ICS 17.240
F 74

中华人民共和国国家标准

GB/T 14056.1—2008
代替 GB/T 14056—1993

表面污染测定 第1部分：β发射体（$E_{\beta max}$＞0.15 MeV）和α发射体

**Evaluation of surface contamination—
Part 1: Beta-emitters (maximum beta energy greater than 0.15 MeV)
and alpha emitters**

(ISO 7503.1:1988, MOD)

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

GB/T 14056《表面污染测定》包括下列3个部分：

——第1部分：β发射体($E_{\beta max}$>0.15 MeV)和α发射体；

——第2部分：氚表面污染；

——第3部分：同质异能跃迁和电子俘获发射体、低能β发射体($E_{\beta max}$<0.15 MeV)。

本部分是GB/T 14056的第1部分，本部分修改采用国际标准ISO 7503.1:1988《表面污染测定——第1部分：β发射体(最大β能量大于0.15 MeV)和α发射体》。

本部分与ISO 7503.1:1988主要技术性差异如下：

——ISO 7503.1:1988引用的其他国际标准中由相应的我国标准代替(见第2章)；

——增加了我国标准中关于表面污染控制水平的规定(4.2.1)。

为便于使用，本部分做了下列修改：

——“ISO 7503的本部分”改为“GB/T 14056的本部分”；

——用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”；

——有的条款的段落增加了条的编号。

本部分代替GB/T 14056—1993《表面污染测定　第1部分：β发射体(最大β能量大于0.15 MeV)和α发射体》，本部分与GB/T 14056—1993相比主要变化如下：

——对原文中少数条款的表述进行了修改；

——恢复了GB/T 14056—1993相对于ISO 7503.1:1988删去的部分，包括4.2.3.6的注，5.6的注3、注4、注5，A.2的最后一款。

本部分的附录A为规范性附录。

本部分由中国核工业集团公司提出。

本部分由全国核能标准化技术委员会(SAC/TC 58)归口。

本部分起草单位：核工业标准化研究所。

本部分主要起草人：高米力，张立波。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 14056—1993。

表面污染测定
第1部分：β发射体（$E_{\beta max}$＞0.15 MeV）和α发射体

1 范围

GB/T 14056的本部分规定了测定β发射体（最大β能量大于0.15 MeV）和α发射体表面污染的方法。

本部分适用于以单位面积放射性活度表示的设备、设施、放射性物质的容器以及密封源的表面污染测定。

本部分仅限于符合下述条件的β发射体和α发射体：

a) β粒子加单能电子的粒子产生率为每100次衰变发射出接近100个粒子；

b) α粒子的粒子产生率为每100次衰变发射出接近100个粒子。

β发射体详见附录A中表A.3。

本部分不适用于皮肤和工作服的污染测定。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过GB/T 14056的本部分的引用而成为本部分的条款。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部分，然而，鼓励根据本部分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部分。

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（GB/T 5202—2008，IEC 60325:2002，IDT）

GB/T 12128 用于校准表面污染监测仪的参考源 β发射体和α发射体（GB/T 12128—1989，neq ISO 8769:1986）

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于GB/T 14056的本部分。

3.1

表面污染 surface contamination

表面具有放射性物质的污染。

3.2

固定的表面污染 fixed surface contamination

在正常工作条件下以不可转移的方式附着在表面的污染。

注："正常工作条件"是假设在该条件下，可能造成去除表面污染的机械作用的最大强度限定为人体与表面正常的非事故性的接触（有防护服和无防护服）或人直接操作的设备部件与表面之间以类似强度的非破坏性接触。擦拭法的作用强度应该与这些类型的机械作用相符合。

3.3

可去除的表面污染　removable surface contamination

在正常工作条件下可去除的或可转移的表面污染。

注：应该注意，由于水分、化学试剂等的影响，或者由于腐蚀或扩散的结果，在没有任何人为的作用下，固定污染可能变成可去除的污染或者相反。表面污染由于蒸发和挥发可能减少。

3.4

单位面积放射性活度　activity per unit area

存在于表面的放射性核素的活度与该表面面积之比，以贝克每平方厘米表示($Bq \cdot cm^{-2}$)。

3.5

表面污染的直接测量　direct measurement of surface contamination

采用污染测量仪或监测仪进行的表面放射性活度的测量。直接测量测定的是固定的与可去除的表面污染之和，但是可能受到来自被检测物件内部的或环境辐射的影响。

3.6

表面污染的间接测定　indirect measurement of surface contamination

用擦拭法对表面可去除的放射性活度进行的测定。

3.7

擦拭法　smear test

用干的或湿的擦拭材料擦污染表面以取得可去除的放射性活度样品，随后测定转移到擦拭材料上的放射性活度。

3.8

去除因子　removal factor

F

某一擦拭样品从表面去除的放射性活度与该次取样前可去除的表面污染的放射性活度之比。

去除因子通过式(1)定义：

$$F = \frac{A_P}{A_T} \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：

A_P——通过擦拭取样所除去的放射性活度；

A_T——取样前污染表面上总的可去除放射性活度。

3.9

源表面发射率　surface emission rate of a source

$q_{2\pi}$

单位时间从源的前表面发出的大于给定能量、给定类型的粒子数。

3.10

源效率　efficiency of a source

ε_s

单位时间内从源的表面或从源窗发射出大于给定能量的给定类型的粒子数(表面发射率)与单位时间内在源内(对一个薄源)或它的饱和层厚度(对一个厚源)内产生或释放的相同类型的粒子数之比。

