

# JJG

## 中华人民共和国国家计量检定规程

JJG××××-××××

### 个人和环境监测用 X、 $\gamma$ 辐射热释光剂量 测量系统

Thermoluminescence Dosimetry Systems Used in Personal and Environmental Monitoring for X and  $\gamma$   
Radiation

(征求意见稿)

××××-××-×× 发布

××××-××-×× 实施

国家市场监督管理总局

发布

# 个人和环境监测用 X、 $\gamma$ 辐射 热释光剂量测量系统检定规程

JJG 593—20XX  
代替 JJG 593—2016

Verification Regulation of Thermoluminescence  
Dosimetry Systems Used in Personal and  
Environmental Monitoring for X and  $\gamma$  Radiation

---

归口单位：全国电离辐射计量技术委员会

起草单位：中国测试技术研究院

上海市计量测试技术研究院

中国计量科学研究院

本规程委托全国电离辐射计量技术委员会负责解释

# 目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 术语.....	(1)
3.2 计量单位.....	(3)
4 概述.....	(3)
5 计量性能要求.....	(3)
6 通用技术要求.....	(4)
6.1 剂量计.....	(4)
6.2 读出器.....	(4)
7 计量器具控制.....	(4)
7.1 检定条件.....	(5)
7.2 检定项目.....	(6)
7.3 检定方法.....	(6)
7.4 检定结果的处理.....	(9)
7.5 检定周期.....	(9)
附录 A 推荐的检定记录格式.....	(10)
附录 B 检定证书内页格式.....	(11)
附录 C 结果通知书内页格式.....	(12)
附录 D 空气比释动能到剂量当量的转换系数.....	(13)
附录 E X 参考辐射的特性和产生条件.....	(16)
附录 F 数据处理.....	(18)

# 引 言

本规程以 IEC 62387—2020《辐射防护仪器——个人和环境监测用光子和  $\beta$  辐射被动式累积剂量测量系统》为基础，将 JJG 1059—2010《个人和环境监测用 X、 $\gamma$  辐射热释光剂量计》相关内容并入到本检定规程，根据 JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》的要求，对 JJG 593—2016 版进行修订，与 JJG 593—2016 版相比较，除编辑性修改外主要变化如下：

- 删除了“个人剂量当量  $H_p(0.07)$ ”相关内容；
- 对“非线性响应”检定项目的技术指标、判断方法进行了修订；
- 对“变异系数”检定项目的判断方法进行了修订；
- 对“相对误差”检定项目的技术指标、判断方法进行了修订；

JJG 593—2016 的历次版本发布情况为：

- 代替 JJG 593—2006；
- 代替 JJG 593—1989 和 JJG 698—1990。

# 个人和环境监测用 X、 $\gamma$ 辐射热释光剂量测量系统检定规程

## 1 范围

本规程适用于测量剂量范围在 0.1 mSv~1 Sv，能量范围为 80 keV~1.25 MeV 的光子外照射个人剂量当量  $H_p(10)$ 和周围剂量当量  $H^*(10)$ 热释光剂量测量系统的首次检定、后续检定和使用中检查。

本规程不适用于个人剂量当量  $H_p(3)$ 和  $H_p(0.07)$ 热释光剂量测量系统，不适用于脉冲 X、 $\gamma$  辐射、 $\beta$  辐射、中子辐射和宇宙射线辐射装置的检定。

## 2 引用文件

本规程引用下列文件：

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

GB/T 12162.2 用于校准剂量仪和剂量率仪以及确定其能量响应的 X 和  $\gamma$  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

GB/T 12162.3 用于校准剂量仪和剂量率仪以及确定其能量响应的 X 和  $\gamma$  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

IEC 62387—2020 辐射防护仪器——个人和环境监测用光子和  $\beta$  辐射被动式累积剂量测量系统(Radiation protection instrumentation—Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation)

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程，凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

