



中华人民共和国国家标准

GB/T 16148—1995

放射性核素摄入量及内照射剂量 估算规范

Specification for assessments of
intakes and internal doses of radionuclides

1996-01-23 发布

1996-07-01 实施

国家技术监督局
中华人民共和国卫生部

发布

中华人民共和国国家标准

放射性核素摄入量及内照射剂量 估算规范

GB/T 16148—1995

Specification for assessments of
intakes and internal doses of radionuclides

1 主题内容与适用范围

本标准规定了放射性核素摄入量及内照射剂量的速查表估算方法。

本标准适用于职业性照射的内照射估算工作。

2 内照射的辐射防护评价量

2.1 评价内照射对受照器官(组织)所产生的确定性效应大小的基本量,是它所产生的待积器官(组织)剂量当量 $H_{50,T}$,它必须满足下列关系式:

$$H_{50,T} \leq 0.5 \text{ Sv} \quad \dots\dots\dots (1)$$

2.2 评价内照射对全身所产生的随机性效应大小的基本量,是它所产生的待积有效剂量当量 $H_{50,E}$,它应满足下列关系式:

$$H_{50,E} \leq 0.05 \text{ Sv} \quad \dots\dots\dots (2)$$

2.3 对同一个工作人员,应保证被摄入放射性核素所产生的 $H_{50,T}$ 和 $H_{50,E}$ 均低于它们相应的年限值,即保证公式(1)和(2)同时成立。

2.4 年摄入量限值¹⁾是评价内照射的次级限值,是评价内照射大小更为实用的量¹⁾。摄入量评价可以代替内照射剂量评价。利用年摄入量限值来评价时,应满足下列关系式:

$$I_j \leq \text{ALI}_j (\text{当摄入单种核素 } j \text{ 时}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中: I_j ——任何一年以内以某种方式摄入体内的核素 j 的总活度, Bq;

ALI_j ——对核素 j 在该种摄入方式下的相应年摄入量限值, Bq。

或者,应满足下列关系式:

$$\sum_{j=1}^n \frac{I_j}{\text{ALI}_j} \leq 1 (\text{当摄入含有几种核素的混合物时}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

2.5 当既吸入又食入不同核素的混合物时,总的内照射应满足下列关系式:

$$\sum_{j=1}^n \left(\frac{I_j}{\text{ALI}_j} \right)_{\text{食入}} + \sum_{i=1}^m \left(\frac{I_i}{\text{ALI}_i} \right)_{\text{吸入}} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中: n ——食入核素的种类数;

m ——吸入核素的种类数;

I_j ——一年内被食入的核素 j 的总活度, Bq;

注: 1) 各种核素的年摄入量限值见 GB 4792—84《放射卫生防护基本标准》。

I_i ——一年内被吸入的核素 i 的总活度, Bq;

ALI_j ——对核素 j 通过食入途径的年摄入量限值, Bq;

ALI_i ——对核素 i 通过吸入途径的年摄入量限值, Bq。

2.6 当在一年时间内同时受到内、外照射时,应同时满足上述关系式(1)以及下面关系式(6):

$$\left(\frac{(H_E)_{\text{外}}}{50\text{mSv}} \right) + \sum_j \left(\frac{I_j}{(ALI)_j} \right) \leq 1 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中: $(H_E)_{\text{外}}$ ——该年内受到的外照射有效剂量当量, mSv。

3 内照射监测量

3.1 通常采用的内照射监测方法有下列两大类:

a. 活体测量:体外直接测定全身或器官内放射性核素的活度。如:全身计数器测量,甲状腺测量,肺中钷测量等;

b. 离体测量:人体排泄物(尿、粪便等)中放射性核素的活度。

3.2 活体测量的优点是快速和方便,它们适用于监测一切能发射 X、 γ 或高能 β 射线的核素;离体测量的优点是成本比较低,并且也适用于监测不发射 X、 γ 或高能 β 射线的核素。一般情况下,这两种方法并不互相排斥,而是应该互相补充。

