

CTLD-350 型热释光剂量仪读出器剂量刻度方法

北京瑞福特辐射测量仪器有限公司

概述: 热释光探测器在读出器上的读数值是一相对值, 该结果转换成剂量值需进行剂量刻度。这里所说的剂量刻度是指要确定待刻度探测器、剂量计对一系列已知辐射值 (或刻度标准值) 的响应或读数。



刻度剂量计一般采用标准源或已知辐射场 (如辐射场是未知的, 可用基准仪器, 次级标准仪器或参考标准仪器测出辐射场中刻度处的剂量率) 来刻度。对于一些稳定性和重复性较差的辐射源 (如加速器、X 光机等), 通常需要用一台监督仪器校正辐射场变化的影响。

1 刻度源

刻度源按其辐射水平分为环境、防护、治疗和处理水平四级 (表 1)。

表 1 辐射水平剂量表

辐射水平	剂 量 范 围	
	$C \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	$R \cdot \text{h}^{-1}$
环 境	$2.58 \times 10^{-10} \sim 2.58 \times 10^{-7}$	$10^{-6} \sim 10^{-3}$
防 护	$2.58 \times 10^{-7} \sim 2.58 \times 10^{-2}$	$10^{-3} \sim 10^2$
治 疗	$2.58 \times 10^{-2} \sim 2.58$	$10^2 \sim 10^4$
处 理	$2.58 \sim 2.58 \times 10^3$	$10^4 \sim 10^7$

1.1 β 刻度源 β 刻度源一般以离源表面一定距离处的吸收剂量率表示。在空气中表面吸收剂量率可采用外推电离室测得。用于剂量刻度的 β 源见表 2。

表 2 国际标准化组织推荐的 β 辐射刻度源

核素	半 衰 期	β 谱的最大能量 (MeV)	放出的其他主要辐射
----	-------	----------------------	-----------

^{14}C	5730a	0.156	无
^{147}Pm	2.62a	0.225	γ 0.12MeV, 0.01% SmX 射线
^{204}Tl	3.78a	0.763	HgX 射线
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	28.5a	0.546t 2.274	无
$^{106}\text{Ru}-\text{Rh}$	369d	0.039t 3.54	$^{106}\text{Rh} \gamma$ 0.512MeV (21%) 0.622MeV (11%) 1.05MeV (1.5%) 1.13MeV (0.5%) 1.55MeV (0.2%)

一个良好的源应提供有关衬底材料和反散射。小面积 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 或 ^{147}Pm 源可作为一个“点”源。

1.2 X、 γ 辐射刻度源

1.2.1 X 辐射刻度源

刻度用的 X 辐射源可以用过滤和荧光技术方法得到。过滤方法是利用一台恒压 X 射线机产生所需要的经过过滤的准直初级 X 射线束；荧光方法是利用同一非过滤的初级 X 射线束激发不同元素(辐射体)的荧光 X 射线。图 2 和图 3 给出过滤 X 射线和荧光 X 射线装置的示意图。

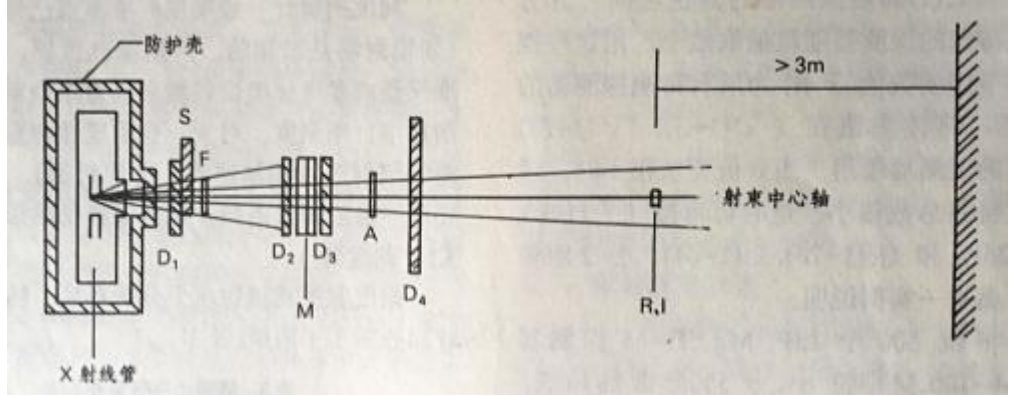


图 2、过滤 X 射线刻度装置示意图

D_1 -初级光阑, D_2 -限束光阑, D_3 和 D_4 -屏蔽光阑, S-快门, F-过滤器, M-监督电离室, A-测半值层用的吸收器, R-标准电离室, I-待刻度仪表的电离室。

