



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 735—1991

γ 射线水吸收剂量标准剂量计 (辐射加工级)

The Standard Dosimeter of Water Absorbed Dose
for γ -Rays (Radiation Processing Level)

1991 - 03 - 04 发布

1991 - 10 - 01 实施

国家技术监督局 发布

γ 射线水吸收剂量标准剂量计 (辐射加工级) 检定规程

**Verification Regulation of the Standard
Dosimeter of Water Absorbed Dose
for γ -Rays (Radiation Processing Level)**

JJG 735—1991

本检定规程经国家技术监督局于 1991 年 03 月 04 日批准，并自 1991 年 10 月 01 日起施行。

归口单位：中国计量科学研究院

起草单位：中国计量科学研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释

本规程主要起草人：

庞瑞草 （中国计量科学研究院）

目 录

一 概述	(1)
二 技术要求	(1)
(一) 液体剂量计	(1)
(二) 固体剂量计 (丙氨酸/ESR 剂量计)	(2)
(三) 电离室剂量计	(2)
三 检定条件	(3)
(一) 检定用设备	(3)
(二) 检定时的辐照条件	(3)
四 检定项目和检定方法	(4)
五 检定结果处理和检定周期	(6)
附录 1 名词和术语	(7)
附录 2 检定证书内面格式	(8)

γ 射线水吸收剂量标准剂量计 (辐射加工级) 检定规程

本规程适用于用国家吸收剂量基准硫酸亚铁 (Fricke) 剂量计, 在水模体中, 以替代法检定新制造、使用中和修理后的辐射加工级水吸收剂量标准剂量计。检定在 ^{60}Co 或 ^{137}Cs γ 射线的辐射场中进行。

用标准剂量计检定工作剂量计时, 其检定方法可参照本规程进行。

一 概 述

标准剂量计是指经过考核的, 测量水吸收剂量的总不确定度小于 $3\% \sim 4\%$ ($k=2$), 能用于辐射加工级水吸收剂量量值传递, 在辐射加工现场测量吸收剂量和校准工作剂量计的剂量测量体系。

标准剂量计包括液体 (化学) 剂量计、固体剂量计和电离室剂量计。

液体剂量计如硫酸亚铁剂量计、重铬酸钾 (银) 剂量计、重铬酸银剂量计和硫酸铈-亚铈剂量计等。它们是由密封于玻璃安瓿中的剂量计溶液和 UV/vis 分光光度计组成。在电离辐射作用下, 剂量计溶液中的溶质离子被水的辐解产物定量地氧化或还原; 用分光光度计在一定波长处准确地测定该溶液辐照前后吸光度的变化值, 可给出水中吸收剂量值。摩尔线性吸收系数是用已知浓度的该剂量计的标准溶液对分光光度计校准后求出的。其辐射化学产额或吸光度-吸收剂量转换因子经国家吸收剂量基准硫酸亚铁剂量计校准后给出。

固体剂量计如丙氨酸/ESR 剂量计, 是一种自由基型剂量计, 它是由丙氨酸剂量计元件和测量用的 ESR (电子自旋共振) 波谱仪组成。丙氨酸剂量计元件辐照后产生的自由基浓度以波谱幅度表示, 其波谱幅度-剂量校准曲线由国家吸收剂量基准硫酸亚铁剂量计给出。

电离室剂量计是以电离室为辐射探测器件的剂量仪表, 它主要由电离室、电测量系统、检验源和水模体组成。在模体中, 光子与室壁周围介质及壁材料作用后产生的次级电子, 使空腔内空气电离, 电离电流由收集极输送至电测量系统读数, 经温度、气压修正后, 由国家吸收剂量基准硫酸亚铁剂量计给出其校准因子。

二 技 术 要 求

(一) 液体剂量计

1 剂量计容器 采用符合国家标准 GB2637—1981 中标称 2 ml 的双联曲颈中性玻璃安瓿, 内装剂量计溶液 2.8 ml [溶液高度为 (30 ± 1) mm], 封装后整个安瓿高度约 5.5 cm, 不得有裂缝或渗漏。

2 标准剂量计测量水吸收剂量范围与总不确定度列于表 1。

表 1 测量水吸收剂量范围与总不确定度

名 称	水吸收剂量范围/kGy	总不确定度 ($k=2$) / %
2.1 硫酸亚铁剂量计	0.04 ~ 0.4	3.0
2.2 重铬酸银剂量计	0.4 ~ 5	4.0
2.3 重铬酸钾 (银) 剂量计	4 ~ 40	4.0
2.4 硫酸铈 - 亚铈剂量计	4 ~ 25	4.0

