

国内常用直读式 X、 γ 个人剂量仪的性能测试与评价

商洁, 韦应靖, 崔伟, 李强, 牛蒙青, 张庆利

中国辐射防护研究院, 山西 太原 030006

摘要: 目的 对国内常见不同类型的个人剂量仪性能进行测试与评价。方法 根据 GB/T 12161-2003《直读式个人 X 和 γ 辐射剂量当量和剂量当量率检测仪》与检定规程 JJG 1009-2006 的相关要求, 使用中国辐射防护研究院放射性计量站的 γ 和 X 射线照射量标准参考辐射装置。结果 分别对不同型号的 X、 γ 个人剂量仪的相对固有误差、重复性、角度响应、报警声响和能量响应进行了性能测试及分析比对。结论 表明前三项测试结果较理想, 而近 75% 的仪器能量响应不能满足国家标准及检定规程的要求。

关键词: X、 γ 个人剂量仪; 相对固有误差; 重复性; 能量响应; 角度响应; 报警声响

中图分类号: TL816+.7 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2016)01-05-088

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2016.01.035

目前核技术在各个领域的广泛应用, 比如: 核电站、核军工、放射医学、核化工、地质勘探、同位素应用、工业无损探伤等, 与人们的日常工作、生活息息相关。随着接触电离辐射的人员不断增加, 为他们提供良好的辐射防护条件, 保障他们的人身安全就显得尤为重要。近年来, 国内涌现出许多类型的 X、 γ 个人剂量仪, 它们的性能是否能够满足国家及行业标准的要求, 能否提供快速、准确、可靠的测量结果尤未可知。中国辐射防护研究院放射性计量站根据已有的辐射剂量实验条件, 对目前市场上常见的辐射防护监测用的 X、 γ 个人剂量仪性能进行了测试和评价。

1 评价依据和设备

1.1 直读式 X、 γ 个人剂量仪性能要求 根据国际电工委员会发布的《辐射防护仪表 X、 γ 、中子和 β 射线辐射个人剂量当量 $H_p(10)$ 和 $H_p(0.07)$ 的测量直读式个人剂量当量计和监测器》(IEC 61526-2005) 标准^[1], 我国参考该标准于 2003 年制定了《用于校准剂量仪和剂量率仪以及确定其能量响应的 X 和 γ 参考辐射》(GB/T 12162-2004)^[2-3] 及《直读式个人 X 和 γ 辐射个人剂量当量(率)监测仪》(JJG 1009-2006)^[4]。目前, 用来测量工作人员受到 X、 γ 辐射外照射而产生的个人剂量当量(率)的监测仪的相关检定要求主要依据检定规程 JJG 1009-2006。仪器的主要辐射性能应满足表 1 中的要求。

表 1 X、 γ 个人剂量仪性能要求

主要辐射性能	影响量的变化范围	技术要求
相对固有误差	有效测量范围(剂量当量率的最低十进量级)	15% (剂量当量) 或 20% (剂量当量率)
重复性	有效测量范围(剂量当量率的最低十进量级)	5% (剂量当量) 或 6% (剂量当量率)
能量响应	50 keV ~ 1.5 MeV	30% 相对 ¹³⁷ Cs
入射角响应	0° ~ ±75°	20% (¹³⁷ Cs) 50% (²⁴¹ Am)

1.2 测试设备 用于辐射防护 X、 γ 外照射个人剂量当量(率)监测仪性能测试中, 使用了中国辐射防护研究院放射性计量站按照 GB/T 12162 要求建立的 X 射线(防护水平)参考辐射装置和 γ 射线(防护水平)参考辐射装置^[2-3]。其中过滤 X 射线参考辐射的特性包括窄谱系列、低空气比释动能系列、宽谱系列和高空气比释动能系列过滤 X 辐射。 γ 射线(防护水平)

参考辐射装置安装了三个不同活度的¹³⁷Cs 源, 分别是: 3.7×10^9 、 3.7×10^{10} 、 3.7×10^{11} Bq。两套参考辐射装置具有较高的自动化程度, 在实验期间通过控制系统精确调节台车在前后、左右及上下六个方向的移动及沿台车轴心的转动。其辐射场特性见表 2。

