



中华人民共和国国家职业卫生标准

GBZ/T 250—2014

工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范

Radiation shielding specifications for room of industrial X-ray radiography

2014-05-14 发布

2014-10-01 实施

中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 规则起草。

根据《中华人民共和国职业病防治法》制定本标准。

本标准起草单位：北京市疾病预防控制中心、北京市贝特莱博瑞技术检测有限公司、清华大学。

本标准起草人：万玲、冯泽臣、娄云、马永忠、彭建亮、翟曙光、孔玉侠、王时进、李君利。

工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范

1 范围

本标准规定了工业 X 射线探伤室辐射屏蔽要求。

本标准适用于 500 kV 以下工业 X 射线探伤装置的探伤室。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

X 射线探伤室 room of X-ray detection

用于 X 射线探伤工作具有屏蔽结构以保障室外场所辐射安全的专用 X 射线探伤装置照射室。

2.2

关注点 reference point

探伤室辐射屏蔽设计和剂量估算中需确定的探伤室外对探伤室屏蔽结构起决定性作用的位置,通常为距探伤室外表面 30 cm 处人员可能受照剂量最大的位置。在距探伤室一定距离处,公众成员居留因子大并可能受照剂量大的位置也应作为关注点。

2.3

屏蔽透射因子 shielding transmission factor

在关注点与辐射源之间有屏蔽和无屏蔽时,该关注点辐射剂量的比值。

3 探伤室屏蔽要求

3.1 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平

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

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

1) 人员在关注点的周剂量参考控制水平 H_c 如下:

职业工作人员: $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$;

公众: $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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

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

式中:

H_c ——周剂量参考控制水平,单位为微希每周($\mu\text{Sv/周}$);

U ——探伤装置向关注点方向照射的使用因子;

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子;

t ——探伤装置周照射时间,单位为小时每周(h/周)。

t 按式(2)计算:

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

式中：

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

60 ——小时与分钟的换算系数；

I ——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流,单位为毫安(mA)。

b) 关注点最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ：

$$\dot{H}_{c,max} = 2.5 \mu\text{Sv/h}$$

c) 关注点剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ：

$\dot{H}_c$ 为上述 a) 中的 $\dot{H}_{c,q}$ 和 b) 中的 $\dot{H}_{c,max}$ 二者的较小值。

3.1.2 探伤室顶的剂量率参考控制水平应满足下列要求：

a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或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,距探伤室顶外表面 30 cm 处和(或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处,辐射屏蔽的剂量参考控制水平同 3.1.1。

b) 除 3.1.2 a) 的条件外,应考虑下列情况：

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

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

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,不需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° 入射探伤工件的 90° 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,当它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 探伤室辐射屏蔽估算方法

4.1 有用线束

有用线束的屏蔽估算方法如下：

- a) 关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时,屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按式(3)计算,然后由附录 B.1 的曲线查出相应的屏蔽物质厚度 X 。

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R^2}{I \cdot H_0} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\dot{H}_c$ ——按 3.1 确定的剂量率参考控制水平,单位为微希每小时($\mu\text{Sv/h}$);

R ——辐射源点(靶点)至关注点的距离,单位为米(m);

I ——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流,单位为毫安(mA);

H_0 ——距辐射源点(靶点)1 m 处输出量, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$,以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ,见附录表 B.1。

- b) 在给定屏蔽物质厚度 X 时,由附录 B.1 曲线查出相应的屏蔽透射因子 B 。关注点的剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 按式(4)计算:

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

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,单位为毫安(mA);

H_0 ——距辐射源点(靶点)1 m 处输出量, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$,以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ,见附录表 B.1;

B ——屏蔽透射因子;

R ——辐射源点(靶点)至关注点的距离,单位为米(m)。

4.2 泄漏辐射和散射辐射屏蔽

4.2.1 屏蔽物质厚度 X 与屏蔽透射因子 B 的相应关系

屏蔽厚度 X 与屏蔽透射因子 B 的相互计算如下:

- a) 对于给定的屏蔽物质厚度 X ,相应的辐射屏蔽透射因子 B 按式(5)计算:

$$B = 10^{-X/\text{TVL}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

X ——屏蔽物质厚度,与 TVL 取相同的单位;