3 测量重复性小于 1%。

4 剂量响应非线性小于 1%。

5 UV/vis 分光光度计

5.1 吸光度 A 值的测量范围应不小于 2; 摩尔线性吸收系数 ϵ 值的准确度应小于 0.5%。5.2 波长 λ 在 300 ~ 500 nm 范围内, 吸光度的测量准确度应小于 1%。

5.3 在吸光度小于 2 的范围内, 测量的非线性应小于 1%。

5.4 恒温液杯架控温精度为 ± 0.2 °C。

5.5 应配有光程长度为 0.01 m 的标准石英液杯。

6 贮存和运输条件

6.1 贮存条件 避光室温保存。

6.2 运输条件 剂量计 (包括读数对照未辐照剂量计) 在辐照前后或运输过程中, 均应在相同环境条件下一同放置; 并在其部寄发放或使用前, 抽样检测其本底吸光度的分散性。

(二) 固体剂量计 (丙氨酸/ESR 剂量计)

7 丙氨酸剂量计元件 以粒度均匀的丙氨酸晶体颗粒, 在 1×10^6 Pa 压力下, 压制成直径为 3 mm, 长度为 8 mm 的圆柱状体, 并用石蜡密封于外径小于 12 mm 的防水塑料套管中, 总高度小于 30 mm。

8 丙氨酸/ESR 剂量计的剂量学性能

8.1 剂量测量重复性小于 1%。

8.2 测量水中吸收剂量范围为 0.05 ~ 40 kGy, 剂量响应的非线性小于 1%, 总不确定度小于 4%。

8.3 稳定性: 自由基浓度衰退半年内小于 1%。

8.4 电子自旋共振 (ESR) 波谱仪按仪器说明书主要指标要求进行自查。

9 丙氨酸剂量计元件的贮存和运输条件

9.1 贮存条件: 避光、室温、相对湿度小于 60%。

9.2 运输条件: 运输过程中辐照与未辐照剂量计元件应保持环境条件一致。

(三) 电离室剂量计

10 电离室剂量计的剂量学性能

- 10.1 水中吸收剂量的测量范围为 $0.1 \sim 10 \text{ Gy}$ 。
- 10.2 测量重复性小于 0.1% ，测量非线性小于 0.2% ，长期稳定性小于 $0.5\%/a$ 。
- 10.3 零漂小于 0.5% (4 h 以内)，漏电流 (本底电流) 应小于测量最小吸收剂量率时产生的电离电流的 0.5% 。
- 10.4 能量响应：在半值层为 $0.06 \sim 2.5 \text{ mm Cu}$ 的 X 射线质范围内小于 3% 。
- 11 主电离室：室壁材料一般为石墨，体积小于 1 cm^3 ，外径小于 1 cm ；电离室杆和电缆的辐射效应引起的测量误差可以忽略。
- 12 主机、电离室、检验源和水模体不应有破损及放射性污染，连接件无松动并符合电气安全要求。
- 13 水模体应配有严格定位的防水电离室套管，使电离室灵敏体积的几何中心与基准硫酸亚铁剂量计的几何中心保持一致。

三 检 定 条 件

(一) 检定用设备

- 14 国家吸收剂量基准硫酸亚铁剂量计。其性能应符合 JJG 2089—1990《 ^{60}Co γ 射线辐射加工级水吸收剂量计量器具检定系统》和国家标准 GB 139—1989 的要求，校准点处测量水吸收剂量的总不确定度为 2.0% ($k=2$)。
- 15 标准水模体是装满水的箱体，壁材料为有机玻璃或聚苯乙烯，外形尺寸为 $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ ，配有使剂量计严格定位的支架和套管，校准点处于距箱体前表面 5.0 cm 的模体中心线上。
- 16 固体模体是由上述材料制成的一定尺寸的实体，设有放置剂量计的孔道，校准点的深度距前表面为 15 mm 。
- 17 其他
 - 17.1 温度计：最小分度值为 $0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
 - 17.2 计时器：最小分度值为 0.01 s 。
 - 17.3 气压计：最小分度值为 10 Pa 。
 - 17.4 尺： 1 m 钢直尺，最小分度值为 1 mm 。
- 18 上述计量器具均需经计量部门检定合格。

