

应急辐射防护用携带式高量程 X、γ 和 β 辐射剂量与剂量率仪

本标准参照采用国际标准 IEC 45B(CO)73《应急辐射防护用携带式高量程 β 和光子剂量与剂量率仪》。

1 主题内容与适用范围

1.1 本标准规定了应急辐射防护用携带式高量程 X、γ 和 β 辐射剂量与剂量率仪的使用性能和设计要求,包括一般特性、辐射特性、电学特性、机械特性、安全特性、环境特性、检验程序和文件。

1.2 本标准适用于核事故应急期间测量 X、γ 和 β 辐射产生的高剂量或高剂量率的便携式仪器。对 X、γ 辐射是指自由空气中的空气吸收剂量与剂量率,对 β 辐射测量是指人体组织深度为 7Mg/cm² 处的组织吸收剂量与剂量率。若采用周围剂量当量(剂量当量率)、定向剂量当量(剂量当量率)或空气比释动能(空气比释动能率)为被测的量,本标准仍适用,但需将约定真值的辐射量由吸收剂量(剂量率)改变为相应的辐射量。

1.3 本标准适用于对外实施应急监测的仪器。这种仪器亦可用于应急期间场内的测量。

1.4 本标准也为应急辐射监测选择仪器提供依据,这种仪器必须能可靠、快速地提供数据,以便为采取应急行动及时作出决策。

2 引用标准

GB 8993 核仪器环境试验基本要求与方法

GB 12162 用于校准剂量仪和剂量率仪及确定其能量响应的 X、γ 参考辐射

3 术语

3.1 角响应 angular response

探测器的响应随辐射入射角的变化。

3.2 变异系数 coefficient of variation

变异系数 V 是一组 n 次测量值 X_i 的标准偏差 σ 与其算术平均值 \bar{X} 的比,其值为:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \dots\dots\dots (1)$$

3.3 量的约定真值 conventional true value of quantity

一个量的约定真值是该量的最佳估计值。通常,它的数值由次级标准或基准确定,或者由一台按次级标准或基准标定过的参考装置确定。

3.4 探测轴线 detection axis

携带式仪器测量入射辐射所沿的方向线。该轴线由制造厂规定,并与仪器的校准方向一致。

3.5 测量的有效量程 effective range of Measurement

满足本标准要求的量程范围。

3.6 指示值误差 error of indication

在测量点,一个量的批示值和该量的约定真值之间的差。

3.7 非探测器响应 extracamera response

探测器以外的仪器其它部分由辐照产生的寄生响应(读数)。

3.8 场外 offsite

一般公众可自由进入的任何地区。

3.9 仪器参考点 reference point of an assembly

该点是仪器的校准点,检验时必须将该点置于约定真值已知的检验点上。

3.10 指示值的相对误差 relative error of an indication

以百分数表示的指示值的相对误差 I ,由下式给出:

$$I(\%) = \frac{\dot{D}_i - \dot{D}_t}{\dot{D}_t} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

式中: \dot{D}_i ——剂量率的指示值;

\dot{D}_t ——剂量率的约定真值。

3.11 相对固有误差 relative intrinsic error

在规定的参考条件下,仪器受到规定的参考辐射照射时的指示值的相对误差。

3.12 响应时间 response time

当剂量率突然变化,仪器的指示值从初始值改变至最终稳定值的 90%所需的时间。

3.13 合格检验 qualification test

确定几台或一批仪器是否满足规定要求而进行的一系列检验。合格检验包括型式检验和常规检验。

3.13.1 型式检验 type test

新产品试制定型或老产品修改工艺、结构,改变原材料、重要零部件、电路参数等所进行的检验。

3.13.2 常规检验 routine test

对批量生产的每台仪器都要做的检验。

3.14 验收检验 acceptance test

按照制造厂和用户签订的合同内容,所进行的检验。

4 一般技术要求

4.1 量程

仪器必须能测量 $10^{-3} \sim 100 \text{ Gy/h}$ 的 β 辐射和 $10^{-4} \sim 10 \text{ Gy/h}$ 的 X、 γ 辐射剂量率。如果具有测量累积剂量的功能,其量程至少必须能测量 $10^{-3} \sim 20 \text{ Gy}$ 的 β 辐射和 $10^{-4} \sim 2 \text{ Gy}$ 的 x、 γ 辐射剂量。

