 1500mm（宽） \times 1700mm（深）。源坑四侧坑壁和底部均水泥涂抹，顶盖为钢板板。根据建设单位提供的资料，本项目拟购的 ^{192}Ir - γ 射线探伤机外尺寸一般为 300mm（长） \times 150mm（宽） \times 250mm（高）， ^{60}Co - γ 射线探伤机外尺寸一般为 600mm（长） \times 500mm（宽） \times 350mm（高），探伤机能满足摆放放射源的需要。

(2) 放射源储源坑屏蔽合理性分析

本项目保守考虑 ^{192}Ir 储源坑内只存储 1 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机， ^{60}Co 储源坑内只存储 1 台 ^{60}Co - γ 射线探伤机。由于储源坑四周及底部均为地下土层，因此仅需考虑顶部盖板外辐射影响。因关注点处空气比释动能率与其至源点的距离平方成反比，源坑盖板表面 30cm 处的空气比释动能率可按下式 11-12 计算：

$$K = \frac{K_0 \cdot R_0^2}{R_1^2} \dots\dots\dots (11-12)$$

式中：K ---距源R 处的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

R_1 ---参考点至源的距离，m，本项目取 ^{192}Ir 储源坑深 100cm+坑外表面 30cm- ^{192}Ir - γ 射线探伤机高度 25cm=105cm； ^{60}Co 储源坑深 170cm+坑外表面 30cm-- γ 射线探伤机高度 35cm=165cm；

R_0 ---至源容器外表面的距离，5cm；

K_0 ---距源容器外表面 5cm 处的空气比释动能率控制值， $\mu\text{Gy/h}$ ， ^{192}Ir P 类便携式取 0.5mSv/h； ^{60}Co M 类移动式取 1mSv/h。（见工业探伤放射防护标准）

(GBZ117-2021)表2)；

经理论预测，储源坑盖板表面30cm处的空气比释动能率为： ^{192}Ir 储源坑外表面30cm为： $1.13\mu\text{Sv/h}$ ； ^{60}Co 储源坑外表面30cm为： $0.92\mu\text{Sv/h}$ ，符合 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的标准限值的要求。因此， ^{192}Ir 、 ^{60}Co 储源坑外不需要屏蔽防护，本项目储源坑采用钢盖板，用于地面承重。

三、探伤室屏蔽防护符合性汇总

综上X射线、 γ 射线探伤室辐射屏蔽防护分析结果见下表11-14。

表 11-14 X射线、 γ 射线探伤室辐射屏蔽防护预测汇总表

关注点	理论计算屏蔽厚度 (mm)	实际设计厚度 (mm)	备注
X射线探伤室			
曝光室东北墙	569mm 厚钢筋混凝土	600mm 厚钢筋混凝土	满足屏蔽要求
曝光室西北墙	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	600mm厚钢筋混凝土	
曝光室东南墙	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	450mm厚钢筋混凝土	
迷道外墙	485mm 厚钢筋混凝土	600mm 厚钢筋混凝土	
工件门	17.5mmPb 铅门	32mmPb铅门	
迷道门	9.2mmPb 铅门	15mmPb铅门	
^{192}Ir-γ射线探伤室 (^{192}Ir-γ射线探伤机)			
曝光室西南墙	660mm厚钢筋混凝土	800mm 厚钢筋混凝土	满足屏蔽要求
曝光室东南墙	644mm厚钢筋混凝土	800mm厚钢筋混凝土	
曝光室东北墙	650mm厚钢筋混凝土	1200mm 厚钢筋混凝土	
曝光室西北墙	660mm厚钢筋混凝土	800mm厚钢筋混凝土	
曝光室顶棚	469mm厚钢筋混凝土	600mm厚钢筋混凝土	
工件门	632mm厚钢筋混凝土	800mm厚钢筋混凝土	
迷道门	1.5mmPb铅门	10mmPb铅门	
储源坑	无需防护	钢盖板承重	
^{192}Ir-γ射线探伤室 (X射线探伤机)			
曝光室西南墙	562mm 厚钢筋混凝土	800mm 厚钢筋混凝土	满足屏蔽要求