3.3 利用个人空气取样器测定人员呼吸带中的空气污染水平,也可以作为直接估算吸入量的一种较好的辅助手段。

3.4 在有条件的地方,若能同时进行呼吸带内气溶胶粒径组成的分析,可以改进吸入核素内照射剂量评价工作的精确度。

4 摄入量的估算

4.1 根据各种内照射监测结果推算放射性核素的摄入量,需要利用由一定数目的生物学隔室组成的代谢模式。利用这些模式可以建立起描述放射性核素在体内减少、滞留、转移以及排泄过程的动力学方程,并据此导出摄入滞留函数或摄入排泄函数。

4.2 摄入量的具体推算可以利用下列公式进行:

$$I = \frac{M}{IRF} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中: I ——估算得到的摄入量, Bq;

M ——对应于摄入后某时刻的内照射监测值(活体测量或离体测量结果), Bq;

IRF——与上述摄入后时刻相对应的该监测项目的摄入滞留函数值或摄入排泄函数值。

摄入量的推算实例见附录 B, 部分 IRF 值见表 B2。

4.3 当摄入事件的发生日期不能确定时,可以采用常规监测周期的一半来代表从摄入到监测之间的近似时间间隔。

4.4 当已知吸入物质的粒径或摄入方式(如不是单次摄入)不同于导出摄入滞留函数或摄入排泄函数所依据的条件时,应按附录 B 中参考文献[1]中第 B757~B763 页上所规定的方法对摄入量的估计值作出相应的修正。

4.5 在有条件的时候,应注意收集来自受照个体本身的代谢资料。以便于验证和修正基于参考人模型导出的一般性滞留或排泄函数。

4.6 算得摄入量之后,即可按 2.4 或 2.5 或 2.6 条的规定作出摄入量评价。

4.7 由于内照射监测结果不仅常常伴有较大的统计涨落,而且人员代谢规律上的涨落和差异会对估算结果带来更大的影响,因此在条件许可的情况下,应该尽可能在较长的时间内(即在可以和该核素在体内的有效减少期相比较的时间间隔内)均匀地进行多次排泄物取样或活体测量,然后再按下式求得摄入

量的最佳估计值:

$$I = \frac{\sum_i [(IRF)_i A_i]}{\sum_i (IRF)_i^2} \dots\dots\dots (8)$$

式中: I ——摄入量的最佳估计值, Bq;

$(IRF)_i$ ——第 i 次取样或测量时刻的相应摄入滞留(或排泄)函数值;

A_i ——第 i 次取样的测量值, Bq。

摄入量的最佳估计的实例见附录 B。

5 内照射剂量的估算

5.1 当需要知道摄入量所产生的相应待积有效剂量当量 $H_{50,E}$, 或待积器官(组织)剂量当量 $H_{50,T}$ 时, 可按以下两种方法(A 或 B)中的任一种方法进行估算:

5.1.1 方法 A

$$H_{50,E}(Sv) = \frac{I}{(ALI)_{\text{随}}} \times 0.05 \dots\dots\dots (9)$$

$$H_{50,T}(Sv) = \frac{I}{(ALI)_{\text{确}}} \times 0.5 \dots\dots\dots (10)$$

式中: $(ALI)_{\text{随}}$ ——该核素的随机性年摄入量限值, Bq;

$(ALI)_{\text{确}}$ ——该核素的确定性年摄入量限值, Bq。

5.1.2 方法 B

$$H_{50,E} = I \times (DCF)_{50,E}(Sv) \dots\dots\dots (11)$$

$$H_{50,T} = I \times (DCF)_{50,T}(Sv) \dots\dots\dots (12)$$

式中: $(DCF)_{50,E}$ ——摄入量-剂量转换因子, 等于摄入单位活度的放射性核素以后所产生的相应待积有效剂量当量, Sv/Bq;

$(DCF)_{50,T}$ ——摄入量-剂量转换因子, 等于摄入单位活度的放射性核素以后所产生的待积器官(或组织)剂量当量, Sv/Bq。

内照射剂量的估算实例见附录 B。

5.2 当求得内照射剂量之后, 即可按 2.1 或 2.2 条的规定进行内照射剂量评价。

5.3 有时为了辐射防护以外的目的, 可能需要估算出放射性核素在摄入后 t 年内(不一定是 50 年)产生的累积有效剂量当量 $H_{t,E}$ 或累积器官(组织)剂量当量 $H_{t,T}$ 。这时, 可以利用附录 C 中介绍的方法根据求得的待积剂量进行近似估算。