TVL——见附录 B 表 B.2。

- b) 对于估算出的屏蔽透射因子 B ,所需的屏蔽物质厚度 X 按式(6)计算:

$$X = -\text{TVL} \cdot \lg B \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

TVL——见附录 B 表 B.2;

B ——达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时所需的屏蔽透射因子。

4.2.2 泄漏辐射屏蔽

泄漏辐射屏蔽的估算方法如下:

- a) 关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时所需的屏蔽透射因子 B 按式(7)计算,然后按式(6)计算出所需的屏蔽物质厚度 X 。

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R^2}{\dot{H}_1} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$\dot{H}_c$ ——按 3.1 确定的剂量率参考控制水平,单位为微希每小时($\mu\text{Sv/h}$);

R ——辐射源点(靶点)至关注点的距离,单位为米(m);

$\dot{H}_L$ ——距靶点 1 m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率,单位为微希每小时($\mu\text{Sv/h}$),其典型值见表 1。

表 1 X 射线探伤机的泄漏辐射剂量率

X 射线管电压 kV	距靶点 1 m 处的泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_L$ $\mu\text{Sv/h}$
<150	1×10^3
$150 \leq \text{kV} \leq 200$	2.5×10^3
>200	5×10^3

b) 在给定屏蔽物质厚度 X 时,相应的屏蔽透射因子 B 按式(5)计算,然后按式(8)计算泄漏辐射在关注点的剂量率 $\dot{H}$ 单位为微希每小时($\mu\text{Sv/h}$):

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

B ——屏蔽透射因子;

R ——辐射源点(靶点)至关注点的距离,单位为米(m);

$\dot{H}_L$ ——距靶点 1 m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率,单位为微希每小时($\mu\text{Sv/h}$),见表 1。

4.2.3 散射辐射屏蔽

散射辐射屏蔽估算方法如下:

a) 90° 散射辐射的 TVL X 射线 90° 散射辐射的最高能量低于入射 X 射线的最高能量,使用该散射 X 射线最高能量相应的 X 射线(见表 2)的什值层(见附录 B 表 B. 2)计算其在屏蔽物质中的辐射衰减。

表 2 X 射线 90° 散射辐射最高能量相应的 kV 值

原始 X 射线 kV	散射辐射 kV
$150 \leq \text{kV} \leq 200$	150
$200 < \text{kV} \leq 300$	200
$300 < \text{kV} \leq 400$	250

注: 该表仅用于以什值层计算散射辐射在屏蔽物质中的衰减。

b) 关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时,屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按式(9)计算。按表 2 并查附录 B 表 B. 2 的相应值,确定 90° 散射辐射的 TVL,然后按式(6)计算出所需的屏蔽物质厚度 X 。

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{I \cdot H_0} \cdot \frac{R_0^2}{F \cdot \alpha} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- $\dot{H}_c$ ——按 3.1 确定的剂量率参考控制水平,单位为微希每小时($\mu\text{Sv/h}$)；
- R_s ——散射体至关注点的距离,单位为米(m)；
- R_0 ——辐射源点(靶点)至探伤工件的距离,单位为米(m)；
- I ——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流,单位为毫安(mA)；
- H_0 ——距辐射源点(靶点)1 m 处输出量, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$,以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ,见附录表 B.1；
- F —— R_0 处的辐射野面积,单位为平方米(m^2)；
- α ——散射因子,入射辐射被单位面积(1 m^2)散射体散射到距其 1 m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。 α 与散射物质有关,在未获得相应物质的 α 值时,以水散射体的 α 值保守估计,见附录 B 的 B.4。
- c) 在给定屏蔽物质厚度 X 时,相应的屏蔽透射因子 B ,按表 2 并查附录 B 表 B.1 的相应值,确定 90° 散射辐射的 TVL,然后按式(5)计算。关注点的散射辐射剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$ 按式(10)计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \dots\dots\dots (10)$$

