

CTLD-350 型热释光剂量仪相对发光值的实验

(北京瑞福特辐射测量仪器有限公司)

咨询电话: 13681124422 010-68177525

概述: CTLD-350 型热释光剂量仪相对发光值取决于使用探测器的类型, 不同探测器的发射光谱是不同的, 测量时应注意探测器发射光谱与所用读出器的光电倍增管吸收光谱匹配的问题。参考光源的发射光谱最好与所使用探测器的发射光谱相近似, 但这对一些采用多种热释光探测器的用户来讲是很难做到的。这也是造成文献报道探测器剂量特性差别的一个主要原因之一; 探测器应经过筛选, 严格控制退火条件, 测量参数要优化确定; 剂量刻度源的辐射种类和能谱应与所测量的尽量一致, 并须按照国家标准规定的要求刻度, 文中介绍了几种热释光剂量仪相对发光值的实验方法。为达到上述质量要求, 提出了应采取的方法和措施。

关键词 相对发光值; 光源; 剂量刻度; 能量鉴别; 辐射剂量; 退火

热释光剂量测量的精度与读出器的性能有着密切的关系。而读出器的性能和参考光源、高压稳定度, 光学系统、加热盘的性能和测量气氛等因素有关。

1.1 参考光源

参考光源用于校正读出器的灵敏度, 需要用一个恒定的参考光源置于测量时探测器所处位置, 对读出器的灵敏度进行控制。在每次读数以前或间隔一定时间由操作人员完成, 或由控制系统自动完成。

CTLD-350 型热释光剂量读出仪采用英国进口光源, 参考光源该光源具有发光均匀、性能稳定等特点。

不同探测器的发射光谱是不同的, 测量时应注意探测器发射光谱与所用读出器的光电倍增管吸收光谱匹配的问题。参考光源的发射光谱最好与所使用探测器的发射光谱相近似, 但这对一些采用多种热释光探测器的用户来讲是很难做到的。这也是造成文献报道探测器剂量特性差别的一个主要原因之一。

1.2 光学系统

参考光源具有确定的发射光谱, 当参考光源的光在到达光电倍增管之前, 要通过滤光片和透镜组成的光路, 这个光路对不同波长的光有不同的透射系数。光谱透射系数的不稳定性, 以及在使用过程中由灰尘和有机氧化物引起的表面污染导致透射系数的变化, 使得参考光源的读数要减小。为了补偿参考光源读数的减小, 通常采用增加光电倍增管高压的办法。这样做对那些热释光发射光谱与参考光源光谱相一致的探测器可认为是适当的, 而对那些发射光谱与参考光源光谱差别较大的探测器则将导致较大的误差。其原因是透射系数的选择性, 即它在整个谱域中的非线性变化。因此应保持光路的清洁, 在光路和探测器之中加隔热玻璃和通惰性气体是较有效的措施。

1.3 高压

多数光电倍增管的光谱响应将随着高压的变化而漂移, 并且探测器的灵敏度显著依赖于光电倍增管的高压。因此需要在调整高压以后进行重复校准, 以确保读出器的高压具有较高的稳定度(0.05%)。

1.4 加热盘

加热盘表面的光学性质对热释光信号的测量有一定的影响。这是由于到达光电倍增管的热释光的一部分来自加热盘表面的反射光的缘故。这种反射光成分会随着加热盘表面反射性能的变化

而变化。使用永久性的加热盘，例如由贵重的铂做成的加热盘，可以减小误差。为了避免这种误差，可采用热气(空气、氮气)、激光加热等技术。采用这些加热技术可使热释光探测器加热盘上位置的不一致引起的误差(可达 10%以上)变小。

1.5 气氛

对热光探测器低辐射水平的测量，可在惰性气体(氮气、氩气)的气氛中测量，采取这种措施可以减小或消除加热盘表面热致化学发光。人们发现在温度坐标轴上，发光曲线的位置以及探测器多次使用中的精度都依赖于读出气氛的选择。例如，在干燥氩气中读出与在干燥氮气中读出相比，其测量温度应尚高一些。