附录 A
术 语
(补充件)

A1 摄入量 intake

进入人体的放射性核素的量。其进入途径有吸入、食入和通过伤口或完好皮肤。

A2 吸收量 uptake

摄入体内后进入细胞外液的放射性核素的量。

A3 滞留量 retention

在摄入后的不同时间,滞留在器官、组织或全身内的放射性核素量。被体液摄取的核素量称作系统滞留量。系统滞留量和在呼吸道及胃肠道内的滞留量之和称全身滞留量。

A4 沉积量 deposition

摄入体内后,在摄入器官内沉积下来的放射性核素量。例如在一次急性吸入之后沉积在胃肠道内的放射性核素量。

A5 D类化合物 D class compound

在肺区中的半廓清期小于 10 天的化合物。

A6 W类化合物 W class compound

在肺区中的半廓清期为 10 天到 100 天的化合物。

A7 Y类化合物 Y class compound

在肺区中的半廓清期大于 100 天的化合物。

A8 生物隔室 bioassay compartment

由诸如一个器官或组织,或一个特殊的细胞群所组成的一个生理学构体,进入该隔室的物质假定会和隔室内的原有物质瞬时均匀混合。

A9 摄入滞留函数 (IRF)intake retention function

单次摄入情况下,核素在全身、某器官或某组织中的滞留量占摄入量的分数随摄入后时间变化的数学表达式。

A10 摄入排泄函数 (IEF)intake excretion function

单次摄入情况下,核素经尿、粪便等排泄途径排出体外的量占摄入量的分数随摄入后时间变化的数学表达式。

A11 活度中值空气动力学直径 (AMAD)activity median aerodynamic diameter

一个密度为 1 g/cm^3 的球体在空气中的沉降末速度与一个其活度是所有气溶胶粒子活度的中值的

粒子的沉降末速度相同,这个球的直径称为该种气溶胶粒子的活度中值空气动力学直径。

A12 年摄入量限值 (ALI) annual limits on intake

一个人(由参考人来代表)只摄入一种放射性核素时引致的照射即达到国家规定的有关年剂量当量限值,这种条件下摄入的放射性核素的活度称为年摄入量限值。

A13 待积器官(或组织)剂量当量 ($H_{50,T}$) committed organ or tissues dose equivalent

某种放射性核素在被摄入体内以后的 50 年中,对器官(或组织)T 所产生的按整个器官(或组织)平均的累积剂量当量。

A14 待积有效剂量当量 ($H_{50,E}$) committed effective dose equivalent

$$H_{50,E} = \sum_T W_T H_{50,T} \dots\dots\dots (A1)$$

式中: W_T ——器官 T 的危险度权重因子,它等于组织 T 受照后在其中引起的确定性危险度与全身均匀受照射时引起的总危险度的比值。

附录 B

摄入量及内照射剂量的估算和评价实例

(参考件)

例 1:

通过常规的全身计数器测量,发现甲、乙两名工作人员的体内存在着 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 内污染,其活度分别为:

甲 ^{137}Cs 52Bq; ^{60}Co 192Bq。

乙 ^{137}Cs 133Bq; ^{60}Co 48Bq。

假定根据回忆和有关记录,推测事故是发生在去年 10 月 15 日的一次爆炸(吸入)事故。全身计数器测量是今年 10 月 15 日进行的,因此从吸入到测量之间的时间的间隔 t 为 365 天。

根据 ICRP30 号出版物的分类,他们所操作的含 ^{137}Cs 化合物属于 D 类、含 ^{60}Co 化合物属于 W 类。同时查得,吸入上述 D 类 ^{137}Cs 和 W 类 ^{60}Co 的相应确定性效应年摄入量限值都等于 $6 \times 10^6 \text{Bq}$ 。