## 3 术语和计量单位

### 3.1 术语

#### 3.1.1 热释光 thermoluminescence (TL)

某些物质呈现的一种特性，即被电离辐射或紫外线辐照过的物质受热时发射出光。

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

一定量的热释光材料，或该材料与其他非发光材料按一定重量比构成的具有确定重量、形状或尺寸的混合物。

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

由一个或多个热释光探测器组成的无源器件。探测器通常安装在适合使用的盒内，以便于人体佩戴或置于环境中用来评价它所处位置或附近的剂量当量。

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

测量热释光剂量计中探测器所发射出光的发光量的仪器，主要由加热装置、测光装置和相关电子学部分组成。

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

由热释光剂量计、读出器和全部附加设备、程序组成的完整系统，用于评价指示值。

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

在辐射场某点处，相应的齐向扩展场在 ICRU 球内，逆齐向场方向的半径上深度  $d$  处产生的剂量当量。

注：对于环境监测， $H^*(d)$  中  $d$  的推荐深度是 10 mm，于是  $H^*(d)$  可以写作  $H^*(10)$ 。

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

在人体中软组织内深度为  $d$  的一指定点处的剂量当量。对强贯穿辐射的监测，推荐深度  $d$  为 10 mm，此时  $H_p(d)$  可写为  $H_p(10)$ 。

### 3.1.8 空气比释动能到剂量当量的转换系数 kerma to dose equivalent conversion coefficient $h_K$

辐射场中一点剂量当量  $H$  与空气比释动能  $K_a$  的商：

$$h_K = H/K_a$$

### 3.1.9 检验点 point of test

辐射场中被测量约定真值已知的某一点，在进行校准或试验时，剂量计的参考点放置在该点上。

### 3.1.10 参考点 reference point

剂量计上的一点，在进行校准或试验时该点与辐射场的检验点重合。

### 3.1.11 体模 phantom

在 X 和  $\gamma$  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质制成的模体。

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

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

3.2.4 本规程中所用到的其他量均采用国际单位制（SI）单位。另外对辐射能量也采用电子伏，符号：eV， $1 \text{ eV}=1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。

## 4 概述

本规程涉及的热释光剂量测量系统（简称剂量测量系统）主要由剂量计、读出器和配套设备组成。

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；读出器用于测量热释光探测器的发光量，主要由加热部件、光测量部件和有关电子器件组成。

剂量计受辐照后，在测量过程中对热释光探测器进行加热发出的光被读出器的光电转换部件收集，在一定辐照剂量范围内发光量与剂量成线性关系。

热释光剂量测量系统按其用途可分为个人监测系统和环境监测系统两大类。

## 5 计量性能要求

个人和环境剂量监测用 X、 $\gamma$  辐射热释光剂量测量系统的计量性能必须满足表 1 的要求。

表 1  $H_p(10)$ 和  $H^*(10)$ 监测用 X、 $\gamma$  辐射热释光剂量系统的计量性能要求

主要计量性能	量值或影响量的量值范围	技术要求
非线性响应	$0.1 \text{ mSv} \leq H \leq 1 \text{ Sv}$ , S-Cs(S-Co)	不得超过 0.87~1.18
变异系数	$0.1 \text{ mSv} \leq H < 1.1 \text{ mSv}$ $H \geq 1.1 \text{ mSv}$	不超过 $(16 - H/0.1\text{mSv}) \%$ 5 %
相对误差	包括 0.3 mSv 和 3 mSv 的 5 个剂量组，S-Cs	不超过 -13 % ~ +18 %
能量响应	80 keV~1.25 MeV	不超过 0.71~1.67

量值检验的 相对误差	$1 \text{ mSv} \leq H \leq 10 \text{ mSv}$ , S-Cs	不超过 -13 % ~ +18 %
---------------	---	----------------------

## 6 通用技术要求

### 6.1 剂量指示值(剂量测量系统)

指示值应以剂量当量的单位给出，如 $\mu\text{Sv}$ ；显示器还应清楚显示被测量；如果读出器具有量程转换功能，应自动转换量程；指示值大于 $10H_{\text{low}}$ 时的分辨率应优于2%，在测量范围下限 $H_{\text{low}}$ 处10%的分辨率即可（即：测量范围的下限 $H_{\text{low}}$ 处至少显示两位有效数字， $H_{\text{low}} = 0.1 \text{ mSv}$ 时应显示0.10 mSv，大于 $10H_{\text{low}}$ 时应显示三位有效数字：1.00 mSv）。

### 6.2 剂量计

剂量计外观应完好无缺损，并带有编号等识别标记，所附的佩带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，其外壳应不透光、防潮，并且在使用中不易被放射性沾污，又能便于清除沾污。

当剂量计上有足够空间时，剂量计上应清晰可见地显示下列信息：

- (1)被测量及其测量范围；
- (2)剂量计适用的辐射类型(如光子和/或 $\beta$ )；
- (3)粒子的额定能量范围；
- (4)参考点和参考取向（或在手册中给出）；
- (5)用户可读取的识别码；

