



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 16640—2008/ISO/ASTM 51261:2002  
代替 GB/T 16640—1996

## 辐射加工剂量测量系统的 选择和校准导则

Standard guide for selection and calibration of dosimetry systems for  
radiation processing

(ISO/ASTM 51261:2002, IDT)

2008-09-19 发布

2009-08-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
辐射加工剂量测量系统的  
选择和校准导则

GB/T 16640—2008/ISO/ASTM 51261:2002

\*

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街16号  
邮政编码:100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 50 千字  
2009年1月第一版 2009年1月第一次印刷

\*

书号: 155066 • 1-35165 定价 24.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533



GB/T 16640-2008

## 前 言

本标准等同采用 ISO/ASTM 51261:2002《辐射加工剂量测量系统的选择与校准准则》(英文版)。为便于使用,本标准做了下列编辑性修改:

- a) 按照汉语习惯对一些编写格式进行了修改。
- b) 对于 ISO/ASTM 51261:2002 引用的其他国际标准中有被等同采用为我国标准的,本标准用引用我国的这些国家标准或行业标准代替对应的国际标准,其余未有等同采用为我国标准的国际标准,在本标准中均被直接引用。
- c) 原国际标准中的附录编号 A1、A2、A3、A4、A5 改为附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E。

本标准代替 GB/T 16640—1996《辐射加工剂量测量系统的选择与校准准则》。本标准与 GB/T 16640—1996 相比主要变化如下:

- 重新规定了标准的“意义与用途”(1996 版 4.1、4.2、4.3;本版的 4.1、4.2、4.3);
- 将标准剂量计细分为参考标准剂量计和传递标准剂量计,增加了对基准剂量计、参考剂量计的定义(1996 版 5.1;本版的 5.1、5.1.1、5.1.2);
- 增加了剂量计测量系统选择的“通用准则”和“工作剂量计测量系统的附加准则”(见第 6 章);
- 增加了剂量计测量系统校准对“提供程序、协议和人员培训”的规定(见 8.1.2);
- 增加了确定吸收剂量率响应和传递剂量响应的规定(见 8.4 和 8.5);
- 增加了基本文件要求的条款(见 10.5、10.6 和 10.7);
- 增加了测量不确定度的评定原则(见第 11 章);
- 增加了资料性附录“吸收剂量的表述”(见附录 A);
- 增加了资料性附录“附加剂量的确定”(见附录 B);
- 增加了资料性附录“测量剂量率响应的方法”(见附录 E)。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 为资料性附录。

本标准由中国核工业集团公司提出。

本标准由全国核能标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:中国计量科学研究院。

本标准主要起草人:张辉、张彦立、夏渲、刘智绵。

本标准所代替标准的历次本版发布情况为:GB/T 16640—1996。

目 次

前言 ..... Ⅲ

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 2

4 意义与用途 ..... 4

5 剂量计的分类和应用 ..... 4

6 剂量测量系统的选择 ..... 5

7 分析仪器的校准和性能验证 ..... 6

8 剂量测量系统的校准 ..... 6

9 产品中吸收剂量的表述 ..... 11

10 基本文件要求 ..... 11

11 测量不确定度 ..... 12

12 关键词 ..... 12

附录 A (资料性附录) 吸收剂量的表述 ..... 13

附录 B (资料性附录) 附加剂量的确定 ..... 16

附录 C (资料性附录) 不确定度来源 ..... 17

附录 D (资料性附录) 剂量计特性示例 ..... 18

附录 E (资料性附录) 测量剂量率响应的方法 ..... 22

参考文献 ..... 23

## 辐射加工剂量测量系统的 选择和校准导则

### 1 范围

- 1.1 本标准规定了 $\gamma$ 射线、X射线和电子束辐射加工中用于测量吸收剂量的剂量测量系统的选择和校准的基本原则。本标准给出了用于校准和商用辐射加工中质量保证的剂量测量系统的类型、吸收剂量的表述方法和剂量测量的不确定度评价。分析仪器的校准见相关的剂量测量系统标准。
- 1.2 本标准测量吸收剂量的上限为1 000 kGy;辐射能量范围为0.1 MeV~50 MeV(光子和电子)。
- 1.3 本标准应与特定的剂量学系统的具体应用标准结合使用。
- 1.4 本标准不包括中子或重带电粒子的辐射加工剂量测量。
- 1.5 本标准不涉及与使用者相关的安全问题(如果存在)。本标准的使用者负责建立适用的安全和健康标准,并在使用前确定其适用的限制范围。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 16509 辐射加工剂量测量不确定度评定导则(GB/T 16509—2008,ISO/ASTM 51707:2005,IDT)

GB/T 16510 辐射加工剂量学校准实验室的能力要求(GB/T 16510—2008,ISO/ASTM 51400:2002,IDT)

GB/T 16639 使用丙氨酸-EPR剂量测量系统的标准方法(GB/T 16639—2008,ISO/ASTM 51607:2004,IDT)

GB/T 16841 能量为300 keV~25 MeV电子束辐射加工装置剂量学导则(GB/T 16841—2008,ISO/ASTM 51649:2005,IDT)

