

GBZ

中华人民共和国国家职业卫生标准

GBZ 207—2008

外照射个人剂量系统性能检验规范

Testing criteria of personnel dosimetry performance

2008-03-12 发布

2008-10-01 实施



中华人民共和国卫生部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 术语和定义	1
3 性能检验考核	1
4 测试或考核结果的给出	3
5 考核结果的判定	5
6 常规性能检验	5
7 性能检验中的质量控制	6
附录 A(规范性附录) 检验类型及其相关参数	8
附录 B(资料性附录) 照射用辐照源的性能	9
附录 C(资料性附录) 不确定度的计算	11
附录 D(规范性附录) 检验模体及照射条件	14
附录 E(资料性附录) 从空气比释动能到深部和浅表个人剂量当量的转换系数	15

前 言

根据《中华人民共和国职业病防治法》制定本标准。

本标准第7章及附录为推荐性,其余为强制性。

本标准的附录A、附录D是规范性附录,附录B、附录C和附录E是资料性附录。

本标准由卫生部放射卫生防护标准专业委员会提出。

本标准由中华人民共和国卫生部批准。

本标准起草单位:中国医学科学院放射医学研究所。

本标准主要起草人:张良安、张梦龙、丁艳秋、武权、寇明英、杨翊。

外照射个人剂量系统性能检验规范

1 范围

本标准规定了外照射个人剂量系统的性能检验、考核及常规性能检验的要求以及性能检验中的质量控制。

本标准适用于对外照射个人剂量监测技术服务机构所用个人剂量系统的性能检验考核和常规性能检验。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

2.1 辐照检验室 irradiating laboratory, IL

具有辐照源、校准设备和相关设施的一个检验室,由这个实验室照射给出的个人剂量当量值的相对不确定度应优于5%(95%置信水平)。

2.2 检验参与者 testing participator

拟申请或具有开展个人剂量监测服务资质、并接受检验组织对其所用个人剂量系统实施性能检验考核的技术服务机构。

2.3 检验组织 testing organization

由职业卫生主管部门指定的、独立于检验参与者以外的一个组织或机构,主要负责对检验参与者所用个人剂量系统的性能进行考核。检验组织可以有自己的辐照检验室(IL),也可利用符合条件的其他辐照检验室(IL)。

2.4 浅表和深部吸收剂量 $D_p(0.07)$ 和 $D_p(10)$ shallow and deep absorbed dose

指在 $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 15\text{cm}$ 板型模体中特定深部的吸收剂量。对弱贯穿辐射浅表吸收剂量的参考深部是 $d=0.07\text{mm}$,对强贯穿辐射深部吸收剂量的参考深部是 $d=10\text{mm}$ 。 $D_p(d)$ 的单位: $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$;专门名称:“戈瑞”;符号:“Gy”。

2.5 浅表和深部个人剂量当量 $H_p(0.07)$ 和 $H_p(10)$ shallow and deep personal dose equivalent

指在 $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 15\text{cm}$ 板型模体中特定深部的个人剂量当量。对弱贯穿辐射浅表个人剂量当量的参考深部是 $d=0.07\text{mm}$,对强贯穿辐射深部个人剂量当量的参考深部是 $d=10\text{mm}$ 。 $H_p(d)$ 的单位: $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$;专门名称:“希沃特”;符号:“Sv”。

2.6 事故剂量 accident dosimetry

一般指因事故造成且高于 0.1Gy 的剂量,该剂量水平有可能引发并能观察到确定性效应。因此,事故剂量要用深部(10mm)吸收剂量 $D_p(10)$ 表示。

2.7 参考剂量点 reference dose point, RDP

特定的辐射场内的一点。为检验方便,RDP 选定在模体表面。

2.8 残留最大能量 residual maximum energy, E_{res}

参考剂量点处已进行散射和吸收修正后的 β 粒子能量谱的最大值。

2.9 允许水平 tolerance level, L

为个人剂量计或个人剂量系统的性能设定的可接受水平。

3 性能检验考核

3.1 性能检验考核

在技术服务机构开展个人剂量监测服务前,由检验组织按第3章~第5章要求对技术服务机构所

GBZ 207—2008

用个人剂量系统实施性能检验考核。在开展服务期间也应定期进行这种考核,考核周期以每3年~4年一次为宜。

3.2 考核程序和时限

3.2.1 检验参与者可按其技术能力,选择表 A.1 中所列检验类型中的一类或几类检验。

3.2.2 检验参与者应在检验组织规定的时限(通常为几个月)内按 3.3.1 的要求,将足够数量的剂量计提供给检验组织,并提供以下信息:

- a) 就送检剂量计能够代表客户所用剂量计的说明。
- b) 剂量计照射时的特殊要求,如对剂量计在模体上的方向性的简单描述。
- c) 若检验参与者希望给出不同于参考剂量点的其他特定点的剂量值时,应予以说明;等等。

