



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 1059—2010

个人与环境监测用 X、 γ 辐射 热释光剂量计

Thermoluminescence Dosimeters used in Personal
and Environmental Monitoring for X and γ Radiation

2010-09-06 发布

2010-12-06 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

个人与环境监测用 X、 γ
辐射热释光剂量计检定规程

Verification Regulation of Thermoluminescence
Dosimeters used in Personal and Environmental
Monitoring for X and γ Radiation

JJG 1059—2010

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2010 年 9 月 6 日批准，并自 2010 年 12 月 6 日起施行。

归口单位：全国电离辐射计量技术委员会

起草单位：上海市计量测试技术研究院

本规程委托全国电离辐射计量技术委员会负责解释

本规程起草人：

陈建新（上海市计量测试技术研究院）

李燕飞（上海市计量测试技术研究院）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 术语	(1)
3.2 计量单位	(2)
4 概述	(3)
5 计量性能要求	(3)
6 通用技术要求	(3)
7 计量器具控制	(3)
7.1 检定条件	(3)
7.2 检定项目	(5)
7.3 检定方法	(5)
7.4 检定结果的处理	(7)
7.5 检定周期	(7)
附录 A 剂量当量转换因子	(8)
附录 B X 参考辐射的特性和产生条件	(11)
附录 C 置信区间	(12)
附录 D 检定证书及检定结果通知书内页格式	(15)

个人与环境监测用 X、 γ 辐射热释光剂量计检定规程

1 范围

本规程适用于在 X、 γ 辐射个人和环境剂量监测中使用的 X、 γ 辐射热释光剂量计（以下简称剂量计）的首次检定、后续检定和使用中检验。适用的辐射量为个人剂量当量 $H_P(10)$ 、 $H_P(0.07)$ 和周围剂量当量 $H^*(10)$ ，量值范围为 0.01 mSv~10 Sv，光子能量范围为 30 keV~1.5 MeV。

本规程不适用于个人监测和环境监测用 X、 γ 辐射热释光剂量测量系统的检定。

本规程不适用于配用肢端剂量计的用于个人监测的装置，也不适用于测量 β 辐射、中子辐射和宇宙射线辐射装置的检定。

2 引用文献

本规程引用下列文献：

IEC 61066—2006：Thermoluminescence dosimetry systems for personal and Environmental Monitoring（个人与环境监测用热释光剂量系统）（2006-06）

GB/T 12162.1—2000 用于校准剂量仪和剂量率仪及确定其能量响应的 X 和 γ 参考辐射 第 1 部分：辐射特性及产生方法

GB/T 12162.2—2004 用于校准剂量仪和剂量率仪及确定其能量响应的 X 和 γ 参考辐射 第 2 部分：辐射防护用的能量、范围为 8 keV~1.3 MeV 和 4 MeV~9 MeV 的参考辐射的剂量测定

GB/T 12162.3—2004 用于校准剂量仪和剂量率仪及确定其能量响应的 X 和 γ 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

使用本规程时，应注意使用上述文献的现行有效版本。

3 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 热释光 thermoluminescent (TL)