ASTM E 170 辐射测量与剂量学术语

ASTM E 178 处理离群观测值的实践

ASTM E 456 量和统计术语

ASTM E 666 计算X或 $\gamma$ 射线吸收剂量的方法

ASTM E 668 使用热释光(TLD)剂量测量系统确定电子设备辐射损伤试验中吸收剂量的实践

ASTM E 1026 使用弗里克标准剂量测定系统的标准规范

ISO/ASTM 51204 用于食品处理的 $\gamma$ 辐照装置剂量测量的实践

ISO/ASTM 51275 使用辐射显色薄膜剂量测量系统标准实践

ISO/ASTM 51276 使用聚甲基丙烯酸甲酯剂量测量系统标准实践

ISO/ASTM 51310 使用辐射化学光学波导剂量测量系统的实践

ISO/ASTM 51431 电子束和韧致辐射装置食品加工用剂量学实践

ISO/ASTM 51538 使用氯苯-乙醇剂量测量系统的实践

ISO/ASTM 51540 使用辐射化学液体剂量测量系统的实践

ISO/ASTM 51631 使用量热法剂量测量系统对电子束剂量测量和剂量计校准的实践

- ISO/ASTM 51650 使用 CTA 剂量测量系统的实践  
ISO/ASTM 51702 辐射加工  $\gamma$  辐照装置的剂量学实践  
ISO/ASTM 51956 辐射加工用热释光剂量测量系统的实践  
ICRU 14 号报告 辐射剂量学:最大光子能量为 0.6 MeV~25 MeV 的 X 射线和  $\gamma$  射线  
ICRU 17 号报告 辐射剂量学:管电压为 5 kV~150 kV 的 X 射线发生装置  
ICRU 34 号报告 脉冲辐射剂量学  
ICRU 35 号报告 初始能量为 1 MeV~50 MeV 的电子束辐射剂量学  
ICRU 37 号报告 电子和正电子的阻止本领  
ICRU 60 号报告 电离辐射基本量和单位

### 3 术语和定义

ASTM E 170 和 ICRU 第 60 号报告确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

**认可的剂量测量校准实验室** **accredited dosimetry calibration laboratory**

满足特定的性能指标,经国家计量行政管理部门认证和批准的进行剂量校准的实验室。

#### 3.2

**校准曲线** **calibration curve**

表示剂量测量系统响应函数的曲线图。

#### 3.3

**校准装置** **calibration facility**

由辐射源和相关设备组成的用于获取剂量计响应函数或校准曲线的装置。该装置可在指定的位置 and 材料中提供均匀、重复并能溯源到国家或国际认可的标准吸收剂量(或吸收剂量率)值。

#### 3.4

**带电粒子平衡** **charged partical equilibrium**

受照介质中某点处的如下状态:在该点周围的体积元内,进入和离开的带电粒子的动能和数目彼此相等。

注:当电子为主要的带电粒子时,常用“电子平衡”术语来描述带电粒子的平衡。

#### 3.5

**剂量计批** **dosimeter batch**

采用受控且固定的工艺流程制备的性能、质量、组成相同且具有唯一标识代码的同批剂量计。

#### 3.6

**剂量测量系统** **dosimetry system**

由剂量计、测量仪器、相关的参考标准和使用程序组成的用于确定吸收剂量的系统。

#### 3.7

**电子平衡** **electron equilibrium**

针对电子的带电粒子平衡。

#### 3.8

**测量比对** **measurement intercomparison**

用可溯源至国家或国际认可标准的某一标准参考装置或物质对现场测量系统实施测量评价的过程。

注:在辐射加工中,剂量计发放的主导实验室可在某一辐照装置上辐照参考标准或传递标准剂量计,然后将其寄回参加比对的实验室进行测量分析。换句话说,剂量计发放主导实验室也可邮寄剂量计给参加比对的实验室辐照,然后将辐照过的剂量计寄回剂量计发放实验室用于分析评价的过程。

## 3.9

**测量质量保证计划** measurement quality assurance plan

为保证测量不确定度满足特定应用要求,建立量值溯源性的一整套测量程序计划。

## 3.10

**测量溯源性** measurement traceability

通过连续的比较链,证明测量结果能够与国家或国际认可的标准在不确定度可接受范围内一致的特性。

## 3.11

**基准剂量计** primary-standard dosimeter

由国家和国际标准化组织建立的吸收剂量标准剂量计,其量值和测量不确定度的确定与同种量的其他测量标准无关。

## 3.12

**加工负荷** process load

作为单一整体辐照、具有特定装载形态的某体积物质。

## 3.13

**质量保证** quality assurance

为达到预定的质量水平,提供足够置信度所必需的校准、测量或加工的全部系统活动。

## 3.14

**参考标准剂量计** reference-standard dosimeter

具有较高计量学特性标准的剂量计,用于溯源至基准剂量计并与基准剂量计测量保持一致的标准剂量计。

## 3.15

**响应函数** response function

对于给定的剂量测量系统,剂量计响应与吸收剂量关系的数学表达式。

## 3.16

**工作剂量计** routine dosimeter

使用基准、参考标准或传递标准剂量计校准过的用于日常吸收剂量测量的剂量计。

## 3.17

**模拟产品** simulated product

与被辐照的产品、材料或物质具有相似的减弱、散射性质的材料。

注:在描述辐照装置特性时,模拟产品作为用于实际辐照产品、材料或物质的替代物。在测量吸收剂量分布时,模拟产品为模体材料。

## 3.18

**库存剂量计** dosimeter stock

由使用者保存的另一部分同批剂量计。

## 3.19

**传递标准剂量计** transfer-standard dosimeter

在测量标准相互比较中用作媒介的标准剂量计。通常是一种性能稳定、结实的参考标准剂量计,它能够可靠地传递吸收剂量值,进行邮寄比对或校准工作剂量计和刻度辐射场。

## 3.20

**验证** verification

通过对客观凭证的检查以确定是否符合某一特殊要求所进行的全部工作。

4 意义与用途

4.1 电离辐射可在产品中产生各种期望的效应。其应用包括:医疗保健产品的消毒和灭菌、食品加工、聚合物改性、电子器件的辐照以及油墨、涂层和胶粘剂的固化等<sup>[1],[2]</sup>。在这些应用中吸收剂量范围为约 10 Gy 至 100 kGy,或更高。

4.2 许多国家都制定了医疗保健产品的消毒和灭菌与食品加工的相关规定。这些规定要求校准剂量测量系统的响应并将该系统溯源至国家标准<sup>[3],[4],[5]</sup>。足够量的具有合理统计控制和文件记录的剂量计是保证产品正确加工的必要条件。

4.3 必须选用正确的剂量测量系统以保证产品接受期望的吸收剂量,剂量计必须经过校准。工作剂量测量系统的校准可通过直接在国家或授权的标准实验室中对工作剂量计进行标准化辐照的方式实现,也可通过使用自有的校准设施<sup>[6]</sup>或在生产用辐照装置中进行。应了解并考虑所有可能影响剂量计响应的因素,包括:环境条件以及这些条件在生产装置内的变化。同时必须校准相关的分析仪器。

