ICS 13.280
F 84

中华人民共和国国家标准

GB/T 8997—2008
代替 GB/T 8997—1988

α、β表面污染测量仪与监测仪的校准

Calibration for alpha, beta and alpha/beta surface contamination meters and monitors

北京中科核安科技有限公司

2008-07-02 发布　　2009-04-01 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

前　言

本标准代替 GB/T 8997—1988《α、β表面污染测量仪与监测仪的校准》。

本标准与 GB/T 8997—1988 相比主要变化如下：

——删除了原标准的术语“校准”、“准确度”、“调整”、“能量响应”、“干扰辐射”和“检查源”；

——将“专项校准”修改为“特殊校准”；将“校准的项目和要求”修改为“校准项目”(1988 年版第 3 章，本版第 4 章)；将“校准条件”单列一章(本版第 5 章)；

——删除了“温度和湿度的影响”(1988 年版 4.11)、“参考读数的获取及经常性的检查”(1988 年版 4.12)和“过载特性试验”(1988 年版 4.10)以及“校准周期”(1988 年版第 5 章)；

——修改了表面发射率响应的测定(6.3)；相对固有误差的确定(6.4)；报警阈漂移的检验(仅对于探测装置)(6.5)；探测器表面的响应变化(6.6)；表面发射率响应随辐射能量的变化(6.7)和对其他电离辐射的响应(6.8)；

——将原标准的附录 A 改在“相对固有误差的确定”中(6.4)；

——删除了原标准附录 B“校准证书首页格式”。

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(SAC/TC 58)归口。

本标准起草单位：中国原子能科学研究院。

本标准主要起草人：陈细林、汪建清、姚艳玲、刁立军、袁大庆、李玮。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 8997—1988。

北京中科核安科技有限公司

α、β表面污染测量仪与监测仪的校准

1 范围

本标准规定了校准α、β表面污染测量仪与监测仪的一般要求、校准项目、校准条件、校准方法以及校准证书要求。

本标准适用于辐射防护领域中使用的便携式或固定式α、β和α/β表面污染测量仪与监测仪的校准(测量的β最大能量大于60 keV);也适用于那些有特殊用途的仪器和为测量特殊性质表面而设计的仪器的校准。

本标准不适用于β粒子的最大能量小于60 keV辐射监测仪或测量仪的校准。

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 4960.6 核科学技术术语 核仪器仪表

GB/T 5202 辐射防护仪器 α、β和α/β(β能量大于60 keV)污染测量仪与监测仪

EJ/T 1204.1—2006 电离辐射测量探测限和判断阈的确定 第1部分:忽略样品处理影响的计数测量(ISO 11929-1:2000,IDT)

3 术语和定义

在GB/T 4960.6中确立的术语和定义适用于本标准。

3.1

有效量程 effective range of measurement

测量仪或监测仪性能在被测量值范围内满足GB/T 5202要求的被测量值范围。

3.2

源表面发射率 surface emission rate of a source

$q_{2\pi}$

单位时间内从源前表面出射的高于某一能量的给定类型的粒子数。

3.3

源效率 source efficiency

ε_s

单位时间内从源或其窗口的前表面出射的高于某一能量的给定种类粒子数(表面发射率)与单位时间内从源(对于薄源)或其饱和层厚度(对于厚源)中产生或释放的同一种类粒子数之比。

3.4

高效率源 high efficiency source

包括被反散射的粒子在内,其中能量大于5.9 keV的粒子的效率大于0.25的放射源。(该定义适用于最大能量在150 keV以上的β发射体)。

3.5

小面积源 small area source

放射性表面积最大线性尺寸不超过1 cm的源。

北京中科核安科技有限公司

3.6

表面发射率响应(仪器效率)　surface emission rate response(instrument efficiency)

根据厂商指定的条件(探测器的灵敏面积、源的灵敏面积以及源和探测器之间的距离),连同与装置一块使用的探测器的表面发射率(效率)为探测到的粒子数 N(如:经过本底 N_b 修正的单位时间的计数)与放射源在同样的时间间隔内出射的同种类型的粒子数 N_s(表面发射率约定真值)之比,见式(1)。

$$R = \frac{N - N_b}{N_s} \qquad \cdots\cdots(1)$$

3.7

(测量装置的)响应时间　response time(of a measuring assembly)

