

GBZ

中华人民共和国国家职业卫生标准

GBZ/T 148—2026

代替 GBZ/T 148—2002

中子外照射个人监测方法标准

Standard for individual monitoring methods of neutron external exposure

2026-06-26 发布

2027-01-01 实施

中华人民共和国国家卫生健康委员会 发布

前 言

本标准为你推荐性标准。

本标准代替GBZ/T 148—2002《用于中子测井的CR39中子剂量计的个人剂量监测方法》，与GBZ/T 148—2002相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了标准适用范围（见第1章，2002年版的第1章）；
- b) 更改了部分术语和定义（见第3章，2002年版的第3章）；
- c) 增加了监测的一般要求（见第4章）；
- d) 增加了 ^6LiF 、 ^7LiF 热释光探测器和热释光反照率剂量计的一般特征（见5.3、5.4）；
- e) 增加了中子个人剂量计的使用要求（见5.5、5.6、5.7、5.8）；
- f) 更改了CR-39中子剂量计化学蚀刻要求（见6.1.1、2002年版的5.1）；
- g) 更改了CR-39中子剂量计径迹观测要求（见6.1.2、2002年版的5.2）；
- h) 增加了CR-39中子剂量计结果计算和最低探测水平计算方法（见6.1.3、6.1.4）；
- i) 增加了 ^6LiF 、 ^7LiF 热释光反照率中子剂量计的测量程序（见6.2）；
- j) 删除了测量要求（见2002年版的第6章）；
- k) 增加了质量保证（见第7章）；
- l) 增加了记录、档案和报告（见第8章）。

本标准由国家卫生健康标准委员会放射卫生标准专业委员会负责技术审查和技术咨询，由中国疾病预防控制中心负责协调性和格式审查，由国家卫生健康委职业健康司负责业务管理、法规司负责统筹管理。

本标准起草单位：江苏省疾病预防控制中心、中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所、中国医学科学院放射医学研究所、广东省职业病防治院、河南省第三人民医院（河南省职业病医院）、江西省职业病防治研究院。

本标准主要起草人：王进、史晓东、陈维、丁艳秋、翟贺争、杨小勇、郭玮珍、缪雨季、程远博、邓磊。

本标准于2002年首次发布为GBZ/T 148—2002，本次为第一次修订。

中子外照射个人监测方法标准

1 范围

本标准描述了使用CR-39中子剂量计和 ^6LiF 、 ^7LiF 热释光反照率中子剂量计的中子外照射个人监测方法。

本标准适用于涉及产生中子辐射的工作场所、核设施以及其他存在中子最大能量不超过20MeV的工作场所中工作人员的中子外照射个人监测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GBZ 128 职业性外照射个人监测规范

GBZ 207 外照射个人剂量系统性能检验规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

固体核径迹探测器 solid state nuclear track detector; SSNTD

用固体膜片记录带电粒子的探测器。

注：常用材料包括云母、玻璃、聚碳酸酯、硝化纤维素和醋酸纤维素等。带电粒子穿过探测器时，造成一定密度的辐射损伤，经适当处理，形成可观测的径迹。

3.2

CR-39 径迹探测器 CR-39 track detector

用烯丙基二甘醇碳酸酯(ADC，商品名CR-39)制成的固体核径迹探测器。

3.3

化学蚀刻 chemical etching

固体核径迹探测器的辐射损伤经过化学试剂蚀刻形成可观察径迹的过程。

3.4

热释光反照率中子剂量计 thermoluminescent albedo neutron dosimeter

探测来自人体受中子照射后产生的低能中子(反照率中子)的热释光剂量计。

3.5

最低探测水平 minimum detectable level; MDL

用于评价测量仪器探测能力的统计量值，在给定的置信度下，一种测量方法能够探测出的区别于本底值的最小量值。

3.6

名义剂量 notional dose

在个人剂量监测中，当工作人员佩戴的剂量计丢失、损坏或其他原因得不到读数或所得读数不能正确反映工作人员所接受的剂量时，用其他方法赋予该剂量计应有的剂量估算值。

4 一般要求

4.1 监测的量和单位

中子外照射个人监测的量为 $H_p(10)$ ，适用于体表下10 mm深处的器官或软组织的监测，在工作人员 $H_p(10)$ 小于个人剂量限值且受到的中子场照射可视为全身均匀照射时，该值可用于有效剂量评价，单位为毫希沃特（mSv）。