由参考文献[1]¹⁾查得单次吸入 ^{137}Cs 和 ^{60}Co (W)后 365 天的全身摄入滞留份额分别为 5.93×10^{-2} 和 1.30×10^{-2} (见 B—111 和 B—212 页)。即可进行下述估算和评价:

注: 1) 参考文献[1]: E. T. 莱萨德、夏益华等著,夏益华译《内照射摄入量估算手册》,世界图书出版公司,1988。

a. 摄入量估算:

按本标准式(7)可估计出他们的摄入量分别为:

$$\text{甲: } I_1 = \frac{52 \text{Bq}}{5.93 \times 10^{-2}} = 878 \text{ Bq} (^{137}\text{Cs})$$

$$I_2 = \frac{192 \text{ Bq}}{1.30 \times 10^{-2}} = 14\,800 \text{ Bq} (^{60}\text{Co})$$

$$\text{乙: } I_1 = \frac{133 \text{Bq}}{5.93 \times 10^{-2}} = 2\,240 \text{ Bq} (^{137}\text{Cs})$$

$$I_2 = \frac{48 \text{ Bq}}{1.30 \times 10^{-2}} = 3\,700 \text{ Bq} (^{60}\text{Co})$$

b. 内照射剂量估算:

按本标准式(9)可求得上述摄入量所产生的待积有效剂量当量为:

$$\text{甲: } H_{50,E} = \left[\frac{878}{6 \times 10^6} (^{137}\text{Cs}) + \frac{14\,800}{6 \times 10^6} (^{60}\text{Co}) \right] \times 0.05 = 1.3 \times 10^{-4} \text{ Sv}$$

$$\text{乙: } H_{50,E} = \left[\frac{2\,240}{6 \times 10^6} (^{137}\text{Cs}) + \frac{3\,700}{6 \times 10^6} (^{60}\text{Co}) \right] \times 0.05 = 4.95 \times 10^{-5} \text{ Sv}$$

c. 内照射摄入量评价:

按 2.4 条中公式(4)进行摄入量评价:

$$\text{甲: } H_{50,E} = \frac{878}{6 \times 10^6} (^{137}\text{Cs}) + \frac{14\,800}{6 \times 10^6} (^{60}\text{Co}) = 2.61 \times 10^{-3} \leq 1$$

$$\text{乙: } H_{50,E} = \frac{2\,240}{6 \times 10^6} (^{137}\text{Cs}) + \frac{3\,700}{6 \times 10^6} (^{60}\text{Co}) = 9.9 \times 10^{-4} \leq 1$$

可见无论是按上面的剂量评价,或摄入量评价来看,本事故中甲、乙两名工作人员所受到的 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 混合内照射均是比较轻微的。

例 2:

发生了一次 D 类铀的吸入事故。由于当时就觉察到了事故的发生,因此立即开始收集尿样。为了改善统计误差,测量累积尿样比较有利。根据测到的尿中铀的平均浓度,采用参考人每日排尿量为 1.4 升的假定,就可以求出吸入后不同时刻的累积尿样中铀的含量。再利用本标准正文中公式(8),就可以求得铀摄入量的最佳估计值,见表 B1。

表 B1 根据尿中铀的测定值估计摄入量的例子

人员 序号	取样时间 (摄入后天数) t_i, d	尿中铀的浓度 $c_i, \mu\text{g/L}$	铀在累积尿样中 摄入量份额 y_i	累积尿样中铀 含量的估计值 $A_i, \mu\text{g}$	摄入量的 最佳估计值 $I, \mu\text{g}$
1	0.20	6 100	0.050 0	1 700	1.1E04
1	0.60	990	0.132	2 300	
1	2.0	90	0.529	2 500	
1	3.0	210	0.291	2 700	
2	0.20	9 600	0.050 0	2 700	
2	0.40	2 600	0.095 0	3 400	2.1E04
2	0.80	1 300	0.162	4 100	
2	2.8	220	0.287	4 700	
3	0.36	540	0.086 7	270	
3	0.50	310	0.114	330	
3	0.65	110	0.140	350	1.7E03
3	2.0	8	0.259	370	
3	2.8	12	0.287	380	