(二) 检定时的辐照条件

- 19 检定时辐照需在 ^{60}Co γ 射线场中的标准水模体或固体模体内的校准点处进行。
- 20 ^{60}Co γ 辐射源在整个检定辐照的过程中，源到辐照位置的重复性为 0.3% 。
- 21 标准水模体应放置在使校准点距辐射源几何中心水平距离 $0.5 \sim 1.5 \text{ m}$ 处的均匀辐射场中，并严格定位。周围 1.5 m 范围内不得有任何散射物体。
- 22 模体中水的温度调节至 $(20 \pm 5) \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，水加到箱体刻度线，并在每次辐照前后测量水温度。

四 检定项目和检定方法

23 外观检定

- 23.1 液体剂量计元件应符合第 1 条要求。
 23.2 丙氨酸剂量计元件应符合第 7 条要求。
 23.3 电离室剂量计应符合第 11, 12 条要求。

24 测量仪器检查

- 24.1 UV/vis 分光光度计的检查: 应满足第 5 条的要求, 检验方法可按国家标准 GB 139—1989 进行。
 24.2 ESR 波谱仪按第 8.4 条要求自行检查。
 24.3 电离室剂量计检查按第 10.3 条进行。
 24.4 标准水模体或固体模体应按第 13, 15, 16 条要求进行。

25 ^{60}Co γ 辐射源到辐照位置重复性检查

- 25.1 按第 21, 22 条要求, 放置标准水模体 (或固体模体) 在 ^{60}Co γ 射线辐射场中的选定位置上定位, 剂量计定位套管内充水, 每次辐照剂量计应与水温平衡一致。
 25.2 将符合第 14 条要求的基准硫酸亚铁剂量计放在校准点处, 至少重复升降源 5 次, 每次换取一支剂量计并照射相同时间 ($n \geq 5$)。
 25.3 计算: 求出吸光度测量读数的平均值 $\bar{A}$ 和单次测量相对标准偏差 $s_x/\bar{A}$ (应小于 0.3%)。

$$s_x/\bar{A} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n-1}} / \bar{A} \quad (1)$$

26 确定校准点处水吸收剂量率的基准值 $\dot{D}_p$

- 26.1 在第 25.1 条要求条件下的校准点处进行辐照。
 26.2 在 50~200 Gy 剂量范围内, 以等间隔递增的方式选择不同照射时间 t_i , 辐照 7 支剂量计。
 26.3 按第 5 条和国家标准 GB 139—1989 规定条件下, 在 UV/vis 分光光度计上分别读出辐照和未辐照剂量计溶液的吸光度 A_i 和 A_0 , 对 A_i 和 t_i 进行回归分析, 得线性方程如下:

$$A_i = a + bt_i \quad (2)$$

- 式中: A_i ——剂量计溶液的吸光度值;
 t_i ——与 A_i 对应的辐照时间, min;
 a ——截距 (含有 $\bar{A}_0$ 的贡献);
 b ——斜率, $b = A/t$, (Abs/min)。

- 26.4 根据式 (2) 计算可得到校准点处水吸收剂量率的基准值 $\dot{D}_p$

$$\dot{D}_p = F_p b \text{ (Gy/min)} \quad (3)$$

式中: $F_p = 281$ (Gy/A) 为基准值吸光度-吸收剂量转换因子 (参看国家标准 GB 139—1989)。

26.5 也可给出校准点处升降源的附加剂量

$$D_e^p = F_p (a - \bar{A}_0) \text{ (Gy)} \quad (4)$$

和校准点处斜率 (剂量率) 的相对标准偏差

$$s_b/b = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \text{ (%) } \quad (5)$$

式中: r ——线性相关系数;

n ——剂量计个数。

27 标准剂量计检定时的辐照。在上述第 25, 26 条基准给值的辐照模体定位条件下, 在校准点处以替代法进行标准剂量计 (或工作剂量计) 的辐照, 固体剂量计和电离室剂量计套管防水。

27.1 标准剂量计测量重复性的辐照, 按第 25 条要求 ($n=3\sim 5$) 进行。

27.2 标准剂量计吸收剂量响应线性的辐照, 按第 26 条和第 27 条相同条件下, 在校准点处以替代法进行标准剂量计 (或工作剂量计) 辐照, 选择各自剂量计的最佳线性范围内, 按第 26.2 的要求辐照 $n=5\sim 7$ 支剂量计 (电离室剂量计对应不同辐照时间 t_i 的读数 R_i) 并记录水温、气压。

