



中华人民共和国国家标准

GB/T 17437—1998
eqv ISO 10647:1996

辐射防护用的中子测量仪表的校准 及其响应的确定方法

Procedures for calibrating and determining
the response of neutron-measuring devices
used for radiation protection purposes

1998-07-30 发布

1999-05-01 实施

国家质量技术监督局 发布

目 次

前言	I
ISO 前言	II
1 范围	1
2 引用标准	1
3 本标准所包含的仪表	1
4 定义	2
5 符号	4
6 参考辐射场校准的可溯源性	4
7 用放射性核素中子源校准总则	5
8 放射性核素中子源散射效应的修正	7
9 用放射性核素中子源进行常规校准	10
10 不确定度	10
11 用加速器和反应堆中子源校准	11
附录 A(标准的附录) 要检验的物理特性示意图表	15
附录 B(标准的附录) 对体模的推荐	15
附录 C(标准的附录) 两种放射性核素中子源的角源强特性	16
附录 D(标准的附录) 室散射占 40% 的最小房间尺寸	17
附录 E(标准的附录) 空气减弱修正因数和总空气散射修正	17
附录 F(标准的附录) 有关影锥结构和使用的标准	18
附录 G(提示的附录) 符号	19
附录 H(提示的附录) 参考文献	20

GB/T 17437—1998

前 言

本标准是等效采用国际标准化组织 ISO 10647:1996《辐射防护用的中子测量仪表的校准及其响应的确定方法》制定的。

在对标准 ISO 10647 进行等效采用时,在不改变其技术内容的基础上,对其中一些内容的编排做了改动:

——在“引用标准”一章中,删除了大部分引用标准(所涉及的概念已从中摘录并补充到第 4 章“定义”中),只保留两个关键的引用标准;

——增加了 4.1.9~4.1.12 定义条目;

——根据我国标准的惯例,在 3.1、3.2、4.1.2、4.2、7.2.1、11.3.2 中删除了一些叙述性或解释性的文字。

上述修改都在相应的位置以“采用说明”的形式进行了说明。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F 是标准的附录。

本标准的附录 G、附录 H 是提示的附录。

本标准由全国核能标准化技术委员会提出。

本标准由中国原子能科学研究院计量测试部负责起草。

本标准主要起草人:杨小芸、容超凡、陈军。

GB/T 17437—1998

ISO 前言

ISO(国际标准化组织)是由各国标准化团体(ISO 成员团体)组成的世界性联合会。制定国际标准的工作通常由 ISO 的技术委员会完成,各成员团体若对某技术委员会已确立的标准项目感兴趣,均有权参加该委员会的工作。与 ISO 保持联系的各国际组织(官方或非官方)也可参加有关工作。在电工技术标准方面 ISO 与国际电工委员会(IEC)保持密切合作关系。

由技术委员会正式通过的国际标准草案提交各成员团体表决,国际标准需取得至少 75% 参加表决的成员团体的同意才能正式通过。

国际标准 ISO 10647 是由 ISO/TC 85 核能技术委员会的辐射防护分技术委员会(SC 2)制定的。

中华人民共和国国家标准

辐射防护用的中子测量仪表的校准
及其响应的确定方法

GB/T 17437—1998
eqv ISO 10647:1996

Procedures for calibrating and determining
the response of neutron-measuring devices
used for radiation protection purposes

1 范围

本标准规定了使用 GB 14055—93 规定的中子参考辐射对辐射防护中子测量仪表进行校准以及确定其响应与入射中子能量、角度和剂量当量率的函数关系的方法。

根据 ICRU 39 报告和 ICRU 43 报告的定义,所有能量的中子都是强贯穿辐射,所以场所监测仪表宜按周围剂量当量 $H'(10)$ 校准,而个人剂量计则以贯穿个人剂量当量 $H_p(10)$ 来校准。但是本标准所规定的方法是通用性的,它可以用于各种剂量当量值体系。附录 A(标准的附录)中给出了要测试的物理特性的示意图。

2 引用标准¹⁾

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 14055—93 校准辐射防护用的中子测量仪表并确定其能量响应的中子参考辐射
(eqv ISO 8529:1989)

GB 14318—93 辐射防护用的便携式中子周围剂量当量率仪(neq IEC 1005:1990)

3 本标准所包含的仪表

本标准适用于个人剂量计以及便携式巡测仪和场所监测仪,3.1 和 3.2 给出了这些仪表的例子。

3.1 个人剂量计²⁾

个人剂量计包括:

- 核乳胶;
- 固体径迹探测器;

采用说明:

1) 采用时,本标准删去了原文引用标准中所列的 ICRP 21、ICRU 13、ICRU 20、ICRU 26、ICRU 33、ICRU 39、ICRU 43 等文件。这些文件加列在本标准附录 H(提示的附录)的最后(参考文献[22]~[28]),而只保留 ISO 8529:1989(即 GB 14055—93)和 IEC 1005:1990(即 GB 14318—93)标准。对本标准涉及到的上述文件中给出的定义,本标准根据有关标准进行了翻译,增添在第 4 章。

2) 采用时,本标准删去了原文 3.1 的最后一句话,即:

这些个人剂量计的物理特性由 Griffith 等人^[12]做了综述。Eisenhauer 等人^[2]和 Burger 及 Schwartz^[13]对校准方法做了评述。

- 反照率剂量计；
- 袖珍电离室；
- 气泡(或过热液滴)探测器；
- 半导体探测器。

这些个人剂量计须在合适的体模上校准(见附录 B(标准的附录))。

3.2 巡测仪和场所监测仪¹⁾

用于中子巡测和场所监测的剂量当量仪、剂量当量率仪或监测仪一般是便携式仪表,在自由空气中校准,而不用体模。这些仪表包括:

- 测量宽能量范围中子的慢化型(配有热中子探测器的)仪表；
- 测量吸收剂量和剂量当量的低气压组织等效正比计数器；
- 测量组织比释动能的大电离室；
- 测量热中子的 BF₃ 和 ³He 正比计数器；
- 气泡(或过热液滴)探测器；
- 复合型剂量当量率计。

4 定义²⁾

本标准采用下列定义。

4.1 计量学术语

4.1.1 读数 *M* reading

仪表测量量的示值。

4.1.2 响应 *R* response

读数除以产生该读数的物理量大小所得的商。响应的类型宜加以说明,如:

“注量响应”,

$$R_{\phi} = M/\Phi \quad \dots\dots\dots (1)$$

“剂量当量响应”,

$$R_H = M/H \quad \dots\dots\dots (2)$$

“光子剂量当量响应”,

$$R_v = M/H_v \quad \dots\dots\dots (3)$$

如果 *M* 是率值,则注量(Φ)和剂量当量(*H*)也分别用注量率(ϕ)和剂量当量率(*H*)代替。

在本标准中,剂量当量 *H* 是一个广义的概念,例如,它可以是在深部剂量当量曲线最大值处求得的剂量当量,即最大剂量当量(ICRP 21号出版物),也可以是周围剂量当量(ICRU 39号报告)。

4.1.3 校准因子 *C* calibration factor

响应的倒数。读数 *M* 乘以该因子即可得到被测量的值。

4.1.4 能量响应 $R_{\phi}(E)$ 或 $R_H(E)$ energy dependence of response

对单能中子注量(Φ)或剂量当量(*H*)的响应 *R* 与中子能量 *E* 的函数关系。

4.1.5 角响应 angular dependence of response

仪表的响应与中子入射到仪表的方向的函数关系。

4.1.6 γ 射线灵敏度 gamma-ray sensitivity

采用说明:

1) 采用时,本标准删去了原文 3.2 的最后一段,即:

