

热释光个人剂量计在放射卫生防护监测中的应用

韦志光

中图分类号: R144 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2007)03-0383-02

热释光个人剂量监测是放射防护监测中的一项重要内容,是了解放射工作人员的剂量情况,及时发现防护薄弱环节的重要手段;是客观评价放射工作场所防护水平、管理水平以及放射病诊断、治疗的重要科学依据。掌握热释光剂量计的基本原理,加强质量控制,规范个人剂量监测技术是提供可靠放射卫生防护监测数据的重要保证。我国从 1985年开始在全国普遍采用热释光剂量计开展对放射工作人员的个人剂量监测。

1 热释光剂量计发展概况及基本原理

现代化学的奠基人 Robert Boyle 早在 300 多年前(1663 年)就发现了热释光并研究了金刚石热释光现象^[1]。到 1928 年 Lind 在《 α 粒子的化学效应》一书中总结了各种玻璃在 X 或 γ 射线照射下的颜色以及随后加热引起的光发射。以后陆续有人对热释光材料进行研究。热释光实用技术的研究,始于 20 世纪 40 年代末和 50 年代初。第一次成功地将热释光用于剂量测量是在 1953 年,当时用氟化锂测量原子武器爆炸后的辐射剂量,60 年代以后,随着计算机的普遍使用,热释光实用技术才得到迅速发展。

热释光剂量计是固体剂量计的一个分支,其原理是:某些材料经过放射线照射后形成的电子和空穴,被陷阱能级俘获而处于亚稳态^[1,2]。将这些材料加热,电子或空穴即可获得足够能量而从陷阱能级中逸出,然后复合返回基态能级。在复合过程中的能量差即以光子形式释放出来。其发光总和或发光强度在一定范围内与受照射的剂量成正比。因此,这些材料受放射线照射后,对它加热到适当温度,测其发光总和或发光强度,形成不同的热释光峰,这些峰加起来形成曲线,与此相对应的就是射线剂量,更仔细地分析发光曲线可以得出更为复杂的谱形^[3]。热释光剂量计具有体积小、重量轻、灵敏度高、量程范围宽、测量精度高、能量响应好、可测 β 、 γ 、X、 n 等多种射线,受环境的影响小,并可多次重复使用等优点,因而受到世界各国有关方面的重视,有取代胶片剂量计,玻璃剂量计的趋势,成为一种重要的累积剂量监测手段。

经过几十年的研究和实践,目前常用的热释光材料已经发展到十多种^[4-9],如 $\text{LiF}(\text{Mg-Ti})$ 、 $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$ 、 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 、 $\text{CaSO}_4(\text{Mn})$ 、 $\text{CaF}_2(\text{Dy})$ 、 $\text{CaF}_2(\text{Mn})$ 、天然 CaF_2 、 $\text{MgSO}_4(\text{Ti})$ 、 Al_2O_3 、 $\text{BeO}(\text{Na})$ 、 $\text{LiB}_4\text{O}_7(\text{Mn})$ 、 $\text{LiF}(\text{Mg-Cu-P})$ 等,均为粉末状结晶体,可制成园片、方片、园棒、玻璃管等形状的剂量计元件。并制成盒式、笔式、卡片式、徽章式等佩戴盒。

2 热释光个人剂量计应用情况

目前已有几十个国家能生产热释光剂量测量仪,其加热方法有控盘加热、金属块加热、热气流加热、电介质射频加热、光加热、内部加热等。其原理是把热释光的光信号转换成可测量的电信号。如英国的 Piman Toledo 654 型热释光剂量读出仪,日本的 Harshaw 200 型和 Therados TCD-10 型热释光剂量分析仪、美国的 Harshaw 自动热释光剂量分析系统已普遍使用。我

国自制的 FJ-377 型热释光剂量测量仪,其性能与 Piman Toledo 654 型相似,也在全国广泛使用,目前正在研制与微机配套热释光剂量测量系统,不久将与用户见面。

热释光剂量计是以固体状态使用,可混入聚四氟乙烯中制成各种形状剂量计。这些材料接近组织等效。在 10Gy^{-1} 以下剂量读数与照射剂量率无关。在几个 Sv 以下读数与剂量成正比,热释光材料在室温下衰退更小,因此可用于发放时间长达一年的监测。热释光剂量计便于佩戴,适于邮寄,发放回收方便。因此,热释光剂量计已广泛地应用于个人剂量测量、环境监测、放射治疗、考古、地质研究、生物学、生态学、生物化学以及核物理等领域^[1,10]。