28 标准剂量计辐照后的读数

28.1 液体剂量计 按第 26.3 条的要求, 可以由基准装置读数; 也可以由被检装置读数, 但要求给出该装置的摩尔线性吸收系数 ϵ 值。

28.2 固体剂量计 如丙氨酸/ESR 剂量计的 ESR 波谱仪, 按其工作条件要求, 用基准给出的已知剂量值的标准丙氨酸剂量计元件, 与待测丙氨酸剂量计元件在相同工作条件下读数, 分别给出波谱二峰幅值 h_p 和 h_s 值。

28.3 电离室剂量计 其仪表读数 R_w 值应考虑温度及气压修正。

29 标准剂量计测量结果的计算

29.1 测量的重复性 按式 (1) 计算测量结果的相对标准偏差 $s_x/\bar{A}$, 应小于 1%。

29.2 对液体剂量计按式 (2), (3), (5) 可分别计算出其水吸收剂量率 $\dot{D}_w$ (Gy/min) 或 b_s 值 (Abs/t); 测量的相对标准偏差 s_b/b , 即其测量的非线性, 应小于 1%。

29.3 对固体剂量计如丙氨酸/ESR 剂量计, 由基准值给出标准值 D_s 值

$$D_s = \dot{D}_p t_i + D_e^p \quad (i=1, 2, \dots, n, n=7) \quad (6)$$

用此标准值检定工作剂量计或待测剂量计元件时, 由 ESR 波谱仪读出其对应的波谱幅度 h_i^* 值, 并经元件质量、仪器增益系数及辐照温度修正。

29.3.1 对低于 10 kGy 时, 以下式表示校准曲线 (线性区)

$$\ln h_i^* = a + b \ln D_i^* \quad (D_i^* < 10 \text{ kGy}, i=1, 2, \dots, n, n=7) \quad (7)$$

则

$$D_i^* = \exp [(\ln h_i^* - a)/b] \quad (8)$$

以求出待测剂量计的剂量值 D_i^* 。

29.3.2 对照射 10~40 kGy 剂量范围的丙氨酸剂量计元件, 以绘制 D_i 和 h_i 的校准曲线

(非线性区)。

29.4 对非密封电离室剂量计仪器读数 R_w 应考虑温度和气压修正

$$\dot{X}_w = R_w \frac{273.15 + T}{273.15 + 20} \times \frac{p_0}{p} \times \frac{1}{t} \quad (\text{l/min}) \quad (9)$$

式中: T ——检定时水模体中的温度, $^{\circ}\text{C}$;

p ——检定时的大气压, Pa ;

p_0 ——标准大气压 (101.3 kPa);

t ——对应仪器读数的时间间隔, min 。

30 校准因子

30.1 对液体剂量计 由第 26.4 条给出的校准点处水吸收剂量率的基准值 $\dot{D}_p$ 和由第 29.2 条得到的 b_s 值, 则可得到标准剂量计的吸光度—吸收剂量转换因子, 即校准因子 F_s 值

$$F_s = \dot{D}_p / b \quad (\text{Gy/A}) \quad (10)$$

或由标准剂量计在校准点处给出的吸收剂量率值 $\dot{D}_s$ ($\dot{D} = \frac{\Delta A}{\epsilon G l \rho}$, 参看 GB139—1989), 则 $N = \dot{D}_p / \dot{D}_s$, 应小于 1.04。

30.2 对固体剂量计如丙氨酸/ESR 剂量计, 由已知的基准值, 可按第 29.3 条分别给出线性区和非线性区的校准曲线。

30.3 对电离室剂量计, 由第 26.4 条给出的校准点处水吸收剂量率的基准值 $\dot{D}_p$ 和由第 29.4 条求出的 $\dot{X}_w$ 值, 则其水吸收剂量的校准因子为

$$N_w = \dot{D}_p / \dot{X}_w \quad (\text{Gy}) \quad (11)$$

30.4 各类标准剂量计校准因子的不确定度应在其总不确定度的范围内符合。

31 各类标准剂量计的稳定性应在下次检定时核查。

五 检定结果处理和检定周期

32 检定结果符合标准剂量计要求的, 即经检定合格者, 发给检定证书; 检定不合格者, 发给测试结果通知书。

33 标准剂量计的检定周期为 1 年。

附录 1

名词和术语

- 1 吸收剂量 D 是 dE 除以 dm 所得的商, 其中 $d\bar{E}$ 是电离辐射授与质量为 dm 的物质的平均能量。

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm} \quad (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (1)$$