3.11

仪器效率　instrument efficiency

ε_i

在给定几何条件下仪器的净计数率和源表面发射率之比。对于一个给定的仪器，仪器效率依赖于源的辐射能量。

4 测定表面污染的方法

4.1 总则

表面污染可以通过直接和间接测量方法来测定。直接测量是采用表面污染测量仪和监测仪进行的，这类仪表测定的是可去除的与固定的污染之和。间接测定通常是采用擦拭法进行的，用擦拭法只能测定可去除的表面污染。

测量表面污染的目的：

a) 确定污染物的存在或扩散，并控制它由较高污染区向较低污染区或向非污染区的转移；

b) 测定单位面积上的放射性活度，以证实是否超过表面污染控制水平(导出限值)。

满足上述目的两种测量方法的适用性和可靠性主要依赖于某些特定的情况，也就是：污染物的物理和化学形态；污染物在表面上的粘着性能(固定的或可去除的)；以及对被测量表面是否可接近或是否存在干扰辐射场等。

当表面有非放射性液体或固态的沉淀物或有干扰辐射场存在时，直接测量可能是特别困难的或不可能的。特别是由于场所或相对位置的局限，使直接测量不容易接近污染表面，或者是干扰辐射场严重地影响污染监测仪的工作时，间接方法一般更为合适。但是，间接方法不能测量固定污染，又由于去除因子通常有较大的不确定性，故间接方法一般更多地用于可去除污染的测量。

由于直接方法和间接方法对测量表面污染均存在固有的缺陷，所以在很多情况下，两种方法都采用，以保证测出结果最好地满足测量的目的。

因为仪器效率随能量而变化，所以在测定具有各种能量的 β 污染时应该特别小心(也见第 5 章)。对于显示表面放射性活度的仪器尤其应注意。

4.2 表面污染的直接测量

4.2.1 对测量仪器的要求

测量仪器的特性和性能应符合于 GB/T 5202 的要求。

仪器应能测量 GB 18871 中规定的表面污染控制水平以下的放射性活度，污染测量的结果将与该限值比较。

注：用于表面污染直接测量的仪器通常具有 20 cm^2～200 cm^2 的灵敏窗，正常本底条件下，可测表面污染水平，对 α 发射体低于 0.04 $Bq \cdot cm^{-2}$，对 β 发射体低于 0.4 $Bq \cdot cm^{-2}$。探测器的适用性，不但由仪器效率决定，而且还由灵敏窗的大小而定。对于大面积污染的测量，应采用有较大灵敏窗的探测器。

4.2.2 探测程序

4.2.2.1 在探测器灵敏窗和待检查表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，并监听声频的变化。音响指示是瞬间的并与所采用的响应时间无关。对于数字显示或表头显示的仪表，应密切观察其数字及表头指针的变化。一旦探测到污染区，应把探测器放在这个区域上方，在足够长的时间内保持位置不变，以便进一步确认。

4.2.2.2 探测器和被测表面之间的距离应在可行的情况下尽可能的小。为此可采用定位架。

4.2.3 测量程序

4.2.3.1 测量时，应遵守所用测量仪器的有关操作规程和要求：

a) 进行测量前应测定被测场所的本底计数率；

b) 应经常检查仪器本底计数率；

c) 应用合适的检验源校验仪器是否正常，校验频度：经常用的仪器每日校验一次，其他的仪器每次使用前校验，仪器对检验源的读数变化超过±20%时应重新校准；

d) 测量期间的几何条件应与仪器校准时所采用的几何条件尽可能保持一致，为此可采用可移动的定位架；

e) 为了准确地测量，探测器在三倍响应时间(95%的指示值)内应保持固定；

f) 应采用和待测放射性核素相应的仪器效率值(见第5章)。

4.2.3.2 被检查表面上的固定的和可去除的污染,即单位面积的β或α放射性活度A_s,以贝可每平方厘米(Bq·cm^{-2})表示。A_s与测量的计数率的关系见式(2):

$$A_s = \frac{n - n_B}{\varepsilon_i \times W \times \varepsilon_s} \qquad \cdots\cdots(2)$$

式中:

n——测得的总计数率;

n_B——本底计数率;

ε_i——对β或α辐射的仪器效率(见第5章和A.2);

W——测量仪器灵敏窗(辐射进入窗)的面积;

ε_s——污染源的效率(见A.4);