(6)仅对于个人剂量计：如果可以在两个或多个方向上佩戴剂量计，剂量计应满足《IEC 62387》对所有方向的要求或者剂量计上清楚标明正确佩戴方向或错误的佩戴方向可能导致错误的后果。

### 6.3 读出器

读出器外观应完好无缺损，应清晰可见地显示下列信息：

- (1)被测量及其测量范围；
- (2)铭牌上的型号、编号、制造厂标记。



## 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查。

### 7.1 检定条件

#### 7.1.1 计量标准

个人剂量当量  $H_p(10)$  的约定值以及周围剂量当量  $H^*(10)$  的约定值, 可通过空气中同一点的空气比释动能约定值转换获得, 其转换系数分别为  $h_{p,K}(10)$  和  $h^*_K(10)$  见附录 D, 转换系数应当视作伴有 2% 的标准不确定度。

7.1.1.1 空气比释动能率的约定值应溯源至国家空气比释动能率基准。

7.1.1.2 个人剂量当量  $H_p(10)$  的约定值以及周围剂量当量  $H^*(10)$  的约定值  $C$  的相对扩展不确定度  $U_{C,rel}(k=2)$  均应小于 8%。

#### 7.1.2 参考辐射

检定所需使用的 X、 $\gamma$  参考辐射及其相关转换系数见附录 D, 其荧光 X 辐射和连续谱窄谱系列过滤 X 辐射的特性和产生条件见附录 E。

7.1.2.1 辐射束的截面均匀区足以覆盖剂量计, 整个有用射束截面上空气比释动能率的变化小于 5%。

7.1.2.2 散射辐射对各检验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 体模

体模在检定中用来模拟人体 (或其局部), 本规程要求的体模是 ICRU 推荐的用有机玻璃板制成的平板水箱体模, 体模由有机玻璃制成, 前壁厚度为 2.5 mm, 其他壁厚度为 10 mm, 外形尺寸为 30 cm × 30 cm × 15 cm (高 × 宽 × 厚), 内部充满水。

##### 7.1.3.2 定位装置

该装置用于安置剂量计, 使剂量计的参考点能准确地放置在辐射场中的测量点上。

##### 7.1.3.3 温度计

测量范围为 0 °C ~ 50 °C, 最大允许误差  $\pm 0.2$  °C。

##### 7.1.3.4 气压计

测量范围至少为 86.0 kPa ~ 106.6 kPa, 最大允许误差  $\pm 0.25$  kPa。

### 7.1.4 环境条件

检定实验室的环境条件应符合表 2 的要求。

表 2 对实验室环境条件的要求

环境参量	要 求
环境温度	15 °C~25 °C，检定过程中变化不超过 2 °C
相对湿度	≤ 75 %
大气压力	86.0 kPa~106.6 kPa
γ 辐射本底	周围剂量当率低于 0.25 μSv/h

### 7.2 检定项目

个人与环境监测用 X、γ 辐射热释光剂量测量系统的首次检定、后续检定和使用中检查的项目如表 3 所示。

表 3 检定项目一览表

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
通用技术要求	+	—	—
非线性响应	+	—	—
变异系数	+	—	—
相对误差	+	+	+
能量响应	+	—	—
量值检验	+	+	+

注：“+”为必检项目，“—”为不检项目。

### 7.3 检定方法

#### 7.3.1 通用技术要求

按 6.1 到 6.3 逐项目测检查被检热释光剂量测量系统的通用特性，判断其是否符合相应的要求。

### 7.3.2 剂量计

7.3.2.1 检定时每组剂量计的数量按如下原则确定：必须使每组的结果具有 95 % 的置信水平。根据被检热释光剂量计的批稳定性数据并使用附录 F 中的方法进行修正后确定每组剂量计的数量。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后确定每组剂量计的数量。

在满足置信水平的情况下对所有项目建议使用固定的 10 个剂量计（ $n=10$ ）进行检定，这时相对应的分布因子  $t_{n-1}=2.26$ ，详见附录 F 中表 F.1。

7.3.2.2 剂量计的放置方法：将剂量计的参考点放置在检验点上，并且剂量计的取向为参考取向，但对于确定响应随入射角变化的试验不适用。

7.3.2.3  $H_p(10)$ 和  $H^*(10)$ 的参考剂量当量  $C_{r,0}$ ：取值范围：1 mSv~10 mSv，推荐 3 mSv， $^{137}\text{Cs}$  辐射场。