由于热释光剂量计灵敏度高,衰退小,它适用于天然环境本底调查。近年来,在放射医学方面,普遍采用热释光剂量计对放射诊断和治疗的病人所接受的剂量进行监测^[11,12],并可用来研究照射时射线剂量体内分布情况^[13]。在辐射防护方面,用热释光剂量计来测定同位素和射线装置性能指标,放射工作人员全身或部分机体及肢端所受 β 、X、 γ 、 n 等射线剂量、事故剂量监测等。在生物学方面,用热释光剂量计研究电离辐射剂量,为放射损伤与诊断提供依据。此外,热释光剂量计在空间辐射监测,环境氦及其子体监测,核参数的测量,剂量标准传递,高能光子剂量测定等方面的应用也正在日益扩大,具有广阔的发展前景。我国从 1985 年开始在全国普遍采用热释光剂量计开展对放射工作人员个人剂量监测,到 1998 年全国 31 个省、自治区、直辖市均开展了此项工作^[14]。1996 年以来,为使我国个人剂量监测技术与国际标准接轨,逐步过渡到按 ICRU 的个人剂量当量 $\text{HP}(\text{d})$ 进行个人监测,推广使用鉴别式个人剂量计,这种剂量计在个人监测中,既能够测量能量未知的光子辐射场,又能够测量光子复合辐射场,也可以测量能量已知的光子辐射场^[15]。

3 热释光剂量计的质量控制

3.1 影响热释光测量的准确性 主要有两个因素,一个是硬件因素:与设备固有性能有关,如电源误差、读出参考光源不稳定、光学性质的变化、探测器的重量差异、温度和光响应、退火炉控温精确度等;软件因素:与人的操作有关,探测器清洁度、探测器在测量盘中位置、退火温度、元件测量的周期等控制、刻度系数的不正确等。热释光剂量计测量的精度与读出器的性能有着密切的联系。在测量时,应保证测量系统读出器的稳定可靠,对仪器内的参考光源、高压电源、光学系统、光电倍增管、加热盘等性能要求,严格进行质量控制^[16]。

3.2 剂量计的质量控制

3.2.1 剂量计的选择 根据监测对象确定剂量计,所用探测器的性能应满足热测量标准的性能及参数要求,通常选择具有能覆盖监测范围的宽量程和能量响应好的探测器。对于常规防护监测,量程上限一般应达 1Sv ;对于特殊监测,量程上限应达 10Gy 。测量中要选择最适合自己领域使用的热释光剂量计,热释光剂量计广泛用于定量剂量测量,在应用中,小剂量为 0.5mGy 时,必须精确测量,需要小心控制仪表,能源依赖性,非线性探测器响应^[17],只有在使用之前了解热释光剂量计的发光

特性和影响,才能懂得预热温度、测量温度及其时间。如 $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Dy}$ 热释光剂量计灵敏度高,适用于天然本底辐射的调查,但它有“低能敏感特性”,因此,在设计佩戴的剂量计时,要把低能部分屏蔽掉或低能敏感效应降低到可以接受的水平才能使用。 $\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$ 能量响应好,灵敏度和精确度高,常用于个人剂量监测。

3.2.2 定期筛选刻度剂量元件 每个测量周期应使用同一批次同型号同规格的剂量计,在使用前对剂量计按标准偏差法进行筛选分档和刻度,分散性在 $\pm 5\%$ 范围内。剂量计在测读仪器上的测量读数是一相对值,将仪器测量读数换算成剂量值,如果是中子反照剂量计,在刻度时尽量采用与人体相近的模式^[18]。在每周期待发的剂量计中,留有刻度检验剂量元件,以核查残留剂量和刻度系数。

3.3 热释光剂量监测质量控制的技术措施

3.3.1 严格控制退火条件 严格控制退火条件是保证探测器测量精度和准确度的一个重要环节。目的是为了消除探测器的本底剂量和残余剂量,恢复探测器的初始灵敏度和发光曲线的形状,以利于下次重复使用测量。因此,测量前应严格控制退火温度、恒温时间、探测器的冷却率和退火温度的均匀性。不同的类型的热释光探测器,其退火条件也不同。即便是同一类探测器,由于制备工艺的不同,其退火也有差异。若退火后剂量计不能马上发出,应放入铅屏蔽室,以避免外部辐射源(包括天然辐射)。

3.3.2 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、探测器一致性和重复使用有很大的影响。不同探测器受冷却速率的影响有所不同,为了减少热释光测量误差,高温退火后使用急速冷却至常温,如采用薄铝盒盛装元件后直接与冷冻钢板接触,使其快速冷却,可保持较高的灵敏度。

3.3.3 定期参加全国热释光个人剂量计的检定及刻度比对 如果在检定和比对中存在较大系统误差,应及时修正,并对刻度设备进行核准,辐射源对剂量计的刻度准确与否直接影响到各实验室的个人剂量监测结果^[19],以保证监测质量及剂量计校准的溯源性。

3.3.4 严格操作规程 操作过程中应避免非辐射热释光的产生;使用镊子夹在探测器的两侧,切勿用手或其他污物接触探测器,以免沾污;如果探测器是粉末,托盘内置放的粉末数量要一致,粉末布放要均匀,并保持每一次探测器都要置于加热盘中心位置处,操作过程动作要小心谨慎。