曝光室东南墙	532mm 厚钢筋混凝土	800mm厚钢筋混凝土	
曝光室东北墙	550mm 厚钢筋混凝土	1200mm 厚钢筋混凝土	
曝光室西北墙	562mm 厚钢筋混凝土	800mm厚钢筋混凝土	
曝光室顶棚	406mm 厚钢筋混凝土	600mm厚钢筋混凝土	
工件门	343mm 厚钢筋混凝土	800mm厚钢筋混凝土	
迷道门	8.7mmPb 铅门	10mmPb铅门	
⁶⁰Co-γ射线探伤室（⁶⁰Co-γ射线探伤机）			
曝光室西南墙	1016mm 厚钢筋混凝土	1200mm厚钢筋混凝土	满足屏蔽要求
曝光室东南墙	991mm厚钢筋混凝土	1200mm厚钢筋混凝土	
曝光室东北墙	1016mm厚钢筋混凝土	1200mm厚钢筋混凝土	
曝光室西北墙	1016mm厚钢筋混凝土	1200mm厚钢筋混凝土	
顶棚	755mm厚钢筋混凝土	900mm厚钢筋混凝土	
工件门	969mm厚钢筋混凝土	1200mm厚钢筋混凝土	
迷道门	14.4mmPb铅门	15mmPb铅门	
储源坑	无需防护	钢盖板承重	
⁶⁰Co-γ射线探伤室（X射线探伤机）			
曝光室西南墙	550mm 厚钢筋混凝土	1200mm厚钢筋混凝土	满足屏蔽要求
曝光室东南墙	525mm 厚钢筋混凝土	1200mm厚钢筋混凝土	
曝光室东北墙	550mm 厚钢筋混凝土	1200mm厚钢筋混凝土	
曝光室西北墙	550mm 厚钢筋混凝土	1200mm厚钢筋混凝土	
顶棚	403mm 厚钢筋混凝土	900mm厚钢筋混凝土	
工件门	299mm 厚钢筋混凝土	1200mm厚钢筋混凝土	
迷道门	8.6mmPb 铅门	15mmPb铅门	

四 辐射工作人员及公众年有效剂量估算

X、γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按以下公式保守估算：

$$H_{Er} = D_r \times t \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (11-13)$$

式中：H_{Er}——X-γ 射线外照射人均年有效剂量当量，mSv/a；

D_r——X-γ 射线空气吸收剂量率，μSv/h；

t——X-γ 射线照射时间，h/a；

1、X 射线辐射工作人员、公众年有效剂量

X 射线探伤室各关注点及保护目标的见表 7-1、图 7-1、图 11-1、图 11-2。年曝光时间为 500h，四周墙体以及工件门外公众接触时间较少，本项目此处居留因子 T 取 1/4。关注点还需包含 X 射线四周墙体以及工件门外可能接触的公众，X 射线漏射线、散射线穿过工件门处的保护目标主要考虑漏射剂量影响。

表 11-15 X 射线探伤室各环境保护目标辐射剂量预测结果

预测点位置	距源距离 m	屏蔽体	受照者类型	照射类型	使用因子	居留因子	透射因子 B	关注点的剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	年有效剂量 mSv/a
X 射线操作室工作人员	2.4	600mm 厚钢筋混凝土	职业	有用线束	1/4	1	10^{-6}	1.22	0.15
^{192}Ir - γ 射线操作室工作人员	50	600mm 厚钢筋混凝土	职业	有用线束	1/4	1	10^{-6}	2.81×10^{-3}	3.51×10^{-4}
卷板区工作人员	35	600mm 厚钢筋混凝土	公众	有用线束	1/4	1/4	10^{-6}	5.73×10^{-3}	3.58×10^{-4}
焊接区1工作人员	24	600mm 厚钢筋混凝土	公众	有用线束	1/4	1/4	10^{-6}	1.22×10^{-3}	1.53×10^{-4}
焊接区2工作人员	40	32mmPb 铅门	公众	漏射	1/4	1/4	$10^{-4.6}$	3.93×10^{-4}	1.23×10^{-5}
东北墙外 30cm 公众	2.4	600mm 厚钢筋混凝土	公众	有用线束	1/4	1/4	10^{-6}	1.22	3.81×10^{-2}
东南墙外 30cm 公众	3.6	600mm 厚钢筋混凝土	公众	有用线束	1/4	1/4	10^{-6}	0.54	1.69×10^{-2}
西南墙外 30cm 公众	2.4	600mm 厚钢筋混凝土	公众	有用线束	1/4	1/4	10^{-6}	1.22	3.81×10^{-2}
西北墙外 30cm 公众	2.4	600mm 厚钢筋混凝土	公众	有用线束	1/4	1/4	10^{-6}	1.22	3.81×10^{-2}
工件门外 30cm 公众	3.5	32mmPb 铅门	公众	漏射	1/4	1/4	$10^{-4.6}$	5.13×10^{-2}	1.60×10^{-3}

2、 γ 射线辐射工作人员、公众年有效剂量

2.1、 ^{192}Ir - γ 射线探伤室内 ^{192}Ir - γ 射线探伤时辐射工作人员、公众年有效剂量

本项目 ^{192}Ir - γ 射线探伤各关注点及保护目标的见表 7-1、图 7-1、图 11-4、图 11-5。年曝光时间为 1000h，四周墙体以及工件门外公众接触时间极少，本项目此处居留因子 T 取 1/8，其余取 1/4。关注点还需包含 ^{192}Ir - γ 射线四周墙体以及工件门外可能接触的公众。