在缺少ε_s更确切的已知数值时,应采用下述保守但尚合理的ε_s值:

对于$E_{\beta max} \geqslant 0.4$ MeV β发射体

$\varepsilon_s = 0.5$

对于0.15 MeV$< E_{\beta max} <$0.4 MeV β发射体和α射体

$\varepsilon_s = 0.25$

对α污染可能低估(见A.1)。

注:公式只适用于第1章所述限制范围。

4.2.3.3 必要时,测得的计数率应进行死时间修正。

4.2.3.4 对于衰变链中与其他的α发射体完全或部分平衡的α发射体,该法测定α发射体的总放射性活度。在完全平衡的情况下,α发射性总活度除以衰变链中参与平衡的α发射体的数目,即可得到单一α发射体的贡献。

4.2.3.5 对于处在衰变链平衡中的β发射体,仅当它们的探测几率处在同一水平时才可以进行上述类似的计算(见表A.3,标有符号* eq.的衰变对)。

4.2.3.6 在表A.3中标有符号§衰变的情况下,只有其下有下划线的放射性核素才适合用β表面污染监测仪探测。在平衡状态下,实际存在的总放射性活度是用标准测定方法得到的β放射性活度的2倍。

注:具有微处理器的测量仪器能够自动的对公式(3)进行计算,并且能够根据单位面积的活度给出指示值。对于这种应用,仪器的存贮器中需要有n_B、W、ε_i、ε_s的相关数值。ε_i和ε_s的值应根据被测核素和污染源的结构分别选取。这些因子通常会作为一个联合因子输入仪器的存贮器中。在对这种仪器直接校准的情况下(见5.6中注5),只需要选取ε_s的值即可。

4.3 表面污染的间接测定

4.3.1 对测量仪器的要求

4.3.1.1 擦拭样品的测量通常是采用具有良好屏蔽、脉冲计数型、性能稳定的仪器进行。使用手提式表面污染测量仪或监测仪时,仪器的特性和性能应符合GB/T 5202的要求。

4.3.1.2 仪器应能测量低于GB 18871中规定的表面放射性物质污染控制水平以下的污染水平,以便污染测量的结果与该限值进行比较。

注:目前通用的仪器对α污染能够测量到小于0.4 Bq,而对β污染小于4 Bq的放射性活度。若擦拭面积为100 cm^2,去除因子F=0.1,则相当于可测量到低于0.04 Bq·cm^{-2}的α发射体和低于0.4 Bq·cm^{-2}的β发射体的可去除污染。

4.3.2 采样

4.3.2.1 表面污染的测定和估计可借助于一个或多个干的或湿的擦拭样品来进行。

4.3.2.2 在大面积范围内取擦拭样品时,为确定污染分布,应考虑下述几点:

a) 尽可能擦拭 100 cm^2 的被测面积；

b) 大面积污染，应按规程允许的平均面积取样，并在计算结果时按 4.3.3 应用该面积；

c) 应选择适合于待检查表面的擦拭材料(对于平滑表面用滤纸，对于粗糙表面用棉纺织品)；

d) 用润湿剂润湿擦拭材料时，该润湿剂不应从材料中渗出；

注：因为污染物可能被吸入擦拭材料的内部结构中或被残留的水分所覆盖，故在 α 发射体的情况下使用润湿剂，可能导致对污染的明显低估。

e) 擦拭材料应当用手指或最好用适当的工具(为保证压力均匀、恒定而设计的夹具)适度地压在待检查的表面上；

f) 应擦拭 100 cm^2 的所有面积；

g) 尽可能用圆形滤纸作为擦拭材料；

h) 擦拭样品的总面积应小于或等于探头的灵敏面积；

i) 采样后，应避免擦拭样品由于干燥而使放射性物质损失。

4.3.3 测量程序

擦拭样品的测量应按照 4.2.3.1 所叙述的程序进行。

被擦拭表面可去除污染的单位面积的 β 或 α 放射性活度 A_{st} 以 $Bq \cdot cm^{-2}$ 表示，与测量的计数率的关系见式(3)：

$$A_{st} = \frac{n - n_B}{\varepsilon_i \times F \times S \times \varepsilon_s} \qquad \cdots\cdots(3)$$

式中：

n——测量的总计数率；

n_B——本底计数率；

ε_i——对 β 或 α 辐射的仪器效率(见第 5 章和 A.2)；

F——去除因子；

S——擦拭面积；

ε_s——由擦拭样品表示的源效率(见 A.2)。

注：公式只适用于第 1 章所述限制范围。

应采用在 4.2.3.2 中给出的污染源的效率 ε_s 值。

污染物和表面材料有大量的结合时，去除因子 F 可以通过“反复擦拭彻底去除”的方法由实验测定。逐次去除的放射性活度之和趋近于总的可去除放射性活度 A_T。这样由第一次擦拭所去除的放射性活度 A_P 与 A_T 的关系可得出去除因子。如果去除因子 F 不是由实验测定，那么应采用保守值，令 $F=0.1$。