如果要求仪器具有剂量率预定阈值报警功能,其阈值范围及调节方式(阈值连续可调或固定几点)等由用户与制造厂协商确定。

4.2 读数

仪器应采用单一刻度。如果单一刻度不能满足需要,则测量量程和读数刻度的改变必须同步,而且必须清楚地显示。在通常的光照条件下,所有刻度应容易读出。

4.3 仪器参考点

必须在仪器外部标明确定仪器参考点的标志。制造厂必须说明仪器的参考点及相对于校准辐射源的基准入射方向。

4.4 便携性

作为巡测仪,成套仪器重量不得超过 4kg,为便于携带或操作,应装有把手、背带或其它设施。仪器还可延伸探头或采取其它措施以减少操作者所受的剂量。

4.5 开关保护

开关和其它控制器必须采用保护措施,以防止误操作。

4.6 易去污性

仪器的选材和结构应易于去除放射性污染。

5 检验程序和方法

5.1 检验性质

本标准列举的所有检验均为型式检验。经制造厂和用户商定,这些检验中的某些项目可用作验收检验。

5.2 基本原则

5.2.1 在表 1 中规定了仪器检验的参考条件和标准检验条件。

5.2.2 在标准检验条件下所做的检验列于表 2。表 2 除列出了检验要求外,还注明了其检验方法的对应条款。

5.2.3 改变影响量的检验

这些检验用来确定影响量变化时对测量结果的影响。表 3 给出了每种影响量的变化范围,以及仪器的指示值相应变化的限值。

为了检验表 3 所列的任一种影响量变化所带来的影响,所有其它影响量都应该保持在表 1 所列标准检验条件的限值之内(除非在有关检验程序中另有说明)。

表 1 参考和标准检验条件

(除制造厂另有说明外)

影响量	参考条件	标准检验条件
参考 γ 辐射源	^{137}Cs 或 ^{60}Co	^{137}Cs 或 ^{60}Co
参考 β 辐射源	$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 或 ^{147}pm	$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 或 ^{147}pm
检验预热时间	10min	10min
相对湿度	65%	55%~75%
环境温度	20℃	18~22℃
大气压强	101.3 kPa	70~106 kPa
辐射入射方向	制造厂给出校准方向	给出方向的 $\pm 10^\circ$
γ 辐射本底	空气中吸收剂量率 0.2 $\mu\text{Gy/h}$ 或更低	空气中吸收剂量率小于或等 于 0.2 $\mu\text{Gy/h}$ 或更低
外来电磁场	可忽略	小于引起干扰的最小值的 0.5 倍
外来磁感应	可忽略	小于地磁场感应的两倍
仪器取向	由制造厂说明	规定的取向位置的 $\pm 10^\circ$ 以内
仪器的控制器	置于正常工作位置	置于正常工作位置
放射性污染	可忽略	可忽略

表 2 在标准检验条件下进行的检验

待检验的特性(条款)	要 求	检验方法(条款)
响应时间(7.2)	在量程大于 1MGy/h 时小于 3s 在其它量程小于 5 s	7.2.2
相对固有误差(6.1)	约定真值的 $\pm 30\%$	6.1.2
变异系数(3.2 和 7.4)	小于 20%	7.4.2
辐射过载检验(6.5)	受 10 倍于满刻度剂量率照射 10min, 读数必须不小于满刻度	6.5.2
稳定性(7.3)	在三天内任 1h 小于满刻度的 $\pm 3\%$	7.3.2
非探测器响应(6.7)	小于探测器响应的 2%	6.7.2
冲击与振动(8.7)	保持工作能力	8.7
仪器取向(8.8)	相对参考取向的 $\pm 10\%$	8.8.2
报警阈值的准确度(6.2)	预置阈值的 $\pm 15\%$	6.2.2