### 7.3.3 非线性响应

非线性响应是由非线性产生的相对响应的简称， $H_p(10)$ 和  $H^*(10)$ 应使用  $^{137}\text{Cs}$ （或  $^{60}\text{Co}$ ）源对剂量计进行照射，照射的剂量为测量范围内每个数量级的下限和上限、以及该上限的 30%；测量范围 0.1 mSv~1 Sv 需照射 10 组（ $w=9$ ）剂量计，照射剂量分别为（Sv）：

$$1 \times 10^{-4}, 3 \times 10^{-4}, 1 \times 10^{-3}, 3 \times 10^{-3}, 1 \times 10^{-2}, 3 \times 10^{-2}, 0.1, 0.3, 1$$

对于  $H_p(10)$ 或  $H^*(10)$ ，每一组剂量计的测量结果都满足公式（1）要求，则非线性响应项目合格。

$$0.87 - U_{C,com;i} \leq \left( \frac{\bar{G}_i}{\bar{G}_{r,0}} \pm U_{com;i} \right) \cdot \frac{C_{r,0}}{C_i} \leq 1.18 + U_{C,com;i} \quad (i=1, \dots, w) \quad (1)$$

式中： $C_i$ ——第  $i$  组剂量计的剂量当量约定值；

$\bar{G}_i$ ——第  $i$  组剂量计指示值的平均值；

$\bar{G}_{r,0}$ ——约定值为参考剂量当量  $C_{r,0}$  的剂量计指示值的平均值；

$U_{com;i}$ —— $\frac{\bar{G}_i}{\bar{G}_{r,0}}$  的置信区间半宽度，其计算方法见附录 F 中的 F.7。

$U_{C,com;i}$ —— $\frac{C_{r,0}}{C_i}$ 的相对扩展不确定度，由式（2）给出：

$$U_{C,com;i} = \sqrt{U_{C,rel;r,0}^2 + U_{C,rel;i}^2} \quad (i=1, \dots, w) \quad (2)$$

式中： $U_{C,rel;r,0}$ ——约定值  $C_{r,0}$  的相对扩展不确定度；

$U_{C,rel;i}$ ——第  $i$  组参考辐射约定值  $C_i$  的相对扩展不确定度。

### 7.3.4 变异系数

“7.3.3 非线性响应”中每一组剂量计指示值的平均值  $\bar{G}_i$  和标准偏差  $s_i$  同时满足下列条件时，则变异系数项目合格，

(1)  $w-2$ 组剂量计的变异系数小于表1给出限值的  $c_1$  倍；

(2) 其余2组剂量计不相邻且变异系数小于表1给出限值的  $c_2$  倍。

表 4  $w$  组不同剂量在每组  $n$  支剂量计时的  $c_1$  值和  $c_2$  值

w	n 支剂量计的 $c_1$ 值							n 支剂量计的 $c_2$ 值						
	4	7	10	15	20	25	$\infty$	4	7	10	15	20	25	$\infty$
5	1.000	1.007	1.009	1.009	1.009	1.009	1	1.499	1.400	1.344	1.290	1.255	1.231	1
6	1.058	1.051	1.046	1.039	1.035	1.032	1	1.572	1.454	1.389	1.326	1.287	1.261	1
8	1.147	1.117	1.100	1.084	1.075	1.067	1	1.687	1.536	1.458	1.383	1.336	1.304	1
10	1.215	1.166	1.141	1.117	1.102	1.092	1	1.772	1.597	1.508	1.423	1.372	1.335	1
12	1.269	1.205	1.173	1.143	1.124	1.112	1	1.840	1.645	1.548	1.455	1.399	1.360	1
14	1.315	1.238	1.200	1.164	1.142	1.128	1	1.895	1.684	1.578	1.480	1.421	1.379	1
16	1.351	1.265	1.222	1.182	1.158	1.142	1	1.940	1.716	1.605	1.502	1.440	1.396	1
18	1.388	1.289	1.242	1.211	1.171	1.153	1	1.980	1.743	1.628	1.409	1.453	1.409	1
20	1.418	1.311	1.259	1.233	1.183	1.164	1	2.015	1.767	1.646	1.394	1.466	1.421	1
25	1.483	1.355	1.295	1.240	1.210	1.186	1	2.081	1.812	1.683	1.563	1.445	1.444	1
50	1.683	1.494	1.407	1.328	1.283	1.252	1	2.275	1.945	1.789	1.646	1.561	1.504	1

