

ICS 13.100

GBZ

C57

中华人民共和国国家职业卫生标准

GBZ 129-2002

职业性内照射个人监测规范

Specifications of individual monitoring
for occupational internal exposure

发布

实施

中华人民共和国卫生部

发布

目 次

前言

1 范围

2 术语和定义

3 总则

4 监测方法及其选择

5 常规个人监测

6 特殊监测和任务相关监测

7 测量结果的解释

8 内照射监测的不确定度与质量保证

附录 A（规范性附录）吸入情况下常用放射性核素的 $m(t)$

和 $m(T/2)$

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 3 章是强制性内容，其余为推荐性内容。

本标准主要依据国际放射性防护委员会（ICRP）第 60、75、78 号出版物及国际原子能机构（IAEA）安全丛书 No. RS-G-1.2 编写而成。

本标准的附录 A 是规范性附录。

本标准由卫生部提出并归口。

本标准起草单位：中国辐射防护研究院。

本标准主要起草人：周永增。

本标准由卫生部负责解释。

中华人民共和国国家职业卫生标准

职业性内照射个人监测规范

Specifications of individual monitoring
for occupational internal exposure

GBZ 129-2002

1 范围

本标准规定了放射工作人员内照射个人监测原则、监测方法、监测计划及测量结果解释的基本要求。

本标准只适用于职业照射的内照射个人监测。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

2.1 内照射个人监测 individual monitoring of internal exposure

对体内或排泄物中放射性核素的种类和活度进行的监测，以及利用工作人员所佩带的个人空气采样器或呼吸保护器对吸入放射性核素的种类和活度进行的监测（除特别注明外，以下简称个人监测）。

2.2 摄入量 intake

通过吸入或食入、或经由完好皮肤或伤口进入体内的放射性核素的量。

2.3 F类物质 type F material

以快吸收速率从呼吸道进入体液的物质，其全部物质以 10min 的生物半衰期被吸收入体液。

2.4 M类物质 type M material

以中等吸收速率从呼吸道进入体液的物质，其 10% 的物质以 10min 的生物半衰期被吸收，90% 的物质以 140d 的生物半衰期被吸收。

2.5 S类物质 type S material

以慢吸收速率从呼吸道进入体液的相对不溶解的物质，其 0.1% 的物质以 10min 的生物半衰期被吸收，99.9% 的物质以 7000d 的生物半衰期被吸收。

中华人民共和国卫生部 XXXX-XX-XX 批准

XXXX-XX-XX 实施

2.6 个人空气采样器 personal air sampler (PAS)

一种专门设计用来测量工作人员呼吸带空气中的放射性气溶胶或气体时间积分活度浓度以估算该工作人员摄入量的便携装置。

2.7 固定空气采样器 static air sampler (SAS)

用来监测工作场所条件的装置，并能就放射性核素的构成及粒子大小提供有用的资料。

2.8 调查水平 investigation level (IL)

指诸如有效剂量、摄入量或单位面积或单位体积的污染水平等量的规定值，达到或超过此值时应进行调查。

2.9 记录水平 recording level (RL)

审管部门所规定的剂量、暴露量或摄入量的一个水平，工作人员所接受的剂量、暴露量或摄入量达到或超过这一水平时，则应记入他们的个人受照记录。

2.10 控制区 controlled area

在辐射工作场所内划分的一种区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施，以便：

- a) 在正常工作条件下控制正常照射或防止污染扩散；
- b) 防止潜在照射或限制其程度。

2.11 监督区 supervised area

未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域。

2.12 常规监测 routine monitoring

为确定工作条件是否适合继续进行操作，在预定场所按预先规定的时间间隔所进行的监测。

2.13 任务相关监测 task-related monitoring

任务相关监测用于特定操作，旨在为有关运行管理的当前决定提供数据资料，也可用于支持防护最优化。

2.14 特殊监测 special monitoring

为了阐明某一特殊问题而在一个有限期间进行的监测。

3 总则

3.1 监测目的

内照射个人监测的主要目的是：

- a)估算待积有效剂量，需要时估算严重受照组织的待积当量剂量，以验证是否符合审管要求；
- b)有助于设施的设计和运行控制；
- c)在事故照射情况下，为启动和支持任何适宜的健康监督和治疗提供有价值的资料。

3.2 监测原则

对于在控制区内工作并可能有放射性核素显著摄入的工作人员，应进行常规个人监测；如有可能，对所有受到职业照射的人员均应进行个人监测，但如果经验证明，放射性核素年摄入量产生的待积有效剂量不可能超过 1mSv 时，一般可不进行个人监测，但要进行工作场所监测。