5 剂量计的分类和应用

5.1 根据剂量计的品质和应用领域可将剂量计分为以下四类:

5.1.1 基准剂量计:基准剂量计由国家标准实验室建立、保存,用于校准辐射场。基准剂量计的典型用途是校准或比对剂量测量校准实验室的辐射场,通常不作工作剂量计使用。有关基准剂量计选择和校准见 6.1 和 8.2.1。两种最常用的基准剂量计是电离室和量热计(见 ICRU 第 14、17、34 和 35 号报告)。

5.1.2 参考标准剂量计:参考标准剂量计用于辐射场和工作剂量计的校准,也可用于需要高质量剂量测量辐射加工的常规剂量测量。广泛使用的参考标准剂量计包括:硫酸亚铁(Fricke)水溶液(见 GB/T 139)和丙氨酸-EPR 剂量测量系统(见 GB/T 16639)。有关参考标准剂量计选择和校准见 6.2 和 8.2.2。用作基准剂量计的设备同样也可用作参考标准剂量计,但应按 8.2.2 的规定进行校准。表 1 列出了参考标准剂量计的示例;这些剂量计系统特性的细节见附录 D。

表 1 参考标准剂量计

| 剂量计      | 读出系统                 | 吸收剂量(Gy)范围              | 参考文献      |
|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| 电离室      | 静电计                  | $10^{-4} \sim 10$       | [11]、[12] |
| 量热计      | 热量计                  | $10^2 \sim 10^5$        | [13]      |
| 丙氨酸      | EPR 谱仪               | $1 \sim 10^5$           | [14]      |
| 硫酸铈-亚铈溶液 | 紫外分光光度计或<br>电化学势能计   | $10^3 \sim 10^5$        | [15]、[16] |
| 氯苯-乙醇溶液  | 分光光度计、比色滴定、<br>高频电导仪 | $10 \sim 2 \times 10^6$ | [17]、[18] |
| 硫酸亚铁溶液   | 紫外分光光度计              | $20 \sim 4 \times 10^2$ | [19]      |
| 重铬酸钾/银溶液 | 紫外/可见分光光度计           | $10^3 \sim 10^5$        | [20]      |

5.1.3 工作剂量计:工作剂量计用于测量辐射场和产品中的剂量分布以及日常剂量监测。有关工作剂量计选择和校准的陈述见 6.2 和 8.4。表 2 列出了工作剂量计的示例;这些剂量计系统特性的细节见附录 D。



表 2 工作剂量计

| 剂量计         | 读出系统             | 吸收剂量(Gy)范围                | 参考文献           |
|-------------|------------------|---------------------------|----------------|
| 丙氨酸         | EPR 谱仪           | $1 \sim 10^5$             | [14]           |
| 红色透明有机玻璃    | 可见分光光度计          | $10^2 \sim 10^5$          | [21]、[22]、[23] |
| 无色透明有机玻璃    | 紫外分光光度计          | $10^3 \sim 10^5$          | [21]、[24]      |
| 醋酸纤维素       | 分光光度计            | $10^4 \sim 4 \times 10^5$ | [25]           |
| 硼酸锂, 氟化锂    | 热释光读数仪           | $10^{-4} \sim 10^3$       | [26]           |
| 氟化锂(光学级)    | 紫外/可见分光光度计       | $10^2 \sim 10^5$          | [27]           |
| 辐射显色薄膜, 光波导 | 可见分光光度计          | $1 \sim 10^5$             | [6]、[8]、[28]   |
| 硫酸铈-亚铈溶液    | 紫外分光光度计          | $10^3 \sim 10^5$          | [15]           |
| 硫酸亚铁-铜溶液    | 紫外分光光度计          | $10^3 \sim 5 \times 10^3$ | [29]           |
| 氯苯-乙醇溶液     | 分光光度计、比色滴定、高频电导仪 | $10 \sim 2 \times 10^6$   | [18]           |
| 氨基酸         | 晶溶发光读数仪          | $10^{-5} \sim 10^4$       | [30]           |
| 场效应管        | 伏特计              | $1 \sim 2 \times 10^2$    | [31]           |

5.1.4 传递标准剂量计:是一种专门选择的标准剂量计,用于在授权的或国家标准实验室和照射装置之间传递剂量信息,为校准装置建立溯源性。传递标准剂量计应在剂量计发放实验室规定的条件下使用。它们既可以是参考标准剂量计(见表1)也可以是符合特殊应用要求的工作剂量计(见表2)。除表1和表2列出的剂量计外,其他类型剂量计的相关信息见 GB/T 15053 和 ASTM E 668。

注1:在所列的参考标准或工作剂量计中,没有一个剂量计能完全满足第6章给出的“理想”传递标准剂量计的全部期望特征。但是,如果剂量计缺少某些期望特征,而该特征对其响应的影响可忽略,或者采用修正因子修正使其响应满足应用不确定度限制的剂量计,仍可作为传递标准剂量计。

## 6 剂量测量系统的选择

6.1 基准剂量测量系统——国家实验室依据特定的测量应用要求对基准剂量计的选择准则。

### 6.2 参考标准、传递标准和工作剂量测量系统

#### 6.2.1 通用准则

- 6.2.1.1 剂量计对所关注的吸收剂量范围和特定的辐照产品的适用性;
- 6.2.1.2 系统的稳定性和重复性;
- 6.2.1.3 系统校准的难易程度;
- 6.2.1.4 对系统误差控制或修正系统响应的能力,例如:由温度和湿度引起的系统误差(示例见参考文献[6]);
- 6.2.1.5 建立系统和操作的全部成本,包括剂量计、读出系统和人工成本;
- 6.2.1.6 在研究的吸收剂量极限值内,确定拟合校准曲线的相关系数;
- 6.2.1.7 剂量计响应对校准以及产品辐照前后和辐照期间的环境条件(如:温度、湿度以及光照)变化的依赖性。同时需要考虑环境条件对剂量计读出设备的影响;
- 6.2.1.8 剂量计响应依赖于吸收剂量率或剂量给予方式,或两者兼而有之;
- 6.2.1.9 辐照前后剂量计响应的稳定性;
- 6.2.1.10 同一批次内或不同批次之间剂量计响应的一致性;
- 6.2.1.11 剂量计的尺寸、位置、取向和组成对辐照场或吸收剂量测量的影响。有时还要测量不同材料界面的吸收剂量(例如骨组织界面或产品表面)。应使用较薄的剂量计,其厚度相对于吸收剂量梯度变