表 B1 中铀在累积尿样中的摄入量份额是由文献[1]中的速查表(B—163 页)查得的。累积尿样中铀的含量可以这样估算:

先求得第 i 次取得的尿样中的铀含量 ΔA_i :

$$\Delta A_i = c_i \times \Delta t_i \times 1.4 \text{ L/d} \quad \dots\dots\dots (\text{B1})$$

式中: c_i ——第 i 个尿样的平均铀浓度, Bq/L;

Δt_i ——第 i 次取样的时间 t_i 与上一次取样时刻 t_{i-1} 的差, 即 $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ (1.4 L/d 为每天平均排尿量)。

$$A_i = \Delta A_1 + \Delta A_2 \dots + \Delta A_i \quad \dots\dots\dots (\text{B2})$$

然后利用公式(8)即可求得每个人的摄入量最佳估计值。

表 B2 急性摄入的 IRF 值举例

摄入后 时间 d	隔室内的 IRF			摄入后 时间 d	隔室内的 IRF		
	肺	全身	24 小时 尿样		肺	全身	24 小时 尿样
${}^{192}\text{Ir}$ 水, 食入, $\text{ALI}=2.55\text{E}+09\text{Bq}$				10.0	8.96E-07	1.78E-01	1.04E-02
1.0	9.32E-01		3.92E-02	30.0	0.00	1.06E-01	6.21E-04
5.0	7.05E-01		2.96E-02	100.0		8.99E-02	1.26E-04
10.0	4.97E-01		2.09E-02	200.0		7.81E-02	7.42E-05
30.0	1.22E-01		5.14E-03	365.0		6.68E-02	4.18E-05
100.0	9.12E-04		3.83E-05	${}^{90}\text{Sr}$, Y 类吸入, $\text{ALI}=1.00\text{E}+05\text{Bq}$			
200.0	8.32E-07		3.49E-08	1.0	2.13E-01	5.86E-01	1.34E-03
365.0	—		—	5.0	1.53E-01	1.85E-01	4.22E-04
${}^{60}\text{Co}$, 食入, $\text{ALI}=2.00\text{E}+07\text{Bq}$				10.0	1.48E-01	1.52E-01	1.87E-04
1.0	7.06E-01		1.25E-02	30.0	1.45E-01	1.47E-01	2.32E-05
5.0	3.54E-02		8.48E-02	100.0	1.34E-01	1.36E-01	1.55E-05
10.0	1.43E-02		4.52E-04	200.0	1.20E-01	1.22E-01	1.50E-05
30.0	8.80E-03		7.21E-05	365.0	1.00E-01	1.03E-01	1.47E-05
100.0	5.95E-03		1.51E-05	${}^{131}\text{I}$, D 类吸入, $\text{ALI}=1.85\text{E}+06\text{Bq}$			
200.0	4.38E-03		6.14E-06	1.0	1.33E-01	2.74E-01	3.04E-01
365.0	3.28E-03		2.57E-06	5.0	1.20E-01	1.25E-01	1.31E-03
${}^{60}\text{Co}$, W 吸入, $\text{ALI}=5.43\text{E}+06\text{Bq}$				10.0	7.51E-02	8.00E-02	1.88E-04
1.0	2.11E-01	5.66E-01	2.59E-02	30.0	1.16E-02	1.32E-02	6.25E-05