2 仪器辐射性能测试及分析比对

实验选取了近 30 种不同型号的辐射防护用 X、 γ 个人剂量仪, 对它们的重复性及相对固有误差进行了

测试比对。所选仪器型号、探测器类型、剂量率测量范围、累积剂量测量范围、抽检台数、重复性及相对固有误差如表 3 所示。所选仪器的探测器类型包括了: 气体探测器 GM 计数管、闪烁体探测器 CsI、半导体探测器如 Si、PIN 二极管及 PD 探测器。在性能评价中由于实验条件所限, 其中 9 种型号仪器的抽检台数为

表 2 测试设备的辐射场特性

装置名称	能量范围	剂量率范围	相对扩展不确定度
X 射线(防护水平)参考辐射装置	12 keV ~ 250 keV	10 μ Gy/h ~ 1 Gy/h	$U = 4.0\% (k=2)$
γ 射线(防护水平)参考辐射装置	662 keV	10 μ Gy/h ~ 100 mGy/h	$U = 4.6\% (k=2)$

2.1 重复性 将被监测仪(包括体模)按其校准方向置于辐射场中。

对于剂量当量的重复性实验, 检定时剂量当量的约定真值取在仪器最灵敏十进量级的 80% 处, 在相同测量条件下至少重复进行 5 次, 仪器的重复性以单次测量的相对标准偏差按公式(1)表示, 其中 H_i 为每次测量的指示值, \bar{H} 表示其算数平均值。由于仪器的重复性测量实验中测量值通常在几十到几百 μ Sv, 按照 JJG 1009-2006 此项的要求, 重复性应满足。

$$V = \frac{1}{\bar{H}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2} \quad (1)$$

对于剂量当量率的重复性实验, 检定时剂量当量率约定真值取在仪器第 2 个最灵敏十进量级的 50% 处或最灵敏量级的 80% 处两个点, 在相同条件下连续测量 20 次, 相邻两次测量的时间间隔不小于仪器时间常数的 3 倍。仪器的重复性以单次测量的相对标准偏差按公式(2)表示, 其中 $\frac{H}{H}$ 为单次测量指示值 $\frac{H}{H}$ 为其算数平均值。由于仪器的重复性测量实验中测量值通常在几十 μ Sv/h 到几十 mSv/h, 按照 JJG 1009-2006 此项的要求, 重复性应满足。

$$V = \frac{1}{\bar{H}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{20} (H_i - \bar{H})^2} \quad (2)$$

对 29 种不同型号辐射防护用个人剂量仪的重复性测量结果如表 3 所示, 其中 21 种型号的仪器重复性 $\leq 20\%$, 其余 8 种型号的仪器重复性 $\leq 5\%$ 。

2.2 相对固有误差 仪器摆放位置的选取与测量重复性的方法相同。检定时根据仪器的特定情况(首次检定、后续检定、使用中的检定), 参照 JJG 1009-2006 对此项的要求选取对应的检测点。对于规定的参考条件下, 同样对这 29 种不同型号的仪器在 ^{137}Cs 参考辐射场中进行测试。仪器的指示值相对于被测量约定真值的百分比误差, 为该有效测量点(即体模表面下 10 mm

1 台, 可能存在该台仪器的测试结果不具代表性的问题, 这里以统计时仪器的测量结果为准。对其余 20 种型号的仪器, 抽检台数大于 1 台, 按各台仪器测量得到的平均值作为最终评价结果, 以减小其统计涨落引入的误差。下面将就各种型号的个人剂量仪的辐射特性测试结果进行分析说明。

处)的相对固有误差, 如公式(3)所示。 H_i 、 H_T 分别为仪器剂量当量的指示值和辐射场的约定真值; $\frac{H_i}{H_T}$ 、 $\frac{H}{H}$ 分别为其相应剂量当量率的指示值和辐射场的约定真值。根据检定规程要求: 剂量当量的相对固有误差在 15% 以内, 剂量当量率的相对固有误差应满足。

$$I = \frac{H_i - H_T}{H_T} \times 100\% \quad (\text{或} \quad I = \frac{\frac{H_i}{H_T} - \frac{H}{H}}{\frac{H}{H}} \times 100\%) \quad (3)$$

