



# 中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 851—1993

---

## 电子束辐射加工工作剂量计

Working Dosimeters for Electron Beam Radiation Processing

1993 - 09 - 22 发布

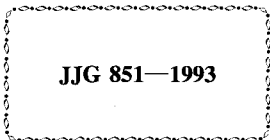
1994 - 04 - 01 实施

---

国家技术监督局 发布

# 电子束辐射加工 工作剂量计检定规程

**Verification Regulation of Working Dosimeters  
for Electron Beam Radiation Processing**



**JJG 851—1993**

---

本检定规程经国家技术监督局于 1993 年 09 月 22 日批准，并自 1994 年 04 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：**

李承华 （中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

史克勤 （北京市计量科学研究所）

谢立青 （北京师范大学）

徐佩玲 （上海市计量技术研究所）

张彦立 （中国计量科学研究院）

刘智绵 （中国计量科学研究院）

# 目 录

一 概述.....	(1)
二 技术要求.....	(1)
三 检定条件.....	(3)
四 检定项目和检定方法.....	(5)
五 检定结果处理和检定周期.....	(6)
附录 1 名词 .....	(7)
附录 2 检定证书内容与格式 .....	(8)

## 电子束辐射加工工作剂量计检定规程

本规程适用于标准与传递标准剂量计，在电子束辐照场中以替代法检定新制造、使用中和修理后的辐射加工工作剂量计。

### 一 概 述

电子束辐射加工工作剂量计（以下简称工作剂量计）是指电子束辐射加工生产和研究单位在选择、控制加工工艺，保证辐照产品质量而用于测量辐照场或辐照产品中的剂量分布，进行日常剂量监测的剂量计。剂量测量系统通常由剂量计、辐射响应读数仪和剂量响应校准曲线（或剂量响应转换因子）组成。

液体工作剂量计包括重铬酸钾（银）、重铬酸根、硫酸铈—亚铈和氯苯乙醇剂量计等。在电子束作用下，剂量计溶液中的溶质被水的辐解产物定量地还原，用分光光度计在规定波长下测定辐照前后剂量计溶液吸光度的变化值，由校准得到的剂量响应转换因子或相应的  $G$  值与摩尔吸光系数求得水吸收剂量值。

固体工作剂量计包括多种辐射显色薄膜，无色和染色聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）片，三醋酸纤维素薄膜、聚乙烯薄膜及蓝色玻璃纸等。在电子束作用下各类薄膜、薄片剂量计产生辐射化学效应，导致颜色变化，用分光光度计或专用读数仪在规定波长下测定辐照前后剂量计比吸光度的变化值，由校准得到剂量响应曲线或相应的关系式求得水吸收剂量值。

### 二 技术要求

#### （一）液体剂量计

##### 1 液体工作剂量计列于表 1。

表 1 液体工作剂量计

名 称	测量方法	剂量范围/kGy
重铬酸钾（银）剂量计	可见分光光度法 440nm	4 ~ 40
重铬酸银剂量计	紫外可见分光光度法 350, 440nm	0.4 ~ 50
硫酸铈—亚铈剂量计	紫外分光光度法 320nm	4 ~ 25
氯苯乙醇剂量计	高频电导、比色滴定、分光光度法	$1 \times 10^{-2} \sim 2 \times 10^{-3}$

- 2 测量重复性  $\leq 5\%$ （测量次数  $n \geq 5$ ）。
- 3 测量吸收剂量的总不确定度  $\leq 15\%$ （置信因子  $k = 2$ ）。
- 4 剂量计容器：采用聚苯乙烯圆盒（注 1）或安瓿（注 2）。

注 1：聚苯乙烯盒的大小尺寸由辐照场的均匀区和电子束能量确定。

为减少杂质影响，盒内应注满剂量计溶液并放置 10 h 以下，辐照前用新剂量计溶液冲洗 3 次，再注满备用，盒内尽可能少留空气并不得泄漏。辐照后立即转移到干净的玻璃容器内，尽快测量。