5.0	1.44E-01	2.06E-01	2.26E-03	100.0	1.80E-05	2.11E-05	1.24E-07
10.0	1.32E-01	1.63E-01	1.27E-03	200.0	—	—	—
30.0	1.01E-01	1.23E-01	4.48E-04	365.0	—	—	—
100.0	4.03E-02	5.77E-02	1.82E-04	${}^{131}\text{I}$, 食入, $\text{ALI}=1.33\text{E}+06\text{Bq}$			
200.0	1.07E-02	2.44E-02	6.86E-05	1.0	2.54E-01	3.21E-01	6.43E-01
365.0	1.47E-03	1.16E-02	1.77E-05	5.0	1.88E-01	1.94E-01	1.49E-03
${}^{60}\text{Co}$, Y 吸入, $\text{ALI}=8.47\text{E}+06\text{Bq}$				10.0	1.17E-01	1.25E-01	8.76E-04
1.0	2.13E-01	5.83E-01	4.64E-03	30.0	1.82E-02	2.06E-02	1.16E-04
5.0	1.52E-01	1.90E-01	8.17E-04	100.0	2.82E-05	3.29E-05	1.66E-07
10.0	1.48E-01	1.57E-01	3.33E-04	200.0	—	—	—
30.0	1.43E-01	1.49E-01	6.43E-05	365.0	—	—	—
100.0	1.30E-01	1.34E-01	2.60E-05	${}^{137}\text{Cs}$, 食入, $\text{ALI}=3.57\text{E}+06\text{Bq}$			
200.0	1.12E-01	1.17E-01	1.99E-05	1.0	9.66E-01		2.70E-02
365.0	9.08E-02	9.37E-02	1.64E-05	5.0	8.90E-01		1.03E-02
${}^{90}\text{Sr}$, 食入, $\text{ALI}=1.00\text{E}+06\text{Bq}$				10.0	8.48E-01		5.32E-03
1.0	7.15E-01		5.85E-02	30.0	7.44E-01		3.76E-03
5.0	1.58E-01		1.30E-02	100.0	4.76E-01		2.41E-03
10.0	9.90E-02		5.60E-03	200.0	2.52E-01		1.27E-03
30.0	6.04E-02		3.41E-04	365.0	9.24E-02		4.68E-04
100.0	5.11E-02		7.15E-05	${}^{137}\text{Cs}$, D 类吸入, $\text{ALI}=5.60\text{E}+06\text{Bq}$			
200.0	4.44E-02		4.21E-05	1.0	7.97E-02	6.22E-01	1.35E-02
365.0	3.80E-02		2.37E-05	5.0	5.80E-04	5.72E-01	7.16E-03
${}^{90}\text{Sr}$, D 类吸入, $\text{ALI}=7.00\text{E}+05\text{Bq}$				10.0	8.96E-07	5.43E-01	3.51E-03
1.0	7.97E-02	5.05E-01	8.57E-02	30.0	0.00E-00	4.76E-01	2.41E-03
5.0	5.80E-04	2.67E-01	2.45E-02	100.0	—	3.05E-01	1.54E-03
				200.0	—	1.61E-01	8.16E-04
				365.0	—	5.93E-02	3.00E-04