吸收剂量单位的专门名称是戈 (瑞), 单位符号是 Gy。

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (2)$$

- 2 吸收剂量率 $\dot{D}$ 是 dD 除以 dt 所得的商, 其中 dD 是在时间间隔 dt 内吸收剂量的增量。

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad \text{J}(\text{kg} \cdot \text{s})^{-1} \quad (3)$$

$$1 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1} = 1 \text{ J}(\text{kg} \cdot \text{s})^{-1} \quad (4)$$

- 3 摩尔线性吸收系数 ϵ 是由 Beer 定律给出的, 它可用如下关系式描述

$$\epsilon = \frac{A}{cl} \quad \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1} \quad (5)$$

式中: A ——在某一特定波长下的吸光度;

c ——所研究离子的摩尔浓度;

l ——分光光度计石英测量液杯中溶液的光程长度。

注: 该量在过去的一般文献中通常称为摩尔消光系数, 单位: $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

- 4 辐射化学产额 $G(X)$ 是 $n(X)$ 除以 $\bar{E}$ 所得的商, 其中 $n(X)$ 是由于授与物质平均能量 $\bar{E}$ 而使某一指定实体 X 中生成、破坏或变化的物质的平均量。

$$G(X) = \frac{n(X)}{\bar{E}} \quad \text{mol} \cdot \text{J}^{-1} \quad (6)$$

注: 该量通常称为 G 值, 过去一般用 $(100\text{eV})^{-1}$ 表示 (参看 GB 139—1989)。

$$1 \text{ mol} \cdot \text{J}^{-1} = 9.65 \times 10^6 \quad (100\text{eV})^{-1} \quad (7)$$

- 5 辐照模体 用来提供校准剂量计所需的电子平衡条件, 并使剂量计精确定位。其材料是水或辐射吸收特性与水等效的物质 (如聚苯乙烯或有机玻璃)。水模体的外形尺寸 $l \times b \times h$ 为 $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$, 并有良好的定位支架和剂量计套管。

- 6 校准点 为在辐照场中校准剂量计规定的测量点, 对于 ^{60}Co 和 ^{137}Cs γ 射线, 该点为距模体前表面 5.0 cm (对于水模体) 或 15 mm (对于聚苯乙烯或有机玻璃固体模体)。

- 7 替代法 在 γ 射线辐射场中确定位置的水模体 (或固体模体) 校准点处, 先用基准剂量计照射, 给出校准点处水吸收剂量率的基准值后, 再将被检标准剂量计 (或工作剂量计) 放置于严格定位的上述模体的该校准点处, 进行检定照射。

- 8 辐射加工级 按国际惯例可分为三个不同的剂量范围:

“低”剂量范围 $10 \text{ Gy} \sim 3 \text{ kGy}$;

“中”剂量范围 $1 \sim 10 \text{ kGy}$;

“高”剂量范围 $5 \sim 100 \text{ kGy}$ 。

附录 2

检定证书内面格式

(一) 检定条件

1 基准剂量计

名称: 总不确定度 ($k=2$):

2 模体

壁材料: 尺寸:

距源中心: 校准点位置:

水模体中温度: 辐照温度, 气压:

3 ^{60}Co γ 辐射源

源的活度: 排列方式及尺寸:

(二) 检定结果

1 基准值

$r =$, $a =$, $b =$,
 $s_b/b =$ (%), $\bar{A}_0 =$, $\dot{D}_p =$ (Gy/min), $D_e^* =$ (Gy)。

2 源到辐照位置的重复性 (校准点处): (%)

3 被检标准剂量计 (或工作剂量计)

名称:

3.1 测量重复性: $s_x/\bar{X} =$ %

3.2 剂量响应线性:

$r =$, $a =$, $b_s =$ (Abs/t),
 $\dot{D}_s =$ (Gy/min), $s_b/b_s =$ (%)。

4 校准因子

4.1 对液体剂量计

$F_s = \dot{D}_p/b_s$ (Gy/A), 或 $N_s = \dot{D}_p/\dot{X}_s$

4.2 对固体剂量计 (如丙氨酸/ESR 剂量计)

4.2.1 10 kGy 以下由 $\dot{D}_p$ 给出刻度曲线 (线性区)。4.2.2 10~40 kGy 范围由 $\dot{D}_p$ 给出校准曲线 (非线性区)。

4.3 对电离室剂量计

$N_w = \dot{D}_p/\dot{X}_w$ (Gy)

5 各类标准剂量计校准因子的不确定度应在其测量水吸收剂量的总不确定度范围内符合。

6 各类标准剂量计的稳定性, 应在下次送检时, 携带上次检定证书进行核查。