3.3 监测方法

为估算放射性核素摄入量而采用的个人监测方法有：

- a) 全身或器官中放射性核素的直接测量；
- b) 排泄物或其他生物样品分析；
- c) 空气采样分析。

每一种测量方法应能对放射性核素定性、定量，其测量结果可用摄入量或待积有效剂量进行解释。

3.4 监测种类

根据监测目的，个人监测可分为常规监测、特殊监测和任务相关监测。伤口监测和医学干预后监测均属特殊监测。

4 监测方法及其选择

4.1 全身或器官中放射性核素的直接测量

4.1.1 全身或器官中放射性物质含量的直接测量技术，可用于发射特征 X 射线、 γ 射线、正电子和高能 β 粒子的放射性核素，也可用于某些发射特征 X 射线的 α 辐射体。

4.1.2 用于直接测量全身或器官放射性核素含量的设备由一个或多个安装在低本底环境下的高效率探测器组成。探测器的几何位置应符合测量目的。对于发射 γ 射线的裂变产物和活化产物，如 ^{131}I 、 ^{137}Cs 和 ^{60}Co ，可用能在工作场所使用的较简单的探测器进行监测。对少数放射性核素如钷的同位素，则需要高灵敏度探测技术。

4.1.3 伤口中能发射高能量 γ 射线的放射性物质，通常可用 β - γ 探测器加以探测。当污染物

为某些能发射特征 X 射线的 α 辐射体的情况下, 可用 X 射线探测器探测。当伤口受到多种放射性核素污染时, 应采用具有能量甄别本领的探测器。伤口探测器应配有良好的准直器, 以便对放射性污染物进行定位。

4.1.4 在进行直接测量前应进行人体表面去污。

4.2 排泄物及其他生物样品分析

4.2.1 对于不发射 γ 射线或只发射低能光子的放射性核素, 排泄物监测可能是唯一合适的监测技术。对于发射高能 β 、 γ 射线的辐射体, 排泄物分析也是常用的监测技术。尽管在某些情况下, 如当元素主要通过粪排泄或要评价吸入 S 类物质自肺部的廓清时, 可能要求分析粪样, 但排泄物监测计划一般只包括尿分析。

4.2.2 分析其他生物样品是为了作一些特殊调查, 例如, 作为常规筛选技术可分析鼻涕或鼻拭样; 怀疑有高水平污染时, 视情况可分析血样; 在 ^{14}C 、 ^{226}Ra 和 ^{228}Th 的内污染情况下, 呼出气活度测量是一项有用的监测技术。在极毒放射性核素(如超铀元素)污染伤口的情况下, 应对已切除的组织样进行制样和/或原样测量。

4.2.3 收集、储存、处理和分析尿样时应注意:

a) 尿样的收集、储存、处理及分析应避免外来污染、交叉污染和待测核素的损失;

b) 对于大多数常规分析, 应收集 24h 尿。在常规监测情况下, 如收集不到 24h 尿, 应将尿量用肌酐量或其他量修正到 24h 尿; 氟是一个例外, 一般只取少量尿即能由所测尿氟浓度推算体液浓度、摄入量。

c) 要求分析的体积与分析技术的灵敏度有关。对于某些放射性核素, 需要分析累积几天的尿样才能达到所要求的灵敏度;

d) 应按有关标准方法进行样品处理和分析;

e) 在某些情况下(如特殊监测), 为减少核素经尿排出的日排量涨落对监测结果的影响, 应分别分析连续三天的尿样, 或分析连续三天的混合样, 其平均值作为中间一天的日排量。

4.2.4 由于核素日粪排量涨落较大, 使得粪样常规监测数据的解释含有较大不确定性, 因此, 应连续收集几天的粪样。粪样监测常用于特殊调查, 尤其是已知吸入或怀疑吸入 M 或 S 类物质后的调查。在这些情况下, 日粪排量的测量对于评价从肺中的廓清和估算摄入量是很有益的。4.2.3 中的注意事项同样适用于粪样。

4.2.5 生物样品中 γ 辐射体可用闪烁探测器或半导体探测器直接测定。对 α 和 β 辐射体则要求先化学分离, 然后采用合适的测量技术进行测量。样品中总 α 或总 β 活度的测量, 作为一项简单的筛选技术有时是有用的, 但不能用来定量估算摄入量或待积有效剂量, 除非放射性核素的组成是已知的。