从被测量发生阶跃变化后到输出信号的变化第一次达到最终值的某一给定百分数(通常为 90%)时所需的时间。

注:对于积分测量装置,响应时间是指示值一阶导数或斜率平衡值的 90%。

3.8

探测器的灵敏面积　sensitive area of the detector

在制造厂确定的探测器面积中,具有对小面积源的探测效率超过最大效率的 50%的探测面积。

3.9

总等效厚度　total equivalent thickness

指从污染表面正常发射的(α 或 β)粒子达到探测器灵敏体积所需穿过的厚度,通常以单位面积的质量表示。

注:厚度包括空气中的距离加上探测器窗的厚度,有时还包括为防止污染探测器窗而设置的保护屏厚度。

3.10

指示值误差　indication error

在测量点上,一个量的指示值(M_i)与该量的约定真值(M_t)之差,以 M_i-M_t 表示。

3.11

响应　response

R

监测仪或测量仪的指示值与约定真值之比,见式(2)。

$$R = \frac{M_i}{M_t} \qquad \cdots\cdots(2)$$

3.12

指示值相对误差　relative error of indication

I

被测量指示值误差与该量的约定真值之比,可用百分数表示,见式(3)。

$$I = \frac{M_i - M_t}{M_t} \times 100\% \qquad \cdots\cdots(3)$$

3.13

相对固有误差　relative intrinsic error

在规定的参考条件下受到一个规定的参考辐射时,对一个参考物理量(M_r),仪器指示值(M_i)的相对误差。

3.14

变异系数　coefficient of variation

V

一组 n 次测量值(x_i)的标准偏差(s)与其算术平均值($\bar{x}$)之比(V),见式(4)。

北京中科核安科技有限公司

$$V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}}\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \quad \cdots\cdots(4)$$

3.15

单位面积表面发射率的探测限　detection limit of the surface emission rate per unit area

单位面积表面发射率按照 EJ/T 1204.1—2006 给出的方法导出。

注：如果有计数率和适当的计数时间，应使用简化的公式计算探测下限计数率。在预先选定时间和已知本底计数率的情况下，使用式(5)计算：

$$R_n = (k_{1-\alpha}+k_{1-\beta})\sqrt{R_o\left(\frac{1}{t_o}+\frac{1}{t_b}\right)} \quad \cdots\cdots(5)$$

式中：

R_n——探测下限的净计数率；

R_o——本底计数率；

t_o——本底计数的预选时间；

t_b——测量的预选时间；

$k_{1-\alpha}$——第一类错误正态分布的分位数；

$k_{1-\beta}$——第二类错误正态分布的分位数。

例如，$\alpha=\beta=0.05$，$(k_{1-\alpha})=(k_{1-\beta})=1.645$，计算见式(6)：

$$R_n = (1.645+1.645)\sqrt{R_o\left(\frac{1}{t_o}+\frac{1}{t_b}\right)} \quad \cdots\cdots(6)$$

对特定核素的表面发射率探测下限变为：

$$DL = \frac{R}{S_{(nuclide)}A} \quad \cdots\cdots(7)$$

式中：

$S_{(nuclide)}$——表面发射率响应(见 3.6)；

A——探测器的灵敏面积。

单位面积的表面发射率应以 $s^{-1}\cdot cm^{-2}$ 为单位表示。

3.16

量的约定真值　conventionally true value of a quantity

一个量的约定真值是该量的最佳估计值。

注：这个值通常是次级或主标准的测量值或者是可溯源到次级或主标准的值或者是用次级标准或主标准校准过的参考仪器的测量值。

4　校准项目

校准项目分为：常规校准项目和特殊校准项目。

常规校准项目包括：变异系数的测量、表面发射率响应的测定、相对固有误差和报警阈漂移的检验。

特殊校准项目包括：探测器表面的响应变化、表面发射率响应随辐射能量的变化以及对其他电离辐射的响应。

5　校准条件

5.1　参考条件和标准实验条件

参考条件和标准实验条件列于表 1。参考条件是规定仪器特性的限制条件。规定条件给出了参考条件在实际校准工作中所允许的量值范围。

常规校准应该在规定校准条件下进行。型式试验校准，除某一影响量变化外，其他影响量应该保持在规定的允许范围内。如果校准实验室的个别参量不具备规定校准条件，则应在仪器校准证书中注明校准时的实际条件。