注 2：采用国家标准 GB 2637—1990 中规格为 2 mL 的 B 型易折玻璃安瓿，处理及封装方法见 JJF 1018—1990。

5 储存和运输：剂量计及其溶液辐照前后应在室温下避光保存，辐照前后储存及运输过程中，辐照与对照用的剂量计及溶液均应置于相同环境条件下。

## (二) 固体剂量计

6 固体工作剂量计列于表 2。

表 2 固体工作剂量计

名称	测量方法	剂量范围/kGy
辐射显色薄膜剂量计 (FWT-60) (注 3)	可见分光光度法 510, 600 nm	1 ~ 200
无色 PMMA 剂量计	紫外分光光度法 292 nm	5 ~ 100
红色 PMMA 剂量计	可见分光光度法 640 nm	5 ~ 50
琥珀色 PMMA 剂量计	可见分光光度法 651 nm	1 ~ 50
三醋酸纤维素薄膜剂量计	紫外分光光度法 280, 290, 295 nm	10 ~ 200
聚乙烯薄膜剂量计	紫外分光光度法 237 nm	10 ~ 1000
蓝色玻璃纸	可见分光光度法 610, 650 nm	10 ~ 200
注 3：国内已研制了几种辐射显色薄膜，具体测量方法与剂量范围见 JJG 775—1992， $\gamma$ 射线辐照加工工作剂量计。		

7 测量重复性  $\leq 5\%$  ( $n \geq 5$ )。

8 测量吸收剂量总不确定度  $\leq 15\%$  ( $k = 2$ )。

9 固体剂量计必须厚度均匀并有合适包装，薄膜和薄片应表面光法，不得有斑点、印痕和擦伤。

10 储存和运输：剂量计必须在相对湿度小于 70% 及室温下避光保存，具体可参照说明书要求。辐照前后储存及运输过程中辐照与对照用的剂量计均应置于相同环境条件下。

### 三 检定条件

#### (一) 标准与传递标准剂量计

11 标准剂量计包括量热计与液体剂量计，必须经过计量行政部门组织考核合格，审查批准。测量吸收剂量的重复性 $\leq 2\%$ ，总不确定度 $\leq 5\%$  ( $k=2$ )。

12 传递标准剂量计包括丙氨酸/ESR 剂量计与优质辐射显色薄膜，必须经过电子束吸收剂量标准测量装置校准，测量吸收剂量的重复性 $\leq 3\%$ ，总不确定度 $\leq 8\%$  ( $k=2$ )。

13 标准与传递标准剂量计见表 3。

表 3 标准与传递标准剂量计 (注 4)

名 称	测量方法	剂量范围/kGy
石墨量热计	量热 (热敏电阻或热电偶) 法	2 ~ 20
水量热计	量热 (热敏电阻或热电偶) 法	5 ~ 50
重铬酸银剂量计	紫外可见分光光度法 350, 440 nm	0.4 ~ 50
重铬酸钾 (银) 剂量计	可见分光光度法 440 nm	4 ~ 40
丙氨酸/ESR 剂量计	电子自旋共振法	0.5 ~ 40
优质辐射显色薄膜剂量计	可见分光光度法或专用读数仪	1 ~ 100

注 4: 石墨量热计与水量热计也可作为工作剂量计使用。

#### (二) 辐照条件

14 校准工作剂量计用的电子束辐射源可以是电子束流与加速电压比较稳定、电子束能量分散度较小的各种类型电子加速器，如静电加速器、绝缘磁芯变压器型加速器、高压倍加型加速器、高频高压发生器型加速器及直线加速器等。

15 剂量计应放在均匀电子束辐射场中的校准位置，严格定位。为保证电子束辐照重复可靠，检定过程必须用电子束流密度计 (电子注量仪)、标准剂量计或传递标准剂量计监测电子束，进行归一修正。

16 电子束辐照剂量重复性 $\leq 4\%$  ( $n \geq 3$ )。

16.1 该项性能用高精度的电子束流密度计或标准剂量计在校准位置测量。以标准液体剂量计为例，取若干个剂量计，其中 5 个用于对照， $n$  个用于辐照。

16.2 参照式 (4) 计算吸光度变化值单次测量的相对标准偏差，用它表示校准位置辐照剂量的重复性。

17 确定校准位置吸收剂量率标准值。

17.1 校准必须采用标准或传递标准剂量计。

17.2 将量热计置于校准位置，选定电子束参数，辐照一定时间  $t$  (静止辐照)，或固定

传输速度下通过电子束  $t$  次 (动态辐照, 通常  $t = 1$ )。重复照射  $n$  次 ( $n \geq 3$ ), 或在同样条件下辐照  $n$  个量热计 ( $n \geq 3$ )。测量量热计辐照前后的温度变化  $\Delta T_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), 按下列公式计算吸收剂量  $D_i$ 、平均吸收剂量  $\bar{D}$ 、吸收剂量率  $\dot{D}_{\text{cal}}$  以及单次测量的相对标准偏差  $S_x/\bar{D}$ 。

$$D_i = \Delta T_i \cdot K_{\text{cal}} \quad (1)$$

$$\bar{D} = \frac{\sum D_i}{n} \quad (2)$$

$$\dot{D}_{\text{cal}} = \bar{D}/t \quad (3)$$

$$S_x/\bar{D} = \left( \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} / \bar{D} \right) \times 100\% \quad (4)$$