表 3 影响量变化进行的检验

影 响 量	影响量取值范围	指示值变化 限度	检验方法(条款)
X、 γ 能量(6.3)	0.08~1.5MeV	$\pm 30\%$	6.3.2
角响应(6.6)	0.08~1.5MeV	$\pm 30\%$	6.6.2
β 辐射能量(6.4)	$100\text{keV} \leq E_{\max} \leq 500\text{keV}$ $500\text{keV} < E_{\max} \leq 1\text{MeV}$ $1\text{MeV} < E_{\max} \leq 4\text{MeV}$	$\pm 80\%$ $\pm 35\%$ $\pm 30\%$	6.4.2
一次电池(7.1)	在满刻度读数为 10% 连续工作 100h 后	$\pm 10\%$	7.1.2
环境温度(8.1)	-20~50 C	$\pm 20\%$	8.1.2
湿度(8.2)	40%~95%	$\pm 10\%$	8.2.2
大气压强(8.3)	70~106kPa	$\pm 10\%$	8.3.2
磁感应(8.4)	$\leq 800\text{A/m}$	$\pm 10\%$	8.4.2
电磁辐射(8.5)	在频率 0.1~500MHz $10\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ 在频率 500~1000MHz $1\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$	$\pm 10\%$	8.5.2
静电放电(8.6)	在接地机壳上加上 2mJ 和放电间隔为 10s 的 6kV(场强 $\leq 5\text{kV} \cdot \text{m}^{-1}$)	$\pm 10\%$	8.6.2

5.3 检验点

选定测量剂率的检验点时,辐射源至探测器的距离要足够远,以保证由于探测器受照不均匀引起的误差不大于 10%。

必须采取措施把检验点的散射减到最小。除非制造厂另有说明外,安放仪器时,必须使检验点与探测器的灵敏中心(仪器参考点)重合。

5.4 检验的统计可靠性

任何一项使用辐射的检验,在其所允许的指示值变化中,如果单独因放射性随机特性引起的统计涨落占有显著份额,则必须取足够多的读数,以保证能以足够高的精度估算这些值的平均值,并能从 95%的置信度表明上述检验是否合格。相邻两次读数的时间隔至少应该是响应时间的三倍,以保证这些读数在统计学上是相互独立的。

5.5 X、 γ 参考辐射

除了 6.3 条(X、 γ 辐射的能量响应)、6.6 条(角响应)所给出的检验外,所有检验必须用单能辐射源, ^{137}Cs

如果为了实用的原因使用⁶⁰Co源,考虑到⁶⁰Co和¹³⁷Cs之间响应的差别,必须修正至相应于¹³⁷Cs的响应在测量点提供的¹³⁷Cs或⁶⁰Co剂量率约定真值的不确定度不得超过±10%。

6 辐射特性的要求和检验方法

6.1 相对固有误差

6.1.1 要求

在标准检验条件下,相对固有误差不得超过¹³⁷Cs或⁶⁰Co参考辐射源在测量点的剂量率约定真值的±30%。

6.1.2 检验方法

对线性刻度的仪器,必须在所有量程的刻度最大值的20%、40%、80%附近选定测量点。

对对数刻度或数字显示的仪器,亦应在测量的有效量程内的每一个十进位中取上述三个测量点进行该项检验。

6.1.3 测量结果的解释

为确定测量结果是否满足6.1.1要求,应该考虑测量点剂量率约定真值的不确定度不得超过±10%。

如果按3.10、3.11定义测得的相对固有误差落在下述两个限值的范围内,则可以认为6.1.1的要求已经满足:

- a. 每单次测量的相对固有误差不超过±40%;
- b. 任两次测量的相对固有误差之间的偏差不超过60%。

6.2 报警阈值的准确度

6.2.1 要求

当仪器受到0.85倍剂量率预置阈值的辐射照射时,在10min内不得报警。

当仪器受到1.15倍剂量率预置阈值的辐射照射时,必须在5s内报警。

6.2.2 检验方法

如果剂量率约定真值的不确定度为±y%,使仪器受到 $0.85(1-y/100)$ 乘以剂量率预置阈值的辐射照射时,经10min,在此时间内仪器不得报警。使仪器受到 $1.15(1+y/100)$ 乘以剂量率预置阈值的辐射照射时,仪器必须在5s内报警。至少必须在可预置剂量率阈值的有效范围内取最小与最大值附近二个点作上述检验。

6.3 X、γ辐射的能量响应

6.3.1 要求

X、γ辐射能量在0.08~1.5MeV范围内的响应,必须在¹³⁷Cs响应的±30%以内。

6.3.2 检验方法

X、γ辐射的能量响应可以在任何量程测量;但应对仪器的每个探测器进行检验并提供一组完整的测量数据,不同X、Y辐射能量的响应由某能量的仪器指示值与该能量的剂量率约定真值之比确定。约定真值必须由经过计量标准实验室校准的标准仪器或辐射源确定,其不确定度不得超过±10%。

按照GB 12162规定的参考辐射系列,选择如下能量:

- a. ¹³⁷Cs(0.662MeV);
- b. ⁶⁰Co(1.17和1.33MeV);
- c. 重过滤X射线(在有效能量80~250keV范围内至少选择四种能量)。每个能量点的测量结果应满足:

$$0.7 \leq (\dot{D}_i/\dot{D}_i)_x / (\dot{D}_i/\dot{D}_i)_{Cs}^{137} \leq 1.3$$

式中: $(\dot{D}_i/\dot{D}_i)_x$ ——待测量入射辐射的仪器指示值和剂量率约定真值之比;

$(\dot{D}_i/\dot{D}_r)^{137}\text{Cs}$ —— ^{137}Cs 入射辐射的仪器指示值和剂量率约定真值之比。

原则上,对每种辐射能量,本项检验应该用同样的剂量率,实际上很难做到。此时,由于剂量率变化引起的偏差可用 ^{137}Cs 或 ^{60}Co 的剂量率的非线性特性进行修正(必要时,可用内插法)。应尽量避免其它影响量对此项试验的干扰。

6.4 β 辐射能量响应

6.4.1 要求

在仪器的校准方向,由最大能量 E_{\max} 为 0.1~4MeV 的 β 辐射源所产生的剂量率指示值与 β 组织吸收剂量率约定真值相差不得超过如下限值:

$$100\text{keV} \leq E_{\max} \leq 500\text{keV} \quad \pm 80\%$$

$$500\text{keV} < E_{\max} \leq 1\text{keV} \quad \pm 35\%$$

$$1\text{MeV} < E_{\max} \leq 4\text{MeV} \quad \pm 30\%$$

仪器对能量小于 50keV 的 β 辐射指示应为 0。

6.4.2 检验方法

本项检验最少应使用下列 β 辐射源:

- $^{147}\text{Pm}(E_{\max} 0.225\text{MeV})$;
- $^{204}\text{Tl}(E_{\max} 0.763\text{MeV})$;
- $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}(E_{\max} 2.27\text{MeV})$;
- $^{106}\text{Rh}-^{106}\text{Ru}(E_{\max} 3.5\text{MeV})$ 。

测量点给出的组织(深度为 $7\text{Mg}/\text{cm}^2$)吸收剂量率约定真值的不确定度不得超过 $\pm 20\%$ (^{147}Pm) 与 $\pm 10\%$ (^{204}Tl 、 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 、 $^{106}\text{Rh}-^{106}\text{Ru}$)。

仪器对 ^{147}Pm 、 ^{204}Tl 、 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 和 $^{106}\text{Rh}-^{106}\text{Ru}$ 单次测量的相对固有误差必须分别不超过 $\pm 100\%$ 、 $\pm 45\%$ 、 $\pm 40\%$ 和 $\pm 40\%$ 。而任两次测量相对固有误差间的差别必须分别不大于 160% 、 70% 、 60% 和 60% 。对每一能量仪器应至少在有效测量量程内接近高、低端各测一个点。

