



中国机械工程学会无损检测分会 RT培训讲义

本讲义由学会常务委员 晏荣明 编写
(仅供参考)

中国机械工程学会无损检测分会 深圳市无损检测人员培训中心

电话：021-65550277

电话：13538291001

邮箱：chsndt2008@163.com

邮箱：

yanrongming@126.com

第八章 辐射防护

Chapter 9 Radiation protection

内 容

- 辐射量的定义、单位与标准
- 辐射测定方法和仪器
- 辐射防护的原则、标准和辐射损伤机理
- 辐射防护的基本方法和防护计算

辐射量的定义、单位与标准

- 描述电离辐射的常用辐射量和单位
- 描述辐射防护的常用辐射量和单位

描述电离辐射的常用辐射量和单位

- 照射量
- 比释动能
- 吸收剂量
- 照射量、比释动能、吸收剂量的关系

描述电离辐射的常用辐射量和单位 ——照射量

- 含义

表征X射线或 γ 射线对空气电离本领的大小。

- 定义

光子在单位质量空气中释放出来的所有次级电子，在空气中形成的离子的总电荷的绝对数。

描述电离辐射的常用辐射量和单位 ——照射量

照射量:

$$P = dQ / dm$$

SI单位: 库仑·千克⁻¹, C·kg⁻¹

专用单位: 伦琴, 1R=2.58×10⁻⁴C·kg⁻¹

照射量率:

$$\dot{P} = dP / dt$$

SI单位: 库仑·千克⁻¹·秒⁻¹, C·kg⁻¹·s⁻¹

专用单位: 伦琴/秒。

描述电离辐射的常用辐射量和的单位 ——比释动能

- 过程：
射线与物质作用，能量转移分两个阶段：将射线的能量转移给次级电子；次级电子通过电离、激发转移给物质。
- 含义——只适用于X射线、 γ 射线
描述不带电粒子转移给带电粒子的能量多少（第一阶段）
- 定义
不带电粒子与物质相互作用，在单位质量的物质中释放出来的所有带电粒子的初始动能的总和。

描述电离辐射的常用辐射量和的单位 ——比释动能

比释动能:

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

SI单位: 焦耳/千克, J/kg

特定名称: 戈[瑞], Gy, 1Gy = 1J/kg

比释动能率:

$$\dot{K} = dK / dt$$

SI单位: 戈瑞/秒, Gy/s

描述电离辐射的常用辐射量和的单位 ——吸收剂量

- 含义——适用于所有辐射
表征受照物体吸收电离辐射能量程度（第二阶段）。
- 定义
任何电离辐射，授予单位质量的平均能量。

描述电离辐射的常用辐射量和的单位 ——吸收剂量

吸收剂量:

$$D = d\bar{\varepsilon}/dm$$

SI单位: 与比释动能相同, 焦耳/千克, J/kg

特定名称: 戈[瑞], Gy, $1\text{Gy} = 1\text{J/kg}$

吸收剂量率:

$$\dot{D} = dD / dt$$

SI单位: 与比释动能相同, 戈瑞/秒, Gy/s

描述辐射防护的常用辐射量和单位

- 当量剂量

相同的吸收剂量，对机体产生的生物效应不同，用一个与辐射种类和射线能量有关的因子对吸收剂量进行修正——辐射权重因子 W_R ，用辐射权重因子修正后的吸收剂量叫当量剂量。

$$H_{T.R} = D_{T.R} W_R$$

SI单位：与吸收剂量相同，焦耳/千克，J/kg

专用名称：希沃特 (S_V), $1S_V = 1J/kg$

辐射测定方法和仪器

- 辐射监测的内容和分类
- 个人剂量监测仪器

辐射监测的内容和分类

- 工作场所辐射监测
- 个人剂量监测

工作场所辐射监测

- 透照室内辐射场分布测定
- 周围环境剂量场分布测定
- 控制区和监督区计量场分布测定
控制区：要求采取专门的防护手段和安全措施，
监督区：不要求采取专门的防护手段和安全措施，
但是要不断检查。

