

X、 γ 辐射眼晶状体剂量当量的累积型无源剂量测量系统

校准规范

1 范围

本规范适用于眼晶状体剂量当量 $H_p(3)$ 的累积型无源剂量测量系统的校准，所适用的 X、 γ 辐射能量范围为 30 keV ~ 1.25 MeV，测量范围为 0.1 mSv ~ 30 mSv。

本规范不适用于 β 、中子等其他粒子的累积型无源剂量测量系统的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1035 电离辐射计量术语及定义

ISO 4037 1-3:2019 辐射防护-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 1-3 部分 (Radiological protection-X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy, Part 1, 2, 3)

IEC 62387-2020 辐射防护仪器——个人、工作场所和环境监测用光子和 β 辐射累积型无源剂量测量系统 (Radiation protection instrumentation-Dosimetry systems with integrating passive detectors for individual, workplace 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范；凡不注日期的引用文件其最新版本(包括所有的修改版)适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 辐射探测器 radiation detector

用于将入射电离辐射能量转换为适合于指示和（或）测量信号的设备或材料，存在辐射时通过直接或间接方式提供适合于测量一个或多个入射辐射量的信号或其他指示的设备或材料。

注 1: 本规范所指的探测器通常需要单独的读出器来测量信号, 即意味着探测器通常无法在没有外部读取的条件下提供信号。

注 2: 无源探测器无需提供外部电源即可收集和存储剂量信息。

3.1.2 剂量计 dosimeter

用于测量吸收剂量或剂量当量等量的测量装置。

注: 本文件中剂量计通常由探测器和剂量盒组成。

3.1.3 剂量读出器 dosimeter reader

用于读取剂量计中一个或多个探测器信号的仪器。

注: 无源剂量计的信号可以是发光量、电荷量、薄膜的透明度等, 不同类型的无源剂量计具有相应的读出器。

3.1.4 剂量测量系统 dosimetry system

剂量计、读出器以及用于评估指示值的所有相关设备和程序。

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

人体表面某一指定点下深度 d 处的软组织内的剂量当量。

对于眼晶状体剂量当量的监测, 推荐的深度 d 为 3mm, 此时 $H_p(d)$ 可写为 $H_p(3)$ 。

3.1.6 空气比释动能到剂量当量的转换系数 air 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:

$$h_k = H / K_a$$

3.1.7 测量点 point of test

辐射场中被测量约定量值已知的某一点, 在进行校准测量时, 被校仪器的参考点放在该点上。

3.1.8 参考点 reference point

剂量计上的一点, 在进行校准时该点与辐射场的测量点重合。

3.1.9 体模 phantom

模拟人体对辐射的散射和吸收特性的物体结构。

3.2 计量单位

3.2.1 眼晶状体剂量当量 $H_{\text{p}}(3)$ 的计量单位名称：希沃特；符号：Sv，1 Sv=1J·kg⁻¹。

3.2.2 空气比释动能 K_a 的计量单位名称：戈瑞；符号：Gy，1 Gy= 1J·kg⁻¹。

4 概述

眼晶状体剂量当量 $H_{\text{p}}(3)$ 的累积型无源剂量测量系统(以下简称 $H_{\text{p}}(3)$ 测量系统)是测试眼晶状体剂量的设备，用于监测评估职业辐射防护中眼晶状体剂量。 $H_{\text{p}}(3)$ 测量系统包括小型的剂量测试仪、大型的剂量测试系统，大型的剂量测试系统由累积型无源辐射剂量计（如热释光剂量计、光释光剂量计、玻璃剂量计等，简称剂量计）、剂量信号读出器、其他所有配套设备和工作程序组成。

$H_{\text{p}}(3)$ 测量系统的传感器受 X、 γ 辐射照射时，探测器吸收、储存或者转化射线能量。在剂量读出过程中，当读出器进行测量时，探测器所释放出储存的能量在一定范围内与照射剂量成线性关系。