3.2.3 检验组织应在收到剂量计后 45 天内,按 3.3~3.5 选用合适的照射源和照射角度、条件和适当的模体,对剂量计进行照射并将已照射的剂量计返回给检验参与者。

除对 I 类(事故光子)和 V 类(中子-光子)的检验应分别标明其检验类型外,检验组织不得在公布检验结果之前,向检验参与者泄漏其他任何信息。

3.2.4 检验参与者应在收到已照射的剂量计后 45 天内,按第 4 章要求给出已照射剂量计的测量值,并作为考核结果向检验组织报告。

3.2.5 检验组织应在收到检验参与者的报告后 30 天内,按第 5 章要求对检验参与者所报的考核结果进行判定,并向检验参与者通报判定结论。

3.3 剂量计的照射

3.3.1 照射分组

每类检验要求检验参与者送检 15 个剂量计和 3 个跟随本底剂量计。15 个剂量计等分成 5 个照射组,在不同的辐射场中受照射。此外,还应根据需要提供一定数量的备用剂量计,以便用于替换。

3.3.2 照射条件

- a) 对 I 类(事故光子)检验时,除 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 各一组照射外,另外三组照射参考表 B.1 的辐照场。
- b) 对 II 类(光子)检验时,除 γ 能量 $\geq 500\text{keV}$ 一组照射外,另外四组照射参考表 B.1 的辐照场。
- c) 对 III 类(β)检验时,除 β 能量 $\geq 500\text{keV}$ 和 $< 500\text{keV}$ 的照射至少各一组外,另外三组照射参考表 B.2 的辐照场。
- d) 对 IV 类(β -光子混合场)检验时,除 γ 能量 $\geq 500\text{keV}$ 、 β 能量 $\geq 500\text{keV}$ 和 $< 500\text{keV}$ 各一组照射外,另外二组照射参考表 B.2 的辐照场。
- e) 对 V 类(中子-光子混合场)检验时,其中一组是随机选用 D_2O 慢化的或未经慢化的 ^{252}Cf 中子源照射,一组用高能光子($\geq 500\text{keV}$)照射,其他三组照射参考表 B.1 的辐照场。

3.3.3 照射角度

- a) 对 γ 辐射场,当辐照能量低于 70keV 时,应使用垂直入射的方式照射剂量计。在平均能量大于 70keV 时,照射的入射角度应在 $0^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ 中适当选择。
- b) 对 β 辐射场、 β -光子混合场和中子-光子混合场照射,应使用垂直入射的方式照射剂量计。

3.3.4 选择照射的量

- a) 对 I 类(事故光子)检验选用吸收剂量,其他类检验选用个人剂量当量。
- b) 各组照射的剂量数值由检验组织按附录 A 中给定的范围选定,且选定的最大剂量点的个人剂量当量应小于最小剂量点设定值的 3 倍。

3.4 照射用的辐照源

3.4.1 ^{137}Cs 和(或) ^{60}Co γ 射线源

这些源可以是带有准直器的射线束,也可以是无屏蔽的在自由空气中的射线束,其照射条件应通过测量和验证,给出的 $H_p(d)$ 的相对扩展不确定度应在 5% 以内(相对扩展不确定度计算方法参见附录 C)。

3.4.2 恒定电压的 X 射线源

X 射线机的管电压范围至少覆盖 30kV 到 300kV,其连续 X 射线谱的参考性能参数见附录 B。这些照射条件应通过测量和验证,给出的 $H_p(d)$ 的相对扩展不确定度应在 5% 以内。

3.4.3 ^{241}Am 源

该源应为窄束谱光子源,给出的 $H_p(d)$ 的相对扩展不确定度应在 5% 以内。

3.4.4 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β 粒子源

该源具有一个吸收 ^{90}Sr β 粒子的 $100\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 过滤片,给出的 $H_p(d)$ 的相对扩展不确定度应在 5% 以内,并应当满足以下条件:

- 残留最大能量 $\geq 1.80\text{MeV}$ 。
- 模体(见附录 D)内 $100\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 处的吸收剂量 $D(1)$ 除以模体内 $7\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 处的吸收剂量 $D(0.07)$ 的商应在 $0.98\sim 1.04$ 范围内。
- 模体内 $1000\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 处的吸收剂量 $D(10)$ 应当小于模体内 $7\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 处的吸收剂量 $D(0.07)$ 的 1%。

3.4.5 ^{204}Tl 和(或) ^{85}Kr β 粒子源

该源给出的 $H_p(d)$ 的相对扩展不确定度应在 5% 以内,并应满足以下条件:

- 残留最大能量 $\geq 0.53\text{MeV}$ 。
- 模体内 $20\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 处的吸收剂量 $D(0.2)$ 除以模体内 $7\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 处的吸收剂量 $D(0.07)$ 的商在 $0.75\sim 0.85$ 范围内。

