

**GBZ**

中华人民共和国国家职业卫生标准

GBZ/T 344—2026

# 放射工作人员甲状腺中 $^{131}\text{I}$ 的直接测量 方法标准

Standards for direct measurement method of  $^{131}\text{I}$  in the thyroid of radiation workers

2026 - 05 - 25 发布

2026 - 12 - 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：中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所、江苏省疾病预防控制中心、中国计量科学研究院、复旦大学、福建省职业病与化学中毒预防控制中心。

本标准主要起草人：拓飞、张建峰、马加一、李小亮、梁珺成、陈波、周强、黄丽华、侯长松、孙全富。

# 放射工作人员甲状腺中<sup>131</sup>I的直接测量方法标准

## 1 范围

本标准规定了利用伽玛能谱分析技术的甲状腺<sup>131</sup>I体外测量仪器开展个人监测的一般要求、体外直接测量方法和质量保证。

本标准适用于核医学放射工作人员甲状腺中<sup>131</sup>I的直接测量，其他相关工作人员可参照执行。

## 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 129 职业性内照射个人监测规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**F 类物质 type F material**

能被呼吸道以快吸收速率吸收进入血液的沉积物质。

注：100%吸收的半吸收期约为 30 min。

### 3.2

**M 类物质 type M material**

能被呼吸道以中等吸收速率吸收进入血液的沉积物质。

注：20%吸收的半吸收期约为6 h，80%吸收的半吸收期约为140 d。

### 3.3

**S 类物质 type S material**

能被呼吸道以慢吸收速率吸收进入血液的沉积物质。

注：1%吸收的半吸收期约为6 h，99%吸收的半吸收期约为7000 d。

### 3.4

**临界值 critical value**

$M_c$

单次常规监测而设定的放射性核素活度的最大值。

注：单位为贝可（Bq）。用该值外推的年剂量不会超过0.1 mSv。

## 4 一般要求

对于可能有<sup>131</sup>I摄入的职业人员的个人监测，一般要求如下。

- a) 对核医学中进行<sup>131</sup>I操作的工作人员进行监测。
- b) 当待积有效剂量大于1 mSv时，应进行常规监测，监测周期（*T*）为一个月（一般按30 d）。
- c) 当待积有效剂量不可能超过1 mSv时，可适当减少个人监测频度，但应进行工作场所监测。
- d) 甲状腺中<sup>131</sup>I活度测量宜选择能满足体外直接测量需求的伽玛能谱仪。
- e) 对因工作需要，需短时期进入<sup>131</sup>I放射性污染地区或空气中<sup>131</sup>I放射性活度浓度水平高的场所的人员，应针对该任务开展监测。
- f) 发生事故或异常事件后，已知或怀疑有<sup>131</sup>I摄入时，应针对该事故或事件开展特殊监测。
- g) 测量前，应使用放射性表面污染测量仪测量受检者颈部（甲状腺测量区域）和大腿（本底测量区域）是否有<sup>131</sup>I表面放射性污染。如有污染，需采取去污措施（如更换服装或擦拭皮肤表面），尽可能减少污染，记录表面污染情况后再测量。
- h) 当监测结果低于临界值，仅记录测量活度，无需进行剂量估算；当监测结果超过该临界值，应记录测量活度，并进行剂量估算。

## 5 甲状腺中<sup>131</sup>I活度的体外直接测量

### 5.1 测量前准备

测量前应进行必要准备，为保证测量工作顺利开展，要求如下。

- a) 甲状腺<sup>131</sup>I体外测量仪器在使用前应进行检定和进行必要的能量及效率刻度，并掌握其探测限。具体刻度方法见本标准附录A。根据效率刻度结果计算探测限，探测限具体计算方法见本标准附录B。甲状腺<sup>131</sup>I体外测量仪器的探测限应≤100 Bq。
- b) 测量装置应进行开机自检，可使用仪器自带的检验源或环境中固有的<sup>40</sup>K检验。
- c) 监测前需用干净的塑料袋（或塑料薄膜）包裹探测器。确保每次测量及时更换（包括同一人员的大腿和甲状腺的测量），防止探测器被污染。
- d) 测量前应对测量部位的污染情况进行判断，具体方法为用表面污染仪带保护盖和去保护盖分别测量甲状腺前方颈部和本底测量区域（大腿）的表面污染，当被测部位带保护盖和去保护盖两次测量计数相近，可确认无表面污染。
- e) 应选择本底较低的场所作为测量地点，避免放射性污染导致甲状腺<sup>131</sup>I测量数据失真。
- f) 监测前应记录受检者的所在单位、个人基本信息及操作核素信息，具体内容见本标准附录C。

### 5.2 测量与记录

5.2.1 甲状腺测量需进行本底测量，测量时应将探测器对准大腿，时长宜在120 s~600 s之间，保障测量过程中探测器与对应的大腿的相对位置保持不变，且与甲状腺测量距离一致。

5.2.2 体外直接测量时应将探测器对准甲状腺对应的颈部，时长宜在120 s~600 s之间，保障测量过程中探测器与甲状腺的相对位置保持不变，且与刻度条件一致。

5.2.3 每名受检者测量后，应核实甲状腺测量和本底测量获得的谱文件名，并进行准确记录，相应记录及谱文件应妥善保存。

5.2.4 甲状腺测量结果计算时，为避免因计数的统计涨落引入不必要的计数影响，应注意所用全能峰净峰面积计数需在计数统计误差的3倍及以上，若未达到3倍则可忽略该净峰面积计数。

