



中华人民共和国国家标准

GB/T 14959—94

个人中子剂量计的性能要求与刻度 (中子能量小于 20MeV)

Requirements of characteristics and
calibration for personal neutron dosimeters
(neutron energies less than 20 MeV)

1994-03-16 发布

1994-10-01 实施

国家技术监督局 发布

中华人民共和国国家标准

个人中子剂量计的性能要求与刻度
(中子能量小于 20MeV)

GB/T 14959-94

Requirements of characteristics and
calibration for personal neutron dosimeters
(neutron energies less than 20 MeV)

1 主题内容与适用范围

本标准规定了个人中子剂量计的性能要求与刻度方法。

本标准适用于测量中子能量为 20 MeV 以下的个人中子剂量计。

本标准不适用于临界事故测定的个人中子剂量计和肢端中子剂量计。

2 术语

2.1 个人中子剂量计(剂量计)

为确定个人接受的全身中子剂量当量而佩戴在人体躯干上适当位置的一个或多个测量装置。

2.2 剂量测定系统

是指剂量计加上有关的数据测量处理仪器以及为估计受照射个人接受的中子剂量当量值所需的技术。

2.3 剂量测定周期

是指为了确定剂量把剂量计分发给个人的时间间隔。

2.4 读数 M

剂量计的指示值。

2.5 响应 R

剂量计读数除以产生读数的量的约定真值。

中子注量响应 R_ϕ

$$R_\phi = \frac{M}{\phi} \dots\dots\dots(1)$$

式中: ϕ ——中子注量, cm^{-2} 。

中子剂量当量响应 R_H

$$R_H = \frac{M}{H} \dots\dots\dots(2)$$

式中: H ——中子剂量当量, Sv。

2.6 自由场

是指假定的没有散射或没有本底存在的辐射空间。

2.7 角源强 B_n

$$B_n = \frac{d\beta}{d\Omega} \dots\dots\dots (3)$$

式中： $d\beta$ ——中子源在 Ω 方向的 $d\Omega$ 立体角内，在单位时间内发射的中子数，秒球面度 ($s^{-1} \cdot sr^{-1}$)。

3 剂量测定系统的性能

3.1 剂量测定系统必须至少能测量 2 mSv 的季度累积中子剂量当量。因此，剂量测量系统的探测下限不得大于 2 mSv 除以每季度中剂量测定周期的数目。

3.2 剂量测定系统必须能测量到 0.1 Sv 的中子剂量当量。

3.3 通常中子与 γ 射线同时存在。在 γ 射线能量大于 500 keV，剂量为 0.03 Sv 的条件下，剂量测定系统必须能探测 0.01 Sv 的中子剂量当量。

3.4 剂量测定系统必须要有这样的精密度，当一组至少十个剂量计在相同条件下(中子剂量当量、中子能谱、体模等)受到大约 10 mSv 中子照射时，由这组剂量计测得的中子响应值的标准偏差不应大于 10%。用中子剂量当量的探测下限值照射时，这组剂量计测得的中子响应值的标准偏差不应大于 50%。

3.5 剂量测定周期的选择，必须使得剂量当量超过 5 mSv 时，剂量计响应的损失或衰退的修正在整个剂量测定周期内不大于 20%。

3.6 剂量计必须进行衰退效应的修正，衰退对估算剂量当量产生的误差不应大于 10%。

3.7 剂量计的能量响应很大，特别是反照率型个人中子剂量计。因此，用于刻度的中子源的能谱，应与使用时的中子能谱尽量一致。当难以确定中子能谱的情况下，要用其他办法确定中子剂量当量来进行个人中子剂量计的补充刻度。

3.8 剂量计在下述环境条件下应满足 3.1 和 3.4 条的要求：

- a. 在一周内温度极值为 0℃ 和 45℃；
- b. 在一周内相对湿度为 90%；
- c. 在剂量测定周期范围内，为正常的人工照明和日照；
- d. 能经受从 1.5 m 高跌落到一个坚硬的表面上。

4 刻度方法

4.1 一般原则

用放射性核素中子源进行个人中子剂量计的刻度较用加速器和反应堆更经济简便。本标准推荐使用下列四种放射性核素中子源，即 ^{252}Cf 中子源、重水慢化 ^{252}Cf 中子源、 $^{241}\text{Am-BE}(\alpha, n)$ 和 $^{241}\text{Am-B}(\alpha, n)$ 中子源。这四种中子源的中子注量-剂量当量换算系数由附录 A(补充件)给出。个人中子剂量计必须佩带在体模上进行刻度。

在自由场中剂量计的中子注量响应 R_n 可用以下公式表示：

$$R_n = \frac{M_i}{\phi} \dots\dots\dots (4)$$

式中： M_i ——已对空气、刻度室地板、天花板、墙壁和探测器等的中子散射贡献作过修正后的读数。

$$\phi = \frac{B_n}{l^2} \dots\dots\dots (5)$$

$$B_{0l} = \frac{BF_1(\theta)}{4\pi} \dots\dots\dots (6)$$

式中: l ——中子源到探测器的距离, m;