4.2 监测类型

监测类型可分为常规监测、任务相关监测和特殊监测，相关定义参见GBZ 128。

4.3 监测周期或频次

4.3.1 常规监测的周期应综合放射工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素。常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月。

4.3.2 任务相关监测和特殊监测应根据辐射监测实践的需要进行。

4.4 监测系统溯源

中子个人剂量监测系统应根据有关规定进行检定或校准，取得有效的检定或校准证书，监测结果应有溯源性。

5 剂量计及其使用

5.1 CR-39 径迹探测器应具备对辐射敏感、高透明度、结构均匀、热固性稳定和低本底等特性，探测器通常呈片状。

5.2 典型的CR-39 中子剂量计由硬质塑料外壳及CR-39 径迹探测器组成，剂量计的外形通常为长方体，探测器正面对应位置安装有聚乙烯等含氢元素的慢化体薄片，薄片下方放置探测器。

5.3 ^6LiF 、 ^7LiF 热释光探测器一般由 ^6LiF （Mg,Cu,P）和 ^7LiF （Mg,Cu,P）两种探测器组成，探测器通常呈片状。

5.4 典型的 ^6LiF 、 ^7LiF 热释光反照率中子剂量计由含硼聚乙烯外壳与成对使用的 ^6LiF 、 ^7LiF 热释光探测器组成，剂量计背面留有反照率中子进入的窗口。 ^6LiF 、 ^7LiF 热释光探测器置于窗口上方。

5.5 当工作场所的中子剂量与光子剂量的比值不超过10%时，可只用光子剂量计测定光子剂量，然后根据光子剂量监测结果和两者粗略比值计算总剂量；当中子剂量与光子剂量的比值超过10%时，宜分别测定中子和光子的个人剂量当量，然后计算总剂量。

5.6 剂量计选择：选择剂量计时应考虑工作场所辐射场的特征和剂量计的能量响应范围，剂量计的典型性能参数见本标准附录A。工作场所的中子能量不大于200 keV时，宜使用 ^6LiF 、 ^7LiF 热释光反照率中子剂量计进行中子个人剂量当量测定，中子能量大于200 keV时，宜使用CR-39 中子剂量计进行中子个人剂量当量测定。

5.7 剂量计佩戴：当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。热释光反照率中子剂量计佩戴时宜尽可能贴近体表并使正面朝外。

5.8 非工作期间，中子个人剂量计应存放在不受任何人工电离辐射照射且通风干燥的地点，并在该地点存放至少1个剂量计作为本底剂量计。

6 测量程序

6.1 CR-39 中子剂量计测量程序

6.1.1 化学蚀刻

6.1.1.1 典型的蚀刻装置由恒温水箱和蚀刻容器组成。蚀刻装置应保持蚀刻液的温度和浓度的恒定，有一定密封性。恒温水箱的温度稳定性应控制在 $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ 内。蚀刻容器由耐腐蚀的不锈钢或玻璃制成。

6.1.1.2 常用蚀刻条件：蚀刻剂通常为氢氧化钠（NaOH）水溶液，蚀刻剂浓度为6.25 mol/L，蚀刻时间为2 h~12 h，蚀刻温度为70 $^\circ\text{C}$ ~90 $^\circ\text{C}$ 。优化的蚀刻条件，可采用正交法由试验确定其所用的蚀刻剂的浓度、蚀刻时间和蚀刻温度。

6.1.1.3 径迹探测器在蚀刻装置蚀刻后，用适量清洗液（蒸馏水等）清洗，经晾干后，放于阴凉、干燥处保存，并做好防尘措施。

6.1.2 径迹观测

6.1.2.1 径迹测读系统宜由光学显微镜和图像分析系统组成。

6.1.2.2 径迹密度通常采用视域读法,适用径迹密度通常在 10^3 trs/cm²~ 10^6 trs/cm²范围内。对于使用图像分析系统自动测读的情况,应保证测读时使用的径迹识别条件与刻度时一致。

6.1.2.3 宜定期检查测读系统的稳定性,相对偏差应小于20%。

6.1.3 结果计算

中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 按照公式(1)计算。

$$H_p(10) = (n_T - n_b) \cdot F \quad (1)$$

式中:

$H_p(10)$ ——中子个人剂量当量,单位为毫希沃特(mSv);

n_T ——测量探测器径迹密度,单位为径迹数每平方厘米(trs/cm²);

n_b ——本底探测器径迹密度,单位为径迹数每平方厘米(trs/cm²);

F ——刻度系数,单位为毫希沃特每径迹数平方厘米[mSv/(trs/cm²)].