对处于衰变平衡的放射性核素的测定，见 4.2.3.4～4.2.3.6。

5 仪器效率的测定

5.1 仪器效率应采用已知单位面积发射率的、符合 GB/T 12128 要求的参考源提供的参考辐射来测定。

5.2 参考源源面积的大小应足以覆盖仪器探测器的窗口。在得不到这种尺寸的源的情况下，应用小面积源进行一系列测量。这些测量应覆盖整个窗面积或至少是它的有代表性的部分，通过这些测量应得出计数效率的平均值。

5.3 在测定仪器效率时，应区分 α 和 β 辐射。

5.3.1 在 α 表面污染的情况下，污染物的粒度可能会达到 10 μm 或更大。对于小颗粒的污染物(粒子直径从 0.1 μm～2 μm)，在采样期间，放射性物质会与非放射性的表面灰尘混合，并压入样品载体中。在上述两种情况下，初始的线谱变成连续谱，在这个连续谱中，所有 α 能量介于零和线谱能量之间。因

此探测器的效率会低于对薄膜源的效率。为此，由某些放射性物质，例如由铀合金(13%的天然铀，0.06 mm厚)构成的饱和层源适宜作为对β辐射不灵敏的α探测器的工作源。

5.3.2 在β发射体的情况下，仪器效率 ε_i 依赖于β粒子的能量，故应采用相应于待测污染的β能量来测定仪器效率。

注：本部分术语β能量系指最大β能量。

5.3.3 在工厂和实验室，通常具有不同β能量的放射性核素，但实际上可以只使用单个β能量的核素来测定仪器效率，但要保证这个参考源的β能量不显著地大于待测的最低β能量。

5.4 表1中所列放射性核素适合于作参考源，表中给出了它们的β粒子最大能量。

5.5 仪器效率应在已知的几何条件下测定，已知的几何条件应与其后的直接或间接测量时的条件尽可能地接近(见4.2.3.1)。

5.6 参考源的仪器效率 ε_i(见A.2)计算见式(4)：

$$\varepsilon_i = \frac{n - n_B}{q_{2\pi,sc}} = \frac{n - n_B}{E_{sc} \cdot W} \qquad \cdots\cdots(4)$$

式中：

n——测得的参考源加本底的总计数率；

n_B——本底计数率；

$q_{2\pi,sc}$——在探头灵敏窗面积 W(以 cm^2 表示)下方测量时参考源的表面发射率；

E_{sc}——测量时参考源单位面积的表面发射率。

表1 适合作参考源的放射性核素的β最大能量

核 素	$E_{\beta max}$ / MeV
^{14}C	0.154
^{147}Pm	0.225
^{36}Cl	0.71
^{204}Tl	0.77
$^{90}Sr/^{90}Y$	2.26
$^{106}Ru/^{106}Rh$	3.54

注1：当^{90}Sr和其子体核素^{90}Y平衡时，公式中所用的单位面积表面发射率应该是给定^{90}Sr的单位面积表面发射率的两倍。

注2：如果用作校准的源的表面发射率是未知的(即该源不符合GB/T 12128的要求)，可按附录A.4.1确定表面发射率 E_{sc} 的估计值。

注3：使用饱和厚源而不使用薄层源作为参考源，会得出保守的仪器效率值。

注4：在一些具有微处理器的测量仪器中，ε_i 由下述方法确定：探头放在已知单位面积发射率(E_{sc})的合适的大面积参考源上，通过校准因子的连续变化，率表指数就会被设定为 E_{sc} 的值。那么，在这些条件下，仪器就会转换指示出等于校准因子的 E_i 值。

注5：可以用具有微处理器的仪器进行直接测量：探头放置于已知单位面积发射率 E_{sc} 的合适的大面积参考源的上方，通过校准因子的连续变化，率表指数就会被设定为 E_{sc}/ε_s 的值，这里 ε_s 是指经已校准的仪器测量得到的污染源的源效率。

6 污染测量的记录

如需表面污染的测量报告，宜包括下述内容：

a) 日期；

b) 场所和具体位置；

c) 污染核素；
d) 间接测量的表面类型；
e) 擦拭材料(干或湿)；
f) 润湿剂；
g) 间接测量的去除因子(实测的或假设的)；
h) 所用仪器，编号；
i) 仪器效率，校准日期；
j) 参考源：放射性核素，表面发射率(单位面积)；
k) 污染的仪器读数(表面或擦拭样品)；
l) 本底读数；
m) 单位面积的放射性活度；
n) 污染程度的说明；
o) 其他的观察结果；
p) 操作者姓名。