### 5.3 甲状腺<sup>131</sup>I的活度计算

根据公式（1）计算甲状腺<sup>131</sup>I的活度：

$$M = \frac{n - n_b}{CF_s} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$M$  ——测量时刻甲状腺中放射性核素<sup>131</sup>I的活度，单位为贝可（Bq）；

$n$  ——甲状腺测量获得的能量为364.5 keV的 $\gamma$ 射线全能峰净峰面积计数率，单位为每秒（s<sup>-1</sup>）；

$n_b$  ——本底测量（将大腿的测量结果作为本底）获得的能量为364.5 keV的 $\gamma$ 射线全能峰净峰面积计数率，单位为每秒（s<sup>-1</sup>）；

$CF_s$  ——仪器的效率刻度因子，单位为每秒贝可（s<sup>-1</sup>·Bq<sup>-1</sup>），计算方法见本标准附录A。

### 5.4 活度测量值的不确定度评定

放射性核素<sup>131</sup>I甲状腺直接测量的不确定度使用离散因子来表征，用公式（2）进行计算。

甲状腺测量的不确定度包括两类：A类是可用泊松分布描述的部分（即计数误差）；B类是不能使用泊松分布描述的部分（例如探测器的位置差异、本底计数的变化、体型差异、覆盖组织的变化和活度分布的差异、刻度、谱分析等）。<sup>131</sup>I甲状腺直接测量的离散因子的计算及其各分量的典型值见本标准附录D。

$$SF = e^{\sqrt{[\ln(SF_A)]^2 + [\ln(SF_B)]^2}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$SF$  ——离散因子；

$e$  ——自然常数，取2.718；

$SF_A$  ——A类离散因子；

$SF_B$  ——B类离散因子。

## 6 待积有效剂量估算

### 6.1 <sup>131</sup>I的摄入量估算

#### 6.1.1 摄入量估算通用公式

<sup>131</sup>I摄入量根据公式（3）进行计算：

$$I = \frac{M - P}{m(t)} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$I$  ——<sup>131</sup>I摄入量，单位为贝可（Bq）；

$M$  ——测量时刻甲状腺中放射性核素<sup>131</sup>I的活度，单位为贝可（Bq）；

$P$  ——先前摄入量对本次测量结果的贡献，单位为贝可（Bq）；

$m(t)$ ——摄入单位活度 $^{131}\text{I}$ 后 $t$ 天时, 该核素在甲状腺内的滞留分数, 无量纲。 $m(t)$ 见本标准附录E的表E. 2;

$t$ ——监测周期中间时刻, 即 $t=T/2$ ;  $T$ 为监测周期, 单位为天(d), 一般按30 d算。

### 6.1.2 $P$ 值计算通用公式

$P$ 值根据公式(4)进行计算:

$$P = \frac{E_k(50)}{z(t)} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- $P$ ——先前摄入量对本次测量结果的贡献, 单位为贝可(Bq);
- $E_k(50)$ ——第 $k$ 个监测周期所测量的 $^{131}\text{I}$ 所致50年待积有效剂量, 单位为希沃特(Sv);
- $z(t)$ ——摄入后 $t$ 天的单位含量的剂量函数值, 单位为希沃特每贝可( $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ ), 甲状腺中 $^{131}\text{I}$ 的 $z(t)$ 见本标准附录F;
- $t$ ——监测周期中间时刻, 即 $t=T/2$ 。

### 6.1.3 先前摄入量对本次测量结果影响的判定

先前摄入量对本次测量结果的影响, 采用 $M$ 值与 $P \times SF^2$ 的关系来判定。当 $M$ 值小于 $P \times SF^2$ , 则判定没有影响。

### 6.2 前面可忽略不计的单次测量的待积有效剂量

此种情况的待积有效剂量估算方法有两种, 可用公式(5)或公式(6):

$$E(50) = M \times z(t) \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- $E(50)$ —— $^{131}\text{I}$ 摄入后50年待积有效剂量, 单位为希沃特(Sv);
- $M$ ——测量时刻甲状腺中放射性核素 $^{131}\text{I}$ 的活度, 单位为贝可(Bq);
- $z(t)$ ——摄入后 $t$ 天的单位含量的剂量函数值, 单位为希沃特每贝可( $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ )。甲状腺中 $^{131}\text{I}$ 的 $z(t)$ 见本标准附录F;
- $t$ ——监测周期中间时刻, 即 $t=T/2$ 。

$$E(50) = I \times e(50) \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- $E(50)$ —— $^{131}\text{I}$ 摄入后50年待积有效剂量, 单位为希沃特(Sv);
- $I$ —— $^{131}\text{I}$ 摄入量, 单位为贝可(Bq);
- $e(50)$ ——每单位活度 $^{131}\text{I}$ 的摄入量引起的50年待积有效剂量, 单位为希沃特每贝可( $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ ), 见本标准附录E表E. 1。