### 7.3.5 相对误差

用  $^{137}\text{Cs}$  照射 5 组剂量计，照射的剂量当量包括 0.3 mSv 和 3 mSv，用公式（3）计算每一组剂量计的相对误差  $I_i$ ：

$$I_i = \frac{\bar{G}_i - C_i}{C_i} \quad (3)$$

如果每一组剂量计的相对误差同时满足公式（4）和公式（5），则相对误差指标合格。

$$I_i - \frac{U_i}{C_i} \geq -0.13 \quad (4)$$

$$I_i + \frac{U_i}{C_i} \leq 0.18 \quad (5)$$

式中： $U_i$ —— $\bar{G}_i$ 的置信区间半宽度。

相对误差指标合格时，选取  $w$  组剂量计中绝对值最大的  $I_i$  作为相对误差；否则，应分别标注出  $w$  组剂量计中  $I_i - \frac{U_i}{C_i}$  的最小值和  $w$  组剂量计中  $I_i + \frac{U_i}{C_i}$  的最大值。

### 7.3.6 能量响应

能量响应是对平均光子辐射能量的相对响应的简称，准备两组剂量计 ( $i=1, 2$ )，参考辐射从窄谱系列的过滤 X 辐射中选择合适的能量。在无法从窄谱系列中获得所需参考辐射条件下，也可选用相同能量的宽谱系列参考辐射，所需的转换系数可从 GB/T 12162.2 中获得。照射的剂量应尽量相同，且剂量当量约定值  $C_i$  在 1 mSv~10 mSv 之间，每一组剂量计的测量结果都满足公式 (6) 的要求，则能量响应项目合格。

$$0.71 - U_{C,com;i} \leq \left( \frac{\bar{G}_i \pm U_{com;i}}{\bar{G}_{r,0}} \right) \cdot \frac{C_{r,0}}{C_i} \leq 1.67 + U_{C,com;i} \quad (i=1,2) \quad (6)$$

按公式 (7) 式计算能量响应校准系数  $K_i$ ：

$$K_i = C_i / \bar{G}_i \quad (i=1,2) \quad (7)$$

式中：

$K_i$ ——第  $i$  组参考辐射的能量响应校准系数。

### 7.3.7 量值检验

用  $^{137}\text{Cs}$  照射 1 组剂量计，剂量当量约定值在 1 mSv~10 mSv 之间，然后由受检方测出每个剂量计的指示值，如果测量结果满足本规程“7.3.5 相对误差”的要求，则本项目合格。

## 7.4 检定结果的处理

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

## 7.5 检定周期

个人和环境监测用 X、 $\gamma$  辐射热释光剂量测量系统的检定周期一般不超过 1 年。

## 附录 A

## 推荐的检定记录格式

证书单位\_\_\_\_\_

仪器名称\_\_\_\_\_型号规格\_\_\_\_\_编号\_\_\_\_\_

制造厂\_\_\_\_\_

检定依据的技术文件\_\_\_\_\_

计量标准名称\_\_\_\_\_计量标准考核证书号\_\_\_\_\_有效期\_\_\_\_\_

检定时的环境条件：温度\_\_\_\_\_℃；气压\_\_\_\_\_kPa；相对湿度\_\_\_\_\_%；

本次检定的类型（首次检定、后续检定、使用中检查）热释光剂量测量系统类型[ $H_p(10)$ 、 $H^*(10)$ ]

剂量计辐照数据记录

组序/ <i>i</i>	参考辐射相关参数	约定值 $C_i/mSv$	备 注
1			
2			
3			
⋮			

剂量计指示值记录

组序/ <i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...
剂量计 1												
剂量计 2												
剂量计 3												
⋮												
备 注												

## 附录 B

## 检定证书内页格式

检定证书内页至少应包括下列信息：

- ① 所用计量标准的名称、计量标准考核证书号和有效期
- ② 检定时所使用的参考辐射和相关参数
- ③ 检定时环境条件
- ④ 检定结果
- ⑤ 本次检定的类型（首次检定、后续检定或使用中检查）
- ⑥ 热释光剂量测量系统类型[个人剂量当量  $H_p(10)$ 、周围剂量当量  $H^*(10)$ ]
  - 1 非线性响应（给出检定时的剂量当量值范围）
  - 2 变异系数（给出检定时的剂量当量值范围）
  - 3 相对误差（给出检定时的剂量当量值范围）
  - 4 能量响应
  - 5 量值检验