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,单位为毫安(mA)；
- H_0 ——距辐射源点(靶点)1 m 处输出量, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{h})$,以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ,见附录表 B.1；
- B ——屏蔽透射因子；
- F —— R_0 处的辐射野面积,单位为平方米(m^2)；
- α ——散射因子,入射辐射被单位面积(1 m^2)散射体散射到距其 1 m 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 α 值时,可以水的 α 值保守估计,见附录 B 表 B.3；
- R_0 ——辐射源点(靶点)至探伤工件的距离,单位为米(m)；
- R_s ——散射体至关注点的距离,单位为米(m)。

5 典型条件下的探伤室屏蔽厚度表

5.1 典型条件

探伤室探伤工作的典型条件如下：

- a) 探伤室外表面 30 cm 处的剂量率控制值为 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。
- b) X 射线管电流(I)为 5 mA,X 射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 20° 。
- c) X 射线探伤机的泄漏辐射在距靶点 1 m 处的剂量率,见表 1。

5.2 探伤室的典型屏蔽厚度表

在 5.1 典型条件下,不同千伏 X 射线有用线束、泄漏辐射和 90° 散射辐射屏蔽所需要的铅和混凝土厚度列于表 3、表 4 和表 5。

表 3 有用线束屏蔽所需厚度

屏蔽物质	管电压 kV	距靶点不同距离处的有用线束屏蔽所需厚度						
		mm						
		2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	15 m
铅	150	4.3	4.0	3.8	3.5	3.2	3.1	2.8
	200	6.5	6.0	5.7	5.2	4.9	4.7	4.2
	250	12	11	10.6	9.6	9.0	8.4	7.5
	300	23	21	20	18	17	16	14
	400	39	37	34	32	30	28	25
混凝土	150	360	340	320	300	280	260	240
	200	450	420	400	370	350	330	300
	250	510	470	450	420	400	380	350
	300	570	540	510	480	450	430	400
	400	640	600	580	540	520	500	460
注：表中数据按 4.1 计算得出，铅的密度为 11.3 t/m ³ ，混凝土的密度为 2.35 t/m ³ 。								

表 4 泄漏辐射屏蔽所需厚度

屏蔽物质	管电压 kV	距靶点不同距离处的泄漏辐射屏蔽所需厚度						
		mm						
		2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	15 m
铅	150	2.3	2.0	1.7	1.4	1.2	1.0	0.7
	200	3.4	2.9	2.5	2.0	1.7	1.4	0.9
	250	7.8	6.8	6.1	5.1	4.3	3.8	2.8
	300	15	13	12	10	8.5	7.4	5.4
	400	22	19	17	14	12	11	7.8
混凝土	150	170	140	130	100	84	70	46
	200	210	180	150	120	100	86	55
	250	240	210	190	160	130	120	86
	300	270	240	210	170	150	130	96
	400	270	240	210	170	150	130	96
注：表中数据按 4.2.2 计算得出，铅的密度为 11.3 t/m ³ ，混凝土的密度为 2.35 t/m ³ 。								

表 5 散射辐射屏蔽所需厚度

屏蔽物质	管电压 kV	距靶点不同距离处的 90°散射辐射屏蔽所需厚度						
		mm						
		2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	15 m
铅	150	3.8	3.5	3.2	2.9	2.6	2.5	2.1
	200	4.1	3.7	3.5	3.2	3.0	2.7	2.4
	250	5.6	5.1	4.8	4.3	3.9	3.6	3.2
	300	5.8	5.3	4.9	4.4	4.1	3.8	3.3
	400	12.0	11.0	10.3	9.3	8.6	8.0	7.0
混凝土	150	280	250	240	210	200	180	160
	200	300	270	260	230	210	200	180
	250	350	320	290	260	240	220	190
	300	360	330	300	270	250	240	200
	400	380	340	320	290	270	250	220

注：表中数据按 4.2.3 计算得出，铅的密度为 11.3 t/m³，混凝土的密度为 2.35 t/m³。

5.3 典型屏蔽厚度表的应用

典型屏蔽数据表的应用如下：

- 当距离不同于表 3～表 5 中列表值时，可使用内插法获得相应值。
- 在 X 射线管电流和(或)剂量率参考控制水平不同于 5.1 中的条件时，按下列各式计算相对 5.1 条件的比值 K_{cor} ：