5 计量特性

5.1 能量响应

在能量为（30 keV ~ 1.25 MeV）范围内，剂量计的能量响应通常在（0.71 ~ 1.67）范围内。

5.2 变异系数

在剂量当量小于 0.3 mSv 范围内，剂量计的变异系数通常不大于 15%。

在剂量当量为（0.3 mSv ~ 3.3 mSv）范围内，剂量计的变异系数通常不大于 $(16 - H / 0.3\text{mSv})\%$ 。

在剂量当量大于 3.3 mSv 范围内，剂量计的变异系数通常不大于 5%。

5.3 非线性响应

在剂量当量为（0.3 mSv ~ 1 Sv）范围内，剂量计的非线性响应通常在（0.87 ~ 1.18）范围内。

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(15~25) °C，校准过程中变化不超过 2 °C。

6.1.2 相对湿度：(50~75)%。

6.1.3 大气压力：(86.0~106.6) kPa。

6.1.4 环境 γ 辐射本底：周围剂量当量率小于 0.25 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

6.2 测量标准

6.2.1 校准测量点的空气比释动能（率）值由防护水平电离室型剂量仪测量，其量值应溯源至国家空气比释动能率基准。

6.2.2 眼晶状体剂量当量 $H_{\text{p}}(3)$ 的约定量值，是空气中同一点的空气比释动能 K_{a} 的测量值乘以转换系数 $h_{\text{p,k}}(3)$ 得到，即

$$H_{\text{p}}(3) = K_{\text{a}} * h_{\text{p,k}}(3) \quad (1)$$

转换系数 $h_{\text{p,k}}(3)$ 的推荐值见附录 B。

6.2.3 眼晶状体剂量当量 $H_{\text{p}}(3)$ 约定量值的相对扩展不确定度应不大于 8% ($k=2$)。

6.3 参考辐射

6.2.1 校准所采用的 X、 γ 参考辐射，其连续谱窄谱系列过滤 X 辐射的特性和产生条件见附录 A。

6.2.2 在校准测量点的辐射束均匀区应能完全覆盖标准仪器和校准时的整个体模，该区域内的不均匀性应不超过 $\pm 5\%$ 。

6.2.3 参考辐射场中散射辐射对各测量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 %。

6.4 其他测量设备

6.3.1 体模

体模在剂量计校准过程中用来模拟人体(或局部)。对于眼晶状体剂量计 $H_{\text{p}}(3)$ 的校准，在 ISO 头部柱状体模上进行。ISO 头部柱状体模是直径 20 cm，高 20 cm 的 PMMA 充水圆柱(侧壁厚 0.5 cm)。

6.3.2 温度计

测量范围为(0~50) °C，最大允许误差 ± 0.2 °C。

6.3.3 气压计

测量范围至少为(86.0 ~ 106.6) kPa，最大允许误差 ± 0.25 kPa。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

$H_p(3)$ 测量系统的校准项目包括校准因子、能量响应、变异系数和非线性响应。

7.2 校准方法

校准时每组剂量计的数量按如下原则确定：每组的置信水平须达到 95%。根据被校剂量计的批稳定性数据并使用附录 C 《置信区间》中的方法进行修正后确定每组剂量计的数量。对于单个剂量计单次测量相对标准差预期大于批均匀性标准差的项目(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($n=10$)进行校准，这时相对应的分布因子 $t_{n-1}=2.26$ ，详见附录 C 中表 C.1。

剂量计的放置方法：将剂量计的参考点放置在校准测量点上，剂量计正对射线束方向。 $H_p(3)$ 的参考剂量当量 C_r ：取值范围：1 mSv ~ 10 mSv，推荐 3 mSv；取值范围：3 mSv ~ 30 mSv，推荐 10 mSv；参考辐射源 ^{137}Cs 。