2、CTLD-1000 型热释光探测器发光曲线测量

2.1 测读参数

热释光剂量测定值(N_n)受测量条件诸多因素的影响，因此优化测读参数是至关重要的。测量参数和探测器的类型、规格等因素有关，通常有厂家提供。考虑到所用读出器的差别，用户可参照厂家提供的测量参数适当进行调整，以保证探测器工作在最佳测量条件。其方法如下：

在某一加热速率下测量读出器的加热曲线(图 1 曲线 A)，在同一条件下测量探测器的热释发光曲线(图 1 曲线 B)。

图 1、探测器加热及热释发光曲线
A:程序加热曲线 B:热释发光曲线

图中 T_1 为预热温度； t_1 为预热时间，该值应选择在低温峰和剂量测定峰连接的最低处； T_2 为测量温度； t_2 为测量时间，该值应选择在测定峰下降的最低处，并使测定峰呈对称状， t_2 值不易太长。表 1 示给出了几种探测器的测量参数。表中 V 为加热速率。

表 1 CTLD 系列热释光探测器测量参数

名 称	型 号	测 量 参 数				
		$T_1(^{\circ}\text{C})$	$t_1(\text{s})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$t_2(\text{s})$	$V(\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$
LiF:Mg, Ti	CTLD-100	140	20	240	20	20
LiF:Mg, Ti-M	CTLD-100M	140	20	240	20	20
LiF:Mg, Cu, P	CTLD-1000	140	20	240	25	20
CaSO4:Dy 聚四氟乙烯	CTLD-10	150	25	300	35	20

注:不同厂家推荐的测量参数有一定的差别。

2.2 退火

CTLD-1000 型热释光探测器在使用前，要进行退火处理，热释光探测器的退火分为照前和照后退火。照前退火目的是：(1)消除探测器的本底剂量和残余剂量(测后或放置一段时间后残余和产生的剂量)；(2)恢复探测器的初始灵敏度，使深陷阱中的电子放出来，以消除辐照敏化引起的灵敏度增高的现象；(3)恢复探测器发光曲线的形状。照后低温退火的目的是：消除低温峰，减小低温峰对测定峰的影响。提高测量精度，缩短测量周期。照后退火多用于大批量探测器的测量中。

热释光材料的灵敏度和发光曲线的形状与退火的条件有关。不同类型的热释光探测器由于其

发光曲线的不同，其退火条件不同，即使是同一类探测器，由于制备工艺的不同，其退火条件也有差异。

2.2.1 退火参数 表 2 给出了几种热释光探测器的退火条件。

表 2、几种热释光探测器热处理条件

探 测 器	退 火 炉		读 出 器	
	温度(℃)	恒温时间(min)	温度(℃)	时间(s)
LiF:Mg, Ti	400	60	400	30
	100	120		
LiF:Mg, Ti-M	290	30	290	30
LiF:Mg, Cu, P	240	30	240	30
CaSO ₄ :Dy/Tm	380(400)	30(10)	400	30
CaF ₂	400	10	400	20
Mg ₂ SiO ₄ (Tb)	500	30		
LiF:Mg, Ti (聚四氟乙烯)	300	60	300	30
	100	120		

注:不同厂家推荐的退火参数有所不同。

探测器退火时，要严格控制退火温度、恒温时间、探测器的冷却速率和退火温度的均匀性。

在实际使用时，需使用专用热释光探测器退火炉对探测器进行退火。其优点是：能够保证退火条件的均匀性和温度的确性。使用烤箱退火时，要使探测器和温度计保持同一水平位置，并应对这一位置的温度进行标定。对小剂量照射的探测器，在探测器较少的情况下，也可采用在测量的过程中进行退火。对退火温度比较高的探测器不宜使用此方法。以免影响读出器加热系统的性能及使用寿命。采用读出过程退火的效果比用专用退火炉的效果要差一些。在探测器比较多的情况下，不宜采用这种方法。

2.2.2 冷却速率的确定 探测器的退火冷却速率对探测器的灵敏度、发光曲线的形状和探测器的一致性等有影响。不同探测器受冷却速率的影响程度有所不同。一般多使用速冷方式对探测器进行退火冷却。