6.1.4 最低探测水平计算

先按照公式(2)计算中子 $H_p(10)$ 测量的判断阈。

$$L = k_{1-\alpha} \cdot \omega \cdot \sqrt{N_b \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right)} \quad (2)$$

式中:

L ——中子 $H_p(10)$ 测量的判断阈,单位为毫希沃特(mSv);

$k_{1-\alpha}$ ——标准正态分布中累积概率为 $1-\alpha$ 的分位数(概率 α 为预设放射性不存在的错误判断几率, $\alpha=0.05$ 时, $k_{1-\alpha}=1.645$);

ω ——中间变量,按公式(3)计算;

N_b ——本底探测器径迹数的均值,单位为径迹数(trs);

n ——本底探测器个数。

$$\omega = \frac{F}{S} \quad (3)$$

式中:

ω ——中间变量;

F ——刻度系数,单位为毫希沃特每径迹数平方厘米[mSv/(trs/cm²)];

S ——探测器的有效面积,单位为平方厘米(cm²)。

再按照公式(4)计算中子 $H_p(10)$ 测量的最低探测水平。

$$MDL = \frac{2 \cdot L + k^2 \cdot \omega}{1 - k^2 \cdot u_{rel}^2(\omega)} \quad (4)$$

式中:

MDL ——中子 $H_p(10)$ 测量的最低探测水平,单位为毫希沃特(mSv);

L ——中子 $H_p(10)$ 测量的判断阈,单位为毫希沃特(mSv);

k —— $\alpha=0.05$ 时, $k=k_{1-\alpha}=1.645$;

ω ——中间变量,同公式(3);

$u_{rel}(\omega)$ ——中间变量 ω 的相对标准不确定度,按照公式(5)计算。

$$u_{rel}(\omega) = \sqrt{u_{rel}^2(F) + u_{rel}^2(S)} \quad (5)$$

式中:

$u_{rel}(\omega)$ ——中间变量 ω 的相对标准不确定度;

$u_{rel}(F)$ ——刻度系数 F 的相对标准不确定度;

$u_{rel}(S)$ ——探测器的有效面积 S 的相对标准不确定度。

6.2 ⁶LiF、⁷LiF 热释光反照率中子剂量计测量程序

6.2.1 使用前退火

6.2.1.1 对于 LiF (Mg,Cu,P) 探测器, 退火炉最高温度不低于300 °C, 温度稳定性控制在±1 °C以内。

6.2.1.2 对于 LiF (Mg,Cu,P) 探测器, 典型退火条件为240 °C持续10 min后速冷至室温。

6.2.2 测量

6.2.2.1 测量前要先对探测器进行预热, 对于 LiF (Mg,Cu,P) 探测器, 典型预热条件为135 °C持续5 s~15 s。

6.2.2.2 根据探测器的测定峰值温度确定探测器的测量温度, 对于 LiF (Mg,Cu,P) 探测器, 典型读出条件为240 °C持续10 s~20 s。

6.2.3 结果计算

中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 按照公式(6)计算。

$$H_p(10) = [(M_6 - B_6) - P \cdot (M_7 - B_7)] \cdot N \cdots \cdots (6)$$

式中:

$H_p(10)$ ——中子个人剂量当量, 单位为毫希沃特 (mSv);

M_6 ——测量剂量计中 ^6LiF 探测器的测量值;

B_6 ——本底剂量计中 ^6LiF 探测器的测量均值;

P —— ^6LiF 探测器相对于 ^7LiF 探测器对 γ 射线响应的比值, 由检定获得;

M_7 ——测量剂量计中 ^7LiF 探测器的测量值;

B_7 ——本底剂量计中 ^7LiF 探测器的测量均值;