化较小。

#### 6.2.1.12 校准和产品辐照场之间不同能谱的影响。

注2:选择剂量测量系统时应考虑剂量测量系统性能全部信息的有效性。

#### 6.2.2 工作剂量测量系统的附加准则

##### 6.2.2.1 易用性;

##### 6.2.2.2 获得剂量计合理数量的可能性;

##### 6.2.2.3 建立剂量计响应所需要的时间,对剂量计读出和表述的人力要求;

##### 6.2.2.4 剂量计系统的耐用性(在常规处理和加工环境使用中的抗损坏性)。

#### 6.2.3 传递标准剂量测量系统的附加准则

##### 6.2.3.1 辐照前的搁置时间;

##### 6.2.3.2 辐照后响应的稳定性(实现的能力);

##### 6.2.3.3 具有耐受递送到辐照装置的便携性和对递送极端环境条件影响的不敏感性。

### 7 分析仪器的校准和性能验证

7.1 在整套系统校准前和校准周期内应对剂量测量系统的独立组件进行校准并进行性能验证。应定期验证系统组件的稳定性;在校准整套系统时,还应证明其组件的性能没有变化。

7.1.1 如有适用的标准,应按照文件程序校准独立组件,并确保测量用仪器溯源到国家或国际认可的标准。

7.1.1.1 用分光光度计测量吸光度时,使用溯源至国家标准或国际标准的吸光度滤光片和波长标准检查,并证明该分光光度计的波长和吸光度值符合相关技术文件的规定。

7.1.1.2 用测厚仪测量厚度时,使用溯源至国家或国际标准的厚度块检查,并以文件证明该测厚仪符合文件的规定。

7.1.2 没有国家或国际认可标准的剂量测量系统仪器,应使用工业化文件或生产厂家的程序证明该仪器的性能符合自身的性能规定。

注3:例如,丙氨酸剂量测量系统利用电子顺磁共振(EPR)谱仪进行分析,EPR谱仪的正确操作由适用的EPR自旋标准(如:辐照过的丙氨酸剂量计,沥青样品或CaO中的Mn(II))进行验证。

7.1.3 在整套系统校准周期内,应按照文件程序重复仪器的校准或仪器性能的验证。仪器在进行可能影响其性能的维修后,应重新进行校准或性能验证。

注4:对某些分析仪器,可用剂量计给出已知吸收剂量的读数与期望的读数在剂量测量不确定度范围内一致性的方法进行验证。本方法仅用于长期稳定性的影响已被文件证明了的参考标准剂量计。

7.1.4 仪器校准和仪器性能验证应由有资质的独立机构按照文件化的质量程序进行。

7.1.5 应证明每台仪器的校准或性能验证是在符合所规定的应用限制范围内进行的。

### 8 剂量测量系统的校准

#### 8.1 概论

8.1.1 剂量测量系统校准包括:在使用的已知吸收剂量范围内辐照若干个剂量计,用校准过的分析仪器测量剂量计,由此得到校准曲线或响应函数。定期进行校准验证以确保校准曲线或响应函数的连续有效。校准设施应符合GB/T 16510的规定,应具有可溯源至国家或国际认可标准的吸收剂量率。

注5:在某些国家,国家标准是间接通过某一校准过的辐照场实现的。例如:美国国家标准和技术研究院(NIST)<sup>60</sup>Co源排列中心的吸收剂量率是由量热计准确测量的;该辐照场也是NIST使用的国家标准之一,使用该场辐照参考标准、传递标准以及工作剂量计得到已知的吸收剂量。

8.1.2 应提供程序、协议以及人员的培训,以保证赋予剂量计正确的吸收剂量。

#### 8.2 校准剂量计等级

8.2.1 基准剂量计:这类装置不需要参照其他标准校准,因为它们的测量基于基本的物理原理。

8.2.2 参考标准剂量计:参考标准剂量计的校准由国家或授权的实验室按照 GB/T 16510 的规定进行。

8.2.3 传递标准剂量计:可从参考标准剂量计和工作剂量计中选择传递标准剂量计(见 5.1.4)。并按照测量比对传递所选择的剂量计类型的区分等级要求对传递标准剂量计进行校准(见 8.2.2 和 8.2.4)。

8.2.4 工作剂量计:工作剂量计的校准可在校准设施或在需要分析测试的生产用辐照装置上对剂量计辐照进行。

### 8.3 校准步骤

8.3.1 确定校准曲线或剂量计测量系统响应函数所需的剂量计组的数量取决于应用的吸收剂量范围。每一个吸收剂量数量级至少需要五组剂量计;不足一个数量级时,至少需要四组剂量计。

注 6:为了精确确定使用剂量计组的最少数量,可由应用范围的最大剂量( $D_{\max}$ )除以最小剂量( $D_{\min}$ )计算比值  $Q = \lg(D_{\max}/D_{\min})$  来确定。如果  $Q$  等于或大于 1,计算  $5 \times Q$  的积,4 舍 5 入到最近的整数,该数即为需要使用的最少组数。