某些特定物质所具有的特性，即当这些物质经电离辐射或紫外线辐照后再被加热时因受辐照的激发而产生的光发射现象。

3.1.2 热释光探测器（简称探测器） thermoluminescent (TL) detector

规定数量的热释光材料，或由热释光材料和非热释光材料配合组成的具有确定质量、形状或尺寸大小的一个固定部件。

3.1.3 热释光剂量计（简称剂量计） thermoluminescent (TL) dosimeter

含有一个或数个热释光探测器的被动式测量装置，为便于使用它可能被安置在一个

盒套内，以便于佩戴在人员的身体上或放置在测量环境中，从而可用来确定其所放置的位置处或附近的剂量当量。

3.1.4 热释光剂量读出仪（简称读出仪） thermoluminescent (TL) dosimeter reader

用来测量由热释光剂量计中的热释光探测器所发出的光线的仪器，基本上包括有一个加热装置、一个测光装置和附属的电子线路。

3.1.5 热释光剂量测量系统（简称系统） thermoluminescent dosimetry (TLD) system

为确定剂量当量评定值所使用的热释光剂量计、读出仪和所有的配套设备以及所有的工作程序。

3.1.6 周围剂量当量 $H^*(d)$ ambient dose equivalent, $H^*(d)$

辐射场中某一点处的周围剂量当量 $H^*(d)$ 是相应的齐向扩展场在 ICRU 球体内、逆向齐向场的半径上深度 d 处产生的剂量当量。

注①：对采用 $H^*(d)$ 形式的监测，推荐的深度 d 为 10 mm，此时 $H^*(d)$ 可写为 $H^*(10)$ 。

注②：在扩展场中，在所研究的整个体积内光子注量及其角分布、能量分布与实际场中的参考点具有相同值。在齐向扩展场中，注量及其能量分布同上述扩展场，但其注量是单向的。

3.1.7 个人剂量当量 $H_p(d)$ personal dose equivalent, $H_p(d)$

个人剂量当量 $H_p(d)$ 是人体表面某一指定点下深度为 d 处的软组织的剂量当量。对强贯穿辐射的监测，推荐的深度 d 为 10 mm，此时 $H_p(d)$ 可写为 $H_p(10)$ 。对弱贯穿辐射的监测，推荐的深度 d 为 0.07 mm，此时 $H_p(d)$ 可写为 $H_p(0.07)$ 。

3.1.8 转换因子 conversion factor

用以将空气比释动能转换成相应剂量当量的参数因子，见表 2 及附录 A。

3.1.9 评定值 E evaluated value

系统所需测量的量值（如通过使用适当的评定因子 F ，从热释光读出仪的读出值 R 而获得的定向剂量当量 $H'(10)$ 、空气比释动能 K_a 等）。

3.1.10 评定因子 F_e evaluation factor

用来将热释光读出仪的某一个或一组读出值 r 转换成要求的评定值 E 的一个或一组系数。

3.1.11 模体 phantom

在 X 和 γ 辐射的散射和吸收特性方面用来模仿人体的一种特定的物体。

3.1.12 热释光剂量计的预备 prepare

为使热释光剂量计（或探测器）满足日常使用的要求而必须的所有的常规处理程序，例如退火、清洁等。

3.1.13 热释光剂量计的读出 readout

将热释光剂量计置于热释光读出仪中加热并测量其发光量的过程。

3.2 计量单位

3.2.1 个人剂量当量的计量单位是希沃特，符号：Sv， $1\text{Sv} = 1\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

3.2.2 空气比释动能的计量单位是戈瑞，符号：Gy， $1\text{Gy} = 1\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

3.2.3 本规程中所用到的其他量均采用国际单位制（SI）单位。另外对辐射能量也可采用电子伏特，符号：eV， $1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}\text{J}$ ，时间单位除秒（s）之外可采用分

(min)、时 (h)、日 (d) 和年 (a)。

4 概述

本规程涉及的剂量计通常由一个或多个热释光探测器和一个便于携带的适宜容器组成。它和热释光剂量读出仪配合使用，再加上所有的配套设备和工作程序，即可构成完整的热释光剂量测量系统。

剂量计受辐照时，热释光探测器吸收并贮存射线的部分能量，在测读过程中被加热时以可见光的形式释放这部分能量，并为读出仪测得，在一定剂量范围内其发光量与所受辐照的剂量成线性关系。

X、 γ 辐射热释光剂量计按其类型和用途可分为个人剂量监测 [适用量为 $H_p(10)$ 、 $H_p(0.07)$] 和环境剂量监测 [适用 $H^*(10)$] 两大类。

5 计量性能要求

热释光剂量计的主要辐射性能必须满足表 1 的要求。

表 1 热释光剂量计辐射性能要求

主要辐射性能	测量条件	技术要求
均匀性	约 10 mSv	30%
测量重复性	测量范围内次最低量级	5.0%
测量非线性	0.1 mSv~10 Sv 之间覆盖 4 个量级	-9%~+11%