附 录 A
（规范性附录）
基本术语的解释和校准与测量的数据

A.1 概述

A.1.1 表面污染，通常以单位面积的放射性活度来表示，仪器测量的计数率直接与表面发射的辐射有关，而不是直接与表面上或表面内所含的放射性活度有关。对于给定的单位面积放射性活度，单位时间从表面射出的粒子数取决于源的自吸收以及源和源衬底材料的反散射。自吸收将减少射出粒子的数目而反散射将增加射出粒子的数目。由于实际表面吸收和散射性质的变化，一般说来，不能假设在发射率和放射性活度之间存在简单而已知的关系。因此，有必要在源的发射率基础上校准表面污染仪的仪器效率；而对参考源应有活度和发射率两方面的说明。

A.1.2 表面污染仪的校准，通常是通过测定仪器对已知放射性活度（或单位面积放射性活度）的参考源的响应来进行的。

A.1.3 为了使这个校准方法得出唯一的校准因子，要求参考源是理想的薄源，也就是既无自吸收也无反散射的源。但在实际上，源远不会是理想的，特别是对 α 发射体和低能 β 发射体（最大 β 能量大约低于 0.4 MeV）。因此，根据活度来校准，将导致校准因子不是唯一的，而与源的结构有关；采用给定放射性核素的活度相同但具有不同结构的参考源，可能获得校准因子较宽的取值范围。

A.1.4 以源的发射率为基础得到的校准因子不依赖于源的结构。这样，根据发射率而不是活度校准的表面污染仪，它的灵敏度可相互比较。

A.1.5 本附录中对与表面污染测量和表面污染仪校准有关的各种术语作了说明，为的是避免混淆以及保证清楚地理解两种校准方法之间的差别。对仪器效率 ε_i 和源效率 ε_s 的推荐值均做了更加详细的考虑。

A.2 术语的说明

在表 A.1 中所给的各种术语在图 A.1 中作了说明。由源的辐射而导致的计数率用 n 来表示，而 q_1 到 q_5 系指下述各类型粒子的产生率：

q_1：直接到达探测器的粒子；

q_2：由于源或源托的反散射到达探测器的粒子；

q_3：在上面的 2π 立体角方向上离开源，但是由于在空气中的吸收而未到达探测器的粒子；

q_4：发射进入上面的 2π 立体角，但由于自吸收而未离开源的粒子；

q_5：在上面的 2π 立体角方向上离开源但由于几何条件的原因未能射入探测器的粒子；

q_6：发射进入下面的 2π 立体角的全部粒子，包括除第 2 类型的粒子外的反散射粒子。

在表 A.1 中所给出的术语定义是参照图 A.1 而进行分类的。此外，术语“固有的仪器效率，I_i”有时是需要的，其定义为“探测器上引致的计数率与单位时间入射到探测器上的粒子数的商”。对于一个理想的源（没有自吸收和反散射），污染源的效率 ε_s 的值是 0.5。而对于一个实际的源，污染源的效率 ε_s 值通常小于 0.5，但也可能大于 0.5，这依赖于自吸收和反散射作用的相对重要性。