关于便携式中子剂量当量率计的特性和校准条件及方法的更详细的资料请参阅文献^{[3],[4]}和 IEC 1005,辐射量和单位的定义可以在 ICRP 21,ICRU 13,ICRU 31,ICRU 33,ICRU 39,ICRU 43 和 ISO 8529 中找到。

2) 4.1.9~4.1.12 是采用时增添的。

γ射线加到中子场中时,所引起仪表读数的变化(参照 4.1.2 中光子剂量当量响应定义)。

4.1.7 自由场的量 free-field quantities

在假定没有散射或本底影响的自由空间中进行照射所得到的量。

4.1.8 齐向扩展辐射场 aligned and expanded field

由实际的辐射场导出的一个假设的辐射场,在其中的整个有关体积内,其注量及能量分布与参考点上的实际辐射场相同,但其注量是单向的。

4.1.9 强贯穿辐射 strongly penetrating radiation

在均匀的单向辐射场中,对某一个给定的人体取向,如果皮肤敏感层的任何小块区域内所接受的当量剂量与有效剂量的比值小于 10,则该辐射称为强贯穿辐射。

4.1.10 周围剂量当量 $H'(d)$ ambient dose equivalent

辐射场中某点处的周围剂量当量是相应的齐向扩展辐射场在 ICRU 球内、逆齐向场的半径上深度 d 处产生的剂量当量。对强贯穿辐射,推荐 $d=10$ mm,因此写成 $H'(10)$ 。

4.1.11 个人剂量当量 $H_p(d)$ personal dose equivalent

人体某一指定点下面适当深度 d 处的软组织内的剂量当量。对强贯穿辐射,推荐深度 $d=10$ mm,因此写成 $H_p(10)$ 。

4.1.12 壳层最大剂量当量 $H_m(d\sim d')$ maximum dose equivalent in a shell

即为在 ICRU 球离表面深度 $d\sim d'$ 范围内的最大剂量当量。非严格的浅表和深部指数是最大剂量当量的特殊表示:

$$H_{I_1} = H_m(0.07 \sim 150)$$

$$H_{I_1,S} = H_m(0.07 \sim 10)$$

$$H_{I_1,D} = H_m(10 \sim 150)$$

4.2 参考仪表和监测仪表¹⁾

4.2.1 基准仪表 primary standard instrument

仅从已知的物理数据就能够确定所求辐射量的仪表。

4.2.2 次级标准仪表 secondary standard instrument

经与基准仪表比较而确定了其辐射响应特性的仪表。

4.2.3 传递仪表 transfer instrument

其辐射响应特性、响应的精密度和长期稳定性适于实验室之间进行辐射量比对测量的仪表。

4.2.4 监测仪表 monitoring instrument

具有适当的物理特性使其能在一实验室长期地作辐射场特性监测的仪表。

4.3 待检仪表

4.3.1 中子剂量仪 neutron dosimeter

用于测定中子剂量当量、比释动能或吸收剂量的仪表。

4.3.2 中子剂量率仪 neutron dose-ratemeter

用于测定中子剂量当量率、比释动能率或吸收剂量率的仪表。

4.3.3 中子探测器 neutron detector

对中子灵敏的器具。

采用说明:

1) 采用时,本标准删去了原文 4.2 的最后一段,即:

关于基准标准、次级标准和传递仪表的更详细的情况见 ICRU 20 号和 ICRU 26 号报告。

5 符号

本标准采用下列符号,以及列于附录 G(提示的附录)中的一些符号。

符 号	意 义
k	源—探测器特征常数
r	探测器半径
A	总空气散射分量
C	校准因子
F_1	几何因数
F_A	空气外散射
F_r	源各向异性修正因数
M_c	自由场中仪表读数
M_s	在用影锥法校准时仅由于内散射中子产生的仪表读数
M_T	校准过程中仪表总读数
S	室散射分量
δ	中子有效因数
Δ	在体模表面剂量计的水平距离
$\bar{\Sigma}$	(能量平均的)线性减弱系数

6 参考辐射场校准的可溯源性

根据本标准,在校准实验室所建立的辐射场的中子注量率应可追溯到已认可的国家或国际标准。保证溯源性的校准方法取决于参考辐射场的类型,然而测量溯源性通常是用传递标准来实现。例如:这种传递标准可以是放射性核素中子源(见 6.1)或经认可的传递仪表(见 6.2)。严格来讲,场的校准值只是在校准时是有效的,之后就必须做推算,例如从已知的放射性核素源的半衰期和同位素成分或传递仪表特性来推算。

校准实验室在中子测量仪表校准中所用的测量技术应由符合国家法规要求的单位或机构来认可。应该由标准实验室和校准实验室各自对与校准实验室常规校准用的相同或相似类型的一台仪表进行校准,其测量应在各自实验室内用各自被认可的校准方法来完成。为了证明已达到足够的溯源性,校准实验室得到的校准因子应在约定的限值内与标准实验室得到的校准因子一致。

辐射场校准的频度应足以保证连续两次校准之间的值不超出其规范限值。放射性核素中子源的校准周期在 GB 14055—93 中已给出。实验室认可的传递仪表的校准以及校准实验室所用测量技术的检验最多间隔五年。当实验室环境发生明显变化时要重新校准。

6.1 放射性核素中子源的溯源性

对于使用放射性核素中子源产生的中子场进行的校准,其溯源性可使用经标准实验室确定了其角源强的放射性核素中子源(见 GB 14055—93)、或使用在标准实验室校准并被认可的传递仪表测定仪表测量点的注量率来保证。如果源是根据 GB 14055—93 的 4.1.2 所推荐的方法封装的,可以假定源中子谱注量和 GB 14055—93 中所给的相应的中子的谱注量足够相似,因而可采用所推荐的注量—剂量当量转换系数。在本标准 10.1.8 中所推荐的转换系数的不确定度不仅考虑了 GB 14055—93 给出的谱的不确定度,而且也考虑了由源的结构和包壳不同所引起的谱的变化。

6.2 加速器中子源的溯源性

溯源性应由经校准实验室和标准实验室一致认可的传递仪表来保证。传递仪表必须与校准时相同的工作方式用于类似的中子场中,并且应做适当的修正。

实验室的传递仪表和监测仪表应根据国家规定的周期进行检验(例如用适当的放射性核素中子源),并应记录检验结果。

6.3 反应堆中子束的溯源性

溯源到认可标准的一般原则应该同样适用于这类特殊的参考辐射场(热中子或过滤中子束)的校准。例如:热中子注量率可用可追溯到基准的金箔活化法来测定。

7 用放射性核素中子源校准原则

7.1 原理

仪表的响应或校准因子是仪表类型的独有属性,它可以与剂量当量率、中子能谱或中子的入射方向有关,但应与校准装置的特性或所用的实验技术无关。因此,本标准给出的中子测量仪表校准的详细方法将保证校准结果与技术无关,也与源—仪表之间的距离及房间大小等因素无关。

为简单起见,本标准只给出剂量当量率仪校准的一般原理,但这些原理基本上也适用于其他仪表的校准。仪表放在已知自由场中子注量率的辐射场中并且记录仪表的读数。根据上面的阐述,读数必须对所有外部散射中子,包括空气、校准实验室墙壁、地板和天花板的散射中子做修正(见7.3)。对源或探测器大小的影响也要做修正(见8.2中几何修正因数 $F_1(l)$ 的讨论)。

仪表的自由场注量响应 R_0 由下式给出:

$$R_0 = M_0/\phi \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中: M_0 ——测得的读数对各种附加影响修正之后的值;

ϕ ——仪表受照的自由场注量率,由下式计算:

$$\phi = B_0/l^2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中: l ——从源的中心到有效测量点之间的距离(见7.4);

