

一种便携式热释光剂量测量系统的校准

杨新芳 赵进沛 李秀芹 杨会锁

中图分类号: TL816 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2012)01-0080-01

【摘要】 目的 建立一个移动式热释光剂量测量系统实验室自校准方法。方法 利用自备辐照器对热释光探测器进行定量照射,然后用已经检定的实验室标准剂量测量系统检测获得个人剂量当量值 $H_p(10)$,以此剂量当量值 $H_p(10)$ 作为约定真值,用相同的受照探测器在便携式热释光剂量读出仪上进行读数,并计算出校准因子。结果 用上述方法校准的便携式热释光剂量测量系统以及实验室标准剂量测量系统,对同一批受照的热释光探测器进行监测,两组数据无显著性差异。结论 上述便携式热释光剂量测量系统实验室自校准方法结果可信,并且简便、快速、易行,是解决现场个人剂量应急监测装备校准的好方法。

【关键词】 个人剂量监测;热释光剂量读出器;防原医学

利用实验室已经检定的热释光剂量测量系统和自备辐照器,对便携式热释光剂量测量系统进行校准,可解决现场个人剂量监测,且快速、简单、易行。

1 实验设备

Harshaw3500TLD 读出仪(美国),BR2000D-Ⅱ便携式热释光剂量读出器(北京博创特公司),GR-200A(LiF:Mg,Cu,P)探测器(防化研究院),BR2000A 热释光退火炉(北京博创特公司),FJ-417 ^{137}Cs 辐照器(北京核仪器厂)

2 方法

2.1 量值传递 在精密筛选探测器和保持剂量读出系统稳定的基础上,取探测器 100 片随机分为 5 组,每组 20 个探测器,用自备 FJ-417 ^{137}Cs 辐照器,分别照射 14.7×10^{-6} 、 29.4×10^{-6} 、 58.8×10^{-6} 、 88.2×10^{-6} 和 $147 \times 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$,每组随机

基金项目:北京军区立项课题(06BJ009);总后勤部卫生部立项课题(11WQZ04)

作者单位:北京军区疾病预防控制中心 北京 100042

作者简介:杨新芳(1963~),女,山东济南人,副研究员,从事放射防护监督监测工作。

抽出 10 个探测器,在实验室测量系统 Harshaw3500TLD 读出仪读数,根据标准剂量学实验室给出的刻度因子,为上述受照的探测器赋予剂量当量 mSv 值。每组剩余的 10 个探测器,在 BR2000D-Ⅱ便携式热释光剂量读出器上读数,由上述标准测量系统得出的个人剂量当量值(mSv)除以便携式热释光剂量读出仪计数,计算出便携式读出器的刻度因子即 N' 。

2.2 验证 用 FJ-417 ^{137}Cs 辐照器照射三组探测器,照射量分别为 $29.4 \times 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $58.8 \times 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $88.2 \times 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$,每组 20 个探测器。每组探测器又随机等分成两部分,分别用经过检定的标准测量系统和自校准的便携式热释光剂量读出仪读数,用各自的刻度因子计算 mSv,得出两组数据,然后用 t 检验的方法检验两组数据有无显著性差异。

3 结果

3.1 量值传递 将标准剂量学实验室的量值,通过自备辐照器传递给便携式热释光剂量测量系统,获得便携式热释光剂量测量系统的校准因子平均值为 $1.22 \times 10^{-5} \text{ mSv/计数}$ 。

(下转第 82 页)

由表 2 可以看出,装置测量 α 时,比测量 β 时的灵敏度大 190 倍以上,比测量 γ 时的灵敏度大 5 万倍以上,因此,装置本身对 β 和 γ 射线灵敏度较低,有很好的对 $\beta\gamma$ 辐射的抑制能力,可以在强混合辐射场中很好地工作。

2.6 装置实际样品测试 进一步检验实验装置的实用性能,进行了一次实际测试,测试结果说明实验装置的技术性能能够满足实际工作的需求。

2.6.1 测试样品 放 α 小盘,有效直径 20mm,不锈钢材质,为防止污染扩散,测试时将若干 α 小盘置入培养皿中;

2.6.2 涂抹核素 ^{39}Pu 、 ^{233}U 、 ^{237}Np 、 ^{241}Am 。

2.6.3 测试结果 用手持式 α 谱仪测量结果该样品活度为 328.87Bq,利用研制的测量 3.25E-12A 按表面污染格式的测量结果为 0.73 Bq/cm^2 ,测量时共放置 14 个 α 小盘。从测试结果可以看出,小物体 α 表面污染测量装置的测量结果与手持式 α 谱仪的测量结果非常接近,相对偏差 2.2%。