6 通用技术要求

6.1 剂量计外观应完好无缺损并带有识别标记，所附的佩戴夹持装置应能正常工作。剂量计各部件包括内部的热释光探测元件装配应紧密，不应随意活动脱落。其外壳应能避光、防潮并便于清洁。

6.2 每批剂量计应附有生产商给出的剂量当量的有效测量范围和适用的辐射能量范围等相关信息参数。

7 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检验。

7.1 检定条件

7.1.1 计量标准

7.1.1.1 空气比释动能率的约定真值用防护水平电离室型剂量仪测量，其量值应可溯源至空气比释动能基准。

7.1.1.2 空气比释动能率约定真值的扩展不确定度 ($k=2$) 均应不大于 10%。

7.1.1.3 个人剂量当量 $H_p(0.07)$ 和 $H_p(10)$ 的约定真值，可通过空气中同一点的空气比释动能约定真值转换获得，其转换因子 $F_p(0.07)$ 和 $F_p(10)$ 见表 2 及附录 A。

7.1.2 参考辐射

7.1.2.1 检定所需使用的 X、 γ 参考辐射见表 2 和附录 B。

表 2 检定所用 X、 γ 参考辐射及其相关转换因子

参考辐射	规范	能量/keV	$F_p(0.07) / \text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$	$F_p(10) / \text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$
过滤 X 辐射 (窄谱)	N-40	33	1.27	1.17
	N-60	48	1.55	1.65
	N-80	65	1.72	1.88
	N-100	83	1.72	1.88
	N-120	100	1.67	1.81
	N-150	118	1.61	1.73
	N-200	164	1.49	1.57
γ 辐射	S-Cs	662	—	1.21
	S-Co	1 250	—	1.15

7.1.2.2 在检定点的辐射束的均匀区域应能完全覆盖受检剂量计，该区域内的不均匀性应不超过 5%。

7.1.2.3 散射辐射对各检定点空气比释动能率的贡献应小于该点总空气比释动能率的 5%。

7.1.3 配套设备

7.1.3.1 热释光读出仪

热释光剂量读出仪用来对热释光剂量计所受照的剂量当量相对应的发光量 L 进行测量和读出。其读出范围必须能完全覆盖包括个人监测和环境监测热释光剂量测量的范围，即 0.01 mSv~10 Sv；其测量重复性和短期稳定性均必须优于 1.0%。

7.1.3.2 热释光剂量计退火炉

热释光剂量计退火炉用来对读出后的热释光剂量计中的热释光探测器进行退火处理和为下次测量进行预备，其退火处理的性能，如温度和时间控制范围必须能完全满足对各种类型热释光探测器的退火要求。

7.1.3.3 模体

本规程使用外部尺寸为 30 cm×30 cm×15 cm（高×宽×厚）的有机玻璃板水箱模体，前面板的厚度不大于 5 mm。

7.1.3.4 定位装置

用于安置标准仪器或受检剂量计，使其能在一定范围内移动并能精确定位于辐射场中的测量点上。定位情况用光学准直系统观测，源至剂量计距离用尺或其他测距装置测量。

7.1.3.5 监测电离室

用于监测并修正 X 射线发生器输出量的变化，推荐使用透过型电离室。在 X 射线发生器输出稳定的条件下可不使用。

7.1.3.6 温度计

测量范围 0℃~50℃，最小分度值不大于 0.2℃。

7.1.3.7 气压计

测量范围至少 86 kPa~106 kPa，最小分度值不大于 0.1 kPa。

7.1.4 环境条件

检定实验室的环境条件应符合表 3 的要求。

表 3 对实验室环境条件的要求

环境参量	要 求
环境温度	15℃~25℃，检定过程中变化不超过±2℃
相对湿度	≤80%
大气压力	86 kPa~106 kPa
γ 辐射本底	空气比释动能率不大于 0.25 μGy·h ⁻¹

7.2 检定项目

个人与环境监测用 X、γ 辐射热释光剂量计的首次检定、后续检定和使用中检验需要进行检定的项目见表 4。

表 4 检定项目

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
批均匀性	+	+	+
测量重复性	+	-	-
测量非线性	+	+	-
注：“+”为应检项目，“-”为可不检项目。			