### 6.3 前面不可忽略不计的单次测量的待积有效剂量

如果本次监测周期之前产生摄入的贡献不可忽略, 则应使用公式(7)进行计算:

$$E_k(50) = (M - P) \times z(t) \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- $E_k(50)$ ——第 $k$ 个监测周期所测量的 $^{131}\text{I}$ 所致50年待积有效剂量, 单位为希沃特(Sv);
- $M$ ——测量时刻甲状腺中放射性核素 $^{131}\text{I}$ 的活度, 单位为贝可(Bq);
- $P$ ——先前摄入量对本次测量结果的贡献, 单位为贝可(Bq);

$z(t)$  ——摄入后  $t$  天的单位含量的剂量函数值，单位为希沃特每贝可 ( $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ )。甲状腺中  $^{131}\text{I}$  的  $z(t)$  见本标准附录 F；

$t$  ——监测周期中间时刻，即  $t=T/2$ 。

待积有效剂量估算举例见本标准附录 G。

## 7 结果报告

7.1 当测量时刻甲状腺中  $^{131}\text{I}$  的活度值 ( $M$ ) 大于或等于判断限，测量结果需给出活度值 ( $M$ ) 以及相应的置信区间，表述形式为： $M[M/SF^{1.96}, M \times SF^{1.96}]$ ，单位为贝可 (Bq)，并给出相应测量日期。

7.2 当测量时刻甲状腺中  $^{131}\text{I}$  的活度值 ( $M$ ) 小于判断限，测量结果表述形式为：“<判断限”。判断限通常为探测限 ( $DL$ ) 的二分之一，其计算过程见本标准附录 B。

## 8 质量保证

8.1 选用能够满足测量要求、工作正常的监测仪器，检测结果可溯源；监测仪器需每年刻度一次，并核实每年刻度校准的准确性及依据。

8.2 甲状腺  $^{131}\text{I}$  的监测仪器刻度应满足本标准附录 A 的要求。

8.3 检测实验室应加强内部质量控制，宜参加实验室间比对等外部质量控制。

8.4 测量人员应经过技术培训。

附 录 A  
(规范性)  
仪器刻度

A.1 刻度源的溯源性

刻度源为放射性核素<sup>131</sup>I，或<sup>133</sup>Ba和<sup>137</sup>Cs的溶液或凝胶，刻度源活度 $\geq 10^4$  Bq。刻度源与甲状腺体积基本相同，约为20 mL。

刻度源应具备可溯源性，溯源证书应标明其活度(或活度浓度)、不确定度、定值日期、质量或体积、和标准源的定值方法；放射性核素标准源定值的不确定度应 $< 5\%$  ( $k=2$ )。

A.2 刻度模体

刻度模体应能够模拟甲状腺及甲状腺前部的正常人体组织等对<sup>131</sup>I所发射 $\gamma$ 光子的吸收。应采用与人体甲状腺及其颈部组织等效性相同或近似的模体进行刻度。实际测量位置等条件应与刻度条件保持一致。常见甲状腺-颈部模体示意图见图A.1。如图所示，模体材料为丙烯酸塑料(亚克力)，密度为 $1.17\text{ g/cm}^3 \sim 1.20\text{ g/cm}^3$ 。模体为外径 $a=127\text{ mm}$ ，高 $d=127\text{ mm}$ 的圆柱体，在其一边距离表面最近距离 $b=5\text{ mm}$ 处有一放刻度源孔，孔直径 $c=30\text{ mm}$ ，孔深 $e=85\text{ mm}$ 。

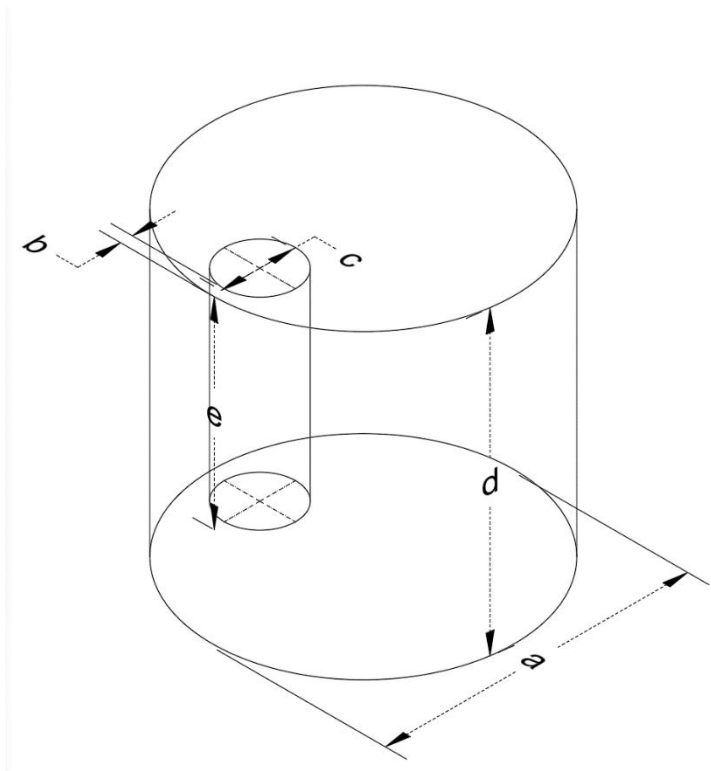


图 A.1 常见甲状腺-颈部模体示意图

A.3 系统刻度方法



### A.3.1 能量刻度

根据  $\gamma$  谱仪探测器类型、能量响应范围及能谱的分辨能力,可使用  $^{131}\text{I}$  或  $^{133}\text{Ba}$  和  $^{137}\text{Cs}$  源对  $\gamma$  谱仪进行能量刻度。