4.3 空气采样分析

4.3.1 根据空气样品的测量结果估算摄入量带有很大不确定度,对于不发射强贯穿辐射且在排泄物中浓度很低的放射性核素,如锶系元素,空气样品测量结果可用来估算摄入量。

4.3.2 PAS的采样头应处于呼吸带内,采样速率最好能代表工作人员的典型吸气速率($\sim 1.2\text{m}^3\text{h}^{-1}$)。可在取样周期终了对滤膜上的放射性用非破坏性技术进行测量,以及时发现不正常的高水平照射。然后将滤膜保留下来,把较长时间积累的滤膜合并在一起,用放射化学分离提取方法和高灵敏度的测量技术进行测量。

4.3.3 对 PAS 的要求如下:

a.应收集足够多的放射性物质,收集量的多少主要取决于对 PAS 能监测到的最低待积有效剂量的大小的要求。对于常规监测来说,一般要求能监测到年摄入量产生的待积有效剂量超过年剂量限值的 1/10;

b.采样器应抽取足够体积的空气,以便对工作人员呼吸带空气活度浓度给出能满足统计学要求的数值;

c.采样器的粒子采集特性应是已知的。

4.3.4 PAS 不提供关于粒子大小的资料,而粒径对估算粒子在呼吸道的沉积及其剂量有显著影响,所以应实测确定吸入粒子大小的分布或对粒子大小分布作符合实际的假定。在没有关于粒子大小的专门资料的情况下,可假定活度中值空气动力学直径 (AMAD) 为 $5\mu\text{m}$ 。

4.3.5 对于在空气中易于扩散的化合物,如放射性气体和蒸气(如 $^{14}\text{CO}_2$ 和氡水),SAS可对其摄入量给出一个较合理的估计,对于其他物质,如再悬浮颗粒,给出的误差可能在一个量级或一个量级以上。

4.3.6 通过对 PAS 和 SAS 测量结果的比较,确定两者的比值,可利用该比值解释 SAS 的测量结果。利用 SAS 的测量结果估算个人剂量时,要求对照射条件及工作实践进行仔细评价。

4.4 监测方法的选择原则

4.4.1 选择监测方法时,应考虑以下几个因素:

- a) 射性核素的辐射特性;
- b) 污染物的生物动力学行为;
- c) 考虑生物学廓清及放射性衰变后污染物在体内的滞留特性;
- d) 所要求的测量频率;
- e) 所考虑测量设备的灵敏度、方便程度以及是否具有这种设备。

4.4.2 对于常规监测,如果灵敏度可以满足,一般只用一种测量技术。对于氡,只用尿氡分析即可。对另外一些核素,如钷的同位素,由于测量和数据解释都有一定困难,应结合使用不同的测量方法。特殊监测常采用两种或两种以上监测方法。

4.4.3 从数据解释的准确度考虑,一般来说第 4 章所述三种监测方法的选择顺序是:全身或器

官中放射性核素的直接测量、排泄物及其他生物样品分析、空气采样分析。

5 常规个人监测

5.1 常规监测的应用

依据 3.2 条，在下述情况下一般应进行常规个人监测：

- a) 操作大量气态和挥发性物质，如在大规模生产过程中产生的氟及其化合物；
- b) 钷和其他超铀元素的处理；
- c) 钍矿开采、选冶和处理以及钍及其化合物的应用；
- d) 高品位铀矿石的采矿、选冶和处理；
- e) 天然铀和低浓缩铀的处理及反应堆燃料生产；
- f) 大量放射性同位素生产；
- g) 在氡水平超过行动水平的铀矿和其他工作场所工作；
- h) 处理大量¹³¹I标记的放射性药物；
- i) 可引起裂变和活化产物照射的反应堆维修；
- j) 对于新的操作。

5.2 常规监测的频率

5.2.1 常规监测的频率与放射性核素的滞留及排出、测量技术的灵敏度、辐射类型以及在摄入量 and 待积当量剂量估算中所能接受的误差有关。

5.2.2 确定监测频率时，由于摄入时刻未知而采用摄入发生在每个监测周期中间一天的假定所造成的摄入量低估不应大于 3 倍。

5.2.3 一般来说，监测周期的选择，不应使得与大于 5% 年剂量限值相应的摄入量被漏掉。

5.2.4 原则上应尽量采用灵敏的测量方法，但是在测量方法选定前应对利用最灵敏的探测技术和尽可能短的取样周期所需费用，与因利用灵敏度较差的探测技术或较长监测周期而把剂量低估或漏掉产生的辐射危害进行权衡。