3.4.6 ^{252}Cf 中子源

它可以裸用,也可以在直径是 30cm 的 D₂O 慢化球的中心,表面覆盖有 $0.05\text{cm}\pm 0.003\text{cm}$ 的镅,给出的 $H_p(d)$ 的相对扩展不确定度应在 8% 以内。

3.5 模体的应用

3.5.1 模体

光子和中子的性能检验应当在一个组织等效的 PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯异丁烯酸盐)薄板模体上进行,模体的具体要求见附录 D。

3.5.2 剂量计在模体上的布放方法

- 模体前端面的几何中心应在照射线束的中心轴线上。
- 应将剂量计安放在模体表面,剂量计的灵敏面应面向辐照源,在模体上的布放应尽可能与实际应用情况一致(见附录 D)。
- 检验剂量计照射时,剂量计的背部平面应平行于模体表面。
- 垂直入射是垂直于模体正面的入射;非垂直入射的入射角 α 是一个连线(模体中心与射线束中心线的连线)与模体正面的垂直线(过模体中心)间的夹角。
- 辐照源中心与模体正面中心的距离,对 ^{241}Am 源: $\geq 0.5\text{m}$,对其他光子源: $\geq 1\text{m}$;对 β 源: $\geq 0.3\text{m}$;对中子源: 0.5m 。
- 照射时可以选择同时辐照几个剂量计,但应注意布放剂量计的辐照场的均匀性,应注意保持这些剂量计间的吸收剂量(或个人剂量当量)的不确定度应尽可能的低。
- 剂量元件灵敏体积的边界与模体边缘的距离,对光子照射: $\geq 7.5\text{cm}$;对中子照射: $\geq 10\text{cm}$ 。

4 测试或考核结果的给出

4.1 光子

4.1.1 深部个人剂量当量 $H_p(10)$

对于给定的光子谱, $H_p(10)$ 按式(1)赋值。

$$H_p(10) = \bar{c}_{rd, \alpha} K_{\alpha} \dots \dots \dots (1)$$

GBZ 207—2008

式中:

κ_a ——无模体时模体正面中心处的空气比释动能;

$\bar{c}_{ad,a}$ ——从空气比释动能到深部个人剂量当量的转换系数,参见附录 E。

4.1.2 浅表个人剂量当量 $H_p(0.07)$

对于给定的光子谱, $H_p(0.07)$ 按式(2)赋值。

$$H_p(0.07) = \bar{c}_{ad,a} \kappa_a \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\bar{c}_{ad,a}$ ——从空气比释动能到浅表个人剂量当量的转换系数,参见附录 E。

4.1.3 事故(吸收)剂量 $D_p(10)$

对于给定的光子谱, $D_p(10)$ 按式(3)赋值。

$$D_p(10) = \bar{c}_{ad,a} \kappa_a \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\bar{c}_{ad,a}$ ——从空气比释动能到事故(吸收)剂量的转换系数。

这个值在数值上与空气比释动能到深部个人剂量当量的转换系数相等,应注意的是,此时的转换系数无量纲。

4.2 β 粒子

浅表个人剂量当量 $H_p(0.07)$,按式(4)赋值。

$$H_p(0.07) = D_p(0.07) \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$D_p(0.07)$ ——模体中 0.07mm 处的吸收剂量。

4.3 中子

中子源所致深部个人剂量当量应是中子本身及其伴生 γ 射线所致深部个人剂量当量之和。其中:

a) 中子所致深部个人剂量当量,用式(5)赋值。

$$H_p(10) = \bar{c}_\phi \phi_n \dots\dots\dots (5)$$

式中:

ϕ_n ——在模体参考剂量点(RDP)处空气中测定的中子注量;

\bar{c}_ϕ ——由中子注量换算成深部个人剂量当量的转换系数。

对于 D_2O 慢化的 ^{252}Cf 源, \bar{c}_ϕ 为 $91pSv \cdot cm^2$;对未慢化的 ^{252}Cf 源, \bar{c}_ϕ 为 $340pSv \cdot cm^2$ 。

b) 中子源伴生 γ 射线所致深部个人剂量当量,应按式(6)赋值。

$$H_p(10) = \bar{c}_\phi \phi_n \eta, \dots\dots\dots (6)$$

式中:

η ——中子源伴生的 γ 射线的深部个人剂量当量率与中子个人剂量当量率的比值。

η 与房间的几何尺寸和照射距离有关,表 B.3 中列出了典型值的例子。

4.4 混合场

混合辐射场的浅表(或深部)个人剂量当量是每一种辐射浅表(或深部)个人剂量当量的相加。

4.5 修正

a) 当剂量计中心偏离射线轴时,应考虑对个人剂量当量值进行修正。

b) 如果要求在特定模体位置赋值,而不是按参考剂量点 RDP 赋值,则应对两者间的差异进行修正。

4.6 不确定度

4.6.1 没有特别说明时,本标准中的不确定度是指相对扩展不确定度,其具体评定方法参见附录 C。

4.6.2 检验组织应给出每组照射的扩展不确定度,其具体要求如下:

a) 对光子源,包含因子取 $k=3$,95%置信限水平,扩展不确定度应 $\leq 5\%$ 。

- b) 对 β 源, 包含因子取 $k=2$, 95% 置信限水平, 扩展不确定度应 $\leq 5\%$ 。
c) 对 中子源, 包含因子取 $k=2$, 95% 置信限水平, 扩展不确定度应 $\leq 8\%$ 。