不同仪器的测试结果见表 3。分析发现 90% 的仪器相对固有误差满足检定规程要求, 其中 17 种仪器的相对固有误差 $\leq \pm 10\%$, 10 种仪器的相对固有误差在 $\pm 10\% \sim \pm 15\%$ 。3 种型号仪器不满足规程要求, 其相对固有误差较大, 这可能是由于仪器存在系统误差造成的, 原则上可通过修正因子进行修正。

2.3 能量响应 能量响应为个人剂量仪的指示值与辐射场约定真值的比值随辐射场能量的变化。根据检定规程要求对仪器能量响应项进行的检定时推荐几种特定能量的过滤 X 辐射以及 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 辐射。由于实验室没有 ^{60}Co 放射源, 我们目前无法得到仪器对 ^{60}Co 1.25 MeV 的射线的能量响应结果。相关实验结果表明在 60 keV ~ 3 MeV 的能量范围内, 大多数探测器对低能射线的能量响应较差, 对于能量较高的射线它们的响应往往比较理想, 我们推断 ^{60}Co 1.25 MeV 与 ^{137}Cs 662 keV 射线的能量响应结果相差不会太大。即使缺少对 ^{60}Co γ 射线的能量响应测试, 对整个能量响应结果的评价不会影响太大。

在实际测量中我们选取了过滤 X 射线参考辐射场中的窄谱系列能量从 48 ~ 250 keV 范围内的 8 个能量点和 ^{137}Cs 能量为 662 keV 的参考辐射场, 将这八个点的测量数据按 ^{137}Cs 能量响应进行归一, 对 24 种型号的个人剂量当量仪的能量响应进行测试结果见表 4 所示。其中“-”表示检定中根据送检用户需求, 未检定的能量点。