B_0 ——中子源强,定义如下(见GB 14055—93):

$$B_0 = \frac{BF_1(\theta)}{4\pi} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中: B ——中子源强(即入射到 4π sr的中子总发射率);

$F_1(\theta)$ ——源各向异性修正因数^[5]。

附录C(标准的附录)中给出了两类源的各向异性函数。

为了方便,有时引入源—探测器特征常数 k ,它是在单位距离处经过所有散射修正之后仪表的读数(按7.3),一般形式为:

$$k = M_0 l^2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

由式(4)和式(5)则可得到

$$k = R_0 B_0 \quad \dots\dots\dots(8)$$

常数 k 对每种源—探测器组合是特有的,因为它只与 B_0 和 R_0 有关。

最后,剂量当量响应 R_H 为:

$$R_H = R_0/h_0 \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中: h_0 ——注量—剂量当量的转换系数。

对ISO标准源,GB 14055—93附录B中列出了根据ICRP 21号出版物得到的 h_0 推荐值,引用时宜说明 h_0 的值和相应的参考文章。

7.2 中子校准装置的重要特性

7.2.1 中子源

放射性核素中子源的校准辐射场应可溯源到标准实验室(按第6章)。为使中子发射的各向异性减

到最小,源应是球形或者直径和高度近似相等的圆柱形。对圆柱形源,探测器校准应在与圆柱轴线成90°的方向上进行(见GB 14055—93)。对所用的每个源应测定其各向异性。对密封源,其包壳应尽可能薄并且符合相应的国家、国际标准。对厚包壳源,源的各向异性和谐都可能会改变¹⁾。

源应位于房间中心。在开放场所时源离地面应尽量高。源应放在不含氢物质且质量尽可能少的支架上。

为了完成线性检验,剂量当量率的变化要求大于三个量级(如从大约 $10 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 到大约 $40 \text{mSv} \cdot \text{h}^{-1}$)。仅靠改变距离来覆盖这个范围通常是不可能的,而是还需结合使用其源强变化为10~100倍的两个(或多个)源,才能覆盖整个范围。对不同的源,即使其结构名义上相似,但其各向异性因数却不一定相同。

7.2.2 照射装置

须用支架使待检仪表定位于已知的距离和角度(相对于校准源)。支架应是刚性的,其设计要使得散射辐射尽量小。应可移动探测器来改变探测器—源之间的距离。在使用校准过的仪表测定注量率时,其支架也应满足同样要求。

7.2.3 照射室

仪表对室散射中子的读数会随房间的大小、形状和结构而变化。房间尺寸应使得散射贡献尽可能小,但在任何情况下其贡献不应使得在校准点的仪表读数的增加大于40%(见附录D(标准的附录))。

7.3 散射中子来源

校准因子应是仪表类型和中子源能谱的独有属性,而与校准设备的特性无关。因此,所有校准都是对自由场的量而言的。散射中子对仪表读数的影响必须作修正。

一般可能发生7.3.1至7.3.5所述的散射效应。

7.3.1 室散射

由实验室的地板、墙壁等以复杂的方式散射的中子所引起的效应,它们对仪表读数的贡献可用运输计算,或对特定的实验室条件进行测量来确定。室散射似乎是散射中子的最主要来源。校准宜在房间中心附近进行,相对而言,此处的散射中子注量与离源的距离无关(见8.3.1和附录D(标准的附录))。

7.3.2 空气减弱(空气外散射)

由源发射出的但与空气发生核反应而被减弱的中子所引起的效应(见附录E(标准的附录)中的E1)。空气减弱随源—探测器之间的距离增大近似线性增加。

7.3.3 空气内散射

在源—探测器直接路径以外被空气散射回来而可能被待检仪表探测到的中子所引起的效应。内散射的大小也随源—探测器距离近似线性增加。附录E(标准的附录)中的E2中给出了几种中子测量仪表对ISO推荐的放射性核素中子源的净效应(内散射减外散射)。

这些效应的相对大小与房间大小和待检仪表—中子源之间距离有关。总之,减小仪表—中子源之间距离会使它们对校准的影响减小。

7.3.4 支架散射

支架应尽可能的轻,没有或几乎没有含氢物质。特别要使在源或探测器附近的物质质量减到最少。

7.3.5 谱效应

所有散射中子,其谱分布都不同于原来源的谱分布。这种散射辐射对仪表读数的贡献与仪表的能量响应有关。

采用说明:

1) 采用时,此处删去了以下一段,即:

Eisenhauer 和 Hunt^[5]用长计数器确定源的注量各向异性。各向异性函数的例子见本标准的附录C和ISO 8529:1989的4.3(更完整的讨论见参考文献[2])。

7.4 有效测量点和有效校准距离

有效测量点是能够用相当于点探测器代替的仪表内的那一点。也就是说，它的自由场的能量响应与有效测量点和源中心之间距离的函数对已知中子能量或中子能谱遵循反平方定律。通常，有效测量点在仪表内的位置与仪表的几何设计、入射中子场的能量和方向有关，有效测量距离则是源中心与有效测量点之间的距离。

7.4.1 球形仪表

对球形仪表，有效测量点是其几何中心^[6]。对探测器大小的修正按 $F_1(l)$ 进行(见 8.2)。

7.4.2 圆柱形仪表

对垂直于圆柱轴线照射，有效测量点则位于圆柱轴线与垂直于轴线的和源的连线的交叉点上。对平行于圆柱轴线照射，有效测量点位于轴线上，但它的位置还与入射中子能量有关，它的位置应经测量来确定^[7]。

7.4.3 在体模上照射个人剂量计

长方形体模取向应使它的前表面垂直于源中心和体模表面中心之间的连线。体模前表面与源中心之间的距离 l 应选为 75 cm^[8]。按惯例，源中心与剂量计背后的体模表面那点之间的距离为校准距离 l 。这样，如果校准的剂量计只有一个，则应把它放在体模表面的中心处，如果同时照射多个剂量计，则

$$l = (l_c^2 + \Delta^2)^{1/2} \dots\dots\dots (10)$$

$l_c = 75$ cm, Δ 则是体模表面中心到剂量计背后的体模那一点的距离(附录 B(标准的附录)中给出了推荐的体模)。

7.5 光子辐射效应

必须测定仪表对 γ 射线的响应，还必须进一步测定 γ 射线的存在是否影响仪表的中子响应。

当用放射性核素中子源校准仪表时，应估计伴随的光子辐射的影响，并进行修正，其不确定度应与所要求的校准的准确度相适应。对 γ 射线的响应须用 ¹³⁷Cs 或 ⁶⁰Co γ 射线源和其他适当的光子源来确定。

8 放射性核素中子源散射效应的修正

8.1 初始测量

室散射中子对仪表读数的影响一般与仪表的类型、仪表一源的距离和校准房间的大小、形状及结构有关。

本标准推荐三种不同的方法对散射效应进行修正。三种方法分别为：半经验法、圆锥法和多项式拟合法。所有这些方法都要求至少要仔细地做一组仪表读数与中子源—探测器距离函数关系的初始测量。

初始测量的距离范围至少应与对各种类型仪表通常校准中的线性检验所要求的范围相同，即符合在 8.4 中给出的源—探测器距离的限制。这就是说，在某一特定的实验室所用的源，此距离的范围宜使在测量点可以得到大约 10 μ Sv \cdot h⁻¹ 到大约 40 mSv \cdot h⁻¹ 的剂量当量率。测量数据宜包括对读数和距离的不确定度的估计。测量数据点的数目应至少 10 个(且使 l^2 倒数近似等间隔)。