## 附录 C

## 结果通知书内页格式

结果通知书内页至少应包括下列信息：

- ① 所用计量标准的名称、计量标准考核证书号和有效期
- ② 检定时所使用的参考辐射和相关参数
- ③ 检定时环境条件
- ④ 检定结果
- ⑤ 本次检定的类型（首次检定、后续检定或使用中检查）
- ⑥ 热释光剂量测量系统类型[个人剂量当量  $H_p(10)$ 、周围剂量当量  $H^*(10)$ ]
  - ⑦ 线性响应（给出检定时的剂量当量值范围）
  - ⑧ 变异系数（给出检定时的剂量当量值范围）
  - ⑨ 相对误差（给出检定时的剂量当量值范围）
  - ⑩ 能量响应
  - ⑪ 量值检验

其中，\_\_\_\_\_的检定结果不符合检定规程的技术要求（该项目的技术要求为\_\_\_\_\_），故判定为检定不合格。

## 附录 D

## 空气比释动能到剂量当量的转换系数

个人热释光剂量系统应以人体组织内深度  $d=10$  mm 处的剂量当量进行检定，此时个人剂量当量可写为  $H_p(10)$ 。

照射时应将剂量计放置于体模表面，且将剂量计的参考点放置在检验点上。制造商应给出剂量计的参考点和参考方向。参考点应在剂量计的外表标明。如果不能实现，应在剂量计的附带文件中说明。所有辐射源至剂量计的距离均认为是辐射源至剂量计参考点的距离。如被检定剂量计无参考点或参考方向资料，应由检定实验室确定，并在检定证书中说明。

用能量在  $0.03$  MeV~ $1.5$  MeV 之间的光子辐照，光子辐射源以无受照体存在时处于电子平衡条件下的空气比释动能  $K_a$  进行校准，且剂量计是被放置于体模表面进行照射，那么剂量当量的约定值，可由空气中同一点的空气比释动能约定值转换获得，即：

$$H_p(10) = h_{p,K}(10) \times K_a$$

表 D.1 给出平板体模中空气比释动能到剂量当量的转换系数  $h_{p,K}(10)$  的推荐值。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。

环境监测热释光剂量测量系统应以周围剂量当量  $H^*(10)$  进行检定。

在照射时，将剂量计的参考点放置在检验点上。

周围剂量当量  $H^*(10)$  的约定值，可由空气中同一点的空气比释动能约定值转换获得，即：

$$H^*(10) = h_K^*(10) \times K_a$$

表 D.2 给出参考辐射空气比释动能到周围剂量当量转换系数  $h_K^*(10)/\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$  的推荐值。

表 D.1 平板体模中空气比释动能到剂量当量的转换系数  $h_{p,K}(10)$  的推荐值

参考辐射	辐射质	适用距离/m	$h_{p,K}(10)/\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$
过滤 X 辐射 (窄谱)	N-40	1.0~3.0	1.17
	N-60	1.0~3.0	1.65
	N-80	1.0~3.0	1.88
	N-100	1.0~3.0	1.88
	N-120	1.0~3.0	1.81
	N-150	1.0~3.0	1.73
	N-200	1.0~3.0	1.57
	N-250	1.0~3.0	1.48
	N-300	1.0~3.0	1.42
$\gamma$ 辐射	S-Am	2.0~3.0	1.89
	S-Cs	1.5~4.0	1.21
	S-Co	1.5~4.0	1.15

表 D.2 参考辐射空气比释动能到周围剂量当量转换系数  $h_{K(10)}^*$  的推荐值

参考辐射	平均能量 $E/\text{keV}$	适用距离/m	$h_{K(10)}^*/\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$
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	1250	1.0~3.0	1.16

## 附录 E

## X 参考辐射的特性和产生条件

E.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列于表 E.1。表中的管电压是在负载条件下测得的，附加过滤和固有过滤组成总过滤。对于 12 keV、16 keV、20 keV 和 24 keV 这四个平均能量最低的辐射，固有过滤由推荐的射线管固有过滤 1mm Be（也可以使用其它值）构成。对于其他能量的辐射。固有过滤在 40 keV 条件以上时调整到 4 mmAl。半值层是在聚焦斑 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 E.1 的一致性。