如果由于条件限制,经制造厂和用户协商亦可仅用 ^{147}Pm 和 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 辐射源作此项检验。

6.5 辐射过载检验

6.5.1 要求

仪器在测量剂量(率)的情况下,受 10 倍于满刻度剂量率的照射,能连续工作,且读数必须达到或超过满刻度。测量剂量率情况下,当辐射场减弱到满刻度读数以下时,仪器的指示值必须在 15s 内回到相应的读数。

6.5.2 检验方法

相应于每一探测器,将仪器在剂量率为量程满刻度值 10 倍的辐射场中照射 10min,其读数必须不小于满刻度。将辐射剂量率减至满刻度值的 90%,仪器指示值回到相应读数所需时间,必须小于 15s。

测剂量的仪器,受满刻度值 10 倍的剂量照射,其指示值必须始终保持不小于满刻度。

6.6 角响应

6.6.1 要求

在 0.08~1.5MeV 能量范围内,仪器在 2π 立体角内的响应与参考入射方向的响应比较,不得超过 $\pm 30\%$ 。

对 β 辐射的角响应必须由制造厂说明。

6.6.2 检验方法

探测器或仪器必须放在合适的、单方向的、近似平行束的辐射场内,使产生大约一半满刻度的读数,在单个

仪器上可以在任何量程或十进位上获得此读数。然后应使仪器或入射辐射方向围绕三个相互垂直的平面的各自中心轴旋转,且在每个平面内至少每隔 45° 便记录一个读数,把结果画在极坐标纸上,应满足 6.6.1 的要求。本项检验必须至少用两个代表性能量的辐射源,一个是 ^{137}Cs 或 ^{60}Co ,另一个的能量大约为 80keV 。

6.7 非探测器响应

6.7.1 要求

在剂量率为 $10^{-4}\sim 10\text{Gy/h}$,能量大于 1MeV 的 X、 γ 辐射场内,非探测器响应应该小于 2%。

6.7.2 检验方法

将探测器屏蔽或远离辐射场,而仪器的其余部分受到 X、 γ 辐射能量大于 1MeV 、剂量率为 10Gy/h 的辐射场照射下,其读数应不大于 0.2Gy/h 。

6.8 中子响应

制造厂必须给出仪器对中子的响应。

7 电学特性的要求和检验方法

7.1 电源

7.1.1 要求

仪器必须使用符合国标规定的通用电池供电。此外,当仪器工作温度从 $-20\sim 50^\circ\text{C}$,在最大满刻度 10% 的照射水平时,电池寿命不得少于 100h(在温度低于 0°C 时,应使用碱性电、锂电池或其它合适的电池)。仪器必须装有电池检查电路和电池工作状态指示器。电池的连接方式可以任选,但可以更换。制造厂必须在仪器上清楚地标出与电池极性对应的极性。如果使用二次电池,应能用交流电源在 16h 内重新充电。

7.1.2 检验方法

对本项检验,必须使用新的一次电池或制造厂推荐的充满电的二次电池。

仪器受到读数为最大满刻度值 10% 的辐射场照射,连续取 10 个读数,求出起始读数的平均值。仪器在此辐射场中至少连续工作 100h,在这个时间末尾,再连续取 10 个剂量率读数,求出末尾读数的平均值。末尾读数平均值与起始的平均值相差不得超过 $\pm 10\%$ 。

7.2 响应时间

7.2.1 要求

响应时间必须由制造厂阐明,且必须满足下列要求:

- a. 在量程 $0.1\sim 1\text{MGy/h}$ 之间作剂量率变化时,不大于 5s ;
- b. 在量程大于 1MGy/h 作剂量率变化时,不大于 3s 。

7.2.2 检验方法

用一合适的 X、 γ 辐射源照射探测器,初始和最终的剂量率必须相差 10 倍,并按这一倍率作增大或减小剂量率的两种测量。也可在测量部件的输入端注入适当的电信号。注入的电信号必须与以上要求一致。