工作场所辐射监测

控制区：要求采取专门的防护手段和安全措施，
以空气比释动能率低于 $40\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 为边界。

监督区：X射线检测： $>4\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$
 γ 射线检测： $>2.5\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$

个人剂量监测

GB18871-2002 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定个人剂量监测的情况：

- 任何在控制区的工作人员，职业照射量可能大于**5mSv/a**的人，应进行监测；
- 在监督区的工作人员，**1-5mSv/a**，应尽可能进行监测；
- 如可能，对所有受到职业照射的人员均应进行个人监测。**<1mSv/a**者不必监测。

个人计量监测仪器 ——个人剂量笔

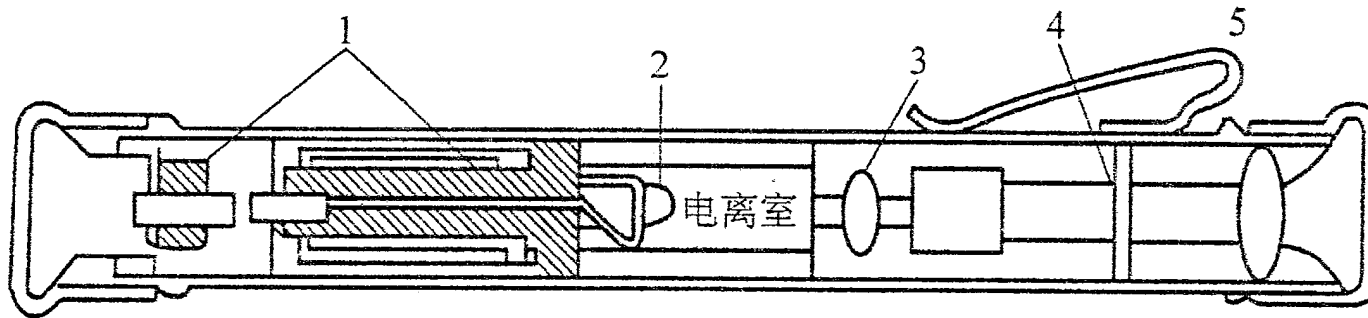


图 7—1 个人剂量笔

1—绝缘体 2—可动纤维 3—物镜 4—刻度 5—目镜

个人计量监测仪器 ——热释光剂量计

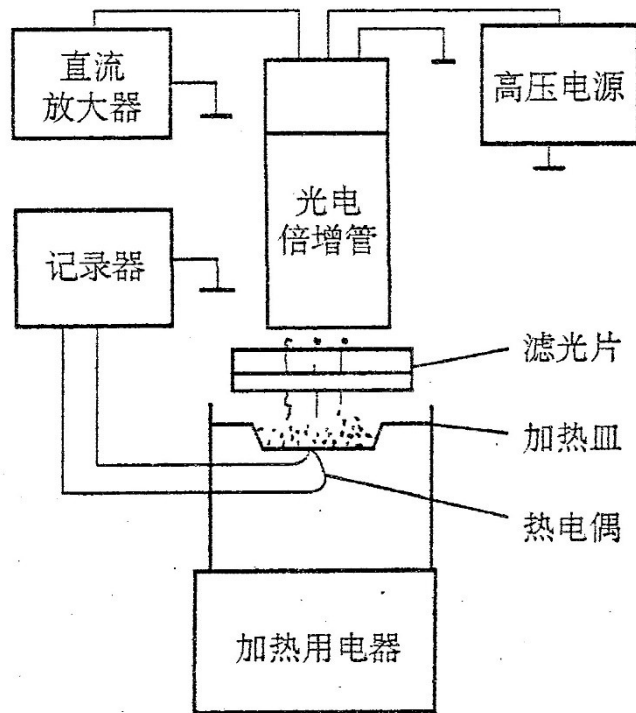


图 7—2 热释光剂量计

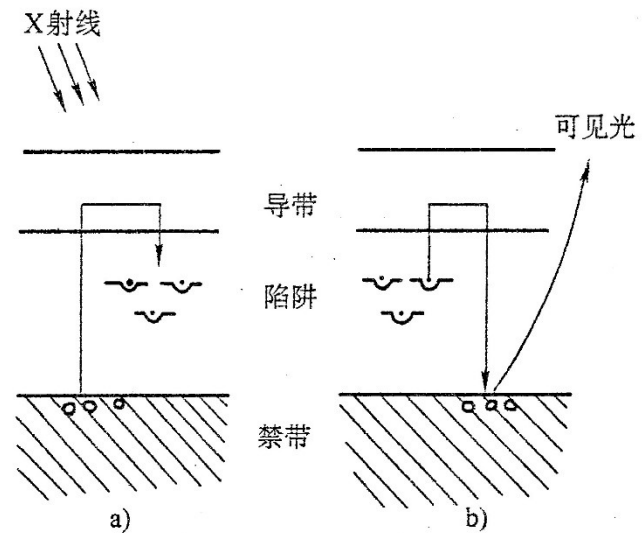


图 7—3 热释光剂量计的工作原理

a) 受照 b) 加热

辐射防护的原则、标准和辐射损伤机理

- 辐射防护的目的和基本原则
- 剂量限值规定
- 辐射损伤的机理

辐射防护的目的和基本原则

防护的目的和原则基于以下事实：

- 电离辐射是不能完全避免的，因此盲目增加防护成本是没有意义的；
- 电离辐射所致的随机性效应是“线性无阈”的因此应避免任何不合理的照射。

辐射防护的目的和基本原则

- 辐射实践的正当化——辐射的危害与获得的利益相比是可以接受的；
- 辐射实践的最优化——应当避免一切不必要的照射；
- 个人剂量限值——应对个人所受的照射加以限制。

计量限值规定

——职业照射剂量限值

GB18871-2002 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》：