式中,  $K_{\text{cal}}$  为量热计的比热容,  $K_{\text{cal}} = \sum m_i c_i / \sum m_i$ 。  $m_i$ 、 $c_i$  分别为量热计  $i$  组分的质量与比热容。

采用石墨量热计给出的吸收剂量为石墨吸收剂量  $D_g$ , 必须用 (5) 式将  $D_g$  转换为水吸收剂量  $D_w$ 。

$$D_w = D_g \times \frac{(S/\rho)_w}{(S/\rho)_g} \quad (5)$$

式中,  $(S/\rho)_w$  与  $(S/\rho)_g$  分别为水与石墨在该电子束能量下的质量碰撞阻止本领。

17.3 将标准重铬酸钾 (银) 或重铬酸银剂量计置于校准位置, 选定电子束参数, 辐照一定时间  $t$  (静止辐照), 或固定传输速度下通过电子束  $t$  次 (动态辐照)。同样条件下照射  $n$  个剂量计 ( $n \geq 3$ )。测量辐照前后剂量计溶液的吸光度变化值  $\Delta A_i$ , 则校准位置的吸收剂量率  $\dot{D}_s$  可由下列公式计算:

$$\Delta A_i = A_0 - A_i \quad (6)$$

$$\overline{\Delta A} = \frac{\sum \Delta A_i}{n} \quad (7)$$

$$\bar{D} = K_s \cdot \overline{\Delta A} \quad (8)$$

$$\dot{D}_s = K_s \cdot \overline{\Delta A}/t \quad (9)$$

式中,  $A_0$  与  $A_i$  分别为辐照前后剂量计溶液的吸光度;  $\overline{\Delta A}$  为  $n$  个剂量计的平均吸光度变化值;  $K_s$  为标准液体剂量计的剂量响应转换因子。单次测量值的相对标准偏差可参照式 (4) 计算。

17.4 丙氨酸/ESR 传递标准剂量计测定校准位置的吸收剂量率可参照国家计量技术规范 JJF 1020—1990 及 17.3 款规定进行。丙氨酸剂量计放在辐射模体内或放在聚苯乙烯板表面的校准位置上辐照。

17.5 辐射显色薄膜传递标准剂量计可参照 17.3 款规定, 将剂量计置于辐照模体内或聚苯乙烯板表面, 测量校准位置的吸收剂量率, 每次辐照至少用 3 片薄膜。按测得的平均吸光度变化值在剂量响应校准曲线上求得吸收剂量, 计算吸收剂量率。

17.6 用标准或传递标准剂量计测定校准位置的吸收剂量率时, 必须监测或控制辐照时剂量计的温升, 必要时进行温度修正。



17.7 标准剂量计测得的是量热体或剂量计溶液接受的平均吸收剂量。为确定固体工作剂量计的吸收剂量，必须根据预先测得的量热体或液体剂量计模体内的深度剂量分布，求得固体工作剂量计校准位置吸收剂量率标准值。

### (三) 其他检定设备

18 辐照模体 根据需要选用合适的辐照模体（见附录 1.4 条）。

19 半导体温度计 最小分度值为 0.1 °C，测量范围 0~100 °C。

20 测厚仪 准确度高于所测固体剂量计厚度的 2%。

21 计时器 最小分度值为 0.01 s。

22 尺 1 m 钢尺，最小分度值为 1 mm。

## 四 检定项目和检定方法

### 23 外观检查

23.1 液体剂量计应符合本规程第 4 条要求。

23.2 固体剂量计应符合本规程第 9 条要求。

24 所使用的计量器具需经法定计量检定机构检定合格。

### 25 液体工作剂量计

25.1 采用替代法将液体剂量计置于校准位置，在剂量计测量范围内均匀选取 7 个不同辐照剂量，其中某个辐照剂量（约在量程 1/3 处）重复照射 5 个剂量计。

25.2 用分光光度计在规定波长下测量未辐照与辐照剂量计溶液的吸光度值  $A_0$  与  $A_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n; n=7$ )，得到一系列吸光度变化值  $\Delta A_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n; n=7$ )。