对于增大剂量率的检验,探测部件必须首先受高剂量率照射,并且记下指示值 D_H 。然后将仪器转为低剂量率照射,经足够长的时间,使之达到一个稳定的值 D_L ,且记下这个指示值。接着必须尽快地(不超过响应时间的 $1/10$)把剂量率改变到对应于指示值 D_H 的数值,测量读数达到 $\dot{D}_L + 0.9(\dot{D}_H - \dot{D}_L)$ 时所需的时间,应满足 7.2.1 条要求。

把对应的高、低剂量率互相对换,用同样方法作减小剂量率的检验。此时,测量读数达到 $\dot{D}_H - 0.9(\dot{D}_H - \dot{D}_L)$ 时所需的时间,应满足 7.2.1 条要求。

7.3 稳定性

7.3.1 要求

仪器在标准检验的温度和压力条件下,预热 10min 后,每天工作 8h,共工作 3d,其中任 1h 的稳定性,对线性刻度的仪器必须在满刻度的 $\pm 3\%$ 以内;对对数刻度和数字显示的仪器必须在取数所在的十进位最大值的 $\pm 3\%$ 以内。

7.3.2 检验方法

预热 10min 以后,用源照射,使仪器的读数大约在最灵敏的量程或十进位位的 75%处,然后在 8h 内每隔 1h 记下一次数(取 10 个读数的平均值)。连续 3d 重复上述检验,共得 24 个数,其中任一小时的数与 24 个数的平均值相差必须在 $\pm 4\%$ 之内。

7.4 统计涨落

7.4.1 要求

剂量率测量仪的指示值可以在它的平均值左右涨落。指示值的变异系数必须不大于 20%。

对于线性刻度的仪器,凡超过最灵敏量程满刻度 1/3 读数相对应的剂量率均适用这些要求。

对于非线性(如对数)刻度的仪器,凡超过最低有效刻度三倍的读数相对应的所有剂量率均适用这些要求。

对于数字显示的仪器,凡超过第一个工作数位的 10 倍读数相对应的剂量率均适用这些要求。

7.4.2 检验方法

用辐射源照射仪器。对于线性刻度仪器,使其剂量率处于最灵敏量程满刻度 1/3~1/2 之间;对于对数刻度仪器,使其剂量率处于第一个十进位位量程 1/3~1/2 之间;对于数字显示仪器,使其剂量率处于第二个十进位位量程 1/3~1/2 之间。

为了以 95%的置信度达到剂量率测量要求(见 3.2、5.4 和 7.4),至少取 20 个指示值读数。为了使这些读数实质上互不相关,该时间间隔必须不小于测量仪器时间常数的三倍。所有这些读数的平均值及变异系数必须符合 7.4.1 的要求。在测量过程中需切换探测器的仪器,检验方法由用户和制造厂协商。

7.5 预热时间

7.5.1 要求

预热时间必须由制造厂说明,但是不得超过 3Min。

7.5.2 检验方法

将仪器置于使指示值达到最灵敏量程约 1/2 的辐射场中,仪器通电 3Min 后,每隔 15s 记一次读数,直至第 6Min,在仪器通电 30min 后,按不小于仪器时间常数三倍的间隔取不少于 20 个读数,并将这些读数的平均值作为仪器的最终指示值。在指示值随时间(3~6min)变化图上,画一条与测量值拟合得最好的光滑曲线。最终指示值与在曲线上第 5Min 对应的读出值之间的差别必须在制造厂所说明的限值之内。

8 环境和机械特性的要求和检验方法

8.1 温度

8.1.1 要求

温度在 $-20\sim 50\text{C}$ 引起的读数变化不得超过 $\pm 20\%$ 。

8.1.2 检验方法

一般必须在高、低温箱内进行该项检验。首先必须用一个参考源在箱内标准检验温度下取一个仪器指示值。然后将仪器降温至 -20C 或升温到 50C ,在每个温度下至少保持 4h,在 4h 的最后 30min 记下仪器的指示值,它与标准检验温度下指示值比较必须满足 8.1.1 要求。

8.2 湿度

8.2.1 要求