### A.3.2 效率刻度

效率刻度时主要探测目标为  $^{131}\text{I}$  发出的能量为 364.5 keV 能峰。能量窗口应完整地包含这一能峰。对于半导体探测器能量窗口一般设置为  $364.5\text{ keV} \pm 3\text{ keV}$ , 对于闪烁体探测器能量窗口一般设置为  $364.5\text{ keV} \pm 50\text{ keV}$ 。将模体放置于探测器前,调整探测器和模体位置,使得模体中刻度源的位置尽量对应于探测器中心。分别对未放入刻度源的模体和放入刻度源的模体进行测量。将未放入刻度源的模体的全能峰净峰面积计数除以其测量活时间,得到刻度时本底的全能峰净峰面积计数率  $n_b$ ; 将刻度源的全能峰净峰面积计数除以刻度源测量活时间,得到刻度源的全能峰净峰面积计数率  $n_s$ 。为了降低不确定度,刻度源全能峰净峰面积计数应大于 10000 个计数。根据公式 (A.1) 计算仪器的效率刻度因子:

$$CF_s = \frac{n_s - n_b}{A_0 e^{-\lambda \Delta t}} \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

式中:

$CF_s$  ——  $\gamma$  谱仪的效率刻度因子,单位为每秒每贝可 ( $\text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ );

$n_s$  ——测量刻度源获得的能量为 364.5 keV 的  $\gamma$  射线全能峰净峰面积计数率,单位为每秒 ( $\text{s}^{-1}$ );

$n_b$  ——测量本底(刻度时将未放入刻度源的模体测量作为本底)获得的能量为 364.5 keV 的  $\gamma$  射线全能峰净峰面积计数率,单位为每秒 ( $\text{s}^{-1}$ );

$A_0$  ——标准刻度源定值时的放射性活度,单位为贝可 (Bq);

$\lambda$  ——所测核素的衰变常数;根据  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$  求得,  $T_{1/2}$  为  $^{131}\text{I}$  的物理半衰期,单位为天 (d),即 8.021 d;

$\Delta t$  ——刻度源衰变时间,单位为天 (d),即  $^{131}\text{I}$  证书活度参考时刻至测量开始时刻的时间间隔;

$e^{-\lambda \Delta t}$  ——  $\Delta t$  时间的衰变校正因子。

## 附 录 B

(资料性)

## 探测限、判断限和临界值

## B.1 探测限

在置信度95%时,  $\gamma$  谱仪在给定测量时间下对 $^{131}\text{I}$ 的探测限 $DL$ , 采用公式 (B.1) 计算。

$$DL = \frac{2.71 + 4.65\sqrt{N_B}}{CF_s \cdot t_m} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$DL$  ——探测限, 单位为贝可 (Bq);

$N_B$  ——能量为364.5 keV的 $\gamma$ 射线全能峰净峰面积本底计数, 它包括探测器及其周围环境中核素引起的干扰峰计数 (如果存在的话) 和测量中其他高能 $\gamma$ 发射体的连续谱的贡献;

$CF_s$  —— $\gamma$ 谱仪的效率刻度因子, 单位为每秒贝可 ( $\text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ ), 由效率刻度过程得到;

$t_m$  ——测量活时间, 单位为秒 (s), 该时间应与甲状腺 $^{131}\text{I}$ 体外直接测量时长保持一致。

## B.2 判断限

判断限是判断被测量的物理效应是否存在的判定值, 当被测量的实际测量结果超过判断限时, 可判断物理效应存在。判断限只做甲状腺中“有”该核素的判据, 不能作“无”该核素的判据。当甲状腺中 $^{131}\text{I}$ 未检出时, 通常以“<判断限”的形式表示。判断限通常为探测限的二分之一。

## B.3 临界值

常规监测中, 基于待积有效剂量0.1 mSv/a为基础, 监测周期 $T$ 为1个月 (一般按30 d计算), 摄入时间假设为监测中期吸入。根据附录F的表F.1中给出的 $z(t)$ 值, 推导出的此种情况下的甲状腺 $^{131}\text{I}$ 测量的临界值 ( $M_C$ ) 约为40 Bq。如测量值低于此临界值, 其可认为零剂量, 无需进行剂量评估。推导见公式 (B.2)。

$$M_C = \frac{D_v}{z(t)} \times \frac{T}{365} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$M_C$  ——甲状腺 $^{131}\text{I}$ 测量的临界值, 单位为贝可 (Bq);

$D_v$  ——为了监测目的设定的待积有效剂量, 单位为希沃特 (Sv/a);

$z(t)$  ——摄入后 $t$ 天的单位含量的剂量函数值, 单位为希沃特每贝可 ( $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ ), 甲状腺中 $^{131}\text{I}$ 的 $z(t)$ 见本标准附录F;

$t$  ——监测周期中间时刻, 即 $t=T/2$ ;