5 考核结果的判定

5.1 判定指标

5.1.1 单组性能 P_i

P_i 是对第 i 照射组剂量计单组性能的判定指标, 按式(7)计算。

$$P_i = [H'_i - H_i] / H_i \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

H_i ——辐照检验室给出的第 i 组剂量计的个人剂量当量值;

H'_i ——检验参与者报告的第 i 组剂量计的个人剂量当量值。

对于事故剂量, 采用式(7)的方法计算, 但应用吸收剂量(D)替换个人剂量当量(H)。

5.1.2 偏离 B

偏离 B 是对每一类型检验的综合判定指标, 用式(8)计算。

$$B = \bar{P} = (1/n) \sum_{i=1}^n P_i \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

n ——每类检验中的照射组数;

\bar{P} ——该类检验中全部 n 个照射组的单组性能 P_i 的平均值。

本检验规范中, $n=5$ 。

5.1.3 综合标准偏差 s

s 是每一类型检验中各照射组单项性能 P_i 的标准差, 用式(9)计算。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (P_i - \bar{P})^2}{4}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中各符号及其含义同于式(8)。

5.2 判定方法

5.2.1 单组性能 P_i 的判定

不同检验类型可设有不同的允许水平 L , 其值可从表 A.1 中查得。对于某一特定检验类型, 当 $|P_i| \leq L$ 时, 则判定该类型的第 i 照射组的单组性能为合格; 如同一类型单组性能检验不合格的组数 ≥ 2 时, 则判定个人剂量系统对该类型的单组性能检验不合格。对 I 类(事故光子)检验时, 不作后一项(浅表)判定。

5.2.2 综合性能的判定

对于某一特定检验类型, 如满足式(10)时, 则判定个人剂量系统对该类型的综合性能检验为合格。

$$|B| + S \leq L \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中, 允许水平 L 的取值见表 A.1。综合性能的判定不适用于单组性能检验, 仅适用于个人剂量系统的性能检验和比对。

5.2.3 单组性能或综合性能判定中, 只要有一种不合格的就应判定该个人剂量系统性能不合格。

6 常规性能检验

6.1 常规性能检验

技术服务机构在开展个人剂量监测服务期间, 应按本章要求自行对其所用个人剂量系统定期进行常规性能检验。常规性能检验周期为 6 个月。

GBZ 207—2008

6.2 精确度和准确性

- 6.2.1 个人剂量系统的精确度和准确性检验,通常用单能光子¹³⁷Cs和⁶⁰Co校准源进行。
- 6.2.2 应在不同的剂量水平下检验个人剂量检测系统的精确度(单次测量结果的检验标准差, $u_A(x_i)$,其计算方法参见附录C)和准确性(读数值与约定真值偏离的平均值)。
- 6.2.3 精确度和准确性均应 $\leq 10\%$ 。

6.3 最低可探测水平

- 6.3.1 应对个人剂量系统的最低可探测水平(MDL)进行检验。

6.3.2 MDL 检验程序

- 取一致性控制在5%以内的剂量元件10个,进行常规退火处理。
- 将已退火处理后的元件放置在不加其他附加辐射场的天然本底环境中,放置周期应与用于服务监测的周期一致。
- 按常规测量程序测读10个剂量元件,用附录B的方法计算测读值 x_i 的 $u_A(x_i)$ 。
- 应用式(11)计算MDL。

$$\text{MDL} = 3 \times u_A(x_i) \quad \text{..... (11)}$$

- 6.3.3 当个人剂量系统的MDL变化大于10%时,应查其原因,并在修复后方可开展服务。

6.4 线性

- 6.4.1 应对每批剂量元件(以 j 表示批次),间隔6个月做一次线性检验。

6.4.2 第 j 批剂量元件线性检验程序

- 取一致性控制在5%以内的剂量元件30个,进行常规退火处理。
- 每5个剂量元件为一组,共分6个组(以 i 表示组别),其中一组留作本底,另外五组分别照射0.1,0.4,2,10,50mSv。
- 按常规程序测读30个剂量元件,计算每组扣本底测量值的均值(d_{ji})。
- 用式(12)计算第 j 批的线性误差(e_j):

$$e_j = \sum_i \frac{1}{5} \left| 1 - \frac{d_{ji}}{D_{ji}} \right| \times 100\% \quad \text{..... (12)}$$

式中:

d_{ji} —— j 批第 i 组的个人剂量当量测量均值;