N ——刻度系数, 单位为毫希沃特每测量值 (mSv/测量值)。

6.2.4 最低探测水平计算

先按照公式(7)计算中子 $H_p(10)$ 测量的判断阈。

$$L = k_{1-\alpha} \cdot N \cdot \sqrt{M_7 \cdot P \cdot (P + 1) + B_6 \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right) + B_7 \cdot P \cdot \left(\frac{P}{n} - 1\right) + (M_7 - B_7)^2 \cdot P^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(P)} \cdots \cdots (7)$$

式中:

L ——中子 $H_p(10)$ 测量的判断阈, 单位为毫希沃特 (mSv);

$k_{1-\alpha}$ ——是标准正态分布中累积概率为 $1-\alpha$ 的分位数 (概率 α 为预设放射性不存在的错误判断几率, $\alpha=0.05$ 时, $k_{1-\alpha}=1.645$);

N ——刻度系数, 单位为毫希沃特每测量值 (mSv/测量值);

M_7 ——测量剂量计中 ^7LiF 探测器的测量值;

P —— ^6LiF 探测器相对于 ^7LiF 探测器对 γ 射线响应的比值, 由检定获得;

B_6 ——本底剂量计中 ^6LiF 探测器的测量均值;

B_7 ——本底剂量计中 ^7LiF 探测器的测量均值;

n ——本底探测器个数;

$u_{\text{rel}}(P)$ —— P 值的相对标准不确定度, 由检定获得。

再按照公式(8)计算中子 $H_p(10)$ 测量的最低探测水平。

$$\text{MDL} = \frac{2 \cdot L + k^2 \cdot N}{1 - k^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(N)} \cdots \cdots (8)$$

式中:

MDL——中子 $H_p(10)$ 测量的最低探测水平, 单位为毫希沃特 (mSv);

L ——中子 $H_p(10)$ 测量的判断阈, 单位为毫希沃特 (mSv);

k —— $\alpha=0.05$ 时, $k=k_{1-\alpha}=1.645$;

N ——刻度系数, 单位为毫希沃特每测量值 (mSv/测量值);

$u_{\text{rel}}(N)$ ——刻度系数 N 的相对标准不确定度。

7 质量保证

7.1 基本原则

7.1.1 质量保证应始终贯穿于监测的全过程。

7.1.2 制定完备的个人监测计划，制定个人监测计划时，同时制定质量保证计划；宜定期参与实验室间比对。

7.1.3 质量保证至少应符合以下要求：

- a) 对相关人员进行技术培训，培训合格的人员经授权后方可进行监测工作；
- b) 选用符合要求、工作正常的剂量计、设备和仪器；
- c) 定期检定/校准和维护使用的设备和仪器；
- d) 定期比对选用的测量方法；
- e) 按照测量系统的使用要求控制实验室环境条件；
- f) 按本标准的要求记录和保存监测数据。

7.2 监测系统的质量控制

7.2.1 对使用的个人剂量探测器进行适当筛选，以控制其分散性。

7.2.2 剂量测量系统的质量控制按 GBZ 207 的要求进行。

7.3 实施监测过程的质量保证

7.3.1 制定并严格遵守剂量计发放、佩戴、运输、回收和保存等环节的操作规程。

7.3.2 在个人监测中，按下述要求进行数据处理：

- a) 使用适宜的统计学方法，以尽量减少数据处理过程中可能产生和积累的测量误差；
- b) 注意测量数据有效数字的正确表示，数据有效数字的位数恰当反映该测量值的准确度；
- c) 在现场用复查的方法，或使用适宜的统计学方法剔除异常数据，在剔除异常数据的同时，检查和分析其产生原因，并记录。

7.4 不确定度要求

7.4.1 当监测的剂量水平接近或超过调查水平时，其相对标准不确定度不超过 50%（95%置信水平）。

7.4.2 当监测的剂量水平低于调查水平时，可进一步放宽对不确定度的要求，直到相对标准不确定度不超过 150%（95%置信水平）。

7.4.3 不确定度和监测结果的计算示例见本标准附录 B。

8 记录、档案和报告

8.1 记录

8.1.1 一般要求如下：

- a) 记录包括：预处理、测量、校准、个人监测结果、质量保证和剂量评价等内容，必要时应包括工作场所监测的结果；
- b) 应清楚、扼要、准确地记录完整监测过程；
- c) 宜采用多种方式备份监测记录，妥善保存原始记录数据，便于在剂量估算方法变化时，对剂量数据的复核。