7.3 检定方法

7.3.1 通用特性

按 6.1~6.2 条的要求逐项检查并核对被检热释光剂量计的通用特性和参数，判断其是否符合相应的要求。

7.3.2 均匀性

对送检的同批/次剂量计进行预备处理，然后用¹³⁷Cs 参考辐射（如无¹³⁷Cs 辐射，也可用⁶⁰Co 代替，如适用能量范围不包括¹³⁷Cs 辐射，采用 200 kV 窄谱（N-200）过滤 X 辐射）以相同的剂量当量值（约为 10 mSv）辐照，读出每一个剂量计的评定值 E_i ，并找出其最大值和最小值 E_{\max} 和 E_{\min} ，应满足：

$$\frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max}} \times 100\% \leq 30\% \quad (1)$$

7.3.3 测量重复性

7.3.3.1 对以下的检定项目剂量计的数量应按如下原则来确定，即必须使每个项目的结果具有 95% 的置信水平。可根据被检热释光剂量计的批稳定性数据并使用附录 C 中的方法进行修正来确定所需剂量计的数量。对于检定时单个剂量计单次测量相对标准偏

差预期大于批均匀性标准偏差的项目（如辐照剂量更低或其他因素影响增加其单次测量相对标准偏差），需要使用合适的学生分布因子来修正其单个剂量计测量标准偏差再来确定其所需剂量计数量。

在符合检测项目置信水平的条件下，推荐对所有项目全部使用固定的 10 个剂量计为 1 组进行检定，这时相对应的分布因子 $t_{n-1} = 2.26$ ，详见附录 C 中表 C.1。

7.3.3.2 对首次检定的批次剂量计，按上面均匀性检定结果中的读出数的高、中、低挑选并预备处理 3 组剂量计（后续检定和使用中检验则只需随机取 1 组进行检定），用 ^{137}Cs [如无 ^{137}Cs 辐射，也可用 ^{60}Co 代替，如适用能量范围不包括 ^{137}Cs 辐射，采用 200 kV 窄谱（N-200）过滤 X 辐射] 均匀辐照，辐照的剂量当量值应选为该批次剂量计的测量范围内次最低量级的低端附近，读出其评定值。并按相同步骤重复 10 次，每次的辐照量应相等。

对每一个剂量计，可得其评定值 E_{ij} ，其中 i 代表第 i 次辐照， j 代表第 j 个剂量计。

对第 i 次辐照，计算所有剂量计的平均值 \bar{E}_i 和相应的标准偏差 s_i 及其 10 次辐照的总平均值 \bar{E} ，应满足：

$$\frac{1}{1.77} \cdot \frac{s_i}{\bar{E}} \leq 0.05 \quad (2)$$

对第 j 个剂量计，计算 10 次辐照的平均值 \bar{E}_j 和相应的标准偏差 s_j ，亦应满足：

$$\frac{1}{1.77} \cdot \frac{s_j}{\bar{E}_j} \leq 0.05 \quad (3)$$

每组剂量计均须符合上述要求。

7.3.4 测量非线性

7.3.4.1 在进行本项目检定时应按如下原则来确定合理的检定点的量值 H_i 和数量 n ，即按剂量计的类型和用途合理均匀地选择检定点的位置，这些检定点必须包括整个有效测量范围的最大值和最小值附近的测量点，并且两相邻检定点的量值相差应小于 10 倍。 n 须不小于 5。选取整个有效测量范围的中点附近的一个检定点的量值作为参考剂量当量值 $H_{r,0}$ 。