D_{ji} —— j 批第 i 组的个人剂量当量照射值。

- 6.4.3 线性误差(e_j) $> 10\%$ 时,这批剂量元件不宜用于个人剂量监测服务。

7 性能检验中的质量控制

7.1 个人剂量元件的一致性选择

一批新的个人剂量元件使用前,或在其使用3次后,均应对该批元件进行一致性选择,选择时的精确度应控制在 $\pm 5\%$ 以内。只有经过一致性选择的同一批剂量元件才能使用同一个刻度因子。

7.2 个人剂量系统的条件优化选择

在个人剂量系统正式使用前,以及个人剂量系统或其测读系统发生改变时,均应对影响测读结果的主要因素(高压、加热或光激方式、读数时期和周期等)进行条件优化选择。优化选择时,可以按式(13)计算目标量 T 值,并选择 T 值最小时的工作条件为系统的最佳条件。

$$T = \frac{3u_A}{R_1} \quad \text{..... (13)}$$

式中:

R_1 ——照射1mGy时的测量读数值;

u_A ——本底(未经照射)测量值的A类不确定度(参见附录C)。

7.3 设备状态检查

7.3.1 在进行一项测量任务的前后,均应检查测读设备的状态,只有状态正常时,才能正式测读个人剂量元件,并应做好状态记录。

7.3.2 约 50 次测量后,需使用已知照射量辐照了的剂量元件进行测量。当其测量误差的绝对值大于 10%时,应当停机查找原因,问题解决后再开始测量。



GBZ 207—2008

附 录 A
(规范性附录)
检验类型及其相关参数

检验类型及其相关参数见表 A. 1。

表 A. 1 检验类型、照射的剂量范围和允许水平

检验类型		照射的剂量范围	允许水平(L)	
编号	项目		深部	浅表
I	事故光子	0.1Gy~5Gy	0.3	不检验
II	光子	0.3mSv ~100mSv	0.4	0.4
III	β	1.5mSv ~100mSv	不检验	0.4
IV	B-光子混合	2.0mSv~100mSv	0.4	0.4
V	中子-光子混合	1.5mSv~50mSv	0.4	不检验

附录 B
(资料性附录)
照射用辐照源的性能

B.1 照射用辐照源的性能见表 B.1、表 B.2、表 B.3。

表 B.1 光子线束的技术特性^a

线束编码	附加滤片 mm ^b				半值层 mm		均匀系数 ^c		平均能量 keV	FWHM ^d keV
	Al	Cu	Sn	Pb	Al	Cu	Al	Cu		
HK30	0.52				0.38	0.013	63	72	20	13
HK60	3.2				2.42	0.079	74	72	36	26
HK100	3.9	0.15			6.56	0.3	81	64	57	43
HK200		1.15			14.7	1.7	95	71	100	87
HK250		1.6			16.6	2.47	96	75	120	106
HK280		3			18.6	3.37	98	84	145	79
HK300		2.5			18.7	3.4	97	82	145	121
WS60		0.3				0.18		86	44	21
WS80		0.5				0.35		80	56	29
WS110		2				0.96		86	79	40
WS150			1			1.86		89	104	57
WS200			2			3.08		93	137	78
WS250			4			4.22		96	172	96
WS300			6.5			5.2		97	206	115
NS20	1				0.32		86		16	52
NS30	4				1.15		88		24	7.5
NS40		0.21				0.084		92	33	9.9
NS60		0.6				0.24		92	47	17
NS80		2				0.58		94	65	21
NS100		5				1.11		95	83	23
NS120		5	1			1.71		97	100	28
NS150			2.5			2.36		96	117	28
NS200		2	3	1		3.99		99	164	49
NS250			2	3		5.19		99	208	58
NS300			3	5		6.12		100	251	68
LK30	4	0.18			1.47		99		26	5.5
LK35		0.25			2.2		99		30	6.8
LK55		1.2				0.25		99	47	11
LK70		2.5				0.49		99	60	14
LK100		0.5	2			1.24		99	86	19
LK125		1	4			2.04		99	109	23

GBZ 207—2008

续表

线束编码	附加滤片 mm ^b				半值层 mm		均匀系数 ^c		平均能量 keV	FWHM ^d keV
	Al	Cu	Sn	Pb	Al	Cu	Al	Cu		
LK170		1	3	1.5		3.47		99	148	28
LK210		0.5	2	3.5		4.54		100	185	34
LK240		0.5	2	5.5		5.26		100	213	37
²⁴¹ Am									59	
¹³⁷ Cs									662	
⁶⁰ Co									1 250	

^a 本表的特性参数为 ISO 特性光子束,引自 ANS/HPS N13.11-2001。
^b LK30, NS20-NS30 和 HK30 的固有滤过大约是 1.0mm Be,其他的固有滤过已调到 4mm Al。
^c 均匀系数是第一半值层与第二半值层之比乘 100。
^d 连续能谱曲线上的半高宽。