北京中科核安科技有限公司

表 1　参考条件和规定校准条件

参　量	参　考　条　件	规定校准条件
预热时间/min	15	≥15
环境温度/℃	20	18～22
相对湿度/%	65	55～75
环境 γ 辐射/($\mu Gy \cdot h^{-1}$)	空气比释动能率小于 0.2	空气比释动能率小于 0.25
仪器的取向	由制造厂说明	规定取向±2°
放射性物质的污染	忽略不计	忽略不计

5.2　校准设备

5.2.1　α、β 标准平面源

5.2.1.1　要求

校准用的 α、β 标准平面源应符合相关国家标准的规定。

源的表面发射率分布是均匀的，任意 10 cm^2 范围的单位面积表面发射率与整个面积的单位面积表面发射率之差不大于测量结果合成不确定度的 6%。标准源表面发射率的约定真值应已知并且扩展不确定度小于 10%($k=2$)。

5.2.1.2　α 参考核素

^{241}Am 或 ^{239}Pu。

5.2.1.3　β 参考核素

除了测量能量小于 200 keV 的 β 粒子探测器以外，参考核素为 ^{36}Cl 或 ^{204}Tl。

如果探测器用于测量最大能量小于 200 keV 的 β 粒子，参考核素为 ^{14}C。

5.2.2　其他试验用核素

5.2.2.1　γ 密封源核素：

^{137}Cs。

5.2.2.2　表面发射率响应随辐射能量的变化试验适合的 β 核素有：

^{14}C　(最大 β 能量：0.155 MeV，半衰期：5 730 a)；

^{147}Pm　(最大 β 能量：0.22 MeV，半衰期：2.6 a)；

^{60}Co　(最大 β 能量：0.31 MeV，半衰期：5.271 a)；

^{36}Cl　(最大 β 能量：0.714 MeV，半衰期：301 000 a)；

^{204}Tl　(最大 β 能量：0.77 MeV，半衰期：3.8 a)；

$^{90}Sr/^{90}Y$ (最大 β 能量：0.51 MeV，半衰期：29 a)，^{90}Y(最大 β 能量：2.26 MeV)。

5.2.3　校准架

应能使探测器的灵敏面积放置在距检测表面的距离小于 5 mm(α 探测器)和小于 10 mm(β 探测器)的位置。

6　校准方法

6.1　一般要求

6.1.1　仪器的接收检查

校准前，仪器应办理接收手续，包括必要的检查，如：仪器外观、开机检查、技术说明书、前一次校准证书和产品合格证等。

6.1.2　本底计数率测量

在每一项校准工作进行之前，要测量仪器的平均本底计数率(在仪器被校准的位置上)，并在校准时，由仪器对标准源的指示值中扣除本底计数率的贡献。

北京中科核安科技有限公司

6.1.3 统计涨落的影响

在进行校准时，由于辐射的随机性，仪器的指示值有较大的统计涨落，因此，应取足够多的读数，求它们的平均值，以减少统计涨落对测量值的影响。为了保证每个读数在统计上是独立的，各读数之间的时间间隔应大于仪器的三倍时间常数。

6.2 变异系数的测量

选择一块放射源，其活度应使仪器的读数在最灵敏量程(线性标度)或最灵敏十进位(对数标度或数字显示)满度值的1/3～1/2之间。仪器在放射源照射下，连续获取20个独立的读数，计算仪器的变异系数V。如果仪器有“时间常数”选择开关，允许选用一合适的时间常数使仪器的变异系数满足GB/T 5202的规定。