表 3 各类电子个人剂量率仪重复性和相对固有误差测量结果

序号	探测器类型	剂量率测量范围 ($\mu\text{Sv/h}$)	累积剂量测量范围 (μSv)	抽检 台数	重复性 V			相对固有误差 I		
					$\leq 2\%$	$\leq 5\%$	$> 5\%$	$\leq \pm 10\%$	$\leq \pm 15\%$	$> \pm 15\%$
1	G-M 管	$0.1 \sim 5 \times 10^5$	$0 \sim 1 \times 10^7$	600	✓			✓		
2	G-M 管	$0.1 \sim 1 \times 10^5$	$0 \sim 1 \times 10^5$	900	✓			✓		
3	G-M 管	$0.1 \sim 5 \times 10^5$	$0 \sim 1 \times 10^7$	5	✓			✓		
4	G-M 管	$0.1 \sim 5 \times 10^5$	$0 \sim 1 \times 10^7$	12	✓				✓	
5	G-M 管	$0.1 \sim 5 \times 10^5$	$0 \sim 1 \times 10^7$	1	✓				✓	
6	G-M 管	$1 \sim 5 \times 10^5$	$0 \sim 1 \times 10^7$	12	✓				✓	
7	G-M 管	$0.1 \sim 1 \times 10^5$	$0.1 \sim 1 \times 10^7$	3	✓			✓		
8	G-M 管	$0.1 \sim 1 \times 10^7$	$0.1 \sim 1 \times 10^7$	50		✓				
9	G-M 管	$0.1 \sim 5 \times 10^5$	$0 \sim 1 \times 10^7$	30	✓			✓		
10	G-M 管	$1 \sim 5 \times 10^5$	$0 \sim 1 \times 10^7$	2	✓				✓	
11	G-M 管	$0 \sim 5 \text{ R/h}^{1)}$	-	1	✓				✓	
12	CsI	$0.01 \sim 1 \times 10^5$	$0.01 \sim 1 \times 10^7$	4	✓					✓
13	CZT	$0.1 \sim 1 \times 10^4$	$0.1 \sim 1 \times 10^6$	12	✓				✓	
14	G-M 管	$0.1 \sim 4 \times 10^6$	$0.1 \sim 1.6 \times 10^7$	80		✓				
15	G-M 管	$0.1 \sim 1 \times 10^5$	$0.1 \sim 1 \times 10^7$	2		✓				✓
16	G-M 管	$0.1 \sim 1 \times 10^5$	$0.1 \sim 1 \times 10^7$	1	✓				✓	
17	G-M 管	$0.1 \sim 3 \times 10^5$	$0.1 \sim 1 \times 10^7$	1	✓				✓	
18	G-M 管	$0.01 \sim 2 \times 10^5$	$0.01 \sim 1 \times 10^7$	1	✓				✓	
19	Si 半导体	$0.1 \sim 1 \times 10^6$	$0 \sim 1 \times 10^7$	1	✓				✓	
20	PD 探测器	$0.01 \sim 1 \times 10^6$	$0 \sim 1 \times 10^7$	2		✓			✓	
21	G-M 管	$0.01 \sim 3 \times 10^4$	$0 \sim 1 \times 10^6$	2		✓				✓
22	硅二极管			1	✓			✓		
23	硅二极管	$5 \sim 3 \times 10^6$	$1 \sim 1 \times 10^7$	1	✓			✓		
24	硅二极管	$5 \sim 3 \times 10^6$	$1 \sim 1 \times 10^7$	1	✓			✓		
25	PIN 二极管	$0 \sim > 4 \times 10^6$	$0 \sim > 1.6 \times 10^7$	800		✓		✓		
26	硅二极管	$5 \sim 3 \times 10^6$	$1 \sim 1 \times 10^7$	4		✓		✓		
27	G-M 管	$1 \sim 1 \times 10^7$	$1 \sim 1 \times 10^7$	80		✓		✓		
28	G-M 管	$5 \sim 1 \times 10^6$	$1 \sim 1 \times 10^6$	1		✓		✓		
29	G-M 管	$1 \sim 1 \times 10^7$	$1 \sim 1 \times 10^7$	10		✓		✓		

注: 1) $1\text{R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ 。

根据检定规程要求,归一后的能量响应应满足。从表中数据分析发现,只有序号为 10、17、18、22、23、24 六种型号的仪器能量响应符合检定规程的要求,占总类型比例 1/4,此外 14、15、16、21 四种型号仪器除低能端($E = 48 \text{ keV}$)外其余各点能量响应满足要求。个别仪器能量响应起伏明显,例如 9 号仪器 $E = 83 \text{ keV}$ 点处的能量响应是 $E = 48 \text{ keV}$ 处的近 8 倍,某些仪器产品说明与测试结果有一定出入。分析结果表明,测试中满足要求的仪器不足总量的 30%,特别是低能部分能量响应普遍较差,还有部分仪器在整个能量区间数据涨落明显。这为我们在低能辐射占比例较大或复杂辐射场所从业的人员的辐射安全带来了隐患。因此在选购个人剂量当量仪时,应根据工作场所实际情况的需要,选择在相应能量下响应较好的仪器特别重要。