续表 B2

摄入后 时间 d	隔室内的 IRF			摄入后 时间 d	隔室内的 IRF		
	肺	全身	24 小时 尿样		肺	全身	24 小时 尿样
²³⁵ U, D 类吸入, ALI=5.01E+04Bq				30.0	1.02E-01	9.59E-04	1.76E-05
1.0	7.97E-02	4.10E-01	1.87E-01	100.0	4.18E-02	3.67E-04	1.12E-05
5.0	5.81E-04	1.68E-01	1.31E-02	200.0	1.15E-02	9.62E-05	7.89E-06
10.0	8.96E-07	1.21E-01	7.26E-03	365.0	1.66E-03	1.57E-05	4.96E-06
30.0	0.00E-00	5.06E-02	1.71E-03	²³⁹ Pu, Y 类吸入, ALI=5.26E+02Bq			
100.0	—	1.47E-02	1.11E-04	1.0	2.13E-01	5.21E-02	1.55E-05
200.0	—	1.15E-02	5.15E-06	5.0	1.53E-01	3.64E-02	2.87E-06
365.0	—	1.11E-02	1.72E-06	10.0	1.48E-01	9.87E-04	1.29E-06
²³⁸ U, W 类吸入, ALI=2.52E+04Bq				30.0	1.45E-01	1.34E-04	8.81E-07
1.0	2.11E-01	5.57E-01	4.13E-02	100.0	1.35E-01	1.21E-04	6.99E-07
5.0	1.45E-01	2.03E-01	2.69E-03	200.0	1.22E-01	1.06E-04	7.73E-07
10.0	1.32E-01	1.59E-01	1.75E-03	365.0	1.03E-01	8.44E-05	8.03E-07
30.0	1.02E-01	1.17E-01	7.28E-04	²³⁹ Pu, 食入, ALI=2.43E+05Bq			
100.0	4.18E-02	4.81E-02	2.43E-04	1.0	2.82E-01	3.31E-07	
200.0	1.15E-03	1.57E-02	7.49E-05	5.0	3.14E-02	7.42E-08	
365.0	1.66E-03	5.14E-02	1.29E-05	10.0	2.20E-04	2.84E-08	
²³⁸ U, Y 类吸入, ALI=1.51E+03Bq				30.0	0.00E-00	1.57E-08	
1.0	2.13E-01	5.85E-01	2.23E-03	100.0	—	—	
5.0	1.53E-01	1.83E-01	1.31E-04	200.0	—	—	
10.0	1.48E-01	1.50E-01	8.42E-05	365.0	—	—	
30.0	1.45E-01	1.46E-01	3.27E-05	²⁴³ Am, 食入, ALI=5.00E+04Bq			
100.0	1.35E-01	1.35E-01	1.87E-05	1.0	7.14E-01	2.86E-01	
200.0	1.22E-01	1.22E-01	1.81E-05	5.0	1.87E-02	3.06E-02	
365.0	1.03E-01	1.04E-01	1.82E-05	10.0	5.74E-02	2.13E-04	
²³⁸ U, 食入, ALI=7.33E+06Bq				30.0	4.50E-04	0.00E+00	
1.0	7.01E-01	2.76E-01		100.0	4.49E-04	—	
5.0	3.37E-02	2.89E-02		200.0	4.47E-04	—	
10.0	1.23E-02	2.00E-04		365.0	4.45E-04	—	
30.0	5.14E-03	0.00		²⁴³ Am, W 类吸入, ALI=2.00E+02Bq			
100.0	1.50E-03			1.0	2.11E-01	5.90E-01	4.21E-02
200.0	1.18E-03			5.0	1.45E-01	2.39E-01	3.41E-02
365.0	1.14E-03			10.0	1.32E-01	2.03E-01	2.07E-03
²³⁹ Pu, W 类吸入, ALI=2.03E+02Bq				30.0	1.02E-01	1.80E-01	9.44E-04
1.0	2.11E-01	4.24E-02	2.83E-04	100.0	4.18E-02	1.36E-01	3.58E-04
5.0	1.45E-01	3.42E-02	5.39E-05	200.0	1.15E-02	1.15E-01	8.94E-05
10.0	1.32E-01	2.09E-03	2.54E-05	365.0	1.66E-03	1.09E-01	1.15E-05

附录 C
累积内照射剂量的估算实例
(参考件)

C1 估算方法

在辐射防护领域中,评价内照射的大小通常均需估算 50 年内的累积剂量当量(专门称作待积剂量当量)。然而有时出于辐射防护目的以外的考虑,需要估算放射性核素进入人体以后 t 年(t 不等于 50 年)内所产生的累积剂量当量。一般来讲为了计算这类剂量,最好采取具体问题具体计算的办法。但是由于这种逐个解决的办法一般都比较麻烦,不易推广。因此在可能的范围内需作必要的简化。

在本标准的适用范围之内,可以利用待积剂量当量的计算结果来推算 t 年内的累积剂量当量。

$$H_{t,E} = H_{50,E} \times f \quad \dots\dots\dots (C1)$$

$$H_{t,T} = H_{50,T} \times f \quad \dots\dots\dots (C2)$$

式中: $H_{t,E}$ —— t 年内产生的累积有效剂量当量;

$H_{t,T}$ —— t 年内产生的累积器官(组织)剂量当量;

$H_{50,E}$ ——相应的待积有效剂量当量;

$H_{50,T}$ ——相应的待积器官(组织)剂量当量;

f ——修正系数。

f 可以按下列三种情况分别确定:

- a. 当满足 $20T_{1/2} < t$ 或者 IRF_{WB} 函数值在 t 年之前已基本趋于零,如小于 1×10^{-6} 时(图 C1)则 $f=1$