8.1.2 外照射个人监测结果记录在统一的表格上，内容应符合 GBZ 128 的要求。

8.1.3 当工作人员职业外照射个人监测结果（中子剂量与光子剂量之和）超过调查水平时，应进行调查，单周期的调查水平为 5 mSv/（年监测周期数）。调查内容包括：

- a) 个人剂量计是否曾经被打开或被水浸泡；
- b) 个人剂量计是否曾经被留置于放射工作场所内；
- c) 是否曾经佩戴个人剂量计接受过放射性检查；
- d) 是否曾经佩戴个人剂量计扶持接受放射性检查的受检者；
- e) 是否参与过非自身职责范围内的含源装置维修工作；
- f) 如果不是以上原因，佩戴期间工作量较前期是否明显增加；
- g) 其他原因。

8.1.4 名义剂量的确定如下。

- a) 当剂量计丢失、损坏、因故得不到读数或所得读数不能正确反映工作人员所接受的剂量时，确定其名义剂量，并将名义剂量及其确定方法记入监测记录。

- b) 根据具体情况合理选择以下方法之一确定名义剂量：
 - 1) 用同时间佩戴的即时剂量计记录的即时剂量估算剂量；
 - 2) 用同时间场所监测的结果推算剂量；
 - 3) 用同一监测周期内从事相同工作的工作人员接受的平均剂量；
 - 4) 用工作人员上一年度受到的平均剂量，即名义剂量=上一年度剂量×监测周期（ d ）/365；
 - c) 佩戴周期超过3个月的剂量计的记录：其剂量用名义剂量给出，并给出适当说明；报告中可给出实际结果，但应说明此结果不符合本标准规范。
- 8.1.5 当工作人员的外照射个人监测结果小于MDL值时，报告中的监测结果表述为<MDL。为便于职业照射统计，在相应的剂量档案中记录为MDL值的一半。

8.2 档案和报告

个人剂量档案保存要求和个人剂量监测报告要求参见GBZ 128。

附 录 A
(资料性)
剂量计典型性能参数

CR-39中子剂量计和⁶LiF、⁷LiF热释光反照率中子剂量计的典型性能参数见表A.1。

表A.1 中子剂量计的典型性能参数

剂量计类型	试验特性	典型性能
CR-39中子剂量计	能量响应	0.2 MeV~20 MeV
	非线性的相对响应	-15%~18%
	变异系数 (v) ^a	$H_p(10) < 1 \text{ mSv}$: $[40 \cdot 30 \cdot H_p(10)]\%$ $H_p(10) \geq 1 \text{ mSv}$: 10%
	对入射角度的响应 (r) ^b	入射角度0°: $0.3 \cdot (1-\varepsilon) + 0.3 \leq r \leq \varepsilon + 1.7$ 入射角度30°: $0.3 \cdot (1-\varepsilon) + 0.25 \leq r \leq \varepsilon + 2$ 入射角度60°: $0.3 \cdot (1.1-\varepsilon) + 0.1 \leq r \leq 2\varepsilon + 2.3$
	可探测的最低剂量	$\leq 0.1 \text{ mSv}$
⁶ LiF、 ⁷ LiF热释光反照率中子剂量计	能量响应	热中子~15 MeV
	非线性的相对响应	-15%~18%
	变异系数 (v) ^a	$H_p(10) < 1 \text{ mSv}$: $[40 \cdot 30 \cdot H_p(10)]\%$ $H_p(10) \geq 1 \text{ mSv}$: 10%
	对入射角度的响应 (r) ^b	入射角度0°: $0.3 \cdot (1-\varepsilon) + 0.3 \leq r \leq \varepsilon + 1.7$ 入射角度30°: $0.3 \cdot (1-\varepsilon) + 0.25 \leq r \leq \varepsilon + 2$ 入射角度60°: $0.3 \cdot (1.1-\varepsilon) + 0.1 \leq r \leq 2\varepsilon + 2.3$
	可探测的最低剂量	$\leq 0.1 \text{ mSv}$

注：表中非线性的相对响应、变异系数和对入射角度的响应要求来自ISO 21909-1:2021。

^a 变异系数 (v)：一组 n 个测量值 x_j 的标准偏差 s 与其算术平均值 $\bar{x}$ 之比，由公式 (A.1) 给出：

$$v = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2} \quad (\text{A.1})$$

