

# 砂对<sup>60</sup>Co $\gamma$ 射线的屏蔽性能

魏木水 陈新弟 李显明 黄凤才

(福建省放射卫生防护所, 福州 350001)

在防护实践中,砂层不仅对 $\gamma$ 射线有一定的屏蔽效果,而且屏蔽层的厚度增减十分方便,无需复杂的加工,河砂取材便利,成本较低廉。在辐射加工工业中,砂有希望成为一种较理想的屏蔽材料。为了解砂对<sup>60</sup>Co $\gamma$ 射线屏蔽性能,我们进行了实验。

## 1 实验原理

辐射屏蔽材料的最主要性能是能有效地减弱射线强度。屏蔽 $\gamma$ 射线的主要性能参数是材料的线性减弱系数 $U$ 和积累因子 $B$ 。 $\gamma$ 射线被厚度为 $X$ 的材料屏蔽前后的强度分别为 $I_0$ 、 $I$ ,它们的关系服从于下式:

$$I = I_0 \cdot B \cdot e^{-ux(1)} \quad (1)$$

当为窄束辐射时,积累因子 $B \approx 1$ ,光子经散射改变了方向就离开了入射束,而当作被“吸收”了,此时(1)式成为:

$$I = I_0 \cdot e^{-ux} \quad (2)$$

(2)式两边取对数,得到:

$$\ln I = \ln I_0 - ux \quad (3)$$

令 $Y = \ln I$ ;  $a = \ln I_0$ ;  $b = -u$ 则(3)式成为

$$Y = a + bx \quad (4)$$

(4)式为直线方程,因此可通过实验并借助于直线回归计算可求得线性减弱系数 $u$ 。

当积累因子 $B \neq 1$ 时,为宽束辐射。由于散射使得原入射束某些射线虽经散射,但仍未离开宽束范围;或经多次散射使得离开此宽束范围的射线又回到此宽束范围;或原不在宽束范围的射线被散射到此宽束范围来。可见,在同样屏蔽条件下,宽束辐射的减弱倍数低于窄束辐射。

由(1)式得:

$$B = I/I_0 \cdot e^{ux} \quad (5)$$

屏蔽前后的强度之比 $I_0/I$ ,为减弱倍数 $K$ ,即 $K = I_0/I$ 。减弱倍数的倒数 $I/I_0$ 为透射率系数,即 $\eta = I/I_0$ 。

知道了材料的线性减弱系数 $u$ 和屏蔽厚度 $x$ ,从透射率系数 $\eta$ 便可求得 $B$ 值。

## 2. 实验设备方法及结果

$\gamma$ 放射源为各向同性源<sup>60</sup>Co,活度为 $9.9 \times 10^6$ Bq (26.74mCi)。测量仪器为北京核仪器厂的FJ-367型通用闪烁探头和FH-408型自动定标器。为了测定 $u$ 本文设计了一套测量装置,<sup>60</sup>Co源置于铅室中心,射线束的张角 $30^\circ$ 为以保证屏蔽物都在张角之

内,达到宽束的近效果,放射源、准直孔、屏蔽材料的中心位置以及探头的中心点均通过激光调节在同一轴线上。

为了减少散射对实验结果的影响,整个装置放在离地面1.2米高的木质台面上,射线束朝向阔处。

用有机玻璃制成装砂的箱柜,每隔5cm为一格层,格板用活动的有机玻璃板,使用透明的有机玻璃使得激光准直定位十分方便而且可以观察到砂层装置是否夯实。

### 2.1 实验装置的可靠性验证:

#### 2.1.1 测量仪器的稳定性:

仪器的工作电压 $V = 300$ 伏,测得本底计数,10次计数均值为1160cpm,标准偏差为28cpm,变异系数(c.v)为2%。

2.1.2 实验装置的可靠性:通过此装置测量标准铅片对<sup>60</sup>Co $\gamma$ 射线的线性减弱系数 $u$ ,与国际目前公认的标准 $u$ 值进行比较,求得验证。

表1 实验装置可靠性测量结果

铅片厚度 (mm)	净计数 I (cpm)	I/I <sub>0</sub>
0	19269 (I <sub>0</sub> )	/
1	17803	0.9239
2	16810	0.8724
3	15411	0.7998
4	14511	0.7531
5	13745	0.7133
6	12961	0.6726
7	12121	0.6290
8	11301	0.5865
9	10637	0.5520
10	10050	0.5215