8.3.2 每个吸收剂量点所使用剂量计的数量应达到期望的置信水平的要求(见 ASTM E668)。

8.3.3 剂量计放置在校准场中标记过、可重复的位置,并尽可能减少剂量计在辐射场中所占体积内的剂量率变化。

8.3.4 用  $\gamma$  或 X 射线校准时,剂量计周围应用足够量的材料包裹,以达到近似的电子平衡条件(7)。

注 7:适宜的包裹材料厚度取决于辐射的能量(见 ASTM E666 和 E668)。测量水吸收剂量时,材料具有的辐射吸收性质应与水基本相同,例如,对  $^{60}\text{Co}$  源,应将剂量计包裹在 3 mm~5 mm 厚的聚苯乙烯(或等效的聚合材料)片中。

8.3.5 如果需要,辐照期间应监测和控制剂量计的温度。

注 8:为减小温度极限和有利于测量剂量计温度,剂量计与专用于电子束或 X 射线辐射的散热器之间应具有良好的热接触。

8.3.6 如果剂量计的响应受湿度的影响且不在密闭的容器内,应在辐照期间监测并控制相对湿度。

8.3.7 明确研究材料的校准剂量。校准剂量通常用水吸收剂量表示。附录 A 给出了计算不同材料中吸收剂量的转换系数。

### 8.4 吸收剂量率的影响

8.4.1 在不同吸收剂量率下辐照某些工作剂量测量系统同一吸收剂量时,其剂量计的响应会与系统工作范围存在部分差异。这种差异取决于多个因素,如:吸收剂量的大小以及辐射类型( $\gamma$  射线、电子束或 X 射线)。如果不明确吸收剂量率的影响,则应进行差异试验。在测试中,应将可能影响剂量计响应的其他因素(例如:辐射温度)固定或保持在有效的范围内。有多种方法检验这种差异,附录 E 给出了检查这种差异的两种方法。

### 8.5 附加剂量的影响

校准辐照计时器停止后,移动剂量计或辐射源到达、离开辐射位置过程中会产生附加剂量。例如,伽玛室型辐照器的计时器是在样品抽屉完全到达(辐照)位置时才启动,计时器的设置未考虑到抽屉下降和辐射后回升过程所接收的剂量。附加剂量对低剂量辐照的影响比较明显,应通过实验确定或在计时器设置时予以考虑。附录 B 给出了确定附加剂量修正的方法。

### 8.6 校准和验证的频率

8.6.1 每批新使用的参考标准、传递标准或工作剂量计剂量测量系统都需要校准。

8.6.2 在不超过 12 个月的时间间隔内,应对每批参考标准、传递标准或工作剂量计剂量测量系统进行重新校准,除非该剂量测量系统进行过频繁的测量比对验证。重新校准应包括分析仪器(见第 7 章)。重新校准的间隔依据环境条件(如:温度、相对湿度)的季节性变化可适当延长(见注 4)。

8.6.3 应对储备参考标准、传递标准或工作剂量计进行验证校准。在其应用范围内,至少确认三个吸

收剂量的响应与在用的剂量计一致。

#### 8.7 校准和剂量测量的不确定度

剂量测量系统的校准和吸收剂量测量的不确定度取决于使用的剂量测量系统。参照 GB/T 16640 以及给定的剂量测量系统关于不确定度评定的适用标准,见 2.1 和附录 D 给出的适用的剂量测量系统标准。

8.8 剂量计的辐照:可用三种不同方法辐照工作剂量计。第一种方法(见 8.8.1)是在辐射加工剂量学校准实验室用满足规定的  $\gamma$  射线、电子束或 X 射线(韧致辐射)的校准装置辐照工作剂量计。第二种方法(见 8.8.2)是将工作剂量计置于经过参考标准或传递标准剂量计测量过吸收剂量率的自有辐照设施中辐照。第三种方法(见 8.8.3)是将工作剂量计和参考标准或传递标准剂量计一起置于工业辐照装置内辐照。

注 9:有些工作剂量计的响应会受到多种环境条件综合作用的影响,如:吸收剂量率、能谱、温度或相对湿度(包括温度、相对湿度的季节性变化),此时,无法用修正系数对其进行修正。因此,应尽量使校准工作剂量计的辐照条件与实际产品辐照条件相似。

注 10:应以文件注明参考标准和传递标准剂量计对温度、相对湿度、吸收剂量率以及能谱等综合环境影响的响应。应用已知的修正系数时,应考虑在校准和使用条件下剂量计响应的差异。

8.8.1 用校准装置辐照:在校准实验室用符合 GB/T 16510 规定的  $\gamma$  射线、电子束或 X 射线校准装置校准工作剂量计,其优点是剂量计可以被准确地辐照已知的吸收剂量值,并能很好的控制规定条件。然而,在不同环境条件下的工业辐照装置内使用这些工作剂量计,可能引入难以评定的不确定度。在实验室与用户之间传递剂量计也会引入辐照前后与贮存所产生的不确定度。

8.8.1.1 用校准装置辐照工作剂量计到已知的吸收剂量。

8.8.1.2 规定校准装置的辐照条件与实际工业辐照装置的条件尽量相似,即能谱、吸收剂量率和辐照温度等条件应与常规使用的实际情况接近,同时以文件形式记录这些条件存在的差异并在不确定度评定时予以考虑。

注 11:在生产过程中,温度和授予剂量计的吸收剂量率会发生变化。因此,不可能在同样变化的条件下校准剂量计。为接近工业辐照装置的条件,校准应在常规生产的平均温度和最大温度之间选择某一固定温度进行。如果有一具有期望剂量率的校准装置,则校准应在日常生产所用的平均剂量率和最大剂量率之间选择某一固定剂量率进行。使用 8.8.3 给出的方法进行校准可减小校准装置和工业辐照装置之间不同温度和剂量率所产生的影响。

8.8.1.3 剂量计递送至校准实验室的校准装置或从校准实验室的校准装置传回时存在的不利环境条件(例如:过高或过低的温度和湿度)会影响剂量计的响应。

8.8.1.4 包装剂量计可以减小剂量计传递期间环境条件的影响。

8.8.1.5 在递送的剂量计包装内放置最高温度指示标签,可以判定所进行的校准是否因递送剂量计期间温度的变化而失效。

8.8.1.6 确认剂量计递送期间的环境条件没有改变剂量计的响应。在递送一套校准用剂量计的同时附带一套已经辐照过已知吸收剂量的剂量计。在它们返回时读数,用两套剂量计的读数与辐照了相同剂量并贮存在可控条件下的其他剂量计的读数进行比较。