计量限值规定

——职业照射剂量限值

任何个人不得超过

- 连续5年的年平均有效剂量，20mSv；
- 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- 眼晶体的年当量剂量，150mSv；
- 四肢或皮肤的年当量剂量，500mSv；

计量限值规定

——职业照射剂量限值

16-18岁的学徒工或学生

- 年有效剂量，50mSv；
- 眼晶体的年当量剂量，50mSv；
- 四肢或皮肤的年当量剂量，15mSv.

计量限值规定

——公众照射剂量限值

- 年有效剂量，1mSv；
- 眼晶体的年当量剂量，15mSv；
- 特殊情况下，如果连续5年的年平均有效剂量不超过1mSv，则某一单一年的有效剂量可提高到5mSv；
- 皮肤的年当量剂量，50mSv；

辐射损伤的机理

——确定性效应

- 定义：射线照射人体全部或局部组织，若能杀死相当数量的细胞，而这些细胞又不能由活细胞的增殖来补充，可在组织或器官中产生临床上可检查出的严重功能性损伤。
- 存在一个阈值。

辐射损伤的机理

——随机性效应

- 定义：电离辐射的有害效应的严重程度与受照射的大小无关，但其发生的概率随剂量的增加而增大。
- 无剂量阈值。
- 分为：致癌效应、遗传效应。

辐射防护的基本方法和防护计算

- 辐射防护的基本方法
- 辐射量的计算
- 防护计算
- 屏蔽防护常用材料

辐射防护的基本方法

- 时间防护
- 距离防护
- 屏蔽防护

辐射防护的基本方法——时间

- 剂量=剂量率×时间
- 措施：动作迅速；几个人轮换作业。

辐射防护的基本方法——距离

- 照射剂量或照射剂量率与距离的平方成反比。

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2} \text{ 或 } D_1 R_1^2 = D_2 R_2^2$$

- 措施：尽量增大人和射线源间的距离；任何情况下不得直接用手抓取射线源。

辐射防护的基本方法——屏蔽

- 屏蔽方式
- 屏蔽材料

辐射量的计算

照射量与居里的关系式:

$$P = AK_{\gamma} t / R^2$$

式中:

P——照射量, R;

A——放射性活度, Ci;

K_{γ} —— γ 常数, $R \cdot m^2 (h \cdot Ci)$;