B ——中子源强度, s^{-1} ;

$F_1(\theta)$ ——中子源的方向性校正因子, 由附录 B(补充件)给出。

剂量当量响应 R_H :

$$R_H = \frac{R_f}{h_f} \dots\dots\dots (7)$$

式中: h_f ——中子注量与剂量当量的换算系数。

4.2 刻度装置的特性

4.2.1 中子源

刻度的放射性核素中子源应是球形或圆柱形的, 在后者情况下, 直径与长度最好相等, 使用时探测器应放在与圆柱轴向垂直的位置。中子源的包壳对中子源的能谱和角分布的影响应尽可能小, 否则, 其影响必须是已知的。源的支撑物应该用不含氢的材料做成, 并要尽可能轻些。剂量率变化范围为三个数量级(从 $10 \mu Sv/h \sim 10 mSv/h$)。仅用改变距离的方法是达不到上述要求的, 需备有两个以上不同强度的中子源。

4.2.2 支撑装置

支撑装置用于把被刻度的剂量计放置在已知的距离和角度。支撑物要牢固, 尽量减少散射。改变源到探测器的距离尽可能用移动探测器的方法来实现。

4.2.3 辐照房间

剂量计对室散射中子的响应随房间的大小、形状、结构材料的不同而变化。室散射中子的贡献应尽可能低, 室散射中子引起读数的增加不应大于 40%, 见附录 C(参考件)。

4.3 散射中子的来源

4.3.1 为了使不同实验室刻度的结果有可比性, 必须对散射引起剂量计读数的变化进行修正。室散射中子占中子散射的主要部分。实验室的中子散射过程比较复杂, 它对剂量计读数的影响需通过理论计算确定, 也可进行实验测量。

4.3.2 中子源发射的中子与空气产生核反应而被减弱, 空气衰减随探测器到中子源之间距离的增加而近似线性地增大。

4.3.3 空气内散射

空气内散射中子是指探测器与中子源联线之外的被空气散射进入探测器而可能被记录的中子。空气内散射的相对值也随探测器到中子源之间距离的增加而近似线性地增大。

4.3.4 支架的散射

支架材料应尽可能轻, 少用或不用含氢物质。特别要注意减少最靠近中子源或探测器支架部分的质量。

4.3.5 能谱效应

所有散射的中子能谱与中子源的初始能谱不同, 因此, 散射中子对剂量计读数的相对贡献依赖于剂量计的能量响应特性。

4.4 有效测量点

4.4.1 有效测量点是指仪器内的某一假想点, 在该点上仪器可用点探测器代替, 即自由场的中子响应

是中子源中心到有效测量点之间距离的函数,并遵守距离反平方定律。一般来说,有效测量点在探测器中的位置取决于剂量计的几何形状,并与入射中子的能量与方向有关。

4.4.2 个人中子剂量计应佩带在体模上进行刻度,体模的前平面应垂直于中子源与体模表面中心的连线,对每个剂量计刻度时剂量放置在体模表面的中心位置。剂量计与中子源中心的距离为 I_0 ,通常选取 I_0 等于 75 cm。如果前平面上放置多个剂量计同时进行刻度,各剂量计到中子源中心的距离 I 可表示为:

$$I = (I_0^2 + \Delta^2)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(8)$$

式中: Δ ——剂量计中心到体模前平面中心的距离,m。

4.5 光子辐照效应

必须测定剂量计对 γ 射线的响应及测定 γ 射线对中子响应的影响。刻度时也要估算中子源本身的 γ 射线贡献。通常用 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 和其他合适的 γ 源来测定光子辐照效应。

5 散射效应的修正

5.1 初始测量

室散射中子对剂量计的影响依赖于剂量计的类型、刻度室的结构和大小、仪器与源之间的距离等。本标准用改变探测器到中子源距离的方法,建立起一组初始测量值,用半经验公式求出散射中子的贡献。

5.2 半经验公式

半经验公式的基本思路是室散射中子的贡献可通过剂量计读数偏离距离反平方定律求出。源中子加散射中子产生的剂量读数 $M_T(I)$ 应满足下列方程式:

$$\frac{M_T(I)}{\phi(1+AI)} = R_s(1+S I^2) \dots\dots\dots(9)$$

式中: A ——空气散射总效应,见附录 D(参考件);

S ——单位刻度距离时室散射中子的贡献,用百分比表示。

上述方程成立条件是:

- a. 刻度室的最大尺寸小于 12 m;
- b. 刻度室是立方体或近似立方体;
- c. 源到探测器的最小距离大于源加探测器直径之和。最大距离应使室散射中子的贡献小于 10%;
- d. 源是各向同性或接近各向同性。

初始测量对不同距离 I 得到一组 $M_T(I)$,把方程式(9)的左边作为纵坐标, I^2 为横坐标,作图得到一直线,直线在纵坐标的截距为 R_s ,通过直线斜率求出 S 。