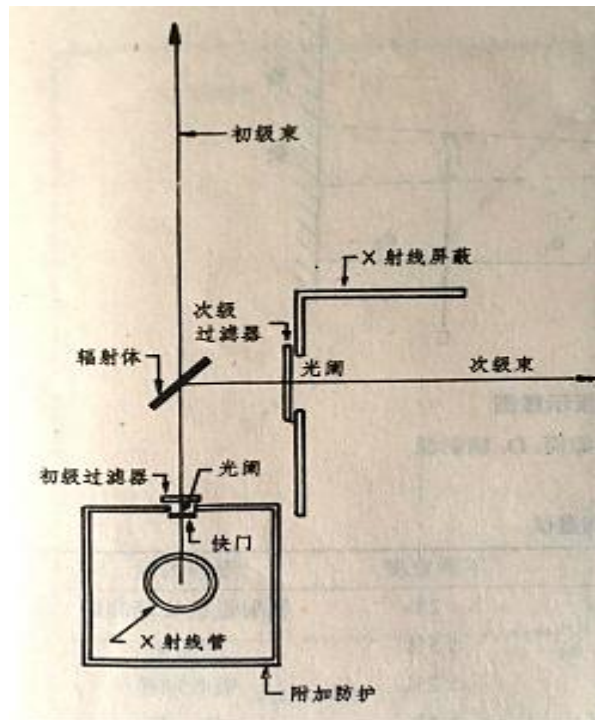


图 3、K 荧光 X 射线刻度装置示意图

经过滤和荧光辐射的刻度源，可以通过快门随意接通或断开，对于给定能谱的辐射可以通过调节电流或改变距离来控制其照射量率。其缺点是射束输出量的稳定性较差，源或激发电压、电流、管发热(或老化)的微小变化，都可能显著改变输出量或辐射谱。为了保持 X 射线机工作所要求的电压，应有专设的测高压设备，而不能只依靠测量变压器的初级电压；电流控制和测量也应考虑，随着 X 射线管的老化，要定期检查其性能，如焦外辐射，有效初始过滤等。

1.2.2 γ 刻度源 用于剂量刻度的辐射源见表 3。

表 3 国际标准化组织推荐的辐射源

核 素	辐射能量 (KeV)	半衰期 (a)	照射量率常数*	
			C. $\text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1}$	(R. $\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Ci}^{-1}$)
^{60}Co	1173.3	5.272	0.913×10^{-14}	1.31
	1332.5			
^{137}Cs	661.6	30.1	0.234×10^{-14}	0.336
^{241}Am	59.54	433	0.906×10^{-16}	0.013

* 照射量率常数只适用于未加屏蔽的点源。

辐射源可以使用准直或非准直的几何条件。ISO 4037 标准推荐的照射室和准直器的结构见图 4。

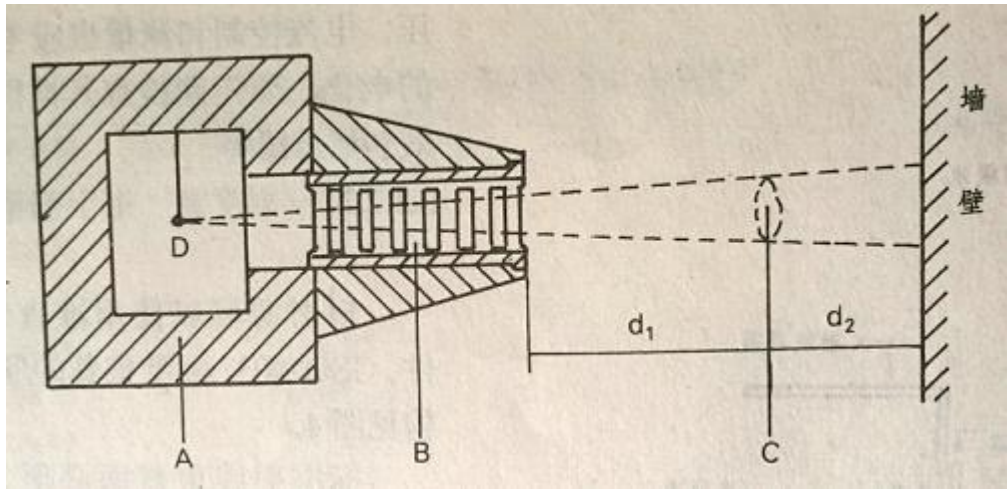


图 4、照射室、准直器装置示意图

A. 屏蔽层 B. 准直器 C. 射线束截面 D. 辐射源

标准射线束截面必须大于被照射的探测器；距离 d_1 必须大于或等于 30cm；距离 d_2 必须足够大，使得在不同的照射距离下，与源包壳无关的散射贡献不超过总照射量率的 5%。

辐射源的标定，最好以某一特定距离上的照射量率表示，并需对其衰变进行修正。在给定的刻度条件下，源产生的辐射场应符合反平方定律。因为当源或探测器的几何尺寸与源至探测器的距离属同一数量级，或者刻度场所与刻度支架的散射辐射及辐射在空气中的减弱很大时，辐射场将不符合反平方定律。