表 B.2 β 粒子源和场的特性

β 源	半衰期 a	滤片	平均能量 MeV	残留最大能量 MeV	D(0.2)/D(0.07)	D(1)/D(0.07)	D(10)/D(0.07)
²⁰⁴ Tl	3.78	一个半径 4cm、厚度 50μm 的 PET 片,外加一片同中心的半径 2.75cm、厚度 190μm 的 PET 片	0.25	0.53	0.80±0.05	—	—
⁸⁶ Kr	10.77	一个半径 4cm、厚度 50μm 的 PET 片,外加一片同中心的半径 2.75cm、厚度 190μm 的 PET 片	0.26	0.53	0.80±0.05	—	—
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	28.78	—	0.84	1.80	—	1.01±0.03	<0.01

注:PET 片即组织等效的聚乙烯对苯二酸酯片。

表 B.3 中子源和场的特性

中子源	半衰期 a	平均能量 MeV	中子发射率/单位质量 s ⁻¹ kg ⁻¹	1m ^a 处中子剂量当量率/单位质量 Sv s ⁻¹ kg ⁻¹	γ 光子与中子剂量当量率的比值 η
²⁵² Cf(D ₂ O 慢化)	2.65	0.55	2.1×10 ¹⁵	1.5	0.18
²⁵² Cf	2.65	2.13	2.4×10 ¹⁵	6.5	0.05

^a 1m 指距中子源中心点的距离。

附录 C
(资料性附录)
不确定度的计算

C.1 两类不确定度

一般来说,检测的数据有 2 种:一种是没有误差的准确值(如测量的次数,一个小组的人数等);另一种检测的数据总含有一定的误差,例如,个人剂量检测。这时,用精确度表示在相同条件下进行检测的可重复性,用准确度表示检测结果与真值的接近程度,由于这种情况下精确度和准确度都不可能为 0,测量结果不可能绝对准确,这种测量结果的不准确程度就用不确定度来表征。不确定度包括 A 类不确定度和 B 类不确定度。

C.1.1 A 类不确定度 u_A

u_A 是一组观测值(x_1, x_2, \dots, x_n)的测量平均值的标准差 $\sigma(\bar{x})$ 。理论上讲,测量样本量增加时,A 类不确定度会减少。A 类不确定度的典型来源是:

- a) 剂量元件灵敏度非一致性。
- b) 零剂量时剂量元件读数的变异。
- c) 由于灵敏度和本底引起的剂量元件读数的变异。

C.1.2 B 类不确定度 u_B

u_B 不会因重复测量而减少。通常 B 类标准不确定度的主要来源如下:

- a) 剂量元件的能量依赖性。
- b) 剂量元件的方向依赖性。
- c) 响应的非线性。
- d) 探测器的信号衰退、湿度及温度的依赖性。
- e) 光照射影响。
- f) 非电离辐射对剂量元件测量结果的影响。
- g) 机械振动影响。
- h) 校准误差。
- i) 不同地区天然本底辐射影响的差异。

C.2 A 类不确定度及其评定方法

对随机变量 x_i 进行 n 次独立的等精度测量得到的测量值为: x_1, x_2, \dots, x_n , 其算术平均值计算见式 (C.1)。

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots\dots\dots (C.1)$$

则单次测量结果的检验标准差见式 (C.2)。

$$u_A(x_i) = s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (C.2)$$

用式 (C.3) 计算测量平均值的不确定度。

$$u_A(\bar{x}) = s(\bar{x}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (C.3)$$

GBZ 207—2008

C.3 B类不确定度的评定方法

在个人剂量检测时, B类标准不确定度的典型分布假设为直角几率密度分布, 因某一影响因素 i 的参数变异 a_i 引起的 B类标准不确定度可用式(C.4)计算。

$$u_{B,i} = \frac{a_i}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (C.4)$$

当影响因素不止一个时, 可用式(C.5)计算总的 B类不确定度 U_B 。

$$u_B = \sqrt{\sum_i u_{B,i}^2} = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_i a_i^2} \dots\dots\dots (C.5)$$

几种常见情况下 a_i 的确定:

- a) 仪器示值误差(Δ_m)已知的情况, $a = \Delta_m$
 表盘式仪表, a 为最小分度值的一半;
 数字式仪表, a 为末位数最小分度的一个单位。
- b) 能测量或已知 B类来源的变异范围
 给出量是单向时; 例如, 校准扩展不确定度为 U , $a = U$;
 给出量是双向时; 例如, LiF TLD 剂量元件的能量响应为 $\pm 10\%$, 则 $a = \text{量的均值} \times 10\%$ 。

C.4 A类和B类的合成标准不确定度的评定方法

合成标准不确定度可用式(C.6)和式(C.7)计算。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \dots\dots\dots (C.6)$$

或

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + \frac{1}{3} \sum_i a_i^2} \dots\dots\dots (C.7)$$