$T$  ——监测周期, 单位为天 (d)。

附 录 C  
(资料性)  
监测信息表

监测信息表见表C.1。

表 C.1 监测信息表

受检者信息	编号					
	姓名		性别	男□ 女□	出生日期	
	工作单位			岗位 <sup>a</sup>		
	身份证号	□□□□□□□□□□□□□□□□				
<sup>131</sup> I 测量	测量地点					
	仪器类型	仪器型号: _____ 探头类型 <sup>b</sup> : _____		探头尺寸: _____	探测限: _____Bq	
	摄入模式	吸入□ 食入□ 其他: _____		最近一次 <sup>131</sup> I 接触日期	年 月 日	
	本底测量位置	距离大腿表面: _____cm				
	本底测量起始时间	_____ 时 _____ 分 (按 24 h 制填写)		本底测量时长/s		
	甲状腺测量位置	距离甲状腺: _____cm				
	甲状腺测量起始时间	_____ 时 _____ 分 (按 24 h 制填写)		甲状腺测量时长 (s)		
	本底谱文件名					
	甲状腺谱文件名					
监测结果	甲状腺测量活度 (Bq)					
	计数误差引起的测量活度的不确定度 (1σ, 单位: Bq)					
测量人员信息	姓名					
	机构名称					
	测量日期	年 月 日				
<sup>a</sup> 岗位包括医师、技师、护士、物理师、化学师、工程师、保洁人员和其他人员。 <sup>b</sup> 探头类型包括碘化钠、溴化镭、高纯锗和其他探头。						

附 录 D  
(资料性)

<sup>131</sup>I 甲状腺直接测量的离散因子的计算及其各分量的典型值

D.1 A类离散因子的计算

根据公式 (D.1) 计算A类离散因子:

$$SF_A = e^{\left(\frac{\sigma_M}{M}\right)} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- $SF_A$  ——A类离散因子;
- $e$  ——自然常数, 取2.718;
- $\sigma_M$  ——计数误差引起的测量活度的不确定度, 单位为贝可 (Bq);
- $M$  ——测量时刻甲状腺中放射性核素<sup>131</sup>I的活度, 单位为贝可 (Bq)。

D.2 离散因子的计算

根据公式 (D.2) 计算离散因子:

$$SF = e^{\sqrt{[\ln(SF_A)]^2 + [\ln(SF_B)]^2}} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

- $SF$  ——离散因子;
- $e$  ——自然常数, 取2.718;
- $SF_A$  ——A类离散因子;
- $SF_B$  ——B类离散因子。

D.3 <sup>131</sup>I甲状腺直接测量的离散因子各分量的典型值

<sup>131</sup>I甲状腺直接测量的离散因子各分量的典型值见表D.1。

表 D.1 <sup>131</sup>I 甲状腺直接测量的离散因子各分量的典型值

不确定度来源	A类	B类						
	计数的统计涨落	探测器的位置差异	本底计数的变化	体型差异	覆盖组织的变化	活度分布的差异	刻度	谱分析
典型值	1.07	<1.05	<1.05	1.07	1.12	<1.05	1.05	1.03
	1.07	1.15						
	1.2							
注：数据来自ISO 27048：2011的附录B及表B1和欧盟委员会的RP 188号报告的表 F1。								

附 录 E  
(资料性)  
剂量系数  $e(50)$  和  $m(t)$  值

$^{131}\text{I}$  的剂量系数  $e(50)$  和吸入途径  $^{131}\text{I}$  在甲状腺中的  $m(t)$  值见表 E.1 和表 E.2。

表 E.1  $^{131}\text{I}$  的剂量系数  $e(50)$

吸入的气体或气溶胶		$e(50)$ $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$
碘单质		$1.7 \times 10^{-8}$
甲基碘或乙基碘		$1.2 \times 10^{-8}$
5 $\mu\text{m}$ 气溶胶	F 类物质	$1.1 \times 10^{-8}$
	M 类物质	$2.7 \times 10^{-9}$
	S 类物质	$6.0 \times 10^{-10}$
注：表中数据来自 ICRP 137 号报告的表 5.9。		