7.3.4.2 按“7.3.3 测量重复性”中的取样原则准备 3 组剂量计（后续检定只需取其中 1 组），应尽量采用 ^{137}Cs 参考辐射进行本项目检定（如无法使用 ^{137}Cs 辐射，也可采用 ^{60}Co 代替），对于适用能量范围中不包括 ^{137}Cs 辐射的批次，则应采用 200 kV 窄谱过滤 X 辐射（N-200）完成本项目。按选定的剂量当量约定真值 H_i 的次序对剂量计依次进行预备、辐照和读出，计算每次读出的平均值 \bar{E}_i （已扣除本底）和标准偏差 s_{E_i} 。相对于参考剂量当量值 $H_{r,0}$ 的读出评定值为 $\bar{E}_{r,0}$ （如果剂量计的均匀性条件许可，也可采用 $n \times 3$ 组剂量计来完成上述检定步骤以提高工作效率）。并按式（4）计算每组的刻度因子 K_{fi} ：

$$K_{fi} = \frac{H_{t,i}}{\bar{E}} = \frac{N_K \cdot M_i \cdot F_P(10) \cdot K}{\bar{E}} \quad (4)$$

应满足： $0.91 - U_{\text{com}} \leq K_{r,0}/K_{fi} \leq 1.11 + U_{\text{com}} \quad (i = 1 \sim 5)$ (5)

或可写成：
$$0.91 - U_{\text{com}} \leq \frac{\bar{E}_i}{\bar{E}_{r,0}} \cdot \frac{H_{r,0}}{H_i} \leq 1.11 + U_{\text{com}} \quad (i = 1 \sim 5) \quad (6)$$

式中， U_{com} 是 $\frac{\bar{E}_i}{\bar{E}_{r,0}}$ 值的置信区间的半宽度，其计算方法见附录 C 中的 C.3。式中 $\frac{H_{r,0}}{H_i}$ 的不确定度被认为可忽略。

7.4 检定结果的处理

7.4.1 按本规程的规定和要求检定合格的热释光剂量计发给检定证书，检定不合格的发给检定结果通知书并注明不合格的项目。

7.4.2 检定证书（或检定结果通知书）的格式和内容见附录 D。

7.5 检定周期

个人和环境监测用热释光剂量计的检定周期不超过 1 年。

附录 A

剂量当量转换因子

个人热释光剂量计应以人体组织内下列深度处的剂量当量进行检定：

—— $7 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$

—— $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$

在检定时应将剂量计放置于模体上，用能量在 $(0.015 \sim 3) \text{ MeV}$ 之间的光子辐照。各类剂量计对每种选定能量光子的评定值 E 必须与模体内适当深度处的约定真值 C 比较。

当光子辐射源是以无受照体存在的、并处于电子平衡状态的空气比释动能 K_a 来刻度，且剂量计是被放置于模体表面进行照射，那么：

$$C(7 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}) = F(7 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}) \times K_a$$

$$C(1\,000 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}) = F(1\,000 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}) \times K_a$$

其中， $F(7 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2})$ 和 $F(1\,000 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2})$ 是针对两种深度的转换因子。

表 A.1 和表 A.2 分别给出了两种个人剂量计 ($7 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 和 $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$) 的模体在平行束条件下不同入射角度的转换因子的数值。各辐射条件之间的中间值可用内插法获得。这些数据取自 GB/T 12162.3—2004。对于表 A.2 和 A.3 中的 N-30、N-40 这几种辐射质，需要注意能谱的不纯或变化可能对转换系数的值有显著的影响。表 A.1 给出了单能光子空气比释动能的转换因子。表 A.3 给出了各参考辐射空气比释动能的周围剂量当量转换因子。

表 A.1 单能平行光子平板模体的剂量当量转换因子 $F_p(0.07)$ 和 $F_p(10)$ 的推荐值

能量 E/keV	$F_p(0.07)/\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$	$F_p(10)/\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$
10	0.95	0.01
12.5	0.96	0.10
15	0.98	0.26
20	1.04	0.61
30	1.18	1.11
40	1.29	1.49
50	1.37	1.77
60	1.39	1.89
80	1.38	1.90
100	1.35	1.81
125	1.32	1.70
150	1.28	1.61

表 A.1 (续)

能量 E/keV	$F_p(0.07)/\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$	$F_p(10)/\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$
200	1.25	1.49
300	1.21	1.37
400	—	1.30
500	—	1.26
600	—	1.23
800	—	1.19
1 000	—	1.17
1 250	—	1.15
1 500	—	1.14
3 000	—	1.12
6 000	—	1.11
10 000	—	1.11