假设个人剂量监测的合成不确定度 u_c 服从正态分布, 可直接用式(C.7)估算一个剂量系统的不确定度, 其相应的置信水平为 67%。要获得高的置信水平, 应当将合成不确定度 u_c 乘以一个包含因子 k , 见式(C.8)。

$$U = \kappa u_c = \kappa \sqrt{u_A^2 + \frac{1}{3} \sum_i a_i^2} \dots\dots\dots (C.8)$$

通常称 U 为扩展不确定度。在其计算中和结果表述中, 均应清楚标明包含因子 κ 的取值。在个人剂量系统性能检验中, 通常只有辐照检验室的照射参考值, 其扩展不确定度的包含因子取 $k=3$; 其余均取 $k=2$ 。

出具的扩展不确定度的有效数字, 一般取 2 位。在个人剂量监测领域, 扩展不确定度既可以用绝对形式, 也可以用相对形式报告。

C.5 不确定度评定举例

某次 TLD 平行样品测量, 一共测了 6 次, 其读数分别为:

29.18 28.19 27.27 28.25 26.26 27.24 mGy

剂量元件的能量响应为 $\pm 5\%$; 角度响应为 $\pm 3\%$; 非线性为 $\pm 2\%$; 校准的不确定度为 2%。其他 B类不确定度影响可以忽略。

a) A类不确定度计算

$$\bar{x} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 x_i \approx 27.7 \text{ (mGy)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \approx 1.019 \text{ (mGy)}$$

$$u_A = S(\bar{x}) = \frac{S(x_i)}{\sqrt{6}} = \frac{1.019}{2.449} \approx 0.416 \text{ (mGy)}$$

b) B类不确定度计算

剂量元件的能量响应为±5%，因此， $a_{\text{能量}} = 27.7 \times 5\% \approx 1.39 \text{ (mGy)}$ ；

剂量元件的角度响应为±3%，因此， $a_{\text{角度}} = 27.7 \times 3\% \approx 0.83 \text{ (mGy)}$ ；

剂量元件的非线性为±2%，因此， $a_{\text{线性}} = 27.7 \times 2\% \approx 0.55 \text{ (mGy)}$ ；

校准的不确定度为2%，因此， $a_{\text{校准}} = 27.7 \times 2\% \approx 0.55 \text{ (mGy)}$ 。

$$u_B = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_i a_i^2} = \sqrt{\frac{1}{3} (1.39^2 + 0.83^2 + 0.55^2 + 0.55^2)} \approx 1.04 \text{ (mGy)}$$

c) 扩展不确定度计算

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0.416^2 + 1.04^2} \approx 1.12 \text{ (mGy)}$$

取 $k=2$ (置信水平为 95%)

$$U_{0.95} = 2 \times 1.12 \approx 2.2 \text{ (mGy)}$$

$$\frac{U_{0.95}}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{2.2}{27.7} \times 100\% \approx 7.9\%$$

d) 测量结果表述

平均值 $\bar{x} = 27.7 \text{ mGy}$

$k=2$, 95% 可信水平

扩展不确定度 $U_{0.95} = 2.2 \text{ mGy}$

相对扩展不确定度 7.9%

平均值的 95% 可信范围为: [25.5 mGy, 29.9 mGy]

最后三行是不确定度的不同表述方式, 可取其一。

GBZ 207—2008

附录 D
(规范性附录)
检验模体及照射条件

D.1 检验模体

个人剂量计性能检验用的模体应是组织等效板模、腕模或指模。

- a) 板模: 30cm×30cm×15cm, 见图 D.1 中 a), 一般用于人体配带的剂量计测量。
- b) 腕模: 直径为 7.3cm, 高为 30cm 的圆柱, 见图 D.1 中 b), 用于手腕个人剂量监测。
- c) 指模: 直径为 1.9cm, 高为 30cm 的圆棒, 见图 D.1 中 c), 用于手指个人剂量监测。

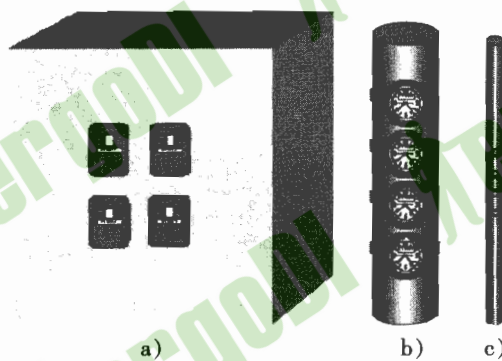


图 D.1 个人剂量计性能检验中使用的三种模体

D.2 照射条件

- a) 在辐照场可用于检定和检验照射的范围内, 在靠近边界但不影响检定和检验照射的某一位置固定安装监测电离室(图 D.2)。
- b) 检定和检验照射的参考剂量点与辐射源之间的距离应大于或等于 2m。
- c) 斜向照射见示意图 D.2 中的 b)。当 $\alpha=0^\circ$ 时, 为垂直照射条件。
- d) 在照射源照射束中心轴线上参考剂量点处, 可以使用作为次级标准用的仪器验证该处的自由空气比释动能, 见图 D.2 中的 a)。