6 特殊监测和任务相关监测

6.1 由于特殊监测和任务相关监测均与实际发生或怀疑发生的特殊事件有关，因此摄入时刻是知道的，并且还可能获得关于污染物的物理化学状态的资料。解释常规监测结果的有关规定，不适用于特殊监测和任务相关监测。

6.2 在已知或怀疑有摄入时，或发生事故或异常事件后，需要进行特殊监测。特殊监测也常因常规排泄物测量结果超过导出调查水平以及鼻涕、鼻拭等临时采集的样品和其他监测结果发现异常而进行。

6.3 伤口监测属特殊监测。在这种情况下，应确定伤口部位放射性物质的数量。如已作切除

手术，则应对切除组织和留在伤口部位的放射性物质进行测量。然后根据需要再作直接测量、尿和粪排泄监测。

6.4 医学干预后的监测属特殊监测。如果采用了阻吸收或促排药物，则不能直接采用 ICRP 78 号出版物附件中推荐的有关数据推算待积有效剂量。事故摄入后若进行了这种治疗，则应制定特殊监测计划，对该污染物在事故摄入者体内的分布、滞留和排泄进行追踪监测，并根据这些数据对该摄入者的待积有效剂量作出专门估计。

6.5 当放射性核素摄入量产生的待积有效剂量接近或超过年剂量限值时，一般需要有关受照个体和污染物的数据，包括放射性核素的理化状态、粒子大小、核素在受照个体内的滞留特性、鼻涕及皮肤污染水平、空气活度浓度和表面污染水平等。然后综合分析利用这些数据，给出合理的摄入量估计。

7 测量结果的解释

7.1 常规监测

7.1.1 对于常规监测，假定摄入发生在监测周期 T (天)的中点，则应利用该监测期末获得的测量值 M ，按下式计算摄入量 I ：

$$I=M/m(T/2) \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中：

I — 放射性核素摄入量，单位是贝可 (Bq)；

M — 摄入后 t 天所测得的体内或器官内核素的含量 (Bq)，或日排泄量 (Bqd⁻¹)；

$m(T/2)$ — 摄入单位活度后 $T/2$ 天时体内或器官内核素的含量 (Bq)，或日排泄量 (Bqd⁻¹)

的预期值。此处活度也可用摄入量的分数表示 (氙水除外)。

某些常用放射性核素 $m(T/2)$ 值见附录 A(规范性附录)。

7.1.2 在以前监测周期中产生的摄入可能影响当前监测周期的测量结果，如果当前测量值的约 10%以上来自以前监测周期中的摄入，并已估算了其摄入量和剂量，那么就应对当前监测周期的测量结果进行校正。对常规监测计划中的一系列测量，可遵从下列步骤：

- a) 确定第一个监测周期摄入量数值；
- b) 预计该摄入量对以后各监测周期测量结果的贡献；
- c) 从以后各监测周期的数据中扣除这次的贡献；
- d) 对于下一个监测周期，重复作 a)至 c)。

7.1.3 在常规监测计划中，如果监测结果超过了事先确定的调查水平，则应进行进一步调查。调查的性质将取决于具体情况和监测结果超过调查水平的程度。在调查中，应考虑以下几点：

- a) 重复测量，以证实或改进初始评价；
- b) 采用另外的监测技术；

c) 评价工作条件和照射情况;

d) 在初始评价中若采用了缺省参数值, 如果需要, 则应对实际污染物的粒子大小及其化学形态进行调查, 并选择更合适的数值;

e) 在大量摄入的情况下, 将受污染者调离放射性工作, 并对污染物在摄入者体内滞留和排泄特点进行监测, 以改进剂量评价。

7.2 特殊监测和任务相关监测

在这种情况下摄入时刻是已知的。如果只作一次测量, 则摄入量 I 可由下式计算:

$$I=M/m(t) \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

I — 放射性核素摄入量, 单位是贝可 (Bq);

M — 摄入后 t 天所测得的体内或器官内核素的含量 (Bq), 或日排泄量 (Bqd⁻¹);

$m(t)$ — 摄入单位活度后 t 天时体内或器官内核素的含量 (Bq), 或日排泄量 (Bqd⁻¹) 的预期值。此处活度也可用摄入量的分数表示 (氚水除外)。

吸入情况下某些常用放射性核素的 $m(t)$ 值见附录 A(规范性附录), $t > 10$ 天时的 $m(t)$ 值可根据附录 A 中有关的图查出。如果取得了多次测量结果, 可用最小乘法估算摄入量。