表 A.2 不同入射角的平板模体剂量当量转换因子 $F_p(0.07)$ 和 $F_p(10)$ 的推荐值

参考辐射	代号	适用距离 /m	$F_p(0.07)/\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$				$F_p(10)/\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$			
			0°	20°	40°	60°	0°	20°	40°	60°
过滤 X 辐射 (窄谱)	N-30	1.0~2.0	1.10	1.10	1.09	1.07	0.79	0.77	0.68	0.49
	N-40	1.0~3.0	1.27	1.26	1.24	1.19	1.17	1.15	1.06	0.85
	N-60	1.0~3.0	1.55	1.54	1.50	1.42	1.65	1.62	1.52	1.27
	N-80	1.0~3.0	1.72	1.70	1.66	1.58	1.88	1.86	1.76	1.56
	N-100	1.0~3.0	1.72	1.70	1.68	1.60	1.88	1.86	1.76	1.53
	N-120	1.0~3.0	1.67	1.66	1.63	1.58	1.81	1.79	1.71	1.51
	N-150	1.0~3.0	1.61	1.60	1.58	1.54	1.73	1.71	1.64	1.46
	N-200	1.0~3.0	1.49	1.49	1.49	1.46	1.57	1.56	1.51	1.38
	N-250	1.0~3.0	1.42	1.42	1.43	1.43	1.48	1.48	1.44	1.33
	N-300	1.0~3.0	1.38	1.38	1.40	1.40	1.42	1.42	1.40	1.30
γ 辐射	S-Am	2.0~3.0	1.72	1.70	1.66	1.57	1.89	1.86	1.77	1.50
	S-Cs	1.5~4.0	—	—	—	—	1.21	1.22	1.22	1.19
	S-Co	1.5~4.0	—	—	—	—	1.15	1.15	1.16	1.14

表 A.3 参考辐射的周围剂量当量转换因子 $F^*(10)$ 的推荐值

参考辐射	能量 E/keV	适用距离/m	$F^*(10)/\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$
N-30	24	1.0~2.0	0.80
N-40	33	1.0~3.0	1.18
N-60	48	1.0~3.0	1.59
N-80	65	1.0~3.0	1.73
N-100	83	1.0~3.0	1.71
N-120	100	1.0~3.0	1.64
N-150	118	1.0~3.0	1.58
N-200	164	1.0~3.0	1.46
N-250	208	1.0~3.0	1.39
N-300	250	1.0~3.0	1.35
S-Am	59.5	1.0~2.0	1.74
S-Cs	662	1.0~3.0	1.20
S-Co	1 250	1.0~3.0	1.16

附录 B

X 参考辐射的特性和产生条件

B.1 过滤 X 参考辐射的特性以及产生这些辐射所使用的高压和过滤条件见表 B.1。表中的管电压是在负载条件下测得的，附加过滤和固定过滤组成总过滤。对于 12 keV、16 keV、20 keV 和 24 keV 这四个平均能量最低的辐射，固定过滤由推荐的射线管固有过滤 1 mmBe（也可使用其他值）构成。对于其他能量的辐射，固定过滤在 40 kV 条件以上时调整到 4 mmAl。半值层是在距焦斑 1 m 处测量的。检定实验室应通过测谱法或半值层法证实所使用的过滤 X 辐射质与表 B.1 的一致性。

表 B.1 窄谱系列过滤 X 参考辐射

平均能量 /keV	分辨率 /%	管电压 /kV	附加过滤/mm				第一半值层 /mm	第二半值层 /mm
			Pb	Sn	Cu	Al		
12	33	15	0	0	0	0.5	0.14 Al	0.16 Al
16	34	20	0	0	0	1.0	0.32 Al	0.37 Al
20	33	25	0	0	0	2.0	0.66 Al	0.73 Al
24	32	30	0	0	0	4.0	1.15 Al	1.30 Al
33	30	40	0	0	0.21	0	0.084 Cu	0.091 Cu
48	36	60	0	0	0.6	0	0.24 Cu	0.26 Cu
65	32	80	0	0	2.0	0	0.58 Cu	0.62 Cu
83	28	100	0	0	5.0	0	1.11 Cu	1.17 Cu
100	27	120	0	1.0	5.0	0	1.71 Cu	1.77 Cu
118	37	150	0	2.5	0	0	2.36 Cu	2.47 Cu
164	30	200	1.0	3.0	2.0	0	3.99 Cu	4.05 Cu
208	28	250	3.0	2.0	0	0	5.19 Cu	5.23 Cu
250	27	300	5.0	3.0	0	0	6.12 Cu	6.15 Cu