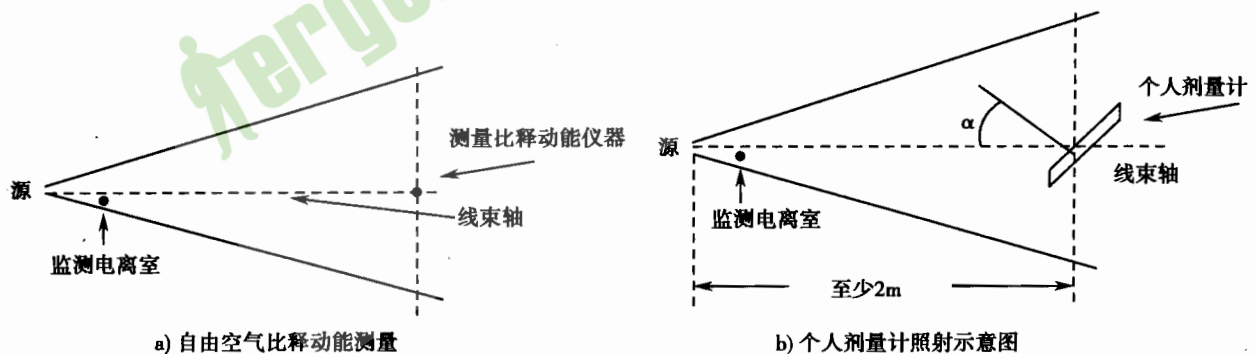


图 D.2 个人剂量计照射方法示意图

附录 E

(资料性附录)

从空气比释动能到深部和浅表个人剂量当量的转换系数

对于不同入射角 α 从空气比释动能到深部和浅表个人剂量当量的转换系数见表 E.1。

表 E.1 从空气比释动能到深部和浅表个人剂量当量的转换系数(Sv/Gy)

线束编码	深部个人剂量当量转换系数($\bar{c}_{R,d,\alpha}$)			浅表个人剂量当量转换系数($\bar{c}_{R,s,\alpha}$)		
	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=40^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=40^\circ$	$\alpha=60^\circ$
HK30	0.39	0.32	0.20	1.01	1.00	0.99
HK60	1.19	1.07	0.86	1.29	1.27	1.22
HK100	1.68	1.56	1.31	1.58	1.53	1.46
HK200	1.75	1.66	1.46	1.62	1.59	1.54
HK250	1.67	1.59	1.43	1.56	1.55	1.51
HK280	1.60	1.54	1.39	1.51	1.51	1.48
HK300	1.59	1.53	1.39	1.51	1.50	1.48
WS60	1.55	1.42	1.18	1.49	1.44	1.37
WS80	1.77	1.65	1.39	1.64	1.58	1.50
WS110	1.87	1.76	1.52	1.71	1.67	1.59
WS150	1.77	1.68	1.49	1.64	1.61	1.56
WS200	1.65	1.57	1.42	1.55	1.53	1.50
WS250	1.54	1.49	1.36	1.47	1.47	1.45
WS300	1.47	1.44	1.33	1.42	1.43	1.43
NS20	0.27	0.20	0.09	0.98	0.98	0.97
NS30	0.79	0.68	0.49	1.10	1.09	1.07
NS40	1.17	1.06	0.85	1.27	1.24	1.19
NS60	1.65	1.52	1.27	1.55	1.50	1.42
NS80	1.88	1.76	1.50	1.72	1.66	1.58
NS100	1.88	1.76	1.53	1.72	1.68	1.60
NS120	1.81	1.71	1.51	1.67	1.63	1.58
NS150	1.73	1.64	1.46	1.61	1.58	1.54
NS200	1.57	1.51	1.38	1.49	1.49	1.46
NS250	1.48	1.44	1.33	1.42	1.43	1.43
NS300	1.42	1.40	1.30	1.38	1.40	1.40
LK30	0.91	0.79	0.60	1.14	1.13	1.10
LK35	1.09	0.98	0.77	1.22	1.20	1.16
LK55	1.67	1.54	1.29	1.57	1.52	1.43
LK70	1.87	1.75	1.49	1.71	1.65	1.56
LK100	1.87	1.76	1.53	1.71	1.67	1.60
LK125	1.77	1.68	1.49	1.64	1.61	1.56
LK170	1.62	1.55	1.41	1.53	1.52	1.49
LK210	1.52	1.47	1.36	1.45	1.46	1.44
LK240	1.47	1.44	1.33	1.42	1.43	1.42
²⁴¹ Am	1.89	1.77	1.50	1.72	1.66	1.57
¹³⁷ Cs	1.21	1.20	1.16	1.21	1.23	1.24
⁶⁰ Co	1.17	1.16	1.14	1.18	1.18	1.19

注:本表材料取自 ANSI/HPS N13.11-2001。