3 结论

通过上面的实验证明,小物体 α 表面污染测量装置对 α 粒子有较好的响应,有较大的线性范围,而且对 $\beta\gamma$ 射线有较好的抑制能力。通过上述的研究和实验证明,装置原理可行、测量结果重复性好,在辐射防护领域有广阔的应用前景。

同时,这种测量方法所测量的是电离电流的平均值,它不能区分粒子的类型和能量;装置受环境因素(气压、温湿度、灰尘等)的影响较大。

参考文献:

- [1] MacArthur DW, Allander KS, Long range Alpha Detector [Z]. Los Alamos National Laboratory Report. LA-12073-MS. 1991.
- [2] MacArthur DW, Allander KS, Bounds JA, et al, Small Long range Alpha Detector (LRiD) with Computer Readout [Z]. Los Alamos National Laboratory Report LA-12199-MS. 1991.
- [3] MacArthur DW, Allander KS, McAtee JL, Long range Alpha Detector for Contamination Monitoring [Z]. Los Alamos National Laboratory Preprint LA-UR-91-3396, 1991.
- [4] MacArthur DW, McAtee JL, Long range Alpha Detector (LRAD) [Z]. Los Alamos National Laboratory Preprint. LA-UR-3398, 1991.
- [5] 韩景泉, 离子收集式 α 探测器 [J]. 原子能科学技术, 1998, 32: 503-509.

(收稿日期: 2011-04-18)

表 1 放射介入操作人员手指与手腕部位剂量测量数据

序号	手术类型	操作时间 ¹⁾	手指	手腕内侧	手腕外侧	剂量差值 ²⁾
1	心血管造影	37min12s	1794μSv	1182μSv	1238μSv	-31%
2	心血管造影	- ³⁾	341μSv	360μSv	469μSv	37.5%
3	脑血管造影	-	6.8μSv	4.9μSv	9.3μSv	36.7%
4	心血管造影	62min38s	974μSv	726μSv	934μSv	-4.1%
5	心血管造影	62 min 38s	1590μSv	1273μSv	1395μSv	-12.3%
6	心血管造影	4 min	145μSv	67μSv	125μSv	-13.8%

注: 1) 在佩戴同一组剂量计进行多次操作情况下,操作时间为历次操作时间的总和。2) 剂量差值的计算公式为: (手腕外侧剂量-手指剂量)/手指剂量×100%。3) “-”表示测量时未记录此项数据。

参考文献:

[1] 楚彩芳,张钦富,赵艳芳. 河南省省直医疗单位介入放射工作人员受照剂量调查[J]. 中国辐射卫生,2009,18(4): 442-444.
[2] Casey M, Malone D E. The Value of Digital Personal Doseme-

ters in Angiography/Interventional Radiology: Preliminary Experience[J]. Radiation Dosimetry, 2001, 94(1-2).

[3] Ban N, Nakaoka H, Haruta R, et al. Development of a Real-time Hand Dose Monitor for Personnel in Interventional Radiology[J]. Radiation Dosimetry, 2001, 93(4): 325-329.

(收稿日期:2011-05-04)

(上接第 80 页)

表 1 校准过程的线性检验与校准因子的计算

照射量 (C.kg ⁻¹)	约定真值 μSv (标准测量系统)	个人剂量当量 评定值 E(μSv) (便携式读出器)	计数均值 M	标准偏差	校准因子 N'	$\frac{\overline{E_i} + I_i}{C_i}$	$\frac{\overline{E_i} - I_i}{C_i}$
14.7×10 ⁻⁶	505.6	491	40 246	20.67	0.0126	0.94	1.00
29.4×10 ⁻⁶	971.1	963.1	78 942	50.23	0.0123	0.95	1.03
58.8×10 ⁻⁶	1 874.1	1 889	151 507	167.22	0.0124	0.94	1.07
88.2×10 ⁻⁶	2 873	2 989	245 044	176.57	0.0117	0.99	1.08
147×10 ⁻⁶	4 897	4 972	407 560	221.01	0.0120	0.98	1.05

校准因子 N' 平均值(μSv/计数) N' = 0.0122 μSv/计数 = 1.22E-5 mSv/计数

E_i 为每组评定值的平均值, I_i 为第 i 组的平均值的置信区间半宽度, C_i 为剂量当量约定真值(在此为实验室标准测量系统所得检测值)。测量结果如满足 $0.90 \leq \frac{\overline{E_i} + I_i}{C_i} \leq 1.10$ ($I_i = 2.26$