仪器效率 ε_i 和固有效率 I_i 的最大值是 1。

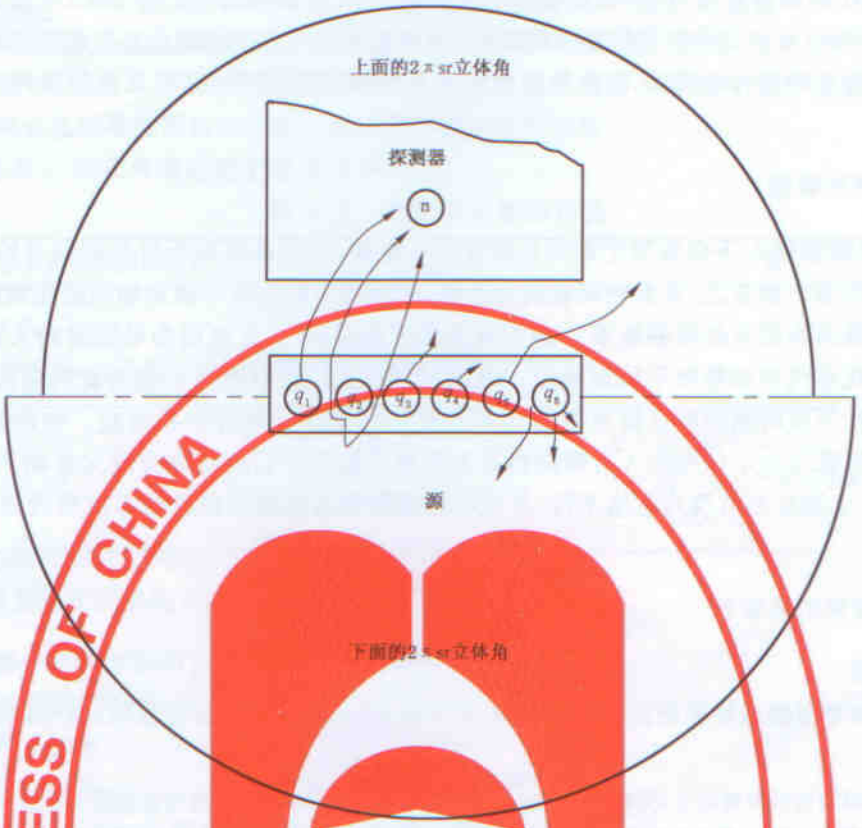


图 A.1 源-探测器配合的剖面图

表 A.1 术语的定义

术 语	符号	单位	定 义
源的放射性活度	A	Bq	$A=q_1+q_2+q_3+q_4+q_5+q_6$
源的表面发射率	$q_{2\pi}$	s^{-1}	$q_{2\pi}=q_1+q_2+q_3+q_5$
源的效率	ε_s		$\varepsilon_s=\dfrac{q_1+q_2+q_3+q_5}{q_1+q_2+q_3+q_4+q_5+q_6}=\dfrac{q_{2\pi}}{A}$
仪器效率	ε_i		$\varepsilon_i=\dfrac{n}{q_1+q_2+q_3+q_5}$
固有仪器效率	I_i		$I_i=\dfrac{n}{q_1+q_2}$
该仪器对放射性活度 A 的响应	R_i		$R_i=\varepsilon_i\times\varepsilon_s=n/A$

注 1：简化了的放射性活度的定义，仅能在第 1 章中所叙述的限定条件下应用。严格地说，放射性活度的定义见式(A.1)：

$$A=\frac{1}{\varepsilon_d}(q_1+\cdots+q_6) \qquad \cdots\cdots(A.1)$$

式中：

ε_d——每次衰变产生的被考虑类型的粒子数。但是，对于在本部分所考虑的核素见表 A.3，对 ε_d 的值可以规定为 1。

注 2：所有的效率都是无量纲量。

STANDARDS PRESS OF CHINA

根据表 A.1 给出的定义，仪器对参考源活度的响应 R_i 可以写为：$R_i=\varepsilon_i\times\varepsilon_s$，也就是说，响应 R_i 可以分为仪器效率 ε_i（反应仪器的特性和几何条件）和源效率 ε_s（反应源的大多数重要特性）相乘。因此，当以源的活度为基础进行校准时，得到的校准因子 R_i 是探测器特性、源以及几何条件三个方面结合的结果。

A.3 仪器效率的说明

理论上，仪器效率 ε_i 不仅取决于最大 β 能量或 α 能量，而且也取决于所发射粒子的实际能量分布，即取决于源的能谱。换言之，具有相同表面发射率，但能谱不同的两个源对相同的探测器可能产生不同的计数率。这是因为固有的仪器效率 I_i 通常是依赖于能量的，并且也因为单位时间入射到探测器上的粒子数可能因在空气中的吸收不同而变化。因此，严格地说，仪器效率 ε_i 也与源的结构有些关系，计算单位面积放射性活度时采用的仪器效率 ε_i 值应与实际污染的能量分布相对应。校准时与实测时的几何条件的差异可能会对单位时间入射到探测器上的粒子数和它们的能谱有较大影响。但是，对于大多数实际的应用，上述的谱效应可忽略不计，并且可以采用用适当能量的校准源获得的仪器效率 ε_i 值（见第 5 章）。

A.4 关于源效率的推荐值

A.4.1 参考源

A.4.1.1 当参考源的活度和表面粒子发射率（$\varepsilon_s=q_{2\pi}/A$，见表 A.1）都被标明，就可以得到参考源的效率 ε_{sc}。

注：在饱和层源的特殊情况下，只标出在饱和层厚度内的放射性活度，这是因为这里假设在表 A.1 源效率 ε_s 公式中的放射性活度 A 等于饱和层厚度内的放射性活度。为了按照第 5 章的要求正确计算仪器效率 ε_i，该假设是必要的。

A.4.1.2 如果仅仅知道参考源[活性面积 $V(cm^2)$]的放射性活度 A 或单位面积的放射性活度 A^*，那么参考源效率 ε_{sc} 应采用 0.5 的值。应用式(5)可导出参考源单位面积的表面发射率 $E_{sc}=(0.5\ A)/V$ 或 $E_{sc}=0.5\ A^*$。因忽略反散射对表面发射率的增加，仪器效率 ε_i 的计算将导致对污染的保守估计（即低于真实值）。市售的以活度标称的参考源，通常装在低反散射材料（例如铝）的衬底上。对于固定在铝上的薄 β 源，其饱和反散射大约是 30%，对于固定在塑料上和其他低原子序材料（符合本部分的所有 β 能量）上的 β 源大约小于 20%。在大多数情况下 α 源的反散射小于 5%。

A.4.2 污染源

A.4.2.1 实际上 α 或 β 污染源的效率 ε_s 难以估计，由于真实源结构的差异，污染源效率 ε_s 的变化可达一个数量级。由于反散射使计数率增加，根据 ε_s 的定义和表 A.1 中 ε_s 的公式可知，忽略反散射将导致对单位面积活度的保守（得到更大的活度值）估计，由此提供了一个附加的安全系数，所以在这里只须考虑源的自吸收。