- 对 X 射线有用线束和散射辐射：

$$K_{\text{cor}} = \frac{5}{I} \cdot \frac{\dot{H}_c}{2.5} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$\dot{H}_c$ ——按 3.1 确定的剂量率参考控制水平，单位为微希每小时($\mu\text{Sv/h}$)；

I ——X 射线探伤装置管电流，单位为毫安(mA)；

5 ——5.1 的 X 射线管电流，单位为毫安(mA)；

2.5 ——5.1 的机房外剂量率参考控制水平，单位为微希每小时($\mu\text{Sv/h}$)。

- 对于泄漏辐射：

$$K_{\text{cor}} = \frac{\dot{H}_c}{2.5} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$\dot{H}_c$ ——按 3 确定的剂量率参考控制水平，单位为微希每小时($\mu\text{Sv/h}$)；

2.5 ——5.1 的机房外剂量率参考控制水平，单位为微希每小时($\mu\text{Sv/h}$)。

- 对表 3～表 5 各种辐射的屏蔽数据的调整厚度按式(13)计算：

$$X = X_{\text{nom}} - TVL \cdot \lg K_{\text{cor}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

X_{nom} ——相应关注点距源点的距离下的典型屏蔽厚度(mm)，由表 3～表 5 查出；

TVL ——表 B.1 中的什值层厚度(mm)。

附 录 A
(资料性附录)
居 留 因 子

不同场所与环境条件下的居留因子列于表 A.1。

表 A.1 不同场所与环境条件下的居留因子

场所	居留因子 T	示例
全居留	1	控制室、暗室、办公室、邻近建筑物中的驻留区
部分居留	$1/2 \sim 1/5$	走廊、休息室、杂物间
偶然居留	$1/8 \sim 1/40$	厕所、楼梯、人行道
注：取自 NCRP144。		