7.2.1 校准因子

在参考剂量当量辐照条件下，可由公式（2）计算出剂量计的校准因子 N ：

$$\bar{G}_r = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n G_{r,j} \quad (1)$$

$$N = \frac{C_r}{\bar{G}_r} \quad (2)$$

式中：

$j=1, 2, \dots, n$ ；

$G_{r,j}$ ——每个剂量计的指示值，div。

C_r ——参考剂量当量约定值，Sv；

$\bar{G}_r$ ——剂量计指示值的平均值，div。

N ——剂量计的校准因子，Sv。

7.2.2 能量响应

能量响应项目校准所选取的参考辐射需满足 6.3 的推荐要求，建议从 X 射线窄谱系列中选取常用校准能量点，对于不同的辐射能量，辐照的剂量应尽量相同，且剂量当量约定值 C 在 1 mSv~10 mSv 之间，可由公式 (3) 计算出剂量计的能量响应 R ：

$$R = \frac{\bar{G}}{C} \quad (3)$$

式中：

C ——剂量当量约定值，Sv；

$\bar{G}$ ——剂量计指示值的平均值，div；

R ——剂量计的能量响应，Sv⁻¹；

注：剂量计在不同辐射能量辐照下的测量结果都满足公式 (4) 的要求，则满足 5.1 能量响应项目的技术要求。

$$0.71 - U_{C,\text{com};i} \leq \left(\frac{\bar{G}_i}{\bar{G}_{r,0}} \pm U_{\text{com};i} \right) \cdot \frac{C_{r,0}}{C_i} \leq 1.67 + U_{C,\text{com};i} \quad (i=1,2,\dots) \quad (4)$$

式中：

$i=1, 2, \dots$ ；

C_i ——第 i 种辐射能量下剂量当量约定值，Sv；

$\bar{G}_i$ ——第 i 种辐射能量下剂量计指示值的平均值，div；

$\bar{G}_r$ ——参考剂量当量照射情况下剂量计指示值的平均值，Sv；

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

$U_{C,\text{com};i}$ —— $\frac{C_r}{C_i}$ 的相对扩展不确定度，由式 (3) 给出：

$$U_{C,\text{com};i} = \sqrt{U_{C,\text{rel};r}^2 + U_{C,\text{rel};i}^2} \quad (5)$$

式中：

$U_{C,\text{rel};r}$ ——约定值 C_r 的相对扩展不确定度；

$U_{C,\text{rel};i}$ ——第 i 种辐射能量下剂量当量约定值 C_i 的相对扩展不确定度。

7.2.3 变异系数

建议使用 ^{137}Cs （或 ^{60}Co ）源对剂量计进行辐照，在同一辐射能量情况下，辐射的剂量当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~10 mSv 选择 5 个（ $w=5$ ）辐射剂量当量分别为：0.1 mSv，0.3 mSv，1 mSv，3 mSv，10 mSv。

对于每个辐射剂量当量，通过剂量计示值的平均值 $\bar{G}_i$ 和标准差 s_i 由公式（8）计算出剂量计的变异系数 v_i ：

$$\bar{G}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n G_{ij} \quad (6)$$

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (G_{ij} - \bar{G}_i)^2} \quad (7)$$

$$v_i = \frac{s_i}{\bar{G}_i} \quad (8)$$

式中：

$i=1, 2, \dots, w$;

$j=1, 2, \dots, n$;

G_{ij} ——第 i 个辐射剂量当量辐照下第 j 个剂量计的指示值，Sv；

$\bar{G}_i$ ——第 i 个辐射剂量当量辐照下剂量计指示值的平均值，Sv；

s_i ——第 i 个辐射剂量当量辐照下剂量计指示值的实验标准差，Sv；

v_i ——第 i 个辐射剂量当量辐照下剂量计的变异系数，div。

注 对于 w 个辐射剂量当量，剂量计的变异系数 v_i 同时满足下列条件时，则满足 5.2 变异系数项目的技术要求， c_1 和 c_2 的值见表 1。

(1) $w-2$ 个辐射剂量当量下，剂量计的 v_i / c_1 值小于 5.2 中给出限值；

(2) 其余 2 个辐射剂量当量下，剂量当量约定值不相邻且 v_i / c_2 值小于 5.2 中给出限值。

表 1 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	n 支剂量计的 c_1 值							n 支剂量计的 c_2 值						
	4	7	10	15	20	25	∞	4	7	10	15	20	25	∞
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