A.4.2.2 β 发射体的污染源效率 ε_s 推荐值是按下述类型污染源导出的：

——用大约 2.5 mg/cm^2 的非放射性材料覆盖的 β 发射体薄层；

——均匀的擦拭检查滤纸制成的厚 β 源（约 10 mg/cm^2）。

直接测量可能碰到第一种类型，而间接测量可能主要出现第二种类型。

A.4.2.3 在两种情况下，由于源自吸收引起的源效率损失，对于最大 β 能量大于或等于 0.4 MeV 的 β 发射体是可以忽略的（污染源效率 $\varepsilon_s=0.5$）。在相同条件下，对于最大 β 能量大于 0.15 MeV 而小于 0.4 MeV的 β 发射体的源效率平均值大约是 0.25。若用大于 A.4.2.2 所述厚度的吸收材料覆盖 β 发射体，则采用此值可能导致低估。但是应该注意到，这种放射性物质对内、外照射的危害也同时减少。

A.4.2.4 在 α 发射体的情况下，估计一个保守又尚合理的源效率值更为困难，因为实际污染源的源效率 ε_s 可以很接近于零。对于饱和层源，理论值 $\varepsilon_{s,\infty}$ 等于 0.25，但大部分 α 发射体，饱和层厚度只有大约

5 mg/cm²。$\varepsilon_{s,\alpha}$等于 0.25，适用于两种可能的 α 污染的重要类型：在直接测量情况下，被 α 发射体均匀污染达到饱和厚度，以及在收集擦拭采样的过程中产生的均匀化的源。但是，当 α 发射体存在于比饱和厚度更深的深度中，或当 α 发射体的薄层被厚度大于饱和层厚度的 50%的非放射性物质覆盖时，选取$\varepsilon_{s,\alpha}$等于 0.25，将会低估单位面积的活度。这证明了擦拭法的重要。

A.4.2.5 源效率 ε_s 的推荐值归纳于表 A.2 中。

表 A.2 源效率 ε_s 的推荐值

粒子类型和能量范围/MeV	ε_s	说 明
$\beta(E_{\beta max} \geqslant 0.4)$ $\beta(0.15 < E_{\beta max} < 0.4)$	0.5 0.25	
α	0.25	对下述情况的保守值： ——达到均匀污染的饱和厚度； ——擦拭样品。

A.5 适用本部分测定方法的 β 发射体

可适用本部分测定方法的 β 发射体如表 A.3 所列。

表 A.3 中用到的符号如下：

$\bar{E}_\beta$——平均 β 能量；

P_β——β 衰变几率；

$P_{ME>20}$——大于 20 keV 能量的单能电子发射几率；

C——市售的；

*——两个放射性核素具有类似探测几率的衰变对；

§——只有一个放射性核素(下边加横线)易于被探测的衰变对；

eq.——可能存在衰变平衡；

#——最大 β 能量 $E_{\beta max}$ 和 β 平均能量 $\bar{E}_\beta$ 之间的差别异常；

(β^+)——正 β 发射体；

(EC)——电子俘获发射体；

(IT)——同质异能跃迁发射体。

表 A.3 适合于按照本部分测定方法的 β 发射体

核素	半衰期	$E_{\beta max}$/keV	$\bar{E}_\beta$/keV	P_β/%	$P_{ME>20}$/%	备注
^{14}C	5 730 a	154	49	100	—	C
$^{18}F(\beta^+)$	110 min	634	250	96.7	—	
^{24}Na	15 h	1 390	554	100	—	C
^{28}Mg	20.9 h	860	152	100	29.6	}* eq.
^{28}Al	2.24 min	2 864	1 242	100	—	
^{32}Si	330 a	213	65	100	—	
^{32}P	14.3 d	1 710	694	100	—	C
^{33}P	25.4 d	249	77	100	—	
^{35}S	87.4 d	167	49	100	—	C
^{36}Cl	3.01×10^5 a	710	251	99	—	