附 录 B
(资料性附录)
辐射屏蔽估算用的典型参数

B.1 X射线在铅和混凝土中的典型透射曲线

X射线在铅和混凝土中的透射曲线见图 B.1~图 B.2。

注：取自“Handbook of radiological protection part I :data”。

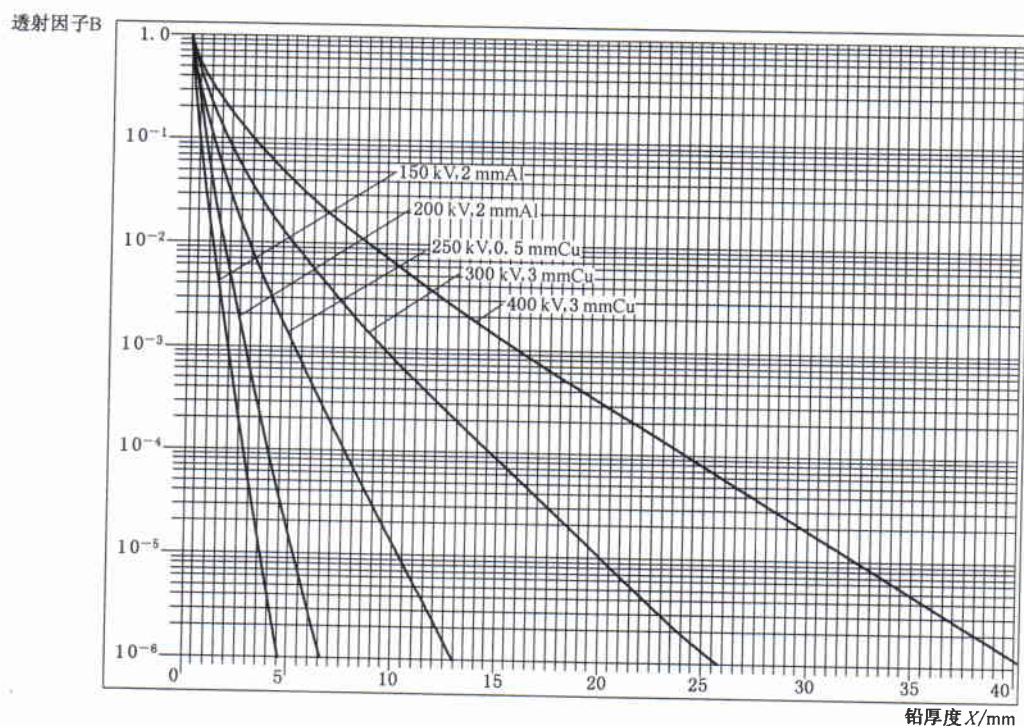


图 B.1 X射线穿过铅的透射

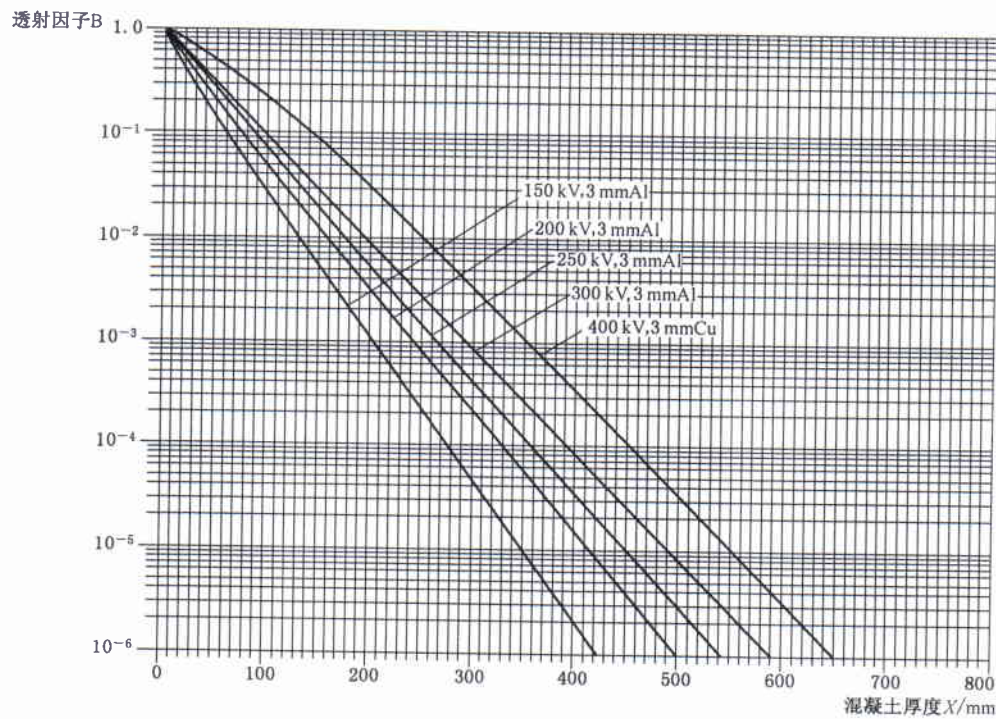


图 B.2 X 射线穿过混凝土的透射

B.2 X 射线输出量

不同 X 射线管电压(kV)和不同过滤条件下的 X 射线距辐射源点(靶点)1 m 处输出量 H_0 列于表 B.1。

表 B.1 X 射线输出量

管电压 kV	滤过条件	输出量 H_0 $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$
150	2 mm 铝	18.3
	3 mm 铝	5.2
200	2 mm 铝	28.7
	3 mm 铝	8.9
250	0.5 mm 铜	16.5
	3 mm 铝	13.9
300	3 mm 铝	20.9
	3 mm 铜	11.3
400	3 mm 铜	23.5

注 1: 表中值取自 ICRP33,在本标准中以等量值的 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 进行屏蔽计算。

注 2: 有用线束屏蔽估算时根据透射曲线的过滤条件选取相对应的输出量。

注 3: 在未获得厂家给出的输出量,散射辐射屏蔽估算选取表中各千伏(kV)下输出量的较大值保守估计。

B.3 半值层厚度(HVL)和什值层厚度(TVL)