$$r = 0.9992 \quad u_{pb} = 0.6454 \text{cm}^{-1}$$

在<sup>60</sup>Co源与探头之间置有一准直孔的5cm厚的铅砖,在准直铅砖与探测器之间放置标准铅片,测量结果示于表1

### 2.2 窄束干砂和湿砂实验:

使用准直铅砖形成窄束条件。在做湿砂实验时将5cm厚的砂层装入塑料袋内注水,使之达到饱和即可。测量干、湿砂对窄束射线的屏蔽结果示于表2。

表 2 窄束射线对干、湿砂屏蔽结果

砂层厚度 (cm)	干 砂		湿 砂	
	净计数 (cpm)	I/I <sub>0</sub>	净计数 (cpm)	I/I <sub>0</sub>
0	19269 (I <sub>0</sub> )	/	69013 (I <sub>0</sub> )	/
5	14094	0.7314	39014	0.5547
10	9368	0.4861	22497	0.3095
15	6305	0.3272	13082	0.1698
20	4284	0.2223	7459	0.0863
25	2764	0.1434	4067	0.0346
30	1664	0.0863	2182	0.0086
35	969	0.0500		
40	533	0.0280		
45	38	0.0050		

表 3 宽束射线对干、湿砂屏蔽结果

砂层厚度 (cm)	干 砂			湿 砂		
	净计数 I (cpm)	I/I <sub>0</sub>	减弱倍数 K	净计数 I (cpm)	I/I <sub>0</sub>	减弱倍数 K
0	3167349 (I <sub>0</sub> )	/	/	3309060 (I <sub>0</sub> )	/	/
5	2831222	0.8939	1.119	2556232	0.7725	1.295
10	2299277	0.7259	1.378	1910407	0.5773	1.732
15	1885342	0.5952	1.680	1364231	0.4122	2.426
20	1454383	0.4592	2.178	950969	0.2874	3.480
25	1136929	0.3590	2.786	648250	0.1959	5.105
30	850709	0.2689	3.719	434993	0.1315	7.607
35	648716	0.2048	4.883	274867	0.0831	12.041
40	484272	0.1529	6.540	188279	0.0569	17.584
45	358630	0.1132	8.834	123480	0.0373	26.803
50	262373	0.0828	12.080	81311	0.0246	40.699
55	196636	0.0621	16.100	53108	0.0161	62.300
60				35467	0.0107	93.311
65				23152	0.0070	142.911
70				15205	0.0046	217.601
75				10164	0.0031	325.603
80				6448	0.0019	513.200

实验得到的干砂线性减弱的系数  $U_{干砂} = 0.1120\text{cm}^{-1}$ , 湿砂线性减弱系数  $U_{湿砂} = 0.1142\text{cm}^{-1}$ ,  $U_{湿砂} > U_{干砂}$ , 其原因主要是水的注入减少了砂的间隙的缘故。

比较表 2、表 3 的相同砂层厚度时 I/I<sub>0</sub> 值可以看出: 无论是干砂还是湿砂, 对宽束的屏蔽效果都低于窄束时的屏蔽效果。

辐照加工中, 对屏蔽物来说, 源都是呈宽束照射。同样都是宽束, 湿砂的屏蔽效果也比干砂的好, 当砂层厚度越大, 其差异也越大。另外, 就宽束而言, 湿砂的厚度越大, 对射线的减弱倍数增加得越显著, 如砂层厚度  $x_1 = 75\text{cm}$  和  $x_2 = 80\text{cm}$  厚度仅差 5cm, 其相应的减弱倍数是  $K_1 = 325.6$  和  $K_2 = 513.2$  详见表 3。

由于实验条件的限制砂层厚度及分层都有限,

$r_{干} = 0.9639$   $u_{干} = 0.1120\text{cm}^{-1}$  干砂密度 =  $1.505\text{g/cm}^3$

$r_{湿} = 0.9996$   $u_{湿} = 0.1142\text{cm}^{-1}$  水饱和湿砂容重 =  $1.792\text{g/cm}^3$

### 2.3 宽束干砂和湿砂实验:

测量湿砂与干砂的屏蔽结果比较, 示于表 3。

### 3. 讨论

利用本装置以及实验方法所得到的铅的线性减弱系数  $U_{Pb} = 0.645\text{cm}^{-1}$  与目前国际上通用的  $U_{Pb}^{(2)}$  值相同, 说明该装置, 方法的设计是合理的, 利用此装置得到的实验结果是可信的。

砂层厚度  $x$  与减弱倍数  $K$  的对应值也有限, 为此可利用  $x - I/I_0$  的对应值, 制作  $x - I/I_0$  关系曲线图, 以在屏蔽设计时参考。

我们使用的  $\gamma$  辐射源几乎是各向同性点源, 但在辐射加工中多使用平板源。所以在具体使用我们的实验结果的应注意辐射源的几何形状的不同造成的差别。

此外, 我们测量时探头距屏蔽材料的最近距离是 5cm, 这点在使用时也须注意。

### 参 考 文 献

- 1 江藤秀雄, 等著. 辐射防护. 北京: 原子能出版社, 1986 年。
- 2 李星洪, 等编. 辐射防护基础. 北京: 原子能出版社。

(1996 年 1 月 9 日收稿)