8.8.1.7 在校准实验室辐照器上辐照剂量计得到的工作剂量计的校准曲线,应在工业辐照装置使用的实际条件下进行验证(见 8.8.1.8)。

8.8.1.8 校准的验证可以在工业辐照装置中以三个以上不同吸收剂量同时照射工作剂量计和参考标准或传递标准剂量计进行。标准剂量计与工作剂量计应是不同的类型,以减少两种类型剂量计产生同样的综合环境影响的可能性。确保工作剂量计和参考标准或传递标准剂量计接受相同的吸收剂量(见 8.7 和 8.8.3.5)。如果工作剂量计和参考标准或传递标准剂量计测得的吸收剂量值之间有明显的差

异,应根据使用准确度的要求进行修正。正确的修正可包括:在更适宜的环境条件下重复校准;在工业辐照装置上作全面校准、使用适用于全剂量量程的修正系数进行修正。

8.8.2 使用自有校准装置辐照:使用自有校准装置校准工作剂量计的优点是能够控制剂量计辐照前后的贮存条件,使之与日常使用剂量计的环境条件相类似。但自有校准装置不可能符合 GB/T 16510 所有的辐照要求。

8.8.2.1 在自有校准装置上辐照工作剂量计至已知吸收剂量。

8.8.2.2 应证明自有校准装置的吸收剂量率是采用直接测量比对,或用国家认可的辐射剂量校准实验室提供的传递标准剂量计校准的方法溯源至国家或国际认可的标准。

8.8.2.3 自有校准装置吸收剂量率的测量比对或校准周期不应大于三年,源的活度或几何尺寸变化后应重新进行测量比对或校准。

8.8.2.4 8.8.1.2 的要求适用于自有校准装置。

8.8.2.5 用自有校准装置校准工作剂量计可减小剂量计传送期间不利的储存条件可能导致的响应变化。应将辐照过的剂量计贮存于与工业用辐照装置条件类似的条件下,剂量计辐照后的读数时间应尽量与日常使用时分析剂量计的时间相似。

8.8.2.6 用自有校准装置辐照剂量计得到的常规剂量测量系统的校准曲线应在工业辐照装置使用的实际条件下进行验证(见 8.8.2.7)。

8.8.2.7 校准的验证可以通过在工业辐照装置中,以三个以上不同吸收剂量同时照射工作剂量计和参考标准或传递标准剂量计来实现。标准剂量计与工作剂量计应是不同的类型,以减少两种类型剂量计产生同样的综合环境影响的可能性。确保工作剂量计和参考标准或传递标准剂量计接受相同的吸收剂量(见 8.7 和 8.8.3.5)。如果工作剂量计和标准剂量计测得的吸收剂量值之间存在明显的差异,应根据使用准确度的要求进行修正。正确的修正可包括:在更适宜的环境条件下重复校准;在工业辐照装置上作全面校准;使用适用于全剂量量程的修正系数进行修正。

8.8.3 使用工业辐照装置辐照:工作剂量计在工业辐照装置内与参考标准或传递标准剂量计一起辐照的优点是环境条件与日常生产相同,减少了工作剂量计对环境影响进行修正的要求。但是必须注意要保证工作剂量计和标准剂量计同时辐照至相同吸收剂量<sup>[8]</sup>。这种校准技术可能对某些工业辐照装置不适用,因为辐照装置操作过程会受到覆盖全部应用量程的限制。

8.8.3.1 在实际生产辐照的条件下,用参考或传递标准剂量计在工业辐照装置上,给出工作剂量计的校准曲线或响应函数。这种方法考虑了综合环境影响,进而可以就校准装置与工业辐照装置之间存在的环境差异对参考或传递剂量计的响应进行修正。

8.8.3.2 使用国家认可的辐射剂量测量校准实验室提供和分析的参考标准或传递标准剂量计,以证明其可追溯到国家标准的溯源性。

8.8.3.3 可以使用商品化的或依据已颁布的标准制备的参考标准或传递标准剂量计并按其用途测读分析,可证明按 8.2 和 8.3 的规定进行了校准。

8.8.3.4 在实际生产辐照的环境条件下,通过与参考或传递标准剂量计在正常使用的全剂量范围内同时辐照来校准工作剂量计。

8.8.3.5 设计合适的校准包装,以减少工作剂量计与参考或传递标准剂量计所接受的吸收剂量的差异。包装应能容纳两种类型的剂量计,使得它们之间没有显著的屏蔽。包装的几何尺寸应适用于所使用的辐射源,剂量计之间尽可能地靠近,图 1 和图 2 给出了适用于  $\gamma$  射线或 X 射线辐射源的包装示例,图 3 给出了适用于电子束的包装示例。