表 4 各类个人剂量当量仪能量响应测量结果

序 号	辐射质平均能量(keV)									抽检 台数
	662	250	208	164	118	100	83	65	48	
1	1.00	0.77	0.78	0.84	0.95	1.10	1.38	1.33	1.01	18
2	1.00	0.82	0.84	0.92	1.10	1.24	1.39	1.28	0.96	10
3	1.00	0.83	0.79	0.72	0.74	-	0.75	0.50	-	2
4	1.00	1.22	-	-	0.90	-	-	0.62	-	6
5	1.00	0.95	0.83	0.66	0.65	0.81	1.07	1.23	0.75	1
6	1.00	0.97	1.10	1.28	1.51	1.64	1.84	1.60	0.74	1
8	1.00	0.96	0.82	0.79	-	1.03	0.95	0.88	2.14	50
10	1.00	0.97	0.84	0.66	0.65	0.82	1.05	1.20	0.63	2
12	1.00	1.55	1.72	1.81	-	2.00	2.13	1.66	0.28	2
13	1.00	-	-	1.05	-	1.01	1.10	-	-	1
14	1.00	1.07	1.02	0.95	0.98	0.97	0.98	0.93	1.05	80
15	1.00	1.32	-	-	0.70	0.72	-	0.96	3.23	2
19	1.00	0.96	0.75	0.79	1.03	0.91	0.88	0.91	2.32	1
20	1.00	1.13	1.07	1.05	1.07	1.36	1.61	1.51	0.57	1
	1.00	1.05	0.84	0.71	0.78	1.14	1.19	1.12	0.27	1
21	1.00	1.10	1.38	1.90	3.12	4.17	4.85	5.25	5.60	2
22	1.00	1.14	1.17	1.27	1.29	1.17	1.10	0.74	-	1
23	1.00	1.02	1.02	0.92	0.86	0.94	1.13	0.97	0.38	1
24	1.00	1.04	1.07	1.02	0.87	0.87	1.11	0.97	0.35	1
25	1.00	1.10	1.03	1.01	0.95	0.92	0.97	0.99	0.80	20
27	1.00	1.07	1.03	1.00	0.98	1.00	0.98	0.93	1.05	8
29	1.00	0.97	0.94	0.88	-	0.82	0.95	0.97	0.82	10

2.4 角响应 入射角响应为仪器指示值与辐射场约定真值的比值随辐射入射角的变化。根据检定规程要求在进行入射角响应项的检定时应选用两种能量的辐射：¹³⁷Cs 和²⁴¹Am 辐射(或也可使用 60 keV 过滤 X 辐射来代替²⁴¹Am 辐射) 。通常仪器对较高能量射线的角响应较好 根据以往历史测量数据表明在¹³⁷Cs 参考辐射场中的角响应比较理想 因此对部分型号仪器的入射角响应我们只使用了平均能量在 60 keV 左右的窄谱 80 kV 和低空 70 kV 辐射场。实验中对 10 种型号的辐射防护用个人剂量当量仪 ,测量了 0° ~ ± 90°

入射角响应特性 按 0° 归一后的测试见表 5 所示。分析表明 ,各类型号仪器在 0° ~ ± 60° 入射角响应均满足检定规程及 IEC 9. 5. 2. 2 的要求: 对¹³⁷Cs 角响应变化在 20% 以内 ,对 60 keV 能量左右的过滤 X 射线在 50% 以内 ,其中有 2 种型号仪器在¹³⁷Cs 参考辐射场中 ± 90° 范围内好于 10% 。在对 9、10 两种型号仪器的批量检定发现 ,小角度入射条件下 ,仪器的角响应数据较稳定 ,而大角度入射时($\theta > \pm 60^\circ$) 仪器的角响应统计涨落相差近 70% 。

表 5 各种型号防护个人剂量当量仪入射角响应测试结果

序号	参考 辐射	入射角(°)													抽检 台数
		90	75	60	45	30	15	0	- 15	- 30	- 45	- 60	- 75	- 90	
1	¹³⁷ Cs	0.82	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	1.00	1.04	1.01	5
	L - 70	0.17	0.82	0.84	0.90	0.92	0.96	1.00	0.98	0.97	0.97	0.94	0.98	0.90	
2	¹³⁷ Cs	1.03	0.91	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	0.98	0.99	1.00	1.02	1.04	1.04	2
8	N - 80	-	0.56	0.75	0.85	0.89	0.98	1.00	0.98	0.93	0.84	0.72	0.62	-	50
12	¹³⁷ Cs	0.64	0.75	0.91	0.83	0.93	0.87	1.00	0.90	0.94	0.93	0.87	0.94	0.85	1
22	¹³⁷ Cs	-	0.92	0.92	0.96	0.95	0.97	1.00	0.98	0.95	0.95	0.96	0.82	-	1
	L - 70	-	0.52	0.62	0.69	0.83	0.96	1.00	0.96	0.83	0.69	0.66	0.54	-	
23	¹³⁷ Cs	0.62	-	0.95	-	0.98	-	1.00	-	0.97	-	0.94	-	0.90	1
	N - 80	0.17	-	0.76	-	0.97	-	1.00	-	0.97	-	0.76	-	0.18	
24	¹³⁷ Cs	0.68	0.93	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.01	0.99	0.97	0.96	0.96	0.92	1
25	¹³⁷ Cs	0.78	0.91	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	0.98	0.98	0.98	0.96	0.92	0.90	2
	N - 80	0.18	0.45	0.66	0.80	0.90	0.99	1.00	0.96	0.85	0.70	0.58	0.38	0.22	
27	¹³⁷ Cs	0.98	0.98	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.02	1.02	1.02	1.00	0.98	0.94	2
	N - 80	0.72	0.26	0.71	0.86	0.96	1.03	1.00	1.00	0.94	0.86	0.75	0.46	1.12	
29	N - 80	-	0.86	0.62	0.78	0.74	0.94	1.00	0.86	0.80	0.83	0.53	0.24	-	10