下面将说明三种方法对初始测量的要求以及数据解释略有不同的原因，以及正如在 8.4 中所指出的每种方法的优缺点及适用范围。

如可能，不管使用哪种方法都宜用另一种方法或计算来验证。

8.2 几何修正

用三种方法中任何一种来确定中子散射响应之前，都必须对测得的数据做源或探测器有限大小影响的修正。这相当于从实际场求出齐向扩展辐射场。用总的仪表读数除以“几何因数” $F_1(l)$ 进行修正。对于点源照射球形探测器^[9]，或球形源(即 D₂O 慢化 Cf 源)照射点探测器^[9]， $F_1(l)$ 有特别简单的形式。如果 l 是源中心至探测器中心的距离， r 是探测器半径， δ 是“中子有效因数”^[6]，则对 $l/r > 2$ 有：

$$F_1(l) \approx 1 + \delta(r/2l)^2 \dots\dots\dots (11)$$

其中 δ 的大小与 r 略有相关^[5]，对所有情况 δ 的推荐值为 (0.5 \pm 0.1)。等式(11)也可用于确定点源

照射“近似”球形探测器,比如慢化体为球形,中心探测器是圆柱形而不是球形。

目前,对其他形状的仪表(如圆柱状),还没有经过很好检验的类似于式(11)的表达式。在这种情况下, l 的最小值的选择要使得几何修正因数 $F_1(l)$ 接近于1。实际上,这意味着 l 应大于探测器直径的2倍,在必须使用较小的距离以得到足够高的注量率时,必须考虑 $F_1(l)$ 的附加不确定度(见10.1.4)。按惯例,在体模(离源75 cm)上照射的剂量计,不作几何修正。

8.3 数据分析方法

8.3.1 半经验方法

这种方法^{[2]、[10]}是基于假设散射中子引起的仪表读数的份额可以从读数偏离反平方定律的大小求出。多种多样的贡献可以归结为由室散射中子引起的与 l 无关的成分^[10]和由空气散射引起的随距离线性减小的成分^[11](见附录E(标准的附录)中的E2)。在不同距离上由总辐射场(源中子加上散射中子)产生的仪表读数 $M_T(l)$ 与注量响应 R_0 的关系由下式表示:

$$\frac{M_T(l)}{\phi F_1(l)(1+Al)} = R_0(1+S l^2) \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中: S ——单位校准距离时室散射中子贡献的份额;

ϕ ——由式(5)给出。

$(1+Al)$ 给出总空气散射修正(内散射减外散射)。对ISO推荐的4种源(见GB 14055—93)和一些常用仪表,附录E(标准的附录)中的E2给出了空气散射分量 A 的计算值。

在8.4.1所示的范围内,式(12)左边相对于 l^2 作图应产生一条直线。以加权线性最小二乘法拟合这些数据,其截距将得到注量响应 R_0 ,其斜率则可给出室散射成分的份额 S 。对一指定仪表只要测定了 S ,则类似仪表的校准可以在一个或几个距离 l 上测定 $M_T(l)$,并用式(5)和式(12)确定注量响应 R_0 。

如果达不到8.4.1中给出的要求,上述作图可能得不到一条很好的直线。“直线”上出现一些弯曲是允许的,这弯曲可视为 S 值的不确定度,亦即为校准因子的不确定度(见10.1.5)。因相对室散射贡献随 l^2 而变化,当在小 l 值校准时,散射修正也小,因而此修正项不确定度对校准因子的不确定度的影响也将很小。已知 R_0 ,用式(9)可以得到 R_H 和它的倒数,即校准因子。

8.3.2 影锥法

这种方法的准确度与影锥的设计、影锥相对于源—探测器的几何位置密切相关。附录F(标准的附录)中给出了推荐的影锥的详细结构和使用方法。

如果 $M_S(l)$ 和 $M_T(l)$ 分别是在源和探测器之间有和没有影锥时得到的探测器读数,则有以下关系:

$$[M_T(l) - M_S(l)]F_A(l) = k/l^2 \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中: $F_A(l)$ ——空气减弱因数(空气外散射)^{[6]、[7]}。

附录E(标准的附录)的E1中给出了GB 14055—93推荐的放射性核素中子源空气的平均线性减弱系数的推荐值。

一般地,测量应在大于影锥长度两倍的距离上进行,以使得对源或探测器的有限大小修正 $F_1(l)$ 基本上等于1。

对不同的有效校准距离 l 做一组探测器总读数 $M_T(l)$ 和内散射读数 $M_S(l)$ 的测量(对每一距离使用最佳的影锥),并用这些数据检查方程(13)的有效性。注量响应 R_0 可由式(8)中 k 的定义得到。一旦式(13)有效,校准就可以仅在一个或几个距离 l 上使用此技术进行。剂量当量响应 R_H 由式(9)得到。

8.3.3 多项式拟合法

式(12)可以写成更一般的形式:

$$\frac{M_T(l)}{\phi F_1(l)} = R_0(1 + xl + yl^2) \quad \dots\dots\dots (14)$$

这里 x 和 y 形式上分别与式(12)中的 A 和 S 一样,忽略了 l^2 的交叉项。测量随距离 l 变化的总计数率 M_T ,然后用式(14)拟合,则不仅可以得到拟合参数 x 和 y ,也可以得到 R_0 。再用式(9)就可以得到

GB/T 17437—1998

剂量当量响应 R_H 。但是用本方法校准不能实现 8.4.1 或 8.4.2 的要求。参数 x 和 y 应仅看作是拟合参数,没有赋予它们物理意义。经验表明^[12],用这种方法校准的结果可能与用半经验法或影锥法得到的结果一致。即使这样, x 和 y 在数值上并不分别与用其他方法得到的空气散射或室散射修正一致。

8.4 方法的选择^[2]

8.4.1 半经验法

8.4.1.1 适用条件

- a) 房间大小:房间不要太大,长度小于 12 m;
- b) 房间形状:立方体或接近立方体;
- c) 源/探测器大小:无限制;
- d) 源—探测器距离:最小距离近似于源与探测器直径之和,具体要求见 8.3。最大距离由室散射所引起仪表读数增加小于 40% 来决定(见附录 D(标准的附录));
- e) 中子源发射:各向同性或近似各向同性。

8.4.1.2 优点

初始测量得到的室散射修正值,可以用于以后同类型仪表的校准。对装在体模上的个人剂量计也适用。

8.4.1.3 缺点

只能用于中子散射主要来自源于室壁、地板和天花板的情况。可能不适用于多探测器仪表,需要计算空气散射修正。

8.4.2 影锥法

8.4.2.1 适用条件

- a) 房间大小:满足 d) 项要求,但以大房间为宜;
- b) 房间形状:无限制;
- c) 源/探测器大小:以小尺寸为好,因为像 30 cm 直径的 D_2O 慢化铀源就需要一个大而笨重的影锥;
- d) 源—探测器距离:最小距离大于影锥长度的两倍,最大距离由室散射所引起仪表读数增加小于 40% 来决定。

影锥法要求增加一组有合适的影锥情况下的测量。有影锥时的测量必须在和无影锥时严格相同的距离 l 上进行。

8.4.2.2 优点

直接测量散射中子效应。

8.4.2.3 缺点

对多探测器仪表或装在体模上的剂量计不适合。

8.4.3 多项式拟合法

8.4.3.1 适用条件

- a) 房间大小:更适用于大房间;
- b) 房间形状:无限制;
- c) 源/探测器大小:无限制;
- d) 源—探测器距离:最小距离近似等于源加探测器半径之和,参见 8.3。对最大距离没有限制。

8.4.3.2 优点

限制条件最少,对在大房间中大探测器或大源和多探测器仪表或装在体模上的剂量计选用此法。

8.4.3.3 缺点

方法没有明确的物理学意义。多项式拟合系数并不具有物理意义。而且对要校准的每一台仪器都必须做一组完整的测量。在拟合过程中可能掩盖了读数的漂移或非线性。

9 用放射性核素中子源进行常规校准

与初始测量相反,对同一种类型仪表做常规校准,半经验法和影锥法不需要重复进行一组完整的与距离 l 函数关系的测量。反而可以利用初始测量确定的散射参数来做必要的修正,以及完成只是对特殊试验所必须的那些测量。