$S_{E_i} / \sqrt{10}$) 的结果,则线性符合标准,可以利用平均校准因子^[1]。

3.2 验证 本检验自由度为: $V = 10 + 10 - 2 = 18$,通过查表得 $t_{0.05} = 2.101$,通过对三组样本的均数进行比较,其 t 值分别为 1.51、0.06 和 0.095,均符合 $t < 0.05$ 标准,因此 $P > 0.05$,即两组检测结果差异无统计学意义。说明自校准的便携式热释光剂量测量系统的结果是可信的。结果见表 2。

表 2 两个剂量测量系统对同一批受照探测器的检测数据比对结果

BR2000D 读出器			3500 读出器			统计学数据	
照射量 (C.kg ⁻¹)	剂量当量 平均值 (μSv)	标准差	照射量 (C.kg ⁻¹)	剂量当量 平均值 (μSv)	标准差	两组样本均数比较	
						t 值	P 值
29.4×10 ⁻⁶	911	97.9	29.4×10 ⁻⁶	858	55.9	1.51	$P > 0.05$
58.8×10 ⁻⁶	1 884	90.2	58.8×10 ⁻⁶	1 918	169.9	0.06	$P > 0.05$
88.2×10 ⁻⁶	2 736	182.8	88.2×10 ⁻⁶	2 728	205.4	0.09	$P > 0.05$

4 讨论

个人剂量监测是核事件应急时进行辐射源强度或污染程度估算、人员急性损伤情况和开展事件后果评估的重要手段,是核突发事件现场救援的重要组成部分。BR2000D-Ⅱ热释光剂量读出器就是为核应急研制的一种便携式设备,它是一种车载式剂量读出装置,具有体积小、重量轻、便于携带的特点,适用于应急时野外现场操作。象其他剂量检测读出系统一样, BR2000D-Ⅱ热释光剂量读出器与热释光探测器组成的剂量

测量系统,需要事先校准,否则其 TLD 读数是没有实际意义的^[2]。在标准剂量学实验室检定或校准个人剂量测量系统,从送检到出具报告的时间一般不短于 2 周,这显然不能满足核突发事件应急的要求。同时,将便携式热释光剂量测量系统周期性送到标准剂量学实验室进行检定或校准,以时刻保持其检定或校准的有效性,又因为突发事件的偶发性而不免造成浪费。因此,对这种现场应急用便携式热释光剂量测量系统,建立一种简便和快捷的自我校准方法是非常必要的。

本实验室用于日常个人剂量测量的读出仪为 Harshaw3500TLD,它与 GR-200A(LiF:Mg,Cu,P)探测器以及 BR2000A 热释光退火炉组成个人剂量测量系统,该系统周期性在标准剂量学实验室进行检定,因此其检测所得到的个人剂量当量值是可溯源的。本实验室所用的 FJ-417 ¹³⁷Cs 辐照器,是一种可以对热释光剂量探测器给予一定量照射的标准照射器具,其给定照射的量可以是照射量也可以是空气比释动能,由于其照射条件的设置与检定时标准剂量学实验室的条件不同,所以不能利用已有的转换因子直接将物理量空气比释动能值转换为实用量个人剂量当量值 $H_p(10)$,即经其照射后的探测器,在热释光读出仪中只能读出照射量值或空气比释动能值。本工作的价值在于采用自备 FJ-417 ¹³⁷Cs 辐照器作为桥梁或途径,将已经检定的实验室个人剂量测量系统所测得的个人剂量值,与待校准的便携式热释光剂量读出仪的读数联系起来。方法是将热释光探测器作为媒介,经自备 FJ-417 ¹³⁷Cs 辐照器照射一定量后,经实验室个人剂量测量系统检测获得个人剂量当量值 $H_p(10)$ 作为约定真值,然后相同的受照探测器用便携式热释光剂量读出仪读数,计算其个人剂量当量的刻度因子,从而使其读数赋予特定的个人剂量当量值 $H_p(10)$ 。这样,采用本实验室个人剂量测量系统和自备辐照仪就实现了对便携式热释光剂量测量系统的自校,方法简单而快捷,可随时对其实施实验室自校,完全满足核突发事件现场个人剂量应急检测的需要,因此具有重要的现实意义和应用价值。

参考文献:

[1] JJG593-2006,个人与环境监测用 X、γ 辐射热释光剂量测量(装置)系统检定规程[S].

[2] 赵士庵,欧向明. 个人与环境监测用热释光剂量计的校准[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2005, 25(5): 482-484.

(收稿日期:2011-07-15)