X射线在铅和混凝土中的半值层厚度和什值层厚度列于表 B.2。

表 B.2 X射线束在铅和混凝土中的半值层厚度和什值层厚度

X射线管电压 kV	半值层厚度 HVL		什值层厚度 TVL	
	mm		mm	
	铅	混凝土	铅	混凝土
150	0.29	22	0.96	70
200	0.42	26	1.4	86
250	0.86	28	2.9	90
300	1.7	30	5.7	100
400	2.5	30	8.2	100
注 1: HVL 和 TVL 均为 X 射线经强衰减后的值。				
注 2: 表中值取自 ICRP33, 铅的密度为 11.3 t/m ³ , 混凝土的密度为 2.35 t/m ³ 。				

B.4 散射因子

B.4.1 入射辐射被面积 400 cm² 水模体散射至 1 m 处的相对剂量比份 α_w 列于表 B.3。

表 B.3 入射辐射被面积为 400 cm² 水模体散射至 1 m 处的相对剂量比份 α_w

管电压 kV	90°散射角的 α_w^a
150	1.6E-3 ^b
200	1.9E-3 ^b
250	1.9E-3 ^b
300	1.9E-3 ^b
400	1.9E-3 ^c
^a 4.2.3 中的散射因子 α 可保守地取为 $\alpha_w \cdot 10\,000/400$ 。	
^b 取自 NCRP49。	
^c 本标准中建议保守地取 300 kV 的 α_w 值。	

B.4.2 当 X 射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 20°时,4.2.3 式(9)的 $R_0^2/F \cdot \alpha$ 因子的值为:60(150 kV)和 50(200 kV~400 kV)。

附录 C
(资料性附录)
X 射线探伤室屏蔽估算示例

C.1 X 射线探伤室屏蔽估算示例

C.1.1 探伤室探伤工作条件

探伤室的几何尺寸和探伤室外围环境条件见图 C.1。探伤室内使用一台 X 射线探伤装置,其工作条件为 300 kV、5 mA。日探伤拍片 40 片/d,每片拍照 25 mA·min(5 mA,5 min)。周照射时间 t 为:
 $t=5 \times 40 \times 5/60=17$ h/周,周工作负荷 W 为: $W=5 \times 40 \times 25=5 \times 10^3$ mA·min/周。探伤装置的泄漏辐射剂量率 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ 。探伤装置主要向下照射,向北照射的使用因子 U 为 1/4。图 C.1 中控制室和暗室为放射工作人员区,其他区域为公众人员区。