7.2.4 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，非线性响应与变异系数使用相同的测试数据。可由公式（10）计算出剂量计的非线性响应 r ：

$$R_i = \frac{\bar{G}_i}{C_i} \quad (9)$$

$$r_i = \frac{R_i}{R_r} \quad (10)$$

式中：

$i=1, 2, \dots, w$;

C_i ——第 i 个辐射剂量当量约定值，Sv；

$\bar{G}_i$ ——第 i 个辐射剂量当量辐照下剂量计指示值的平均值，div；

R_i ——第 i 个辐射剂量当量辐照下剂量计的剂量当量响应，Sv⁻¹；

R_r ——参考剂量当量辐照下剂量计的剂量当量响应，Sv⁻¹；

r_i ——第 i 个辐射剂量当量辐照下剂量计的非线性响应，div；

注：剂量计在不同剂量当量辐照下的测量结果都满足公式（11）要求，则满足

5.3 非线性响应项目的技术要求。

$$0.87 - U_{C,\text{com};i} \leq \left(\frac{\bar{G}_i}{\bar{G}_{r,0}} \pm U_{\text{com};i} \right) \cdot \frac{C_{r,0}}{C_i} \leq 1.18 + U_{C,\text{com};i} \quad (11)$$

8 校准结果表达

按本规范进行校准，出具校准证书。校准原始记录和证书内页格式见附录 D、附录 E；校准结果应给出校准因子测量结果的不确定度（评定示例见附录 F）。

9 复校时间间隔

用户根据使用情况自行确定复校时间间隔，建议一般不超过 12 个月。

附录 A X 参考辐射的特性和产生条件

A.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 A.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。对于平均能量为 8.5 keV、12.4 keV、16.3 keV、20.3 keV 和 24.6 keV 的辐射，固有过滤由推荐的射线管固有过滤 1 mm Be（也可以使用其它值）构成。对于其他能量的辐射，固有过滤调整到 4 mm Al。半值层是在距焦斑 2.5 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 A.1 的一致性。

表 A.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		
8.5	28	10	0	0	0	0.1	0.065 Al	0.068 Al
12.4	33	15	0	0	0	0.5	0.173 Al	0.197 Al
16.3	34	20	0	0	0	1.0	0.362 Al	0.412 Al
20.3	33	25	0	0	0	2.0	0.677 Al	0.760 Al
24.6	32	30	0	0	0	4.0	1.17 Al	1.29 Al
33.3	30	40	0	0	0.21	0	2.65 Al	2.84 Al
47.9	36	60	0	0	0.6	0	0.235 Cu	0.264 Cu
65.2	32	80	0	0	2.0	0	0.580 Cu	0.623 Cu
83.3	28	100	0	0	5.0	0	1.09 Cu	1.15 Cu
100	27	120	0	1.0	5.0	0	1.67 Cu	1.74 Cu
118	37	150	0	2.5	0	0	2.30 Cu	2.41 Cu
165	30	200	1.0	3.0	2.0	0	3.91 Cu	3.99 Cu
207	28	250	3.0	2.0	0	0	5.08 Cu	5.14 Cu
248	27	300	5.0	3.0	0	0	5.94 Cu	5.99 Cu

A.2 荧光 X 参考辐射（见表 A.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_{β} 之间的次级过滤器，可使 K_{β} 的贡

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/907102044135006106>