2.2.3 退火托盘的选择 用于放置探测器的托盘的材料对探测器的灵敏度有一定的影响，采用铝和不锈钢托盘的退火，效果是基本一致的。采用不锈钢托盘退火，易使探测器变黄，其影响程度和退火温度有密切关系；采用紫铜和陶瓷托盘退火，探测器的灵敏度比用铝和不锈钢托盘的灵敏度要低一些，紫铜托盘在高温(400℃)下其表面易发生氧化。因此，紫铜托盘不能直接用于探测器的退火。以上结果表明，探测器退火托盘采用铝合金材料较为合适。

2.3 探测器的筛选

同一批探测器在相同的退火、照射、测量条件下给出的一致性(均匀性)结果有一定程度的差别。衡量这一差别的指标是探测器“分散性”，实际上是探测器的制作工艺、退火条件、照射、使用条件和测量仪器等因素的误差的综合反映。

探测器的分散性和辐射剂量有一定的关系。筛选探测器时，首先要确定辐射剂量。在辐射剂量小于 10⁻³Gy 时，探测器分散性随着剂量的减小而迅速增大；在辐射剂量为 10⁻³Gy-1Gy 剂量下，分散性和剂量基本无关。一般而言，辐射剂量的选择要考虑到读出器的灵敏度和探测器的灵敏度，使其在读出器上的计数不要太小，一般在二三百个计数较为合适。在这一原则下，探测器的辐射剂量要尽可能的小一些。

探测器的分散性可根据不同测量要求确定。一般来讲,对个人剂量监测用的探测器,分散性按 5-10%筛选是合理的。对一些特殊要求,如体内剂量分布测量则要求探测器的分散性小于 $\pm 2\%$ 。在实际测量时,应根据实验所要求的测量精度确定探测器分散性。探测器分散性通常用算术平均误差或标准误差的方法来表示。下面介绍一种用标准误差筛选探测器的方法。

根据统计学原理,标准误差 σ 与算术平均偏差 δ 的关系如下:

$$\sigma = 0.8 \delta \quad (1)$$

根据式(1)确定探测器的筛选区间。其方法为从待选的探测器随机抽取数个,用这些探测器的平均读数值(放 X 的)作为所有待测探测器的平均值,将读出值在 $(\bar{X}(1-\delta), \bar{X}(1+\delta))$ 区间内的探测器录用。当 δ 值要求很小时,录用的数目占总数的比例也很小,这时可再按 $(\bar{X}(1+\delta), \bar{X}(1+2\delta))$ 和 $(\bar{X}(1-2\delta), \bar{X}(1-\delta))$,分 2 组录用。下面举一实例说明:

将一批 500 个 LiF:Mg, Ti-M 探测器 (CTLD-100M) 按 $\sigma \leq \pm 5\%$ 分散性筛选。首先将探测器退火,在 ^{60}Co 源上照射一剂量,读出后随机抽取 50 个探测器的读出值,求出平均值 $\bar{X} = 5943.9$,按式(1)计算。当 $\sigma \leq \pm 5\%$ 时, $\delta \leq \pm 6.3$ 则选片区间为 $(5943.9(1-0.063), 5943.9(1+0.063))$,即 5592.4-6306.4,落在此区间的占 96.4%,为了充分地利用探测器,可再定出 5235.5-5592.4 和 6306.4-6663.3 两个区间,落在这两个区间的分别占 1.8% 和 0.2%,余下的 1.6% 因响应过高或过低不予采用。

总结:在 **CTLD-350 型热释光剂量读出器**较稳定时,筛选探测器时也可采用随机抽取几个探测器测量,求出一平均值,计算出各筛选区间,对其进行分组。

在探测器的性能实验中观察到,探测器筛选分组后,再次测量时有的分散性超出原指标。这种分散性的变化和探测器的剂量特性(灵敏度变化的一致性)、读出器的稳定性、辐射场的剂量均匀性、探测器放置在加热盘上的位置(采用电加热方式测量的读出器)及测量和退火条件等因素有关,为了确保测量结果的可靠性要严格控制以上各个环节。