3.4 加强业务技术培训,提高测量技术水平 通过选派人员进修,参加卫生部举办培训班培训,同行之间不断交流学习,使之掌握了解热释光剂量监测系统的基本理论、基础知识和监测技能,熟知在监测中探测器特性、仪器工作原理及影响测量结果的各种因素。测量结果按统计学方法科学的处理数据。

4 结束语

热释光剂量计是一种无源器件,易实现大规模的自动化测量,应用较为广泛,特别是在放射卫生防护监测和放射个人外照射剂量监测中起到越来越重要作用。但目前我国使用热释光个人剂量计在卫生防护监测中有些问题尚待解决:一是剂量计和佩戴盒形式和规格不统一;二是监测周期虽有规定,各地执行不一;三是还没有很完善的质控制度;四是监测率低,有资料统计显示监测率仅为 48% ^[20]。解决这些办法是需要牵头部门与国内有关单位组成一个统一的研究小组,进行系统深入的研究,完善和规范其监测技术方法,加强质量控制,以拓宽热释光剂量计应用领域。总之,热释光个人剂量监测是一项系统工程,只有对剂量计的设计、工作原理有充分的了解,并加强监测

时的各方面质量控制措施,才能确保监测数据的准确性,为放射卫生防护工作和职业危害评价及职业病诊断与放射治疗提供科学依据。

参考文献:

- [1] 蔡干钢, 吴方, 王所亭译. 固体热释光[M]. 北京: 原子能出版社出版, 1993: 9—322.
- [2] 朱志虹, 陈梅蕾编著. 热释光剂量技术[M]. 北京: 原子能出版社, 1987.
- [3] PODGORSKY E B. Thermoluminescent behavior of LiF (TLD-100) from 77°C to 55°K [J]. J Appl Phys 1974; 42: 276.
- [4] 胡德成. 用于环境辐射测量的 $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Dy/Tm}$ 热释光元件 [J]. 核电子学与探测技术, 1984: 4: 173—178.
- [5] VOHRA K G, BHATIA R C, BHUWAN CHANDRA. An environmental gamma dosimeter using $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Dy/Tm}$ [J]. TLD discs. Health Physics 1982; 42: 217—225.
- [6] VOHRA K G, PRADHAN A S, BLATT R C. X-ray and gamma-ray Response of a TLD badge Based on $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Dy/Tm}$ TLD discs. Health Physics 1982; 43: 391—399.
- [7] 王春桂. Mg_2SiO_4 (T) 环境热释光剂量计 [J]. 核电子学与探测技术, 1984: 4: 112—116.
- [8] 陈霓. $\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Tl})$ 热释光剂量计的剂量特性及其机理 [J]. 核电子学与探测技术, 1982: 2(1): 28—34.
- [9] 陈霓. $\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Tl})$ 热释光剂量计的剂量特性及其机理 [J]. 核电子学与探测技术, 1982: 2(3): 23—29.
- [10] 张建, 郭勇. 电离辐射剂量监测用热释光探测器 [J]. 军事医学科学院院刊, 1994: 18(3): 172.
- [11] MARSHALL N W, SHEHU G, MARSH D et al. Effective dose in Albanian direct chest fluoroscopy [J]. Eur Radiol 2001; 11(4): 10—705.
- [12] SUZUKI S, FURUI S, KOHTAKE H et al. Radiosensitive functional dye: clinical application for estimation of patient skin dose [J]. Radiology 2006; 239(2): 6—541.
- [13] BEST S, RALSTON A, SUCHOWERSKA N. Clinical application of the OneDose Patient Dosimetry System for total body irradiation [J]. Phys Med Biol 2005; 50(24): 195—909.
- [14] 胡爱英. 我国个人剂量监测工作现状和展望 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004: 24(4): 377.
- [15] 王其亮. 职业外照射监测个人剂量计 [J]. 中国辐射卫生, 2001: 10(1): 63—64.
- [16] 庄丽, 邱玉会, 樊树明. 热释光探测器在个人剂量监测中的误差分析及质量控制 [J]. 中国辐射卫生, 2007: 16(1): 50—51.
- [17] MEIGOONIA S, MISHRA V, PANIH H et al. Instrumentation and dosimeter-size artifacts in quantitative thermoluminescence dosimetry of low-dose fields [J]. Med Phys 1995; 22(6): 61—555.
- [18] BARTLETT D T, FRANCIST M, DMBYLOW P J. Methodology for the calibration of photon personal dosimeters: calculations of phantom backscatter and depth dose distributions [J]. Radat Prot Dosim 1989; 27: 231.
- [19] 刘丽, 邱雪英, 顾祖根. 南宁市 2004 年外照射个人剂量计盲样比对结果 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2006: 26(1): 14.
- [20] 程荣林, 王建超. 职业外照射个人监测新规范介绍 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2001: 21(1): 69.

(收稿日期: 2007—06—022)