表 E.2 吸入途径  $^{131}\text{I}$  在甲状腺中的  $m(t)$  值

摄入后时间 d	$m(t)$				
	碘单质	甲基碘或 乙基碘	F 类物质	M 类物质	S 类物质
1	$2.60 \times 10^{-1}$	$1.90 \times 10^{-1}$	$1.60 \times 10^{-1}$	$2.90 \times 10^{-2}$	$1.40 \times 10^{-3}$
2	$2.50 \times 10^{-1}$	$1.80 \times 10^{-1}$	$1.70 \times 10^{-1}$	$3.50 \times 10^{-2}$	$1.70 \times 10^{-3}$
3	$2.30 \times 10^{-1}$	$1.60 \times 10^{-1}$	$1.60 \times 10^{-1}$	$3.30 \times 10^{-2}$	$1.60 \times 10^{-3}$
4	$2.10 \times 10^{-1}$	$1.50 \times 10^{-1}$	$1.40 \times 10^{-1}$	$3.00 \times 10^{-2}$	$1.50 \times 10^{-3}$
5	$1.90 \times 10^{-1}$	$1.30 \times 10^{-1}$	$1.30 \times 10^{-1}$	$2.70 \times 10^{-2}$	$1.40 \times 10^{-3}$
6	$1.70 \times 10^{-1}$	$1.20 \times 10^{-1}$	$1.20 \times 10^{-1}$	$2.50 \times 10^{-2}$	$1.30 \times 10^{-3}$
7	$1.60 \times 10^{-1}$	$1.10 \times 10^{-1}$	$1.10 \times 10^{-1}$	$2.30 \times 10^{-2}$	$1.10 \times 10^{-3}$
8	$1.40 \times 10^{-1}$	$1.00 \times 10^{-1}$	$9.90 \times 10^{-2}$	$2.10 \times 10^{-2}$	$1.00 \times 10^{-3}$
9	$1.30 \times 10^{-1}$	$9.20 \times 10^{-2}$	$9.00 \times 10^{-2}$	$1.90 \times 10^{-2}$	$9.50 \times 10^{-4}$
10	$1.20 \times 10^{-1}$	$8.40 \times 10^{-2}$	$8.20 \times 10^{-2}$	$1.70 \times 10^{-2}$	$8.70 \times 10^{-4}$
15	$7.50 \times 10^{-2}$	$5.30 \times 10^{-2}$	$5.10 \times 10^{-2}$	$1.10 \times 10^{-2}$	$5.50 \times 10^{-4}$
30	$1.90 \times 10^{-2}$	$1.30 \times 10^{-2}$	$1.30 \times 10^{-2}$	$2.80 \times 10^{-3}$	$1.40 \times 10^{-4}$

表 E.2 吸入途径  $^{131}\text{I}$  在甲状腺中的  $m(t)$  值 (续)

摄入后时间 d	$m(t)$				
	碘单质	甲基碘或 乙基碘	F 类物质	M 类物质	S 类物质
45	$4.70 \times 10^{-3}$	$3.30 \times 10^{-3}$	$3.20 \times 10^{-3}$	$7.20 \times 10^{-4}$	$3.50 \times 10^{-5}$
60	$1.20 \times 10^{-3}$	$8.30 \times 10^{-4}$	$8.10 \times 10^{-4}$	$1.90 \times 10^{-4}$	$9.00 \times 10^{-6}$
90	$7.50 \times 10^{-5}$	$5.30 \times 10^{-5}$	$5.10 \times 10^{-5}$	$1.20 \times 10^{-5}$	$5.90 \times 10^{-7}$
180	$1.90 \times 10^{-8}$	$1.30 \times 10^{-8}$	$1.30 \times 10^{-8}$	$3.40 \times 10^{-9}$	$1.70 \times 10^{-10}$
注：表中数据来自ICRP OIR Data Viewer。					

## 附录 F

(资料性)

待积有效剂量估算用的  $z(t)$  值

放射工作人员甲状腺中 $^{131}\text{I}$ 的 $z(t)$ 值见表F.1。放射工作人员吸入 $^{131}\text{I}$ 气溶胶的活度中值空气动力学直径(AMAD)为 $5\ \mu\text{m}$ 时甲状腺中 $^{131}\text{I}$ 的 $z(t)$ 值见表F.2。

表 F.1 放射工作人员甲状腺中 $^{131}\text{I}$ 的  $z(t)$  值

摄入后时间 d	甲状腺 $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$	
	碘单质	甲基碘或乙基碘
1	$6.2 \times 10^{-8}$	$6.2 \times 10^{-8}$
2	$6.5 \times 10^{-8}$	$6.5 \times 10^{-8}$
3	$7.2 \times 10^{-8}$	$7.2 \times 10^{-8}$
4	$7.9 \times 10^{-8}$	$7.9 \times 10^{-8}$
5	$8.7 \times 10^{-8}$	$8.6 \times 10^{-8}$
6	$9.5 \times 10^{-8}$	$9.5 \times 10^{-8}$
7	$1.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-7}$
8	$1.1 \times 10^{-7}$	$1.1 \times 10^{-7}$
9	$1.3 \times 10^{-7}$	$1.3 \times 10^{-7}$
10	$1.4 \times 10^{-7}$	$1.4 \times 10^{-7}$
15	$2.2 \times 10^{-7}$	$2.2 \times 10^{-7}$
30	$8.8 \times 10^{-7}$	$8.7 \times 10^{-7}$
45	$3.5 \times 10^{-6}$	$3.5 \times 10^{-6}$
60	$1.4 \times 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{-5}$
90	$2.2 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{-4}$
180	$8.8 \times 10^{-1}$	$8.8 \times 10^{-1}$
注：表中数据来自ICRP 137号报告的表5.12（适用于轻体力放射工作人员）。		

表 F.2 放射工作人员吸入<sup>131</sup>I气溶胶的活度中值空气动力学直径（AMAD）为5 μm时甲状腺中<sup>131</sup>I的 $z(t)$ 值