6.3 表面发射率响应的测定

6.3.1 测量仪器的平均本底计数率。

6.3.2 使用合适的放射源。

6.3.3 应使用可照射整个探测器灵敏面积的高效率源来测量探测器的仪器效率。标准源应符合5.2.1.1的要求。

6.3.4 连续获取20个读数并计算平均计数率。

6.3.5 计算仪器的表面发射率响应。

6.3.6 如果源的面积不能满足6.3.3的要求，可以使用比探测器灵敏面积小的源。在这种情况下，应使用该源在不同的位置接连进行多次测量，确保覆盖探测器的每一部分，但相邻区域不能有重叠。

6.4 相对固有误差的确定

6.4.1 常规校准

对线性刻度的仪器，例行校准应在每个量程的最大刻度的50%～75%之间取一个点进行。对数刻度或数字显示的仪器，例行校准应在有效量程内的每个十进位中取一个点进行。

6.4.2 特殊校准

对于线性刻度的仪器，型式试验应在所有量程上进行相对固有误差的测量，在每一量程上至少取三个点，即在最大刻度的75%、50%和25%附近测量。

对于对数刻度或数字显示仪器，至少在有效测量量程内每个十进位位中取三个点进行试验。

如果仪器使用了一种以上的刻度方式，每一种刻度都应符合要求。

测量装置、测量仪和监测仪都应进行本项试验。假设除了死时间(已进行处理)以外，探测器具有线性响应。

至少在相应于最高指示值和最低指示值处，应用放射源对测量仪和监测仪进行试验，其他位置可以用输入电脉冲的方法进行试验。

对于本项试验，可以使用除5.2.1规定的参考源以外的辐射进行。在这种情况下，应建立说明该辐射响应与参考源辐射响应之间差异的转换因子，以确定实际的相对固有误差。

6.4.3 电校准方法

电信号形状应尽可能能模拟探测器的信号，并在可以测试除探测器本身外的整个仪器(例如，使用随机脉冲发生器)的某个点上输入电信号。

当仪器测量放射源时，假设仪器指示的计数率为I，然后输入一个电信号产生相同的指示值I。

令这个电信号为Q。

又假设一个输入q产生另一指示值i，那么，相对固有误差E(以%计)由式(8)给出：

$$E=\left(\frac{iQ}{qI}-1\right)\times 100 \qquad \cdots\cdots(8)$$

如果使用电信号方法校准，应在随带文件中说明。

北京中科核安科技有限公司

6.5 报警阈漂移的检验(仅对于探测装置)

将探测装置与合适的计数设备连接。β探测器应使用^{36}Cl放射源或α探测应使用^{241}Am放射源。按照制造厂规定的探测器高压加工作高压,记录计数率;改变脉冲触发阈值10%(可能的情况下双向改变),计数率的增加或减少应不超过±2%;凡是测量低能β的设备,应使用^{14}C源代替^{36}Cl源进行试验。

6.6 探测器表面的响应变化

6.6.1 使用小面积源来检查探测器整个面积上响应的一致性。探测器对小面积源的响应(在检查时通常位于表面)随源相对于探测器的位置和网格的透射特性而变化。

6.6.2 规定源和探测器窗之间的距离,理想距离为3 mm~4 mm。

6.6.3 应将探测器的灵敏面积分成近乎相等的块。每块的线性尺寸尽可能接近25 mm。例如,尺寸为x(mm)乘以y(mm)的矩形灵敏面积,每块的面积应该为$\frac{x}{m}$(mm)乘以$\frac{y}{n}$(mm),其中:

$$25m<x<25(m+1) \quad 和 \quad 25n<y<25(n+1)$$

式中:m和n是正整数。

6.6.4 圆形探测器应根据探测器的半径r来划分。每个径向切面应由$r-25a$和$r-25(a+1)$确定,其中$a=0$或整数,使得$r-25(a+1)$为正数。每个圆环划分为n个扇区,其中:

$$25n<2\pi(r-25a)<25(n+1)$$

6.6.5 中央留下一个小圆,其半径为25 mm或更小,把它作为一个单独附加的面积。要不然,将其分为三个独立的块。

6.6.6 应尽可能将参考核素的小面积源置于靠近每个块的中心并测量响应。

6.6.7 对于很大的探测器(灵敏面积超过625 cm^2),面积数目可以减少到100个,每个面积尽可能相同。

6.7 表面发射率响应随辐射能量的变化

6.7.1 除了6.3规定的测量之外,还应使用以下至少三种不同最大能量分布的β发射体测量仪器的效率:

——小于0.2 MeV;

——在0.2 MeV~0.5 MeV之间;

——大于0.5 MeV。

6.7.2 所用的对每一个核素的表面发射率响应的测量方法应符合6.3的要求。每当有合适的放射源时,应按6.3.3规定的试验方法进行。在其他情况下,应按6.3.6规定的试验方法进行。

6.8 对其他电离辐射的响应

6.8.1 对γ辐射的响应

6.8.1.1 α污染测量(或监测)仪(本条目不适用于测量和区分α、β粒子的功能)

首先,整个探测器置于不小于10 mGy·h^{-1}的空气比释动能率下照射,并记录指示的计数率;然后,应用一个α源对探测器进行照射,α源的活度大小应能使仪器的最灵敏量程产生指示值(对数刻度仪器在最低十进位以内,数字仪器在第二个最低重要十进位以内)并记录计数率。最后,应在α检验源照射探测器的同时,给它施加不小于10 mGy·h^{-1}的空气比释动能率。上述测量应使用相同结构的源。应用密封的^{137}Cs源提供上面的空气比释动能率。

在许多场合,γ射线的效应在低能时更加显著,因此,应使用不小于100 μGy·h^{-1}空气比释动能率的^{241}Am的γ射线反复进行上述试验。

6.8.1.2 β污染测量(监测)仪和用双路α/β测量(监测)仪监测α

应使用不小于10 μGy·h^{-1}的空气比释动能率照射探测器并记录计数率。应给出对10 μGy·h^{-1}空气比释动能率的以单位时间计数表示的结果,这里对每一个探测器通道都适用。以活度或单位面积

北京中科核安科技有限公司

活度表示的读数，应说明是等效活度还是等效单位面积活度。上述给出的空气比释动能率可用密封的^{137}Cs源提供。

6.8.2 对β辐射响应

本项试验适用于α污染测量仪、监测仪和探测器，不适用于同时测量α和β辐射的仪器。

使用的$^{90}Sr/^{90}Y$源活度可接近但不超过370 kBq、横向尺寸小于20 mm。

首先，将α检验源放置在探测器正面，距离尽可能接近5 mm但小于5 mm，记录从α源得到的计数率。对于本项试验，α源的尺寸比探测器窗面积小且源的活度要足够低，以便在线性刻度仪器的最灵敏量程、对数刻度仪器的最灵敏十进位或数字显示仪器的第二个最灵敏十进位内进行读数。接着，在探测器和α辐射源都不移动的情况下，将β源贴近探测器正面。对于能同时测量α和β的仪器，上述试验应仅使用β源，结果应以β放射源每单位活度的计数被给出来。以活度或单位面积活度表示的读数，应说明是等效活度还是等效单位面积活度。

6.8.3 对α辐射的响应

本项试验仅适用于探测器窗厚小于5 mg·cm^{-2}的β污染测量仪和监测仪。将α薄源（例如：^{241}Am）置于距探头表面不超过10 mm处。如果源有覆盖物，其总等效厚度应小于1.5 mg·cm^{-2}。响应宜以计数率每单位表面α发射率表示或者以活度或单位面积活度表示读数，以单位面积的活度每单位表面α发射率表示。

注：如果使用^{241}Am，可能有59 keV的γ辐射对响应的贡献。在可以测定的情况下，应扣除光子的贡献并应该给出这种影响较小的响应。

6.8.4 对中子的响应

中子响应试验不是强制性的，仅在有这种要求时才进行试验。

7 校准证书

校准证书应包括以下信息：

7.1 被校准仪器的名称、型号、生产厂、出厂日期及系列编号；

7.2 委托校准单位名称；

7.3 校准条件：如环境温度、湿度；

7.4 依据的标准文件和校准方法；

7.5 校准时仪器的工作条件：如探测器工作高压、源表面到探测器窗表面的距离等；

7.6 校准结果：包括本底计数率、表面发射率响应、相对固有误差、变异系数等进行了校准的项目结果；

7.7 校准日期；

7.8 校准实验室印章和校准、核验和批准工作人员签字等。

北京中科核安科技有限公司