这种简化方法并不推荐在多项式拟合法中使用,因为线性项系数并不像其他两种方法导出的参数那样包含有物理意义。因此,对同一类型的仪表不应假定有相同的值。

9.1 线性测定

线性关系(即仪表读数与剂量当量率的关系)测量是很重要的,特别是在高剂量当量率时更为重要。确定线性要在每个量级上测 2~3 个点。但是,这些测量必须要在检验技术的初始测量距离范围之内进行。一般说来,要用两个或多个不同强度的源再加上改变源—探测器之间距离,才能覆盖仪表测量的整个剂量当量率范围(见 7.2.1)。因为散射修正与距离有关,所以用半经验法或影锥法预先确定的这些修正值为常规线性测量提供了方便。

因为多项式拟合法所用的拟合过程很容易掩盖测量的非线性,因此用这种方法要非常小心。只要能,多项式拟合法校准须补做稳定性试验和电子学仪器的线性试验。

9.2 角响应测定

校准距离至少为源和探测器的最大线性尺寸之和的 3 倍,散射贡献的测量不确定度应与总测量不确定度要求相适应。

10 不确定度

对校准因子(或响应)的值必须说明其相应的不确定度。不确定度通常用一倍标准偏差(1σ 或 68% 置信度)或两倍标准偏差(2σ 或 95% 置信度)来表示。应清楚说明是选择 1σ , 2σ 还是其他置信水平。

10.1 用放射性核素中子源校准时的各项不确定度分量

10.1.1 到 10.1.8 讨论用核素中子源校准仪表时在典型情况下合成不确定度的各分量。有些特殊的包含不确定度源项的情况这里可能尚未考虑到。估计这些不确定度时必须以本节所考虑的为指南,进行更详细的判断。必须强调的是,这一不确定度评价方法还是一个相对来说新的阶段成果,并且尚在研究之中。因而,有些不确定度分量已经很好地被评估,而有些分量在本标准编写时则只是根据一般经验和一些特殊的测量进行估计的。所有不确定度以 1σ 给出。

10.1.1 中子源强 B 的不确定度

通常由基准实验室测定 B 值的相对不确定度约为 1%,因此,通常此项分量只是合成不确定度的比较小的一部分^[13]。

10.1.2 各向异性函数 $F_i(\theta)$ 的不确定度

按照 GB 14055—93 所建议的方法仔细测量,修正因数 $F_i(\theta)$ 的相对不确定度大约为 0.5% 或更小些。

10.1.3 校准距离 l 的不确定度

距离不确定度应 ≤ 1 mm,经仔细设计这是可以达到的。对通常所用的距离,这项不确定度对总不确定度的贡献可忽略。如果有源仪表在接近源校准时,在总不确定度中将包括数值为 $(0.2 \times l^{-1})\%$ 的不确定度,这里 l 以 m 表示。

注意:如果在一个距离上做几次测量,则距离的不确定度可认为是系统不确定度。如果在几个距离上测量,则 l 测量的不确定度宜考虑为随机不确定度。在任何与距离有函数关系的数据拟合中,距离的不确定度应是输入数据的一部分。

10.1.4 几何因数 $F_i(l)$ 的不确定度

如在 8.3 中所指出,几何修正因数的形式只是点源照射球对称探测器时才严格已知,即使在这种情

况下,有效因数数值上还有 20% 的不确定度,因此 $F_1(I)$ 偏离 1 的不确定度也是 20%。

10.1.5 散射修正的不确定度

散射修正的不确定度可按 8.3 描述的从拟合数据的质量来得到。当使用常规校准初始测量确定的散射参数(见第 9 章)时,宜考虑到类似的仪表并不是完全相同的和其对散射中子也不总是具有相同的响应。如果不是多台仪表做大量测量就很难知道这一效应的不确定度该考虑多大。没有这些数据,散射修正的相对不确定度增加 10% 似乎是合理的。

如果室散射和空气内散射成分是用影锥法测定的,多年的经验表明:这些成分的测量不确定度大约为 3%。这样如果修正值为 $P\%$,则对合成不确定度的贡献为 $0.03P\%$ 。因空气减弱效应很小,空气减弱修正 $F_A(I)$ 引入的不确定度可忽略。

在半经验方法(式(12))中由空气散射(附录 E(标准的附录)中的 E2)引起的响应净增加的计算值,其相对不确定度估计约为 15%。在修正后的响应值中对应的相对不确定度小于 1%。因为室散射随 I^2 而增加,因此对大的 I 值此项修正的不确定度可能是合成不确定度的重要部分。

10.1.6 读数 M 的统计不确定度

原则上,对数字输出的脉冲计数仪表,统计不确定度的确定十分简单,因为从计数的泊松分布得到的不确定度就等于计数(经死时间修正后)的平方根。然而,对于某些类型的仪表,确定对应于某一读数的计数数目可能很难。

对于模拟输出的仪表,可以记录指针包容大多数(即 95%)读数的“摆动”范围,并赋予这个摆动范围 2σ 值。这个范围值除以 2 正好得到标准偏差。

因此,统计不确定度对大多数数字仪表应与主观因素无关,而对模拟输出仪表则多少带些主观因素。统计不确定度在低剂量率时可能是不确定度的主要源项,而在较高剂量率时可被忽略。

对无源剂量计的读出,其不确定度与有源仪表读数的统计不确定度相类似,尽管其不确定度可能十分显著,但剂量计读出的不确定度讨论已超出本标准的范围。此外,在很多情况下,这些剂量计是在实验室而不是在校准实验室读出,校准实验室可能不知道不确定度的大小。通常,读出的不确定度若已知,宜说明并将其作为合成不确定度的一个分量,若此不确定度为未知,也宜说明情况。

10.1.7 定时的不确定度

照射时间的不确定度一般只有当照射累积式剂量当量仪表诸如无源剂量计时才是明显的,这时,不确定度与源从屏蔽位置取出到照射位置以及源从照射位置运回到屏蔽位置所需的时间有关。对照射时间比过渡时间长得多的情况下,此项不确定度可忽略。

10.1.8 谱平均注量—剂量当量转换系数的不确定度

GB 14055—93 中给出了 ISO 推荐源的转换系数。考虑到注量谱的不确定度,取 ^{252}Cf 源转换系数的相对不确定度为 1%,其他源(钍化 ^{252}Cf , Am-Be, Am-B)为 4%。

11 用加速器和反应堆中子源校准

11.1 前言

尽管加速器产生的单能中子源是提供很宽能区确定仪表能量响应的最好方法,但由于所需设备昂贵和复杂,所以大多数情况校准仪表还是用放射性核素中子源而不用加速器。加速器除了用于校准外,往往还有其他用途,并且一般都各有特点。反应堆也是如此。因此,本标准只涉及利用加速器和反应堆中子源校准的一般方法,不像利用放射性核素中子源校准时叙述得那样详细。

11.2 加速器中子源

校准应遵循 7.1 中给出的一般原则;空气散射和室散射的确定方法按 8.3;光子辐射效应的确定则按 7.5 所讨论的进行。用加速器产生中子场时,靶头散射应尽量小,必要时应做修正。