注 12:可以通过辐照在校准包装内每个剂量计位置有传递或参考标准剂量计的校准包装来确定 8.8.3.5 规定的吸收剂量的变化。



尺寸单位为毫米

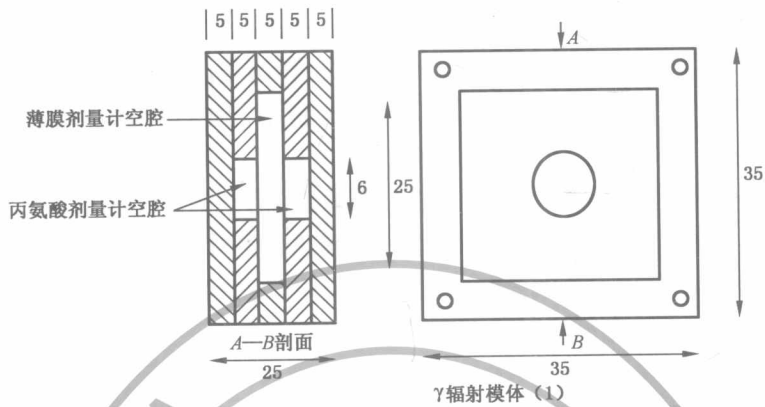


图 1 将丙氨酸剂量计置于薄膜工作剂量计两侧的校准装置包装示例

尺寸单位为毫米

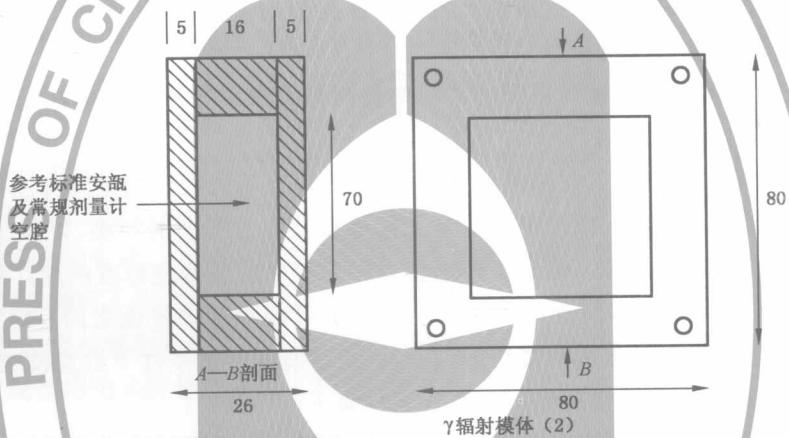


图 2 将参考标准安瓿与工作剂量计并在一起的校准装置包装示例

尺寸单位为毫米

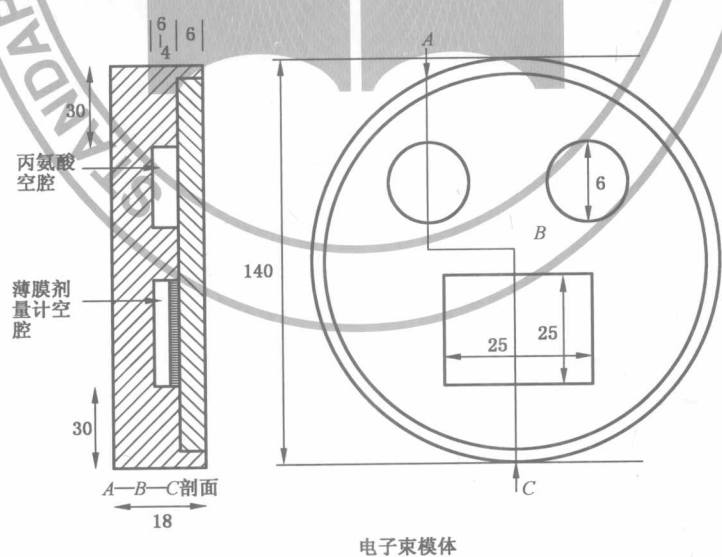


图 3 丙氨酸剂量计与薄膜工作剂量计在深度剂量曲线相同位置辐照的校准装置包装示例

8.8.3.6 当同时辐照不同厚度的剂量计时,薄的剂量计应用足够厚的聚苯乙烯材料包裹,以使其特性与厚剂量计相似,并保证剂量计接受相同的吸收剂量。

8.8.3.7 在类似于加工条件下校准剂量计,应把校准包装放在加工负荷中的产品或模拟产品中,并使

剂量计所占体积内的吸收剂量变化不超过规定的限值。

注 13: 吸收剂量率、温度和能谱可能会随剂量计在加工负荷内(或上)位置的变化而变化。常规使用时, 只在评定剂量计不确定度时才需考虑这些因素。

8.8.3.8 参考或传递标准剂量计在递送时也应符合 8.8.1.3~8.8.1.6 的规定。

## 8.9 剂量计的分析

8.9.1 按 7.1 的规定检查分析仪器的性能。

8.9.2 使用校准溯源至国家标准的分析仪器分析剂量计。

8.9.3 如果剂量计响应随辐照后的时间而变化, 则分析剂量计的时间应与日常使用时分析剂量计的时间相似。即, 可判定辐照后剂量计响应的时问依赖性, 并可用修正系数对分析时间进行修正。

8.9.4 所有分析数据应记录在案并保留。

## 8.10 校准数据分析

8.10.1 计算并记录每组剂量计在每个吸收剂量值的平均响应( $\bar{k}$ )和样本标准偏差( $s_{n-1}$ )。n 个样本数的样本标准偏差( $s_{n-1}$ )按式(1)计算:

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum (k_i - \bar{k})^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$k_i$ ——第  $i$  个响应值。

8.10.2 对每个吸收剂量计算变异系数 CV, 见式(2):

$$CV = \frac{s_{n-1}}{\bar{k}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

注 14: 通常, 如果任一 CV 的数值大于某一特定的剂量测量系统和应用的规定数值, 则考虑重新确认数据, 或舍弃该批的备用剂量计。

8.10.3 用绘图方式得到剂量计响应对吸收剂量的校准曲线, 或使用合适的计算机代码(或二者都用)导出数学形式的等效响应函数。选择一种分析形式(例如线性、多项式或指数函数)对所得测量数据进行最佳拟合(见 GB/T 16509)。

8.10.4 检查得到的校准曲线或响应函数是否在规定的限值内拟合良好。

8.10.5 如果响应数值超过曲线可接受的统计限, 而剔除该数值将导致定义曲线的数据不足, 则必须重复这一校准程序(见 ASTM E178)。

8.10.6 如果不能证明两台分析仪器在吸收剂量的全量程内所测量的剂量计响应的一致性符合规定的限值, 则一台分析仪器上得到的校准曲线或响应函数通常不适用于另一台分析仪器。

## 9 产品中吸收剂量的表述

9.1 通常, 由于多数食品或聚合物产品的辐射吸收特性与水近似等效, 则辐照食品或聚合物产品中的吸收剂量使用水吸收剂量表述。如果产品的辐射吸收特性与水不同, 则可以借助于空腔理论表述产品中的吸收剂量(见附录 A)。