附录 C

置信区间

C.1 概述

如一测量值随机不确定度的大小构成该测量值允许误差的重要部分，则必须考虑以多次测量方法处理随机不确定度。测量次数或样品多少应当这样选择：使检定中具有 95% 置信度的每个平均值 \bar{X} 的置信区间（即该值的扩展不确定度 U ）或处于测量值的允许误差限度以内（该项目检定通过，如图 C.1 中 \triangle 点）或处于该限度以外（该项目检定不通过，如图中 \circ 点）。若允差上下限之一， x_u 或 x_l ，处于平均值置信区间之中（如图中 \square 点），则必须增加测量次数或增加样品数量以降低平均值 \bar{X} 的置信区间宽度 $2U$ ，使达到上述两种情况之一，以便明确判断检定是否通过。

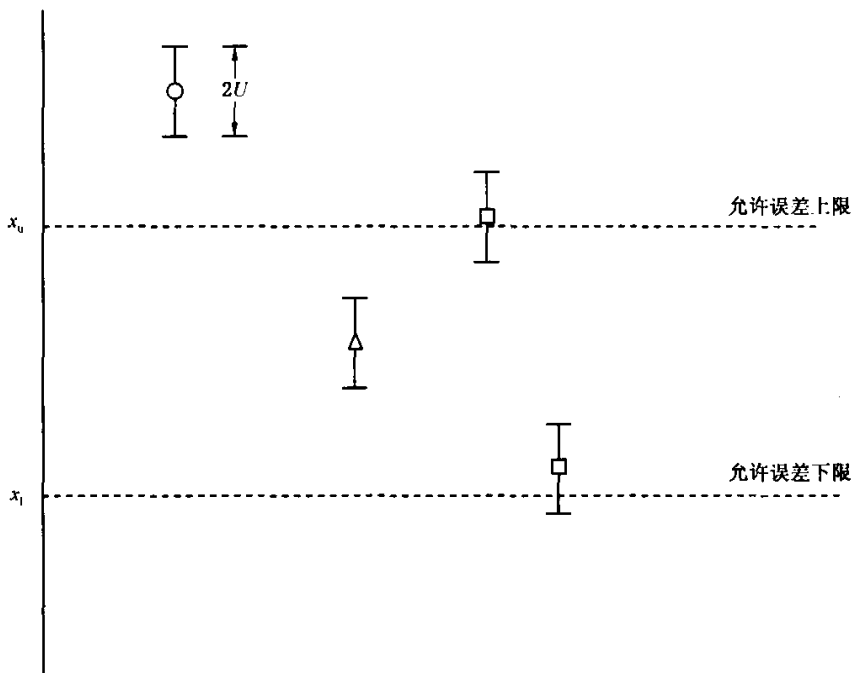


图 C.1 置信区间

若围绕 \bar{X} ，宽度为 $2U$ 的置信区间处于允许误差上、下限 (x_u, x_l) 之间，即

$$x_l + U \leq \bar{X} \leq x_u - U$$

则检定通过。

在每个检定项目中，推荐对每个剂量计先做 10 次测量。如必须降低实验标准误差置信区间宽度 $2U$ ，则应增加测量次数（见 C.2）。

有时，可采用一种方便的方法完成一项检测，即从一批产品中随机抽取一定数量的剂量计来测量，以代替用同一剂量计做重复测量。这种方法诚可使用，但可能增加检验结果的随机不确定度。