R——到点源的距离, m;

t——照射时间, h。

辐射量的计算

表 7—5

常见 γ 源的 K_γ 常数

γ 源名称	K_γ [$R \cdot m^2 / (h \cdot Ci)$]	K_γ [$\times 10^{-16} C \cdot m^2 / (kg \cdot h \cdot Bq)$]
Co60	1.32	92
Cs137	0.32	22.3
Tm170	0.001 4	0.097
Ir192	0.472	32.9
Se75	0.20	13.9

防护计算——时间防护

例：已知辐射场中某点的剂量率为 $50\mu\text{Sv/h}$ ，在不超剂量限值的情况下，工作人员每周可从事工作多长时间？

解：放射性工作人员年剂量限值为 50mSv ，一年工作时间按50周计算，每周的剂量限值为：

$$50\text{mSv}/50=1\text{mSv}=1000\mu\text{Sv},$$

$$\therefore P = \overset{?}{P} t$$

$$1000 = 50t$$

$$\therefore t = 20h$$

答：每周可以工作20小时。

防护计算——距离防护

例：距离一个特定的 γ 源2米处的剂量率是 $400\mu\text{Sv/h}$ ，
在距离源多远处的剂量率为 $25\mu\text{Sv/h}$ ？

解：

$$\because D_1 R_1^2 = D_2 R_2^2$$

$$\therefore R_2 = 8\text{m}$$

答：距离源8米处的剂量率为 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

防护计算——屏蔽防护

例：将Co60照射量率减少到1/2000，
所需铅防护层厚度是多少？

解：

$$\because \frac{I_0}{I} = 2000 = 2^n$$

$$\therefore n = \lg 2000 / \lg 2 \approx 11$$

查表可得： $T_{1/2} = 1.06cm$

所需厚度为： $T = nT_{1/2} = 11 \times 1.06 = 11.7(cm)$

答：所需铅防护层厚度为11.7厘米。

防护计算——屏蔽防护

表 7—6

γ 射线的半价层 $T_{1/2}$ 的厚度值

cm

γ 射线能量 (MeV)	屏蔽物质			
	水	水泥	钢	铅
0.5	7.4	3.7	1.1	0.4
0.6	6.0	3.9	1.2	0.44
0.7	8.6	4.2	1.3	0.59
1.1	10.6	5.2	1.6	0.97
1.2	11.0	5.5	1.6	1.03
1.3	11.5	5.7	1.7	1.1

防护计算——屏蔽防护

表 7—7 强衰减、宽 X 射线束的近似半价层厚度 $T_{1/2}$ 和 1/10 价层厚度 $T_{1/10}$

峰值电压 (kV)	$T_{1/2}$ (cm)		$T_{1/10}$ (cm)	
	铅	混凝土	铅	混凝土
50	0.006	0.43	0.017	1.5
70	0.017	0.84	0.052	2.8
100	0.027	1.6	0.088	6.3
125	0.028	2.0	0.093	6.6
150	0.030	2.24	0.099	7.4
200	0.052	2.5	0.17	8.4
250	0.088	2.8	0.29	9.4
300	0.147	3.1	0.48	10.9
400	0.250	3.3	0.83	10.9
500	0.360	3.6	1.19	11.7
1 000	0.790	4.4	2.6	14.7

防护计算——屏蔽防护

例：离250kVX射线机一定距离测得的照射率为200mR/h，若要将该点的照射率降低为10mR/h，试计算所需混凝土屏蔽厚度。

$$\text{解：}\dot{P}_1 / \dot{P}_2 = 200 / 10 = 20 = 2^n$$

$$n = \lg 20 / \lg 2 = 4.3$$

$$T_{1/2} = 2.8 \text{ cm},$$

$$\text{所需厚度为：} T = nT_{1/2} = 4.3 \times 2.8 = 12(\text{ cm})$$

答：所需混凝土屏蔽厚度为12厘米。

屏蔽防护常用材料

——对屏蔽材料的要求

- 防护性能
- 结构性能
- 稳定性能
- 经济成本

屏蔽防护常用材料

——常用屏蔽防护材料

- 铅
- 铁
- 砖
- 混凝土