25.3 参照式 (4) 计算重复照射测量结果的重复性。

25.4 以辐照剂量对应的时间（或通过电子束的次数）对吸光度变化值进行线性回归拟合，其斜率即为单位时间（或每次）辐照产生的吸光度变化值  $\Delta A_{\infty}$ 。

25.5 液体工作剂量计的剂量响应转换因子  $K_{\infty}$  (Gy) 为：

$$K_{\infty} = \dot{D}_s / \Delta A_{\infty} \quad (10)$$

式中， $\dot{D}_s$  为校准点处吸收剂量率的标准值（见式 (9)）。

### 26 固体工作剂量计

26.1 采用替代法将固体工作剂量计置于辐照模体中的校准位置或聚苯乙烯板的表面，薄膜剂量计每次至少辐照 3 片。参照 25.1 款规定辐照剂量计。

26.2 用分光光度计或专用读数仪测量规定波长下辐照前后剂量计的吸光度，得到不同剂量下吸光度的变化值。具体剂量值可由传递标准剂量计测得的校准位置吸收剂量率计算得到，也可由标准剂量计测得的吸收剂量率经过深度剂量分布换算得到。在坐标纸上，以吸收剂量为横坐标，以单位厚度（或固定厚度）吸光度变化值为纵坐标，绘制剂量响应校准曲线。

26.3 参照式 (4) 计算重复照射测量结果的重复性。

## 五 检定结果处理和检定周期

- 27 按本规程检定合格的工作剂量计发给检定证书，检定不合格者发给检定结果通知书。
- 28 工作剂量计检定周期为 1 年。

## 附录 1

## 名 词

1.1 吸收剂量  $D$  是  $d\bar{\epsilon}$  除以  $dm$  所得的商。其中  $d\bar{\epsilon}$  是电离辐射授与质量为  $dm$  物质的平均能量，即：

$$D = d\bar{\epsilon}/dm \quad (1)$$

吸收剂量的单位是  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，专门名称是戈瑞，符号为  $\text{Gy}$ 。

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

1.2 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，即：

$$\dot{D} = dD/dt \quad (3)$$

吸收剂量率的单位是  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ，专门名称是戈瑞每秒，符号为  $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

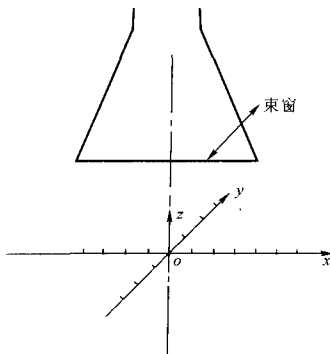
$$1 \text{ Gy}\cdot\text{s}^{-1} = 1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1} \quad (4)$$

1.3 替代法 将被检的工作剂量计放置在预先用标准剂量计准确测量剂量率的校准点处进行辐照，以授与确定的吸收剂量值，这种检定方法称为替代法。

1.4 辐照模体 是替代法传递吸收剂量量值的专用设备。它模拟量热计与液体剂量计，由聚苯乙烯盒或一套已知准确厚度的聚苯乙烯薄片组成，用于校准剂量计。对安瓿型液体剂量计的辐照模体，应配有使剂量计准确处于校准位置的支架、套管及夹具。

1.5 剂量响应转换因子  $k$  是液体剂量计的校准因子，其物理含义是该剂量计在给定分光光度计规定波长及单位光程长度下，测得的吸光度变化值为 1 时所对应的吸收剂量值，其单位是  $\text{Gy}$ 。

1.6 校准位置 如附图 1 所示，在直角坐标系中， $x$ 、 $y$  两坐标轴组成的平面为参考面。 $z$  轴为电子束中心轴线，原点  $o$  为参考点。通常将辐照模体放在参考面上的参考点处，将参考点作为校准位置，参考面距束窗的距离视不同装置及模体的具体情况而定。



附图 1 参考点和参考面示意图

## 附录 2

## 检定证书内容与格式

## (一) 检定条件

## 1 标准或传递标准剂量计

名称

测量仪器

总不确定度 ( $k=2$ )

## 2 辐照

辐照模体

辐照温度

辐照方式 (动态辐照应注明传送速度)

校准位置

校准位置剂量率标准值

## 3 辐射源

电子加速器类型

电子束流

电子束能量

扫描尺寸

电子束辐照剂量的重复性

## (二) 检定结果

## 1 被检工作剂量计

名称

测量仪器

## 2 测量重复性

## 3 剂量响应校准曲线或剂量响应转换因子