2.5 报警声响 被测量的 29 种仪器中抽检了四种具有超阈值报警功能的个人剂量仪 ,虽然在 JJG 1009 - 2006 中没有对辐射防护用 X、 γ 个人剂量仪超阈值报警项的检定要求 ,但作为一个完整的评价体系我们对该项进行了测试分析。参照对辐射防护用 X、 γ 环境监测仪 GB/T 4835 - 2008 中的规定 ,若仪器具有超阈值报警的功能 ,在距报警源 30 cm 处的声音 75 dBA ≤ 报警声响 ≤ 100 dBA。实验中我们将声级计放置在距离探测器 30 cm 处对报警声响进行测量 ,结果如表 6 所示。所检测仪器报警声响的最大值均小于 75 dBA ,都不能满足参考要求。

表 6 各种型号防护个人剂量当量仪报警声响测试结果

序号	报警声响(dBA)	抽检台数
1	59 ~ 66	10
2	64 ~ 73	10
4	71	1
23	69	1

3 结果与讨论

中国辐射防护研究院放射性计量站根据 IEC 61526 - 2005 ,GB/T 12161 - 2003 及 JJG 1009 - 2006 分别对 29 种不同类型的辐射防护用 X、 γ 个人剂量仪的重复性、相对固有误差 ,部分仪器的能量响应、入射角响应和报警声响特性进行了测试。检测结果表明 ,不是所有仪器的每一必检项都能满需 JJG 1009 - 2006 的要求 ,特别是能量响应。

测试结果表明 ,所抽检的 29 种仪器均能满足检定规程重复性小于等于 5% 的要求 ,其中 9 种型号仪器的重复性好于 2% 。

在 IEC 60846 - 2002 ,GB/T12161 - 2003 及 JJG 1009 - 2006 中规定: 对个人剂量仪累计剂量的相对固有误差项应满足 ≤ 20% ,其中 90% 仪器符合要求。这说明目前市面上绝大多数仪器的重复性和相对固有误差的性能稳定 ,测试结果比较理想。

对角度响应项检定结果表明: 在 ^{137}Cs 参考辐射场中入射角响应好于过滤 X 射线辐射场, 在 $\theta > \pm 60^\circ$ 所有仪器的入射角响应均满足要求(在 ^{137}Cs 参考辐射场满足 $\leq 20\%$, 在过滤 X 射线参考辐射场 $\leq 50\%$), 当 $60^\circ < \theta \leq 90^\circ$ 条件下的角响应测量结果涨落明显。

对于不同型号的个人剂量仪的能量响应项的检定结果表明, 不同仪器之间的能量响应性能差别较大, 在 60 keV ~ 3 MeV 的能量范围内满足能量响应要求的仪器仅占总数的 25%。尤其在低能端大部分仪器的能量响应较差, 个别仪器不同能量点的能量响应相差近 8 倍。