摄入后时间 d	F 类物质 $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$	M 类物质 $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$	S 类物质 $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$
1	$7.0 \times 10^{-8}$	$9.1 \times 10^{-8}$	$4.2 \times 10^{-7}$
2	$6.5 \times 10^{-8}$	$7.8 \times 10^{-8}$	$3.5 \times 10^{-7}$
3	$7.0 \times 10^{-8}$	$8.2 \times 10^{-8}$	$3.7 \times 10^{-7}$
4	$7.7 \times 10^{-8}$	$9.0 \times 10^{-8}$	$4.0 \times 10^{-7}$
5	$8.4 \times 10^{-8}$	$9.8 \times 10^{-8}$	$4.4 \times 10^{-7}$
6	$9.3 \times 10^{-8}$	$1.1 \times 10^{-7}$	$4.8 \times 10^{-7}$
7	$1.0 \times 10^{-7}$	$1.2 \times 10^{-7}$	$5.3 \times 10^{-7}$
8	$1.1 \times 10^{-7}$	$1.3 \times 10^{-7}$	$5.8 \times 10^{-7}$
9	$1.2 \times 10^{-7}$	$1.4 \times 10^{-7}$	$6.3 \times 10^{-7}$
10	$1.3 \times 10^{-7}$	$1.6 \times 10^{-7}$	$6.9 \times 10^{-7}$
15	$2.1 \times 10^{-7}$	$2.4 \times 10^{-7}$	$1.1 \times 10^{-6}$
30	$8.6 \times 10^{-7}$	$9.5 \times 10^{-7}$	$4.3 \times 10^{-6}$
45	$3.4 \times 10^{-6}$	$3.7 \times 10^{-6}$	$1.7 \times 10^{-5}$
60	$1.4 \times 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{-5}$	$6.6 \times 10^{-5}$
75	$5.4 \times 10^{-5}$	$5.7 \times 10^{-5}$	$2.6 \times 10^{-4}$
90	$2.2 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-3}$
180	$8.6 \times 10^{-1}$	$7.9 \times 10^{-1}$	3.6
注：表中数据来自ICRP 137号报告的表5.12（适用于轻体力放射工作人员）。			



附 录 G  
(资料性)  
待积有效剂量估算举例

G.1 摄入时间明确的单次测量的待积有效剂量示例

对一位从事临床核医学的技师，假设该人员某年9月2日可能吸入了单质<sup>131</sup>I，同年9月4日进行甲状腺<sup>131</sup>I直接测量，甲状腺的<sup>131</sup>I的测量活度为1150 Bq，计数统计的不确定度为59 Bq，计算其待积有效剂量 $E(50)$ 。

已知测量值为1150 Bq，查表F.2可知 $z(2)$ 为 $6.5 \times 10^{-8} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ ，根据公式（5），计算该名技师的待积有效剂量 $E(50)=1150 \text{ Bq} \times (6.5 \times 10^{-8}) \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}=7.5 \times 10^{-5} \text{ Sv}$ 。

G.2 常规监测的待积有效剂量估算示例

准备和处理含有<sup>131</sup>I放射性药物的技术人员有可能暴露于蒸气形式的<sup>131</sup>I（碘蒸气为F类物质）。假定该示例中常规监测计划为每隔30 d进行一次甲状腺直接测量。表G.1列出了前3次甲状腺直接测量的结果。

表 G.1 甲状腺中 <sup>131</sup>I 常规监测的直接测量结果

测量日期	首次接触放射性药物后的 时间 d	甲状腺中 <sup>131</sup> I 的活度 $M$ Bq	计数统计的不确定度 <sup>a</sup> $\sigma_M$ Bq
2014 年 9 月 18 日	30	510	35
2014 年 10 月 18 日	60	42	9
2014 年 11 月 17 日	90	24500	1660
<sup>a</sup> 计数统计的不确定度的获取可在实际测量中由谱分析软件自动给出，可直接取值。			

第一次测量的待积有效剂量估算步骤如下。

- a) 监测周期的判断：甲状腺监测间隔 30 d 符合 GBZ 129 要求。
- b) 判断测量值是否有显著意义：根据本标准附录 B 第 B.3 条可知，监测周期 30 d 的临界值( $M_c$ )约为 40 Bq。由于测量值 510 Bq 高于  $M_c$ ，需要进行剂量评估。
- c) 剂量评估：假设 <sup>131</sup>I 摄入发生在监测周期的中间时刻，已知监测周期  $T$  为 30 d，查表 F.2 可知  $z(15)$  为  $2.1 \times 10^{-7} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ 。则第一次测量中 <sup>131</sup>I 摄入所致的待积有效剂量  $E_1(50)$  可根据公式（5）计算如下：

$$E_1(50) = 510 \text{ Bq} \times (2.1 \times 10^{-7}) \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1} = 1.07 \times 10^{-4} \text{ Sv}$$

第二次测量的待积有效剂量估算步骤如下。

- a) 监测周期的判断：甲状腺监测间隔 30 d 符合标准要求。
- b) 检查测量值是否有显著意义：根据本标准附录 B 第 B.3 条可知，监测周期 30 d 的临界值( $M_c$ )约为 40 Bq。由于本次测量值 42 Bq 高于  $M_c$ ，并且由于第一次测量有 <sup>131</sup>I 摄入，因此需要评估先前摄入量对本次测量结果的贡献  $P$ 。
- c) 评估先前摄入量对本次测量结果的贡献  $P$ ：第一次监测周期中 <sup>131</sup>I 摄入所致的待积有效剂量  $E_1(50)$  为  $1.07 \times 10^{-4} \text{ Sv}$ ，并根据第一次监测周期摄入时间假定为监测周期中间时刻，因此距离