STANDARDS PRESS OF CHINA

表 A.3（续）

核素	半衰期	$E_{\beta max}$/keV	$\bar{E}_{\beta}$/keV	P_{β}/%	$P_{ME>20}$/%	备注
^{42}K	12.4 h	3 521	1 430	100	—	C
^{43}K	22.6 h	1 817	307	99.3	—	
^{44}Sc(β^+)	3.93 h	1476	633	94.4	—	
^{45}Ca	163 d	257	77	100	—	C
^{46}Sc	83.8 d	357	112	100	—	C
^{47}Ca	4.54 d	1 988	345	100	—	C, C, * no eq.
^{47}Sc	3.42d	601	162	100	0.4	
^{48}Sc	43.7 h	657	220	100	0.2	
^{56}Mn	2.58 h	2 848	830	99.9	—	
^{59}Fe	44.6 d	1 565	118	99.9	—	C
^{60}Co	5.27 a	318	96	100	—	C
^{65}Ni	2.52 h	2.137	632	100	—	
^{63m}Zn(IT)	13.8 h	—	—		5.1	§, §
^{63}Zn	56 min	905	321	100	—	
^{72}Ga	14.1 h	3 158	498	100	0.4	
^{76}As	26.3 h	2 969	1 064	100	—	
^{77}Ge	11.3 h	2 486	647	99.7	3.7	*, * no eq.
^{77}As	38.8 h	690	229	100	—	
^{82}Br	35.3 h	444	137	99.3	—	
^{82}Sr(EC)	25 d	—	—	—	—	§, §
^{82}Rb(β^+)	1.25 min	3 356	1 474	95.5	—	
^{86}Rb	18.7 d	1 774	667	100	—	C
^{89}Sr	50.6 d	1 491	583	100	—	C
^{90}Sr	28.6 a	546	196	100	—	C, * eq.
^{90}Y	64.1 h	2 260	935	100	—	
^{91}Y	58.5 d	1 543	602	100	—	
^{92}Sr	2.71 h	1 930	199 #	100	—	*, * no eq.
^{92}Y	3.54 h	3 634	1 447	99.9	—	
^{93}Y	10.1 h	2 890	1 173	100	0.2	
^{94}Nb	2.03×10^4 a	471	146	100	0.2	
^{95}Nb	23.4 h	749	249	100	0.5	
^{97}Zn	16.9 h	1 914	696	100	—	
^{97}Nb	72.1 min	1 275	466 #	100	0.2	
^{98}Tc	4.2×10^6 a	394	118	100	0.4	
^{99}Tc	2.13×10^5 a	294	85	100	—	

表 A.3（续）

核素	半衰期	$E_{\beta max}$/keV	$\bar{E}_{\beta}$/keV	P_{β}/%	$P_{ME>20}$/%	备注
^{106}Ru	368 d	39	10	100	—	C } §
^{106}Rh	30 s	3 540	1 411	100	—	
^{110m}Ag	250 d	530	67#	98.4	1.5	C
^{111}Ag	7.46 d	1 028	350	100	0.1	C
^{113}Cd	13.7 a	586	185	100	—	
^{115}Cd	44.6 d	1 621	606	100	—	C
^{117}Ch	3.36 h	1 916	204#	99.2	1.3	} * eq.
^{117}In	43.8 min	1 140	245	100	15.6	
^{122}Sb	2.7 d	1 981	575	97.5	0.6	
^{123}Sn	129 d	1 397	520	100	—	
^{124}Sb	60.2 d	2 302	378#	100	0.4	C
^{126}Sb	12.4 d	1 790	289#	100	2.1	
^{130}I	12.4 h	1 176	279	99.5	1.9	
^{131}I	8.04 d	807	182	99.9	6.7	C
^{132}I	2.3 h	2 140	482	100	0.7	
^{134}Cs	2.06 a	658	156	100	0.8	C
^{137}Cs	30.2 a	1 173	171#	100	—	C } §
^{137m}Ba(T)	2.6 min	—	—	—		
^{139}Ba	83.1 min	2 306	893	100	4.2	
^{140}La	40.2 h	2 164	527	100	2.1	C
^{142}La	95.4 min	4 517	848#	100	0.3	
^{142}Pr	19.1 h	2 159	809	100	—	
^{143}Pr	13.6 d	935	316	100	—	
^{144}Ce	284.3 d	318	82	100	13.5	C } * eq.
^{144}Pr	17.28 min	2 996	1 207	100	—	
^{147}Pm	2.62 a	225	62	100	—	
^{148}Pm	5.37 d	2 464	726	100	0.2	C
^{149}Pm	53 h	1 071	364	100	0.2	
^{159}Gd	18.6 h	975	311	100	4.6	
^{169}Er	9.4d	350	99	100	—	
^{175}Yb	4.19 d	468	126	100	5.27	
^{185}W	75.1 d	432	126	99.9	—	C
^{186}Re	90.6 h	1 077	349	93	14	C
^{188}W	69.4 d	349	99	100	0.3	} * eq.
^{188}Re	17 h	2 120	764	100	12.5	

表 A.3（续）

核素	半衰期	$E_{\beta max}$/keV	$\bar{E}_{\beta}$/keV	P_{β}/%	$P_{ME>20}$/%	备注
^{194}Ir	19.2 h	2 251	808	100	1.1	
^{198}Au	2.7 d	961	311	100	4.2	C
^{204}Tl	3.78 a	770	244	97.4	—	C
^{209}Pb	3.25 h	644	198	100	—	

中华人民共和国
国家标准
表面污染测定
第1部分：β发射体（$E_{\beta max}$>0.15 MeV）
和α发射体
GB/T 14056.1—2008

*

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
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 1.25 字数 28千字
2008年10月第一版 2008年10月第一次印刷

*

书号：155066·1-33654 定价 18.00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 14056.1-2008

打印日期：2009年5月4日