6 常规刻度

6.1 常规刻度不必重复初始测量的测量步骤,而采用求得的 R_s 和 S 值在若干位置上进行测量校对。

6.2 线性测定

每一个数量级范围内测量二到三个点,用两个或两个以上不同强度的中子源。所有测量数据必须对中子散射效应进行修正。

6.3 角响应测定

确定测量计对中子入射角度的影响,中子源与探测器的距离至少三倍于中子源与探测器最大尺寸之和。

7 不确定度的估计

7.1 表示测量结果必须给出其不确定度。本标准不确定度用一倍的标准偏差表示。

7.2 估计不确定度应考虑以下因素:

- a. 中子源强的不确定度由基准实验室给定,它对总不确定度的贡献较小;
- b. 中子源方向性函数 $F_1(\theta)$ 的不确定度为 0.5% 或更小;
- c. 刻度装置给出距离的不确定度可达到 1 mm,对总不确定度影响可忽略不计;
- d. 散射修正对剂量的测量结果的总不确定度影响很大,一般估计,散射中子测量结果的不确定度约 10%;
- e. 辐照时间的不确定度只要取放中子源的时间远小于辐照时间,它可以不考虑;
- f. 中子注量-剂量当量换算系数的不确定度对 ^{252}Cf 中子源是 1%,对其他三种中子源(慢化 ^{252}Cf , $^{241}\text{Am-Be}$, $^{241}\text{Am-B}$)均为 4%。

GB/T 14959-94

附录 A
中子注量与剂量当量的换算系数
(补充件)

A1 四种中子源中子注量与剂量当量的换算系数。

表 A1 中子注量与剂量当量的换算系数(取中子能谱平均值)

中子源	注量-剂量当量换算系数 $\bar{h}_s, \text{Sv/cm}^2$
^{252}Cf	3.4×10^{-10}
^{252}Cf (重水慢化球直径 30 cm)	9.1×10^{-11}
$^{241}\text{Am-Be}$	3.9×10^{-10}
$^{241}\text{Am-B}$	3.8×10^{-10}

附录 B
两种中子源方向性校正因子 $F_1(\theta)$
(补充件)

B1 两种中子源方向性校正因子 $F_1(\theta)$ 用不同角度的角源强特性表示。

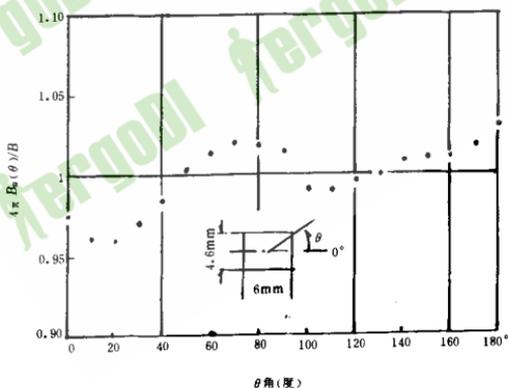


图 B1 ^{252}Cf 的角源强特性
(^{252}Cf 源的有效尺寸: 直径 4.6 mm, 长度 6 mm)

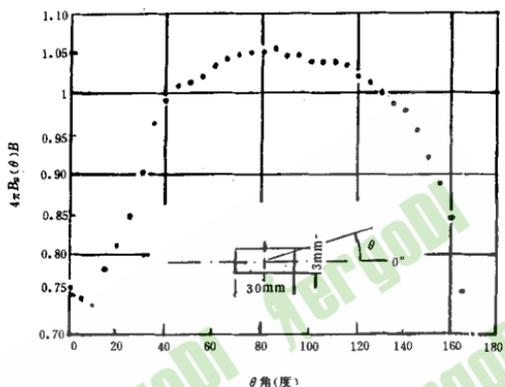


图 B2 高强度²⁵²Cf 的角源强特性
(²⁵²Cf 的有效尺寸: 直径 3 mm, 长度 30 mm)

附录 C
辐照房间的尺寸要求
(参考件)

C1 室散射中子引起读数数值 M 增加不大于 40% 时, 与此相应的辐照房间的最小尺寸。

表 C1 辐照房间的最小尺寸(中子源到探测器的距离为 75 cm)

m

辐照房间类型	中子源		
	²⁴¹ Am-Be	²⁵² Cf(慢化)	²⁵² Cf
正方体($L=W=H$)	8.2	7.5	4.2
半立方体($L=W=2H$)	12.1	10.9	6.1
无天花板($L=W=2H$)	8.0	7.1	4.2

注: L —长; W —宽; H —高。

附录 D
空气散射总效应
(参考件)

D1 计算得到的空气散射对中子响应的增值(空气内散射减去空气衰减)。

GB/T 14959-94

表 D1 空气散射总效应 A

%

剂量计类型	中子响应的增值			
	²⁴¹ Cf	²⁵² Cf (重水慢化球直径 15 cm)	Am-Be	Am-B
核乳胶	0.5	0.9	0.5	0.5
反照率型	1.2	3.7	1.0	0.8

附加说明:

本标准由中国核工业总公司提出。

本标准由中国原子能科学院负责起草。

本标准主要起草人刘锦华、苏静玲。