9.2 在实际加工条件下, 放在产品内的剂量计不可能处于电子平衡条件, 特别是在不同材料的界面, 例如骨组织接触界面或产品包装表面。常用在非电子平衡条件下的吸收剂量测量去监测授予产品的吸收剂量。见 GB/T 16334、ISO/ASTM 51431 和 ISO/ASTM 51702 的规定。

## 10 基本文件要求

10.1 记录所选择的剂量测量系统, 包括: 剂量计的生产厂家、型号、批号以及使用的分析仪器。

10.2 记录剂量计的校准数据, 包括: 日期、参考标准或传递标准剂量计和使用装置的说明。

10.3 记录或注明加工中使用的辐射源的记录或参考文献, 包括: 类型、标称活度或电子束参数以及可

得到的能谱信息。

10.4 记录影响剂量测量系统的辐射环境条件,包括:温度、相对湿度(见 8.8、注 9 和注 10)。

10.5 记录或注明将剂量测量转换为水吸收剂量的参考方法。

10.6 记录或注明吸收剂量测量值与给定的不确定度。

10.7 记录或注明用于日常剂量测量的质量保证计划。

## 11 测量不确定度

11.1 测量吸收剂量时应伴随不确定度的评定。不确定度的分量被分为下述两类:

11.1.1 A类:通过对重复性条件测量所得量值的统计方法评定的分量。

11.1.2 B类:通过采用非统计分析方法评定的分量。

注 15:A类和B类不确定度的分类,是基于由 1993 年出版的 ISO《测量不确定度表示指南》中评估不确定度的方法<sup>[9]</sup>。该方法不同于用精度和偏差的传统方式来表示不确定度的方法,精度是规定条件下重复测量的一致性程度,偏差是统计误差。使用这种方法的目的,是促进对在国际比对中测量结果不确定度表述的理解。

注 16:GB/T 16509 给出了辐射加工装置剂量测量中不确定度的来源,提供了在使用该剂量测量系统测量吸收剂量时,评定不确定度大小的程序。该标准规定和阐述了测量(包括测量量值的评价)、真值、误差和不确定度的基本概念。阐述了不确定度分量,并提供了评定这些量值的方法。也提供了用于计算合成标准不确定度和评定扩展不确定度的方法。

## 12 关键词

吸收剂量;校准装置;剂量溯源性;剂量计;剂量计选择;剂量计校准;剂量测量系统;电子束; $\gamma$ 射线;电离辐射;基准剂量计;质量保证;辐射加工;参考标准剂量计;工作剂量计;传递标准剂量计。



附 录 A  
(资料性附录)  
吸收剂量的表述

A.1 对于光子源照射,可将剂量计视为研究材料内的空腔,材料中吸收剂量表述为:

A.1.1 如果剂量计的灵敏区厚度比最高能量的次级电子射程小得多,剂量计沉积的能量绝大多数来自周围材料中产生的次级电子,故材料中的吸收剂量由式(A.1)给出:

$$D_m = \frac{(S/\rho)_m}{(S/\rho)_d} D_d \quad \text{..... (A.1)}$$

式中:

$(S/\rho)_m$  和  $(S/\rho)_d$ ——分别为周围材料与剂量计材料的质量碰撞阻止本领;

$D_d$ ——剂量计中的吸收剂量。

A.1.1.1 质量碰撞阻止本领的数值见表 A.1

表 A.1 电子质量碰撞阻止本领  $S/\rho$

单位为  $\text{MeV cm}^2/\text{g}$

| 电子能量/(MeV) | 空气    | 水     | 聚合物   | 骨骼    | LiF   |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.01       | 19.75 | 22.56 | 22.23 | 19.71 | 17.96 |
| 0.02       | 11.57 | 13.17 | 12.96 | 11.61 | 10.55 |
| 0.04       | 6.848 | 7.777 | 7.637 | 6.093 | 6.252 |
| 0.06       | 5.111 | 5.797 | 5.688 | 5.163 | 4.670 |
| 0.08       | 4.198 | 4.757 | 4.666 | 4.246 | 3.838 |
| 0.1        | 3.633 | 4.115 | 4.034 | 3.678 | 3.323 |
| 0.2        | 2.470 | 2.793 | 2.735 | 2.507 | 2.261 |
| 0.4        | 1.902 | 2.145 | 2.101 | 1.931 | 1.737 |
| 0.6        | 1.743 | 1.956 | 1.911 | 1.760 | 1.583 |
| 0.8        | 1.683 | 1.879 | 1.832 | 1.690 | 1.521 |
| 1          | 1.661 | 1.844 | 1.794 | 1.658 | 1.491 |
| 2          | 1.684 | 1.825 | 1.768 | 1.643 | 1.474 |
| 4          | 1.790 | 1.877 | 1.816 | 1.697 | 1.513 |
| 6          | 1.870 | 1.919 | 1.859 | 1.740 | 1.547 |
| 8          | 1.931 | 1.951 | 1.891 | 1.773 | 1.572 |
| 10         | 1.979 | 1.976 | 1.916 | 1.799 | 1.592 |
| 20         | 2.134 | 2.051 | 1.989 | 1.874 | 1.654 |
| 40         | 2.282 | 2.120 | 2.053 | 1.942 | 1.711 |
| 60         | 2.347 | 2.157 | 2.089 | 1.978 | 1.742 |

A.1.2 如果剂量计的灵敏区厚度远大于最高能量的次级电子射程时,沉积在剂量计中的能量绝大部分来自剂量计本身的次级电子,故材料中的吸收剂量由式(A.2)给出:

$$D_m = \frac{(\mu_{en}/\rho)_m}{(\mu_{en}/\rho)_d} D_d \quad \text{..... (A.2)}$$

式中:

$(\mu_{en}/\rho)_m$  和  $(\mu_{en}/\rho)_d$ ——分别是材料和剂量计的质量能量吸收系数。

质能吸收系数的数值见表 A.2。