表 E.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

E.2 荧光 X 参考辐射（见表 E.2）是某些材料发出的  $K$  荧光辐射。作为一级近似，其谱线是由  $K_{\alpha 1}$  给出的。利用  $K$  吸收介于  $K$  和  $K_{\beta}$  之间的次级过滤器，可使  $K_{\beta}$  的贡献小到忽略不计。有两组可供选择的荧光 X 参考辐射，第一组由序号 1~10 的 10 种辐射组成，第二组已含序号 11~15 和 8~10 种的 8 种辐射。

表 E.2 荧光 X 参考辐射

序号	理论能量 $K_{\alpha 1}/\text{keV}$	辐射体			管电 压/kV	总初级过滤	次级过滤	
		元素	推荐的 化学形 态	质量厚度 $/\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$		最小质量厚度 $/\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$	化学形态	面质量厚度 $/\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$
1	9.89	锆	$\text{GeO}_2$	0.180	60	Al 0.135	GdO	0.020
2	15.8	锆	Zr	0.180	80	Al 0.27	$\text{SrCO}_3$	0.053
3	23.2	镉	Cd	0.150	100	Al 0.27	Ag	0.053
4	31.0	铯	$\text{CsSO}_4$	0.190	100	Al 0.27	$\text{TeO}_2$	0.132
5	40.1	钐	$\text{Sm}_2\text{O}_3$	0.175	120	Al 0.27	$\text{CeO}_2$	0.195
6	49.1	铒	$\text{Er}_2\text{O}_3$	0.230	120	Al 0.27	$\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.263
7	59.3	钨	W	0.600	170	Al 0.27	$\text{Yb}_2\text{O}_3$	0.358
8	68.8	金	Au	0.600	170	Al 0.27	W	0.433
9	75.0	铅	Pb	0.700	190	Al 0.27	Au	0.476
10	98.4	铀	U	0.800	210	Al 0.27	Th	0.476
11	17.5	钼	Mo	0.150	80	Al 0.27	Zr	0.035
12	25.3	锡	Sn	0.150	100	Al 0.27	Ag	0.071
13	37.4	钕	Nd	0.150	110	Al 0.27	Ce	0.132
14	49.1	铒	Er	0.200	120	Al 0.27	Gd	0.233
15	59.3	钨	W	0.600	170	Al 0.27	Yb	0.322

## 附录 F

## 数据处理

F.1 平均值  $\bar{x}_i$  的置信区间

平均值  $\bar{x}_i$  的置信区间是：

$$(\bar{x}_i - U_i, \bar{x}_i + U_i) \quad (\text{F.1})$$

式中， $U_i$  是  $\bar{x}_i$  的置信区间半宽度。

当由  $n$  次测量值计算  $\bar{x}_i$  时，具有 95% 置信水平的置信区间半宽度  $U_i$  可按下式计算：

$$U_i = \frac{t_{n-1}}{\sqrt{n}} \cdot s_i \quad (\text{F.2})$$

式中：

$s_i$ ——是  $n$  次测量的标准偏差；

$t_{n-1}$ ——95% 置信水平的包含因子，取自表 F.1 的  $n$  次测量值；例如： $n=10$  时，

$$U_i = \frac{t_{n-1}}{\sqrt{n}} \cdot s = 0.72 \cdot s。$$

表 F.1 95% 置信水平的学生分布的包含因子

$n$	$t_{n-1}$	$n$	$t_{n-1}$
2	12.71	15	2.15
3	4.30	20	2.09
4	3.18	25	2.06
5	2.78	30	2.05
6	2.57	40	2.02
7	2.45	60	2.00
8	2.37	120	1.98
9	2.31	$\infty$	1.96
10	2.26		

## F.2 合成量的置信区间

假设给出了  $w$  个量的平均值  $\bar{x}_i (i=1, \dots, w)$  和相应置信区间的半宽度  $U_i (i=1, \dots, w)$ 。令  $\bar{x}$  为这些  $w$  个平均值的合成量:

$$\bar{x} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_w) \quad (\text{F.3})$$

则  $\bar{x}$  的置信区间半宽度  $U_{\text{com}}$  由下式给出:

$$U_{\text{com}} \approx \sqrt{\sum_{i=1}^w \left[ \frac{\partial \bar{x}}{\partial x_i} \cdot U_i \right]^2} \quad (\text{F.4})$$