11.2.1 中子注量率

注量率要用经过校准并可溯源到基准的传递仪表进行测量(见第 6 章)。7.2.3 的基本原则这里同

样适用。

11.2.2 监测

应该用合适的仪表监测中子产额。被检仪表读数和 中子注量率标准测量的值可以通过监测器的读数归一。监测器可能将中子散射到正在校准的仪表中,仪表(或者影锥)也可能将中子散射进监测器,这与所用的监测仪表(如长计数管)有关。前一效应和其他散射中子本底一起被测定。后一种效应在保持中子注量率恒定时采用放入或去掉在检仪表(或者影锥)并观察监测器读数的变化来直接检验。像伴随粒子法这样的监测系统就不会出现这些问题,因其本身既对中子不灵敏,也不会作为中子散射体,但是这种系统只局限在特殊的能量范围内使用。

11.2.3 能量响应

GB 14055—93 中给出了常用的中子能量、产生方法和约定的注量—剂量转换系数等的详细说明。

11.2.4 中子的污染源

在校准中子场中可能存在其他的中子源,即当用 $T(d,n)$ 反应时,可能通过在飞行管道里吸收的氘发生 $D(d,n)$ 反应产生低能中子,或通过吸附在光阑、氚靶或氘靶等上的碳和氧发生 $C(d,n)$ 和 $O(d,n)$ 反应产生低能中子,等等。这些效应的修正可用不包含产生中子的基本物质的本底靶来得到。在有些情况下,这项修正可能很大而不得不仔细研究以保证合成不确定度最小。

11.2.5 中子能量和能散度

加速器产生的中子场的中子能谱分布与一些因素有关,包括:入射粒子束的能量和它的能宽度、靶材料的厚度。谱分布可通过测量或计算来确定。如果仪表的响应随中子能量变化很快,则测得的响应应对此项效应做修正。

11.2.6 中子能谱随发射角的变化

一般来说,中子能量是中子从靶发射出来的角度的函数。如果仪表离靶很近,则入射在仪表的表面不同部位的中子能量不同。为了使能散度达到最小,推荐校准在 0° 方向进行。但是对 $T(d,n)$ 核反应产生的中子场,为了得到某一特定中子能量,校准必须在其他角度上进行。

11.2.7 靶散射修正

产生中子的物质一般沉积在底衬上,底衬同时也用于管道的真空密封。从所要求的角度之外其他角度发射的中子可能在底衬上发生散射并且影响待检仪表的响应。显然,这个效应随底衬厚度的减小而变小。但是为了保持真空,要求底衬最小厚度大约为 0.25 mm。如果校准在 0° 方向进行,则存在能量与 90° 方向发射的中子相近似的低能中子成分。可通过计算确定在校准位置上的总的中子谱,并对校准结果进行这些效应的修正。如果仪表的响应随中子能量减小而增加,则此项修正可能达 10%。

11.2.8 中子散射效应

在 7.3 中对放射性核素中子源讨论过的房间和周围物质产生的散射中子的影响,对加速器产生的中子也必须予以考虑。一般说来,加速器产生的中子在整个测量过程中应监测。但是注量测量仪表和被检仪表都可能将中子散射到监测器内,反之亦然。必要时这些效应也应予考虑并且进行修正。

11.3 反应堆中子束

在反应堆孔道上,可得到热中子中能过滤中子(铁、硅、钒或 ^{238}U 过滤器)准直束以用于仪表校准^{[14]、[15]}。校准应遵循第 7 章给出的一般原则。对准直束,室散射和空气内散射修正可忽略,但空气外散射可能要做修正(见 7.3.2)。光子辐射效应的确定应按 7.5 中所讨论的方法进行。

11.3.1 过滤中子束

能谱测量和中子流(即:每秒通过探测器前平面的中子数)测定可用质子反冲谱仪或 ^3He 谱仪进行。为了校准尺寸大于束直径的仪表,应采用扫描方法来确定仪表对宽平行束中子的响应^{[16]、[17]}。

11.3.1.1 能散度

过滤束的能散度可以从小到约 1% (例如对 ^{238}U) 变化到约 30% (例如对 Sc) (FWHM)^[15]。

11.3.1.2 能量“污染”

在过速束谱中,除了所需能量之外,一般情况下,还存在其他能量的中子。它们的强度可能可以忽略,或者也可能很严重。例如:Sc 过速束中占4%~5%的高能中子注量“污染”,可以导致25%~30%的剂量当量“污染”。

11.3.2 热中子

热中子通常是使快中子在适当的慢化装置中(通常用石墨或重水做成)慢化来得到。为了用于校准,要求热中子束其他能量中子污染尽量少。从反应堆热柱可以得到合适的宽束热中子源。

校准位置的自由空气中的热中子注量率以及待检仪表所占体积范围内注量率分布的变化都应进行测量。金箔活化、BF₃和³He 正比计数器和裂变室以及与标准实验室合作标准化了的技术都是注量率测定的适用方法。从热柱上出来的注量谱可以假设为有一个1/E高能“尾巴”的Maxwell谱。谱特征用Maxwell温度和Cd比来表示¹⁾。应确定γ射线成分的影响。

在定向束情况下,应该在有仪表情况下测量整个仪表区域中而不是在校准位置上入射的热中子和过热中子注量率及其分布。

11.4 用加速器和反应堆中子源校准时不确定度的估计

在专门的设备优良的校准实验室,用于仪表校准的有加速器产生的单能中子、反应堆产生的中子和专门的放射性核素中子源。这些实验室都能很好地评估在这些中子场中校准中子灵敏仪表的不确定度,所以在本条中只作简单的叙述。

11.2中讨论过的大多数不确定度项都应予以考虑并评估相应不确定度分量大小。当用加速器产生中子时,还应考虑一些附加的不确定度分量。

11.4.1 中子能量和能散度

一般情况下,这项修正很小,其不确定度对合成不确定度的贡献可忽略。

11.4.2 能谱随发射角的变化

一般情况下,这项修正很小,相应的不确定度也很小。

11.4.3 靶散射修正

这项效应的不确定度依赖于修正值计算的准确度以及对被检仪表能量响应特性的了解程度,其大小可能达到计算修正值的25%。

11.4.4 中子散射效应

室散射效应修正的不确定度及其相关内容与10.1.5中所讨论的类似。

11.4.5 注量测定

进行这类校准的实验室应具有中子注量测量设备各项不确定度的详细资料。相对不确定度与使用的技术和中子能量有关,其值可以在2%~4%之间。

一般情况下,必须考虑下述效应:

- 室散射中子;
- 被检仪表与监测器之间的散射;
- 中子产额随角度的变化(均匀注量率);
- 中子能量随角度的变化(均匀能谱);
- 中子场的γ射线污染;
- 从靶底衬、束流管线的各个部件或偏转磁铁等处产生额外的中子;
- 靶室散射。

采用说明:

1) 采用时,删去以下一句,即:

见附录H中的文献^[18]和文献^[19]中的附录D。

校准装置的设计应使校准的合成不确定度达到最小。

11.5 合成不确定度

不确定度各分量按照标准统计方法合成得到合成不确定度。但应指出的是,考虑到仪表(特别是场监测仪表)将来的应用,没有必要做完整、严格的协方差分析。

附录 A
(标准的附录)
要检验的物理特性示意图表

试验等级	被检物理特性	标准制定者
型式试验	环境	IEC
	机械	IEC
	电子学(电子学 线性和死时间)	IEC
	能量响应	ISO, IEC
	角响应	IEC
	总的线性	ISO, IEC
常规校准	散射贡献	ISO
	γ-鉴别	ISO, IEC
	校准因子 (一个能量点)	ISO
运行检验	运行(一个能量 和一种剂量率)	ISO

附录 B
(标准的附录)
对体模的推荐

B1 常规校准和比对用体模

固体体模(材料:商业上可得到的有机玻璃)的尺寸至少为 30 cm×30 cm×15 cm,30 cm×30 cm 平面垂直于射束轴线。

源的中心到体模表面的距离 l 推荐为 75 cm。如果剂量计不是放在体模表面中心,应做反平方定律修正(见 7.4.3)。剂量计对子灵敏部分离体模边缘不得小于 10 cm。