第二次测量时间为 45 d，查表 F.2 可知  $z(45)$  为  $3.4 \times 10^{-6} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ ，根据公式 (4) 计算第一次监测周期摄入对本次测量结果的贡献  $P$  如下：

$$P = \frac{1.07 \times 10^{-4}}{3.4 \times 10^{-6}} = 31 \text{ Bq}$$

- d) 离散因子计算：根据公式 (D.1) 计算 A 类离散因子 ( $SF_A$ ) 为： $SF_A = e^{\left(\frac{9}{42}\right)} = 1.24$ 。查表 D.1 可知 B 类离散因子 ( $SF_B$ ) 为 1.15。根据公式 (D.2) 计算离散因子如下：

$$SF = e^{\sqrt{[\ln(1.24)]^2 + [\ln(1.15)]^2}} = 1.29$$

- e) 判定先前摄入量对本次测量结果的影响：根据本标准第 6.1.3 条先前摄入量对本次测量结果影响的判定， $P \times SF^2 = 31 \times (1.29)^2 = 52 \text{ Bq}$ 。因为第二次测量活度值  $M$  为 42 Bq，小于 52 Bq，满足  $M$  值小于  $P \times SF^2$ ，所以判定在第二个监测周期内没有新的摄入。

第三次测量的待积有效剂量估算步骤如下。

- a) 监测周期的判断：甲状腺监测间隔 30 d 符合标准要求。
- b) 检查测量值是否有显著意义：根据本标准附录 B 第 B.3 条可知，监测周期 30 d 的临界值 ( $M_c$ ) 约为 40 Bq。由于本次测量值 24500 Bq 高于  $M_c$ ，并且由于第一次测量有  $^{131}\text{I}$  摄入，因此需要评估先前摄入量对本次测量结果的贡献  $P$ 。
- c) 评估先前摄入量对本次测量结果的贡献  $P$ ：第一次监测周期中  $^{131}\text{I}$  摄入所致的待积有效剂量  $E_1(50)$  为  $1.07 \times 10^{-4} \text{ Sv}$ ，并根据第一次监测周期摄入时间假定为监测周期中间时刻，因此距离第三次测量时间为 75 d，查表 F.2 可知  $z(75)$  为  $5.4 \times 10^{-5} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$  可根据公式 (4) 计算第一次监测周期摄入对本次测量结果的贡献  $P$  如下：

$$P = \frac{1.07 \times 10^{-4}}{5.4 \times 10^{-5}} = 1.98 \text{ Bq}$$

- d) 离散因子计算：根据公式 (D.1) 计算 A 类离散因子 ( $SF_A$ ) 为： $SF_A = e^{\left(\frac{1660}{24500}\right)} = 1.07$ 。查表 D.1 可知 B 类离散因子 ( $SF_B$ ) 为 1.15。根据公式 (D.2) 计算离散因子如下：

$$SF = e^{\sqrt{[\ln(1.07)]^2 + [\ln(1.15)]^2}} = 1.17$$

- e) 判定先前摄入量对本次测量结果的影响：根据本标准第 6.1.3 条先前摄入量对本次测量结果影响的判定， $P \times SF^2 = 1.98 \times (1.17)^2 = 3 \text{ Bq}$ 。因为第三次测量活度值  $M$  为 24500 Bq，大于 3 Bq，不满足  $M$  值小于  $P \times SF^2$ ，所以判定在第三个监测周期有新的摄入，因此需要进行剂量评估。
- f) 剂量评估：假设  $^{131}\text{I}$  摄入发生在监测周期的中间时刻，已知监测周期  $T$  为 30 d，查表 F.2 可知  $z(15)$  为  $2.1 \times 10^{-7} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ 。本次测量值 24500 Bq，第一次监测周期的摄入对本次测量结果的贡献  $P$  为 1.98 Bq，则第三次测量中  $^{131}\text{I}$  摄入所致的待积有效剂量  $E_3(50)$  可根据公式 (7) 计算如下：

$$E_3(50) = (24500 \text{ Bq} - 1.98 \text{ Bq}) \times (2.1 \times 10^{-7}) \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1} = 5.14 \times 10^{-3} \text{ Sv}$$

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 16145—2022 环境及生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法
  - [2] GB/T 16148—2009 放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范
  - [3] WS/T 584—2017 人体内放射性核素全身计数测量方法
  - [4] ISO 11929-1:2025 Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the coverage interval) for measurements of ionizing radiation — Fundamentals and application, Part 1: Elementary applications. Geneva: ISO, 2025.
  - [5] ISO 20553:2025 Radiation protection — Monitoring of workers occupationally exposed to a risk of internal contamination with radioactive material. Geneva: ISO, 2025.
  - [6] ISO 27048:2011 Radiation protection—Dose assessment for the monitoring of workers for internal radiation exposure. 2011.
  - [7] International Commission on Radiological Protection, Occupational intake of radionuclides: Part 1 [R]. ICRP Publication 130. 2015.
  - [8] International Commission on Radiological Protection, Occupational intake of radionuclides: Part 3 [R]. ICRP Publication 137. 2017.
  - [9] International Commission on Radiation Units & Measurements, Phantoms and Computational Models in Therapy, Diagnosis and Protection. ICRU Report 48. 1992.
  - [10] European Commission, Technical recommendations for monitoring individuals for occupational intakes of radionuclides. Radiation Protection Report Series No.188. 2018.
-