表 11-16 ^{192}Ir - γ 射线探伤机探伤时各环境保护目标辐射剂量预测结果

预测点位置	距辐射源距离 m	屏蔽体	受照者类型	居留因子	减弱倍数 N	关注点的剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	年有效剂量 mSv/a
^{192}Ir - γ 射线操作室工作人员	4.1	800mm厚钢筋混凝土	职业	1	2^{16}	0.40	0.40
X射线操作室工作人员	50	800mm厚钢筋混凝土	职业	1	2^{16}	2.56×10^{-3}	2.56×10^{-3}
焊接区3工作人员	38	800mm厚钢筋混凝土	公众	1/4	2^{16}	4.43×10^{-3}	1.11×10^{-3}
焊接区4工作人员	49	800mm厚钢筋混凝土	公众	1/4	2^{16}	2.46×10^{-3}	6.15×10^{-4}
退火区工作人员	20	1200mm厚钢筋混凝土	公众	1/4	2^{24}	6.23×10^{-5}	1.56×10^{-5}
喷漆区工作人员	37	1200mm厚钢筋混凝土	公众	1/4	2^{24}	1.82×10^{-5}	4.55×10^{-6}
^{60}Co - γ 射线操作室工作人员	15	2400mm厚钢筋混凝土	职业	1	2^{48}	6.6×10^{-12}	6.6×10^{-12}
^{192}Ir 曝光室西北墙外 30cm 公众	4.1	800mm厚钢筋混凝土	公众	1/8	2^{16}	0.36	4.50×10^{-2}
^{192}Ir 曝光室西南墙外 30cm 公众	4.1	800mm厚钢筋混凝土	公众	1/8	2^{16}	0.36	4.50×10^{-2}
^{192}Ir 曝光室东南墙外 30cm 公众	4.7	800mm厚钢筋混凝土	公众	1/8	2^{16}	0.29	3.63×10^{-2}

¹⁹² Ir曝光室工件 门外30cm公众	5.0	800mm厚钢 筋混凝土	公众	1/8	2 ¹⁶	0.25	3.13×10 ⁻²
------------------------------------	-----	-----------------	----	-----	-----------------	------	-----------------------

2.2、¹⁹²Ir-γ射线探伤室内 X 射线探伤机探伤时辐射工作人员、公众年有效剂量

X 射线探伤机在 ¹⁹²Ir-γ射线探伤室内探伤时各关注点及保护目标的见表 7-1、图 7-1、图 11-4、图 11-5。X 射线探伤机年曝光时间为 100h，四周墙体以及工件门外公众接触时间极少，本项目此处居留因子 T 取 1/8，其余取 1/4。关注点还需包含 ¹⁹²Ir-γ射线探伤室四周墙体以及工件门外可能接触的公众。

表 11-17 ¹⁹²Ir-γ射线探伤室内 X 射线探伤机
探伤时各环境保护目标辐射剂量预测结果

预测点 位置	距源 距离 m	屏蔽体	受照 者类 型	照射 类型	使用 因子	居留 因子	透射 因子 B	关注点 的剂量 率μSv/h	年有 效剂量 mSv/a
¹⁹² Ir-γ射 线操作室 工作人员	2.6	800mm 厚钢筋 混凝土	职业	有用 线束	1/4	1	10 ⁻⁸	0.01	2.5×10 ⁻⁴
X射线操 作室工作 人员	48.5	800mm 厚钢筋 混凝土	职业	有用 线束	1/4	1	10 ⁻⁸	2.87×10 ⁻⁵	7.18×10 ⁻⁷
焊接区3 工作人员	37.5	800mm 厚钢筋 混凝土	公众	漏射	1/4	1/4	10 ⁻⁸	3.56×10 ⁻⁸	2.22×10 ⁻¹⁰
焊接区4 工作人员	48.5	800mm 厚钢筋 混凝土	公众	漏射	1/4	1/4	10 ⁻⁸	2.13×10 ⁻⁸	1.33×10 ⁻¹⁰
退火区工 作人员	18.5	1200mm 厚钢筋 混凝土	公众	有用 线束	1/4	1/4	10 ⁻¹²	2.06×10 ⁻⁸	1.29×10 ⁻¹⁰
喷漆区工 作人员	35.5	1200mm 厚钢筋 混凝土	公众	有用 线束	1/4	1/4	10 ⁻¹²	5.69×10 ⁻⁹	3.56×10 ⁻¹¹
⁶⁰ Co-γ射 线操作室 工作人员	13.5	2400mm 厚钢筋 混凝土	职业	有用 线束	1/4	1	10 ⁻²⁴	3.9×10 ⁻²⁰	9.7×10 ⁻²²