如果  $w$  个量为正态分布且不相关, 公式(F.4)才成立, 仅就本规程而言, 公式(F.4)可作为良好的近似。

例 1:  $\bar{x} = \bar{x}_1 \pm \bar{x}_2$ , 则:

$$U_{\text{com}} \approx \sqrt{U_1^2 + U_2^2} \quad (\text{F.5})$$

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

$$U_{\text{com}} \approx \sqrt{\sum_{i=1}^k U_i^2} \quad (\text{F.6})$$

例 2:  $\bar{x} = \frac{\bar{G}_i}{\bar{G}_{r,0}}$  则:

$$U_{\text{com},i} \approx \frac{\bar{G}_i}{\bar{G}_{r,0}} \cdot \sqrt{\left( \frac{U_i}{\bar{G}_i} \right)^2 + \left( \frac{U_{r,0}}{\bar{G}_{r,0}} \right)^2} \quad (\text{F.7})$$

对于  $i=1$ , 则表示为  $\bar{x} = \frac{\bar{G}_1}{\bar{G}_{r,0}}$  和  $U_{\text{com},1} \approx \frac{\bar{G}_1}{\bar{G}_{r,0}} \cdot \sqrt{\left( \frac{U_1}{\bar{G}_1} \right)^2 + \left( \frac{U_{r,0}}{\bar{G}_{r,0}} \right)^2}$  (F.8)

例 3: 假设第一组( $i=1$ )10 支剂量计( $n=10$ ), 照射约定值为  $C_1=0.1 \text{ mSv}$ , 指示值如下:

0.094 mSv; 0.097 mSv; 0.086 mSv; 0.091 mSv; 0.092 mSv;  
0.103 mSv; 0.093 mSv; 0.087 mSv; 0.087 mSv; 0.094 mSv;



参考组(r,0)5支剂量计(n=5)，照射约定值为 $C_{r,0}=3$  mSv，指示值如下：

2.82 mSv； 2.97 mSv； 3.04 mSv； 2.96 mSv； 2.96 mSv；

如果约定值 $C_{r,0}$ 和约定值 $C_1$ 的相对扩展不确定分别为 $U_{C_{rel;r,0}}=2.5\%$ 和 $U_{C_{rel;1}}=2.5\%$ ，那么

$$U_{C,com;1} = \sqrt{U_{C_{rel;r,0}}^2 + U_{C_{rel;1}}^2} = 0.025\sqrt{2}，$$

假设相对响应允许在0.87到1.18之间，则第一组( $i=1$ )剂量计的测量结果满足公式(1)要求。

附注：

第一组剂量计指示值的平均值 $\bar{G}_1=0.0924$ ，标准偏差 $s_1=0.00517$ ，半宽度 $U_1=0.00369$ ；

参考组剂量计指示值的平均值 $\bar{G}_{r,0}=2.950$ ，标准偏差 $s_{r,0}=0.0800$ ，半宽度 $U_{r,0}=0.0995$

用公式(F.8)得到 $U_{com;1} \approx 0.00164$ ，

$$0.87 - U_{C,com;1} = 0.87 - 0.025\sqrt{2}$$

$$1.18 + U_{C,com;1} = 1.18 + 0.025\sqrt{2}$$

$$\text{相对响应 } r = \frac{R_i}{R_{r,0}} = \frac{\bar{G}_i}{\bar{G}_{r,0}} \cdot \frac{C_{r,0}}{C_1} \approx 0.940, \quad U_{com;1} \cdot \frac{C_{r,0}}{C_1} \approx 0.049$$

$$\left( \frac{\bar{G}_i}{\bar{G}_{r,0}} - U_{com;1} \right) \cdot \frac{C_{r,0}}{C_1} \approx 0.89$$

$$\left( \frac{\bar{G}_i}{\bar{G}_{r,0}} + U_{com;1} \right) \cdot \frac{C_{r,0}}{C_1} \approx 0.99$$

即：相对响应 $r$ 对应于具有95%置信水平的置信区间为(0.89, 0.99)。

### F.3 符合判断与数据修约

使用修约前的全数值作符合判断，根据判断结果作数据修约。

例4：假设“相对误差”检定项目中， $I_i + \frac{U_i}{C_i}$ 在修约前的全数值用单精度（或双精度、

或浮点）格式表示， $I_i + \frac{U_i}{C_i} = 0.1800000001$ ，那么作符合判断时，该组剂量计的相对误差不

满足公式(5)的要求，修约后 $I_i + \frac{U_i}{C_i} = 0.19$ 。

类似地： $I_i - \frac{U_i}{C_i} = -0.1300000001$ ，那么作符合判断时，该组剂量计的相对误差不满足

公式(4)的要求，修约后 $I_i - \frac{U_i}{C_i} = -0.14$ 。