式中：

v ——变异系数；

s ——标准偏差；

$\bar{x}$ ——测量值的算术平均值；

n ——测量值个数；

x_j ——第 j 个测量值。

^b 对入射角度的响应 (r) 中的变量 ε 由公式 (A.2) 给出：

$$\varepsilon = \frac{2}{15 + H^0} \quad (\text{A.2})$$

式中：

ε ——对入射角度的响应 (r) 中的变量；

H^0 ——个人剂量当量参考值，单位为毫希沃特 (mSv)。

附录 B
(资料性)
不确定度和监测结果计算示例

B.1 CR-39中子剂量计测量的中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的合成标准不确定度计算

CR-39中子剂量计测量的中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的合成标准不确定度按照公式 (B.1) 计算。

$$u(H) = \sqrt{\left(N_T + \frac{N_b}{n}\right) \cdot \omega^2 + H^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(\omega)} \quad (\text{B.1})$$

式中：

$u(H)$ ——中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的合成标准不确定度，单位为毫希沃特 (mSv)；

N_T ——测量探测器径迹数，单位为径迹数 (trs)；

N_b ——本底探测器径迹数的均值，单位为径迹数 (trs)；

n ——本底探测器个数；

ω ——公式 (3) 定义的中间变量；

H ——由公式 (1) 计算的中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的值，单位为毫希沃特 (mSv)；

$u_{\text{rel}}(\omega)$ ——中间变量 ω 的相对标准不确定度，由公式 (5) 计算。

B.2 CR-39中子剂量计测量的中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的监测结果计算举例

某工作人员佩戴CR-39中子剂量计3个月，经蚀刻和测读后其CR-39探测器的径迹密度为200 trs/cm²，同一时间段内保存于工作场所附近不受任何人工电离辐射照射地点的2个本底剂量计中的CR-39探测器的径迹密度分别为25 trs/cm²和31 trs/cm²，该批次剂量计的刻度系数为 3.9×10^{-3} mSv/(trs/cm²)，刻度系数的相对标准不确定度为6.5%，该实验室使用的探测器的有效面积为0.6 cm²，有效面积的相对标准不确定度为8%。

按照公式 (1) 计算中子个人剂量当量 $H_p(10)$ ：

$$H_p(10) = \left(200 - \frac{25 + 31}{2}\right) \times 0.0039 = 0.67 \text{ (mSv)}$$

按照公式 (3) 计算中间变量 ω ：

$$\omega = \frac{0.0039}{0.6} = 0.0065$$

按照公式 (5) 计算中间变量 ω 的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\omega)$ ：

$$u_{\text{rel}}^2(\omega) = 0.065^2 + 0.08^2 = 0.011$$

按照公式 (2) 计算中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的判断阈 L ：

$$L = 1.645 \times 0.0065 \times \sqrt{\frac{25 + 31}{2} \times \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0.069 \text{ (mSv)}$$

按照公式 (4) 计算中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的最低探测水平MDL：

$$\text{MDL} = \frac{2 \times 0.069 + 1.645^2 \times 0.0065}{1 - 1.645^2 \times 0.011} = 0.16 \text{ (mSv)}$$

按照公式 (B.1) 计算中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的合成标准不确定度 $u(H)$ ：

$$u(H) = \sqrt{\left(200 \times 0.6 + \frac{(25 \times 0.6 + 31 \times 0.6)/2}{2}\right) \times 0.0065^2 + 0.67^2 \times 0.011} = 0.10 \text{ (mSv)}$$

因此，该工作人员本周期的中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的监测结果表示为：

$$H_p(10) = (0.67 \pm 0.20) \text{ mSv } (k = 2)$$

B.3 ^6LiF 、 ^7LiF 热释光反照率中子剂量计测量的中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的合成标准不确定度计算

^6LiF 、 ^7LiF 热释光反照率中子剂量计测量的中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的合成标准不确定度按照公式(B.2)计算。

$$u(H) = \sqrt{\left[M_6 + \frac{B_6}{n} + (M_7 + \frac{B_7}{n}) \cdot P^2 + (M_7 - B_7)^2 \cdot P^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(P)\right] \cdot N^2 + H^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(N)} \cdots \cdots \text{(B.2)}$$