2 刻度仪器

按照辐射种类的不同，计量仪器有测量 X 射线的自由空气电离室，测量 γ 射线的空腔电离室，测量 β 射线的外推电离室等(表 4)。

表 4 辐射剂量标准测量仪

仪 器	辐射类型	能量范围	准确度	测量的量
伦琴计	X 和 γ 射线	30 至 1300keV	$\pm 2\%$	照 射 量
自由空气电离室	X 射线	$\leq 100\text{keV}$	$\pm 5\%$	照 射 量
外推电离室	β 射线	50keV 至 3MeV	$\pm 2\%$	吸收剂量
精密长计数器	中 子	0.5eV 到 16MeV	$\pm 5\%$	通 量
活化金箔	中 子	热 能	$\pm 2\%$	通 量

为了减少刻度时的散射辐射，刻度机械装置应采用低原子序数的材料。

3 刻度方法

根据探测器的能量响应确定辐射源，对能响依赖性小的探测器，可在不同类型的辐射场中刻度。对某些能量响应大的剂量计，则要求刻度辐射场与实测辐射场的能谱尽可能接近，剂量率和累积剂量的范围也应相仿。对混合辐射场中使用的剂量计应该对混合场中各辐射组分分别刻度，例如，用于 $n-\gamma$ 混合场的 γ 剂量计，首先应刻度其 γ 响应，这就要求用一个与混合场中 γ 组分的能谱类似的 γ 辐射场刻度，然后还要用一能谱类似的已知中子场，或用一个已知成分的 $n-\gamma$ 混合场来刻度剂量计。

下面介绍几种刻度剂量计的方法。

剂量计刻度通常采用曲线、单点剂量和自身刻度法。探测器刻度方法的选择可根据具体情况而定。曲线刻度法所用探测器较多，一般要多个点（每点 3-5 个探测器）。如留不出这么多探测器，则可采用单点剂量刻度法，此方法要求刻度剂量范围在探测器的剂量线性范围内。如无刻度探测器，则可采用自身刻度法对探测器进行刻度。一般多采用曲线刻度法。在实际操作时，除留刻度用探测器外，还要留出本底探测器。刻度探测器和本底探测器的灵敏度应和实验探测器的一致，即为同一组探测器。

3.1 刻度曲线法（探测器的发光值与辐照剂量的关系） 在剂量范围较大或在探测器的非线性区（亚线性和超线性）使用的情况下，应采用此方法刻度剂量计，根据剂量计的使用剂量确定刻度曲线的辐照剂量范围。举例说明如下。

取一组探测器做为刻度探测器，探测器的剂量范围为 $1 \times (10^{-5} \sim 10^{-2})$ Gy，将探测器分为 6 组分别照射不同剂量，测后将结果做在坐标纸上（图 5）。

用最小二乘法处理得出公式：

$$X = (Y + 18.297) / 0.429$$

式中 X 为待求剂量值， Y 为探测器的读数值。佩带剂量计受照剂量可通过其读数值直接从刻度曲线上查出，也可以用公式求出。

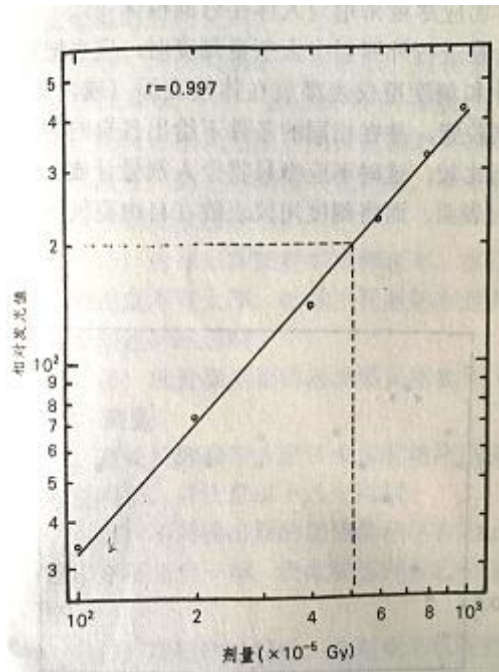


图 5、LiF: Mg, Ti 探测器剂量响应曲线

3.2 单点剂量刻度法 单点剂量刻度法的具体操作为,将探测器照射一剂量(该剂量可根据佩带剂量计受照剂量的估计值确定,如剂量范围较大则可取一平均值),测后用下式对佩带剂量计进行刻度。

$$D=N_2/(N_1/D_1) \quad (2)$$

式中:

D: 佩带剂量计受照剂量;

D₁:刻度探测器受照剂量;

N₁:刻度探测器读出值(平均值);

N₂:佩带剂量计的读出值(平均值)。

上式可改写为:

$$D=N_2 \cdot K \quad (K=D_1/N_1)$$

使用此法刻度剂量计要求准确的刻度剂量(D₁),否则将给测量结果带来较大误差。

3.3 自身刻度法 在实际工作中可能会碰到只有佩带剂量计而没有刻度探测器的情况,在这种情况下可采用探测器自身刻度。其具体作法是:将佩带剂量计的探测器测后退火,做为刻度探测器,根据具体情况采用上述二种方法来刻度剂量计。采用此法刻度剂量计时,要严格控制探测器的退火条件。该方法的误差来源于探测器的重复使用性能。