C.2 实验平均值 \bar{X} 的置信区间

实验平均值 \bar{X} 的置信区间是

$$(\bar{X} - U_m, \bar{X} + U_m)$$

式中, U_m 是 \bar{X} 的置信区间半宽度。若 \bar{X} 是从 n 次测量中算出, 则具有 95% 置信度的 U_m 可按下式计算:

$$U_m = \frac{t_{n-1}}{\sqrt{n}} \cdot s$$

其中, s 是 n 次测量的标准偏差; n 次测量值的 t_{n-1} (95% 置信区间的覆盖因子) 由表 C.1 获得; 对于 10 个剂量计, 则 $U_m = 0.72s$ 。

表 C.1 学生分布因子

n	t_{n-1}	$\frac{t_{n-1}}{\sqrt{n}} \cdot s$	n	t_{n-1}	$\frac{t_{n-1}}{\sqrt{n}} \cdot s$
2	12.71	9.0	15	2.15	0.55
3	4.30	2.5	20	2.09	0.47
4	3.18	1.59	25	2.06	0.41
5	2.78	1.24	30	2.05	0.37
6	2.57	1.05	40	2.02	0.32
7	2.45	0.92	60	2.00	0.26
8	2.37	0.84	120	1.98	0.18
9	2.31	0.77	∞	1.96	$1.96/\sqrt{n}$
10	2.26	0.72			

C.3 复合量的置信区间

若量 \bar{X} 是由 k 个独立平均值 $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \dots, \bar{X}_k$ 算得:

$$\bar{X} = f(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \dots, \bar{X}_k)$$

而第 i 个平均值 \bar{X}_i 的置信区间半宽度为 U_i , 则 \bar{X} 的置信区间半宽度 U_{com} 由下式给出:

$$U_{com} = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial \bar{X}}{\partial \bar{X}_i} U_i \right)^2}$$

(上式只在 k 个量相互独立且互不干扰的情况下有效)

例如: a) $\bar{X} = \bar{X}_1 + \bar{X}_2$, 则

$$U_{com} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2}$$

通常, $\bar{X} = \sum_{i=1}^k \bar{X}_i$, 则

$$U_{com} = \sqrt{\sum_{i=1}^k U_i^2}$$

b) $\bar{X} = \frac{\bar{X}_1}{\bar{X}_2}$, 则

$$U_{\text{com}} = \frac{\bar{X}_1}{\bar{X}_2} \cdot \sqrt{\left(\frac{U_1}{\bar{X}_1}\right)^2 + \left(\frac{U_2}{\bar{X}_2}\right)^2}$$

c) $\bar{X} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\bar{X}_1 + \bar{X}_2}$, 则

$$U_{\text{com}} = \frac{2}{(\bar{X}_1 + \bar{X}_2)^2} \cdot \sqrt{(\bar{X}_1 \cdot U_2)^2 + (\bar{X}_2 \cdot U_1)^2}$$

附录 D

检定证书及检定结果通知书内页格式

D.1 检定证书内页格式及所需内容推荐如下：

1. 计量标准装置	名称、型号、编号和有效证书等			
2. 检定时的参考辐射条件及相关参数	辐射源/kV、mA 值、过滤条件、HVL、剂量率等			
3. 检定时环境条件	温度、气压、湿度等			
4. 检定结果	TLD 适用类型（环境、个人）			单项结论
	① 均匀性	E_{\max} 和 E_{\min}	所用辐射	合格
	② 线性	最大非线性偏差	检定所用辐射及剂量当量率范围	合格
	③ 重复性	测量结果	所用辐射及剂量当量率	合格
5. 结论	合格			

D.2 检定结果通知书内页格式及应包括的内容推荐如下：

1. 计量标准装置	名称、型号、编号和有效证书等			
2. 检定时的参考辐射条件及相关参数	辐射源/kV、mA 值、过滤条件、HVL、剂量率等			
3. 检定时环境条件	温度、气压、湿度等			
4. 检定结果	TLD 适用类型（环境、个人）			单项结论
	① 均匀性	E_{\max} 和 E_{\min}	所用辐射	
	② 线性	最大非线性偏差	检定所用辐射及剂量当量率范围	
	③ 重复性	测量结果	所用辐射及剂量当量率	
5. 结论	不合格			

不合格项目：