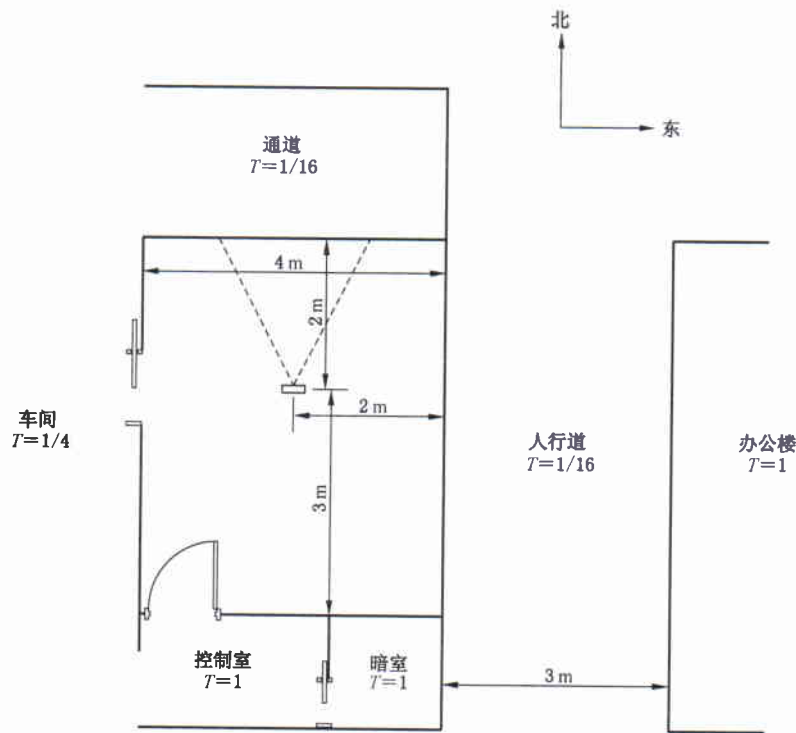


图 C.1 典型探伤室示意图

C.1.2 探伤室墙的屏蔽厚度

C.1.2.1 按 3.1 的方法确定剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ：

- a) 由 C.1.1 探伤工作条件和式(1)计算 $\dot{H}_{c,d}$,凡不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的,以其值作为剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 。例西墙外为公众人员区,周剂量参考控制水平 H_c 取为 $5 \mu\text{Sv/周}$,按式(1)西墙外导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}=\frac{5}{17 \times 1 \times \frac{1}{4}}=1.2 \mu\text{Sv/h}$,该处的 $\dot{H}_c$ 为 $1.2 \mu\text{Sv/h}$ 。同样可求得东墙外办公楼处的 $\dot{H}_c$ 为 $0.30 \mu\text{Sv/h}$ 。

b) 表 C.1 列出了图 C.1 中辐射源距各关注点的距离,相应位置所需屏蔽的辐射源项, T 、 U 因子和剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 。

表 C.1 300 kV 探伤室几何参数和辐射屏蔽参数

方向	U	T	剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$	距离 R m	需屏蔽的辐射源
东	1	1/16	2.5	2.3	泄漏辐射 散射辐射
东	1	1	0.30	5	泄漏辐射 散射辐射
南	1	1	2.5	3.3	泄漏辐射 散射辐射
西	1	1/4	1.2	2.3	泄漏辐射 散射辐射
北	1/4	1/16	2.5	2.3	有用线束

c) 距探伤室东墙外较近(2.3 m)人行道处剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 为 2.5 $\mu\text{Sv/h}$,较远(5 m)办公楼处剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 为 0.30 $\mu\text{Sv/h}$ 。计算 $\dot{H}_c \cdot R^2$ 值,办公楼处的 $\dot{H}_c \cdot R^2$ 值小于人行道处,按式(7)和式(9)计算所需屏蔽透射因子小于人行道处,即所需的探伤室屏蔽墙的厚度高于人行道处,按办公楼处的剂量率要求估算最终屏蔽厚度。

C.1.2.2 北墙(有用线束)屏蔽估算示例:

a) 按 4.1 方法估算:查表 B.1,300 kV 管电压 3 mm 铜过滤条件下的有用线束输出量为 11.3 $\text{mGy} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 。
按式(3)计算:

$$B = \frac{2.5 \times 2.3^2}{6 \times 10^4 \times 5 \times 11.3} = 3.9 \times 10^{-6}$$

查图 B.1 铅的透射曲线,得到所需的铅厚度均为 22.4 mm。同样可求得所需混凝土的厚度为 560 mm。

b) 使用典型数据表法估算:由表 4 查出,2 m 和 3 m 处所需铅分别为 23 mm 和 21 mm。通过内插得到 2.3 m 处所需铅屏蔽厚度为 22.4 mm。同样可求得所需混凝土的厚度为 560 mm。

C.1.2.3 西墙(泄漏辐射和散射辐射复合)屏蔽估算示例:

a) 按 4.2 方法估算:

1) 泄漏辐射:

查表 1,300 kV X 射线距靶点 1 m 处的泄漏辐射剂量率为 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ 。查表 C.1, $\dot{H}_c$ 为 1.2 $\mu\text{Sv/h}$ 。按式(7)计算:

$$B = \frac{1.2 \times 2.3^2}{5 \times 10^3} = 1.3 \times 10^{-3}$$

查附录 B 表 B.2 300 kV X 射线在铅中的什值层为 5.7 mm,然后按式(6)计算所需铅厚度:

$$X = -5.7 \cdot \lg(1.3 \times 10^{-3}) = 16.4 \text{ mm}$$

2) 散射辐射:

查表 B.1,300 kV 管电压 3 mm 铜过滤条件下的有用线束输出量为 11.3 $\text{mGy} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 。按式(10)计算:

$$B = \frac{1.2 \times 2.3^2}{6 \times 10^4 \times 5 \times 11.3} \times 50 = 3.8 \times 10^{-5}$$

查表 2, 300 kV X 射线 90° 散射辐射相应的 X 射线为 200 kV, 查附录 B 表 B. 2 200 kV X 射线在铅中的什值层为 1.4 mm, 然后按式(6)计算所需铅厚度:

$$X = -1.4 \cdot \lg(3.8 \times 10^{-5}) = 6.2 \text{ mm}$$

3) 复合分析:

300 kV X 射线在铅中的什值层为 5.7 mm, 依 3.2.3, 泄漏辐射和散射辐射的铅屏蔽厚度差值大于 5.7 mm, 按泄漏辐射屏蔽。探伤室西墙的最终屏蔽厚度取整为 17 mm 铅。同样方法求得泄漏辐射和散射辐射所需混凝土厚度分别为 290 mm 和 380 mm, 90° 散射辐射相应的 X 射线为 200 kV, 查附录 B 表 B. 2 200 kV X 射线在混凝土中的什值层为 86 mm, 依 3.2.3, 泄漏辐射和散射辐射的混凝土屏蔽厚度差值大于 86 mm, 按泄漏辐射屏蔽。探伤室西墙的最终屏蔽厚度取整为 380 mm 混凝土。

b) 使用典型屏蔽数据表法估算:

1) 泄漏辐射:

由表 4 内插计算出距靶点 2.3 m 处泄漏辐射屏蔽所需铅厚度 X_{nom} 为 14.4 mm。

按式(12)计算相应 1.2 $\mu\text{Sv/h}$ 剂量率参考控制水平与典型条件的控制水平 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的比值:

$$K_{\text{cor}} = \frac{1.2}{2.5} = 0.48$$

查附录 B 表 B. 1, 300 kV X 射线在铅中的什值层为 5.7 mm。按式(13)计算所需的泄漏辐射厚度: $X = 14.4 - 5.7 \times \lg(0.48) = 16.2 \text{ mm}$

2) 散射辐射:

由表 5 内插计算出距靶点 2.3 m 处散射辐射屏蔽所需铅厚度 X_{nom} 为 5.65 mm。

按式(12)计算:

$$K_{\text{cor}} = \frac{5}{5} \times \frac{1.2}{2.5} = 0.48$$

查表 2, 300 kV X 射线 90° 散射辐射相应的 X 射线为 200 kV, 查附录 B 表 B. 2 200 kV X 射线在铅中的什值层为 1.4 mm。按式(13)计算所需的散射辐射厚度:

$$X = 5.65 - 1.4 \times \lg(0.48) = 6.1 \text{ mm}$$

3) 探伤室西墙的最终屏蔽厚度取整为 16 mm 铅。

- c) 按上述方法和条件, 探伤室各墙所需的最终屏蔽厚度取整为: 东墙 16 mm 铅或 380 mm 混凝土、南墙 13 mm 铅或 330 mm 混凝土、西墙 17 mm 铅或 380 mm 混凝土、北墙 23 mm 铅或 560 mm 混凝土。

参 考 文 献

- [1] International Commission on Radiological Protection. Protection against ionising radiation from external sources used in medicine. ICRP Report 33. Oxford: Pergamon Press, 1982.
- [2] National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding and Evaluation for Medical Use of X-Rays and Gamma-Rays of Energies Up To 10 MeV, NCRP Report 49, NCRP, Bethesda, MD, 1976.
- [3] National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities, NCRP Report 147, NCRP, Bethesda, MD, 2004.
- [4] American National Standards Institute, Inc. For General Radiation Safety-Installations Using Non-Medical X-Ray and Sealed Gamma-Ray Sources, Energies Up to 10 MeV, ANSI/HPS N43.3, ANSI, 2008.
- [5] HMSO. Handbook of radiological protection, part 1; data. London: HMSO, 1971.
-