对于直读式个人剂量仪的设计、研制及最终使用必须加以改进。

通过对当前测试结果的分析发现: 各种类型的个人剂量仪均具有良好的重复性及相对固有误差, 而仪器的能量响应符合检定规程要求的仅占 25%, 其中个别仪器的能量响应在不同能量点相差近 10 倍。说明部分仪器在设计研制过程中仅使用了 ^{137}Cs 参考辐射装置进行刻度、数据拟合, 未做能量响应项的调试或能量补偿, 建议若仪器设计初衷对能量响应有要求, 在今后对个人剂量仪的研制中应进行全面系统的实验, 以保障各项指标符合检定规程要求。

根据对历史数据分析表明: 大部分仪器的能量响应较差并且有较高的统计涨落, 这主要表现在低能端(能量在 50 ~ 80 keV)。在今后的研制过程中应对低能端的能量补偿方法进行改进与完善以满足对复杂环境或低能条件下的检定要求。

检定规程规定角响应项的检定中以下 10 个点: $\pm 15^\circ, \pm 30^\circ, \pm 45^\circ, \pm 60^\circ, \pm 75^\circ$ 由实验给出, 在 60 keV 左右的过滤 X 射线照射条件下的角响应应满足 50%。目前绝大多数仪器对能量为 60 keV 左右的过滤 X 射线入射角大于 $\pm 60^\circ$ 的角响应结果不能满足检

定规程要求。建议检定规程对大角度入射的角响应作出特别说明。

对同一型号仪器进行批量检定发现其能量响应、大角度条件下的入射角响应、报警声存在一定涨落。这里以 GM 计数管为例: 目前市面上部分 GM 计数管中玻管的生产及能量补偿的包层采用手工工艺制备, 这样导致同一型号仪器一致性品质较差。如果一台仪器进行刻度, 将方法进行推广势必会影响整批仪器的性能参数。因此建议厂家在生产中改进探测器及能量补偿的生产工艺, 从而进一步提高仪器的性能。

在选购仪器时应根据特定需求(比如个人剂量仪工作在低能或复杂能量环境中)选择测试性能满足要求的仪器, 不应盲目根据产品说明书所给的性能指标选择, 必要时应经过检定、校准, 满足特定条件要求方可投入使用。

参考文献

- [1] International Electrotechnical Commission. IEC 61526 - 2005 Radiation Protection Instrumentation - Measurement of Personal Dose Equivalents $H_p(10)$ and $H_p(0.07)$ For X, Gamma, Neutron and Beta Radiations - Direct Reading Personal Dose Equivalent Meters and Monitors [S]. IHS, 2005.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 12162.2 - 2004 用于校准剂量仪和剂量率仪以及确定其能量响应的 X 和参考辐射 - 第 2 部分: 8 keV - 1.3 MeV 和 4 MeV - 9 MeV 的参考辐射的剂量测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 12162.3 - 2004 用于校准剂量仪和剂量率仪以及确定其能量响应的 X 和参考辐射 - 第 3 部分: 场所剂量仪和个人剂量计的校准及其能量响应和角响应的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [4] 上海市计量测试研究院, 上海精博工贸公司. JJG 1009 - 2006 直读式 X、辐射个人剂量当量(率)监测仪检定规程 [S]. 北京: 中国计量出版社, 2006.

收稿日期: 2015 - 08 - 15 修回日期: 2015 - 09 - 28

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2016.01.036

统计结果的解释和表达

当 $P < 0.05$ (或 $P < 0.01$) 时, 应说明对比组之间的差异具有统计学意义; 并说明所用统计分析方法的具体名称, 例如: 成组设计资料的 t 检验、两因素析因设计资料的方差分析、多个均数之间两两比较的 q 检验等, 给出统计量的具体值(如: $t = 3.45$, $\chi^2 = 4.68$, $F = 6.79$); 在用不等式表达 P 值的情况下, 一般情况下选用 $P > 0.05$ 、 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 3 种表达方式即可满足需求, 无须在细分为 $P < 0.001$ 或 $P < 0.0001$ 。当涉及总体参数时(如总体均数和总体率)时, 在给出显著性检验结果的同时, 应给出 95% 可信区间。

本刊编辑部