B2 研究用体模

此种体模为充水的椭圆柱体,其底面为 30 cm×20 cm 的椭圆,至少 50 cm 高。它可用于研究更实际的照射条件,如测量剂量计在体模上的角响应。

B3 ICRU 球

ICRU 球(见 ICRU 33 号报告)是直径 30 cm 的组织等效球,对剂量计校准也是一种合适的体模(见 ICRU 33 号报告)。但 ICRU 还没有给出实际使用校准体模的导则,预计 ICRU 球将仍然只是作为计算

注量—剂量当量转换系数的一个数学模型,对实际校准ICRU 还是推荐按B1。

附录 C

(标准的附录)

两种放射性核素中子源的角源强特性

在以源的几何中心为原点的坐标系中中子发射通常是各向异性的。GB 14055—93 中给出了更完整的讨论及图表。通常角源强 $B_n(\theta)$ 随 θ 的变化对每一个源都是特有的,即使是相同类型和相同包壳的源也能呈现出可测量的差别。图 C1 和图 C2 给出了两种不同包壳的自发裂变 ^{252}Cf 源的测量值。

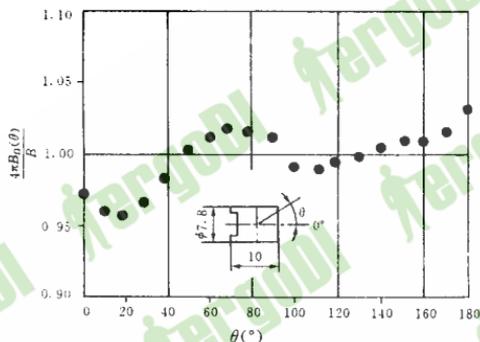


图 C1 小尺寸 ^{252}Cf 源以等效点源的角源强 $B/4\pi$ 归一的 $B_n(\theta)$ 随 θ 的变化图
(活性区近似尺寸: $\phi 4.6 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$)

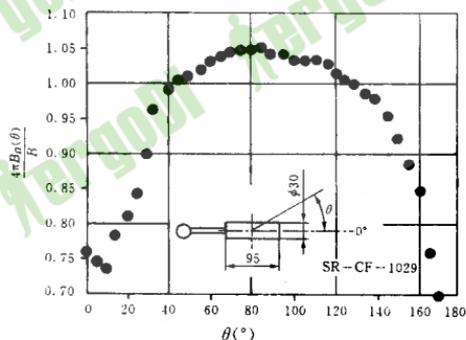


图 C2 高强度 ^{252}Cf 源以等效点源的角源强 $B/4\pi$ 归一的 $B_n(\theta)$ 随 θ 的变化图
(活性区近似尺寸: $\phi 3 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$)

附录 D

(标准的附录)

室散射占 40% 的最小房间尺寸^[10]

表 D1 给出了对 ISO 推荐的放射性核素中子源在源与探测器距离 $l=75$ cm 时室散射约为 40% 时的房间尺寸。表中数据包括两种类型仪表:典型的反照率剂量计或小的(5.1 cm~7.6 cm)Bonner 球以及典型周围剂量当量仪或大的(20.3 cm~25.4 cm)Bonner 球。

数据同时给出了三种房间类型:正方体($L=W=H$,其中:长— L ,宽— W ,高— H);半正方体,即正方形地面,高度只有宽度的一半($L=W=2H$);类半正方体,即,形状为半正方体但有低散射屋顶。前面两种有六个混凝土表面,第三种是五个面。

注:40%室散射是指由于室散射影响仪表读数 M 增加了 40%,而不是注量或剂量当量增加了 40%。

表 D1 40%室散射的最小房间尺寸($l=75$ cm)

m

类 型	中 子 源		
	AmBe 或 AmB	裸 ²⁵² Cf	慢化 ²⁵² Cf
正方体房间($L=W=H$)			
小球或反照率剂量计	8.2	7.5	4.2
大球或剂量当量仪	3.0	3.0	3.0
半正方体房间($L=W=2H$)			
小球或反照率剂量计	12.1	10.9	6.1
大球或剂量当量仪	4.3	4.4	4.4
开放性屋顶($L=W=2H$)			
小球或反照率剂量计	8.0	7.1	4.2
大球或剂量当量仪	2.9	2.9	3.0

附录 E

(标准的附录)

空气减弱修正因数和总空气散射修正

E1 空气减弱修正因数

假定空气中只含有氮和氧,则空气减弱(外散射)修正因数是:

$$F_A(l, E) = \exp[l\Sigma(E)] \\ = \exp\{[3.88 \sigma_N(E) + 1.04 \sigma_O(E)]10^{-2}l\} \dots\dots\dots (E1)$$

环境条件:温度 21 C,压力 100.4 kPa,湿度 50%。

式中: l ——源中心与仪表中心之间的距离,cm;

σ_N 和 σ_O ——氮和氧单能中子场的中子全截面(例如,取自 ENDF/B-V 评价数据库),它们是中子能量的函数;

Σ ——氮、氧的中子全截面对源的中子谱分布取平均得到的线性减弱系数。

表 E1 中给出了常用放射性核素中子源(见 GB 14055—93)在上述条件下的线性减弱系数平均值。

GB/T 17437—1998

表 E1 GB 14055—93 推荐的放射性核素中子源谱平均的线性减弱系数 Σ

中子源	线性减弱系数 $\Sigma, 10^{-7} \text{cm}^{-1}$
带有半径为 15 cm 的 D_2O 慢化体的 ^{252}Cf	2 964
^{252}Cf 自发裂变	1 055
$\text{AmB}(\alpha, n)$	833
$\text{AmBe}(\alpha, n)$	890
注: 估计 1σ 的不确定度为: $\pm 1.5\%$	

E2 总的空气散射修正

总的空气散射修正见表 E2。

表 E2 对几种 ISO 推荐的放射性核素中子源和几种中子测量仪表^[1]的空气散射(内散射减外散射)响应净增量的计算值

响应类型	每米增加量			
	^{252}Cf 裸	慢化 ^{252}Cf (15 cm D_2O)	AmBe	AmB
NTA 胶片, 聚碳酸酯	0.5%	0.9%	0.5%	0.5%
最大剂量当量响应(ICRP21)	1.2%	1.4%	0.8%	0.9%
典型剂量当量率计	1.2%	2.6%	0.9%	1.0%
典型反照率剂量计(体模上)	1.2%	3.7%	1.0%	0.8%
注量	1.4%	4.4%	1.0%	1.0%
比释动能(ICRU 肌肉组织)	1.2%	1.1%	0.6%	0.8%

附录 F

(标准的附录)

有关影锥结构和使用的标准

影锥尺寸的适当选择与使用者的实验几何条件有关。图 F1 给出了一种影锥的具体设计, 它由两部分组成: 前段 20 cm 长的铁, 后段 30 cm 长的铁空心圆柱台, 内充满含硼多于 5% 的石蜡或聚乙烯。前端直径的大小 B 取决于所用的中子源和中子靶的大小。当源尺寸大于探测器尺寸时, 前端直径应大于后端直径 A , 例如: 当采用重水慢化 ^{252}Cf 源和小的球形探测器时。

影锥对直接中子的透过率必须可忽略。以下所示的尺寸对 GB 14055—93 推荐的所有中子能量都合适。用于特殊能量的最佳影锥可以不同于上述尺寸。另外, 可能用其他材料更有优点, 如用铜代替铁。

影锥的正确使用应考虑以下几点:

首先, 在锥—中子源之间距离很小时由散入中子产生的读数偏低, 因为影锥有效地阻止了以中子探测器轴线为中心的向前半球产生的大多数中子散入到中子探测器。随着锥—中子源之间距离的增加, 由散入中子引起的读数增加并且在一定的距离范围内保持常数, 这范围与锥—探测器的距离有关。当锥—中子源距离进一步增大时, 读数将迅速增大, 因为锥已不能再完全遮掩探测器。

其次, 当探测器太接近影锥, 锥的后部挡住了散射中子的散入, 因此, 减少了散入中子引起的读数。读数不变的最短距离难以用实验测定, 但推荐测量距离应限制在锥的后表面与探测器之间的距离至少等于锥的整个长度。如果遵循这些规定, 可以得到总散入不确定度小于 $\pm 3\%$ 的满意结果。

锥的锥度应使它的张角大于被检仪表的立体角, 但不大于这个立体角的两倍。这样完成一组测量就需要用几个影锥。

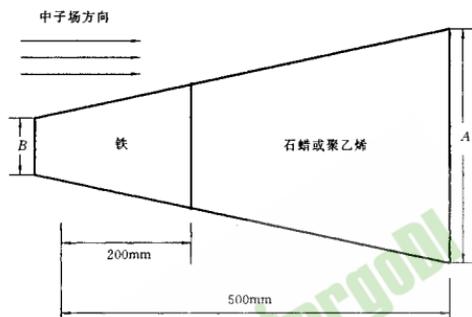


图 F1 影锥的结构尺寸

附录 G

(提示的附录)

符 号

GB 14055—93 所用的符号：

a : 面积;	K : 比释动能;
d_e : 中子注量—吸收剂量转换系数;	M : 仪表测量量的示值;
h_e : 中子注量—剂量当量转换系数;	N : 剂量当量定义中的修正因子;
k_e : 中子注量—比释动能转换系数;	N_A : 阿佛加德罗常数;
l : 距离;	N : 自发跃迁数;
m : 质量;	N' : 发射中子数;
dN : 入射到单位截面积的球上的中子数;	Q : 品质因数;
p : 同位素丰度;	R : 中子仪表响应;
t : 时间;	X : 照射量;
v : 中子速度;	α : 方位角;
A : 活度;	ϵ : 电离辐射授与能;
B : 中子源强;	ϕ : 中子注量率;
B_E : 中子源强的谱分布;	Φ : 中子注量;
B_{Ω} : 角源强;	Φ_E : 谱中子注量;
D : 吸收剂量;	ρ : 密度;
E : 中子能量;	σ : 反应截面;
E_0 : 裂变中子谱参数;	θ : 实验室角;
G : 仪表所测的量;	Ω : 立体角。
H : 剂量当量;	

附录 H

(提示的附录)

参 考 文 献

- [1] GRIFFITH, R., HANKINS, D. E., GAMMAGE, R. B. and TOMMASINO, L. (1979), Recent developments in personnel neutron dosimeters. A Review, *Health Physics* 36, p. 235.
- [2] EISENHAEUER, C. M., HUNT, J. B. and SCHWARTZ, R. B. (1985), Calibration techniques for neutron personal dosimetry, *Radiat. Prot. Dosimetry* 10, pp. 43—57.
- [3] BURGER, G. and SCHWARTZ, R. B. (1988), Guidelines on Calibration of Neutron Measuring Devices, *IAEA Technical Reports Series* No. 285.
- [4] IAEA (1985), Neutron Monitoring for Radiological Protection, *Technical Report Series* No. 252, IAEA, Vienna.
- [5] EISENHAEUER, C. M., and HUNT, J. B. (1988), Anisotropic Neutron Emission from a ^{252}Cf Source, *Radiat. Prot. Dosimetry* 22, pp. 253—258.
- [6] HUNT, J. B. (1984), The calibration of neutron sensitive spherical devices, *Radiat. Prot. Dosimetry* 8, pp. 239—251.
- [7] HUNT, J. B. (1976), The Calibration and Use of Long Counters for the Accurate Measurement of Neutron Flux Density, *NPL Report* RS5.
- [8] HUNT, J. B. (1989), Determination of the source-to-detector effective calibration distance for a $1/\nu$ -detector mounted upon a water-filled phantom, *Radiat. Prot. Dosimetry* 27, pp. 111—114.
- [9] ING, H. and Cross, W. G. (1975), Spectra and dosimetry of neutrons from moderation of ^{235}U and ^{252}Cf Fission Sources in H_2O , *Health Physics* 29, pp. 839—851.
- [10] EISENHAEUER, C. M. (1989), Review of scattering corrections for calibration of neutron instruments, *Radiat. Prot. Dosimetry* 28, pp. 253—262.
- [11] EISENHAEUER, C. M., SCHWARTZ R. B. and MCCALL, R. C. (1987), Effect of air scatter on calibration of instruments for detecting neutrons, *Radiat. Prot. Dosimetry* 19, pp. 77—84.
- [12] HUNT, J. B., CHAMPLONG, P., CHEMTOB, M., KLUGE, H. and SCHWARTZ, R. B. (1989), Intercomparison of Calibrations Carried Out at NIST, NPL, PTB, and CEA Using Two Different Survey Meters as Transfer Devices, *Radiat. Prot. Dosimetry* 27, pp. 103—110.
- [13] AXTON, E. J. (1986/87), Intercomparison of Neutron-Source Emission Rates (1979—1984),

Metrologia 23, pp. 129—144.

- [14] ALBERTS, W. G. , COSACK, M. , DIETZE, G. , JAHR, R. , KLUGE, H. , KNAUF, K. , LESIECKI, M. , MATZKE, M. , SCHUSTER, H. J. , WAGNER, S. and ZILL H. W. (1979), *Advances in Radiation Protection Monitoring, IAEA STI/PUB/494*, p. 625.
- [15] SCHWARTZ, R. B. (1977), Calibration and use of filtered beams, *Proc. Symp. on Neutron Standards and Applications. NBS Special Publication 493*, p. 250, US National Bureau of Standards.
- [16] ALBERTS, W. G. , and DIETZ, E. (1987), Filtered Neutron Beams at the FMRB—Review and Current Status, *PTBFMRB-112*, Braunschweig, December 1987.
- [17] ALBERTS, W. G. . and SCHWARTZ, R. B. (1985), Comparison of the filtered neutron beams at the NBS and PTB reactors by calibrating a spherical rem meter *Proc. Fifth Symposium Neutron Dosimetry in Biology and Medicine, EUR 9762*, pp. 629—636.
- [18] IAEA (1970), *Neutron Fluence Measurements. Technical Report Series No. 107, IAEA STI/DOC/10/107*, Vienna.
- [19] ISO 319:1992, *Quantities and units—Part 9: Atomic and nuclear physics.*
- [20] IEC 731, 1982: *Medical electrical equipment. Dosimeters with ionisation chambers as used in radiotherapy.*
- [21] ICRP Publication 51(1987): *Data for Use in Protection Against External Radiation*, *Annals of the ICRP Vol. 17.*
- [22] ICRP Publication 21 (1973): *Data for Protection Against Ionizing Radiation from External Sources.* (Supplement to ICRP Publication 15.)
- [23] ICRU Report 13 (1969): *Neutron Fluence, Neutron Spectra and Kerma.* International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington, D. C. , USA.
- [24] ICRU Report 20 (1971): *Radiation Protection Instrumentation and its Application.* International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington, D. C. . USA.
- [25] ICRU Report 26 (1977): *Neutron Dosimetry for Biology and Medicine.* International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington, D. C. , USA.
- [26] ICRU Report 33 (1980): *Radiation Quantities and Units.* International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington, D. C. , USA.

- [27] ICRU Report 39(1985): Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD, USA.
- [28] ICRU Report 43 (1988): Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources—Part 2. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD, USA.