7.3 剂量计算及其评价

7.3.1 摄入量与剂量系数相乘, 可求得待积有效剂量。将剂量计算结果与年剂量限值比较, 即可实现对剂量的评价。由 PAS 获得的时间积分空气活度浓度与工作人员摄入期间吸入的空气体积相乘, 可求得放射性核素的摄入量。

7.3.2 在向工作人员个人通报监测结果可能产生的健康影响时, 应考虑摄入时的实际年龄。进行防护评价时可将摄入量直接与年摄入量限值 (ALI) 比较。

7.4 多种放射性核素混合物

7.4.1 在摄入多种放射性核素混合物的情况下, 一般只有少数几个核素对待积有效剂量有显著贡献, 这时原则上应先确认哪些核素是有重要放射生物学意义的核素, 然后针对这些核素制定监测计划。

7.4.2 当多种放射性核素混合物组成已知并保持不变时, 可用代谢规律已知且易被测量的但放射生物学意义并不一定重要的核素作为“示踪”, 由此推算其他核素的摄入量。

7.5 调查水平与记录水平

7.5.1 调查水平的制定与监测计划的目的和将要进行的调查的类型有关。对于常规监测来说, 可以根据对工作场所条件的了解及具体情况取年剂量限值或年摄入量限值的不同份额作为调查水平。对记录水平采用同样原则。

7.5.2 假如用 $\frac{1}{10} ALI$ 制定调查水平, 监测周期为 T 天, 则常规监测的导出调查水平 DIL 为:

$$DIL = 0.1 ALI \times \frac{T}{365} \times m(T/2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

365 — 一年的天数;

T — 监测周期, 天;

m (T/2) — 意义同式 (1)。

当测量结果超过 DIL 时, 应进一步调查。

7.5.3 假如用 $\frac{1}{20} ALI$ 来制定记录水平, 监测周期为 T 天, 则常规监测的导出记录水平 DRL

为:

$$DRL = \frac{1}{20} ALI \times \frac{T}{365} \times m(T/2) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中: 365、T 与 m (T/2) 的意义同式 (3)。

超过 DRL 的测量结果应记入个人受照记录。

7.5.4 工作人员可能同时受到内、外照射, 或混合放射性核素的照射, 在事先制定调查水平和记录水平时应对此予以考虑。

8 内照射监测的不确定度与质量保证

8.1 不确定度

8.1.1 剂量估算不确定度为个人监测测量、由测量结果估算摄入量和由摄入量估算剂量这三个阶段不确定度分量的合成。

8.1.2 测量中的不确定度一般较易估计。当活度水平接近探测限时, 计数统计涨落产生的不确定度是主要的。对于易测且活度足够大的放射性核素, 计数统计涨落产生的不确定度与其他来源不确定度相比是比较小的。另外还必须考虑测量过程中其它系统所引入的不确定度(如校准、直接测量中身材大小的校正等)以及样品和体表污染带来的误差。

8.1.3 采用 ICRP 推荐的放射性核素的生物动力学模型估算摄入量。此估算值的可靠性与放射性核素生物动力学模型的准确性及其在特殊情况下应用的局限性有关。在采用促排药物的情况下, 不能用此标准生物动力学模型估算摄入量。

8.1.4 由给定摄入量估算剂量过程中存在不确定度。对于常规监测, 当摄入量在年摄入量限值以内时, 可用标准生物动力学模型的缺省参数足够准确地估算摄入量; 对于达到或超过年摄入量限值的照射, 则需较详细的有关摄入物质物理化学性质的资料及摄入者个体的生物动力学参数, 以提高用模型估算的准确性。

8.1.5 较好估计摄入量估算值的不确定度是很困难的, 因此可先根据标准模型估算摄入量, 并

将此估算结果视为摄入量标称值,然后再根据照射所产生的健康后果较详细地分析不确定度。

8.1.6 本标准规定,在选择监测周期时,因假定摄入发生在监测周期中间一天而造成的摄入量低估不大于3倍。

8.2 质量保证

制定内照射个人监测计划时,必须同时制定质量保证计划。质量保证至少应达到以下要求:

- a) 选用符合要求,工作正常的设备和仪器;
- b) 定期检定/校准和维修使用的设备和仪器;
- c) 定期比对选用的测量方法;
- d) 按有关标准收集样品;
- e) 按有关标准分析生物样品中的活度;
- f) 按有关规定记录和保存监测数据;
- g) 由合格的人员进行监测工作。