式中：

$u(H)$ ——中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的合成标准不确定度，单位为毫希沃特（mSv）；

M_6 ——测量剂量计中 ^6LiF 探测器的测量值；

B_6 ——本底剂量计中 ^6LiF 探测器的测量均值；

n ——本底探测器个数；

M_7 ——测量剂量计中 ^7LiF 探测器的测量值；

B_7 ——本底剂量计中 ^7LiF 探测器的测量均值；

P —— ^6LiF 探测器相对于 ^7LiF 探测器对 γ 射线响应的比值，由检定获得；

$u_{\text{rel}}(P)$ —— P 值的相对标准不确定度，由检定获得；

N ——刻度系数，单位为毫希沃特每测量值（mSv/测量值）；

H ——由公式（6）计算的中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的值，单位为毫希沃特（mSv）；

$u_{\text{rel}}(N)$ ——刻度系数 N 的相对标准不确定度。

B.4 ^6LiF 、 ^7LiF 热释光反照率中子剂量计测量的中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的监测结果计算举例

某工作人员佩戴 ^6LiF 、 ^7LiF 热释光反照率中子剂量计3个月，将其佩戴的剂量计（编号B01）及2个同一时间段内保存于工作场所附近不受任何人工电离辐射照射地点的本底剂量计回收，测量结果见表B.1，该批次剂量计的刻度系数为 3.2×10^{-3} mSv/测量值，刻度系数的相对标准不确定度为6.5%， P 值为0.74， P 值的相对标准不确定度为3%。

表B.1 ^6LiF 、 ^7LiF 热释光反照率中子剂量计测量结果

剂量计	B01	本底1	本底2	本底均值
^6LiF 探测器读数	347	176	182	179
^7LiF 探测器读数	281	241	219	230

按照公式（6）计算中子个人剂量当量 $H_p(10)$ ：

$$H_p(10) = [(347 - 179) - 0.74 \times (281 - 230)] \times 0.0032 = 0.42 \text{ (mSv)}$$

按照公式（7）计算中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的判断阈 L ：

$$L = 1.645 \times 0.0032 \times \sqrt{281 \times 0.74 \times (0.74 + 1) + 179 \times \left(1 + \frac{1}{2}\right) + 230 \times 0.74 \times \left(\frac{0.74}{2} - 1\right) + (281 - 230)^2 \times 0.74^2 \times 0.03^2}$$

计算可得：

$$L = 0.12 \text{ (mSv)}$$

公式（7）中的 P 值的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(P)$ 可由检定获得，也可按照公式（B.3）计算。

$$u_{\text{rel}}^2(P) = \frac{v_6^2 + v_7^2}{n} \cdots \cdots \text{(B.3)}$$

式中：

$u_{\text{rel}}(P)$ —— P 值的相对标准不确定度；

v_6 ——与检定相同批次 ^6LiF 探测器的变异系数，由公式（A.1）计算或由探测器说明书获得；

v_7 ——与检定相同批次 ^7LiF 探测器的变异系数，由公式（A.1）计算或由探测器说明书获得；

n ——检定时用于得到 P 值的 ^6LiF 探测器或 ^7LiF 探测器的个数。

按照公式（8）计算中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的最低探测水平MDL：

$$\text{MDL} = \frac{2 \times 0.12 + 1.645^2 \times 0.0032}{1 - 1.645^2 \times 0.065^2} = 0.25 \text{ (mSv)}$$

按照公式 (B.2) 计算中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的合成标准不确定度 $u(H)$:

$$u(H) = \sqrt{\left[347 + \frac{179}{2} + \left(281 + \frac{230}{2} \right) \times 0.74^2 + (281 - 230)^2 \times (0.74 \times 0.03)^2 \right] \times 0.0032^2 + 0.42^2 \times 0.065^2}$$

计算可得:

$$u(H) = 0.086 \text{ (mSv)}$$

因此, 该工作人员本周期的中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 的监测结果表示为:

$$H_p(10) = (0.42 \pm 0.17) \text{ mSv } (k = 2)$$

参 考 文 献

- [1] ISO 21909-1:2021 Passive neutron dosimetry systems—Part 1: Performance and test requirements for personal dosimetry
- [2] IAEA. Neutron Monitoring for Radiation Protection, IAEA Safety Reports Series No.115. Vienna, 2023
-