这里, $T_{1/2}$ 为该核素的物理半衰期, IRF_{WB} 为该核素在有关摄入途径下的全身摄入滞留函数值(排泄函数不适用)。

- b. 当 IRF_{WB} 函数值在 t 年和 50 年之间的某时刻 t_0 趋于零时(图 C2), 则

- a. IRF_{WB} 在 t 之前趋于零 $f=1$

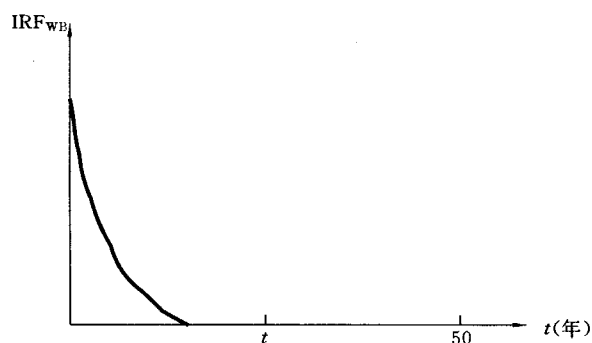


图 C1

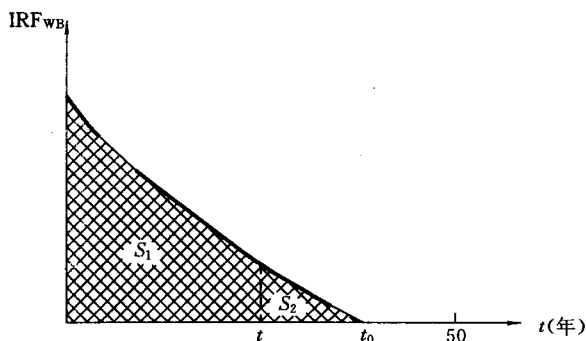


图 C2

b. IRF_{WB} 在 t 和 50 年之间趋于零

$$f = \frac{S_1}{S_2}$$

$$S_1 = \int_0^t \text{IRF}_{\text{WB}} dt$$

$$S_2 = \int_0^{t_0} \text{IRF}_{\text{WB}} dt$$

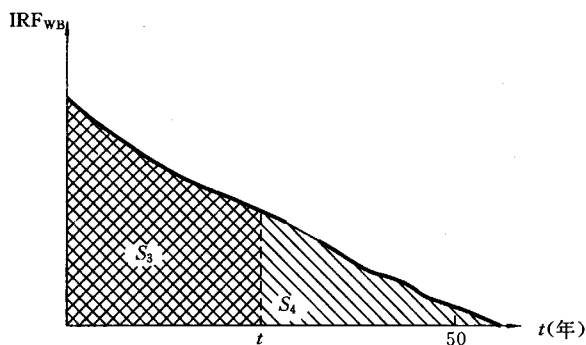


图 C3

c. IRF_{WB} 在 50 年之后才趋于零

$$f = \frac{S_3}{S_4}$$

$$S_3 = \int_0^t \text{IRF}_{\text{WB}} dt$$

$$S_4 = \int_0^{50} \text{IRF}_{\text{WB}} dt$$

$$f = \frac{\text{IRF}_{\text{WB}} \text{ 曲线在 } 0 \text{ 到 } t \text{ 之间所围的面积 (即 } \int_0^t \text{IRF}_{\text{WB}} dt \text{)}}{\text{IRF}_{\text{WB}} \text{ 曲线在 } 0 \text{ 到 } t_0 \text{ 之间所围的面积 (即 } \int_0^{t_0} \text{IRF}_{\text{WB}} dt \text{)}} \quad \dots\dots\dots (\text{C3})$$

c. 当 IRF_{WB} 函数值在 50 年之后趋于零时(图 C3), 则:

$$f = \frac{\text{IRF}_{\text{WB}} \text{ 曲线在 } 0 \text{ 到 } t \text{ 之间所围的面积 (即 } \int_0^t \text{IRF}_{\text{WB}} dt \text{)}}{\text{IRF}_{\text{WB}} \text{ 曲线在 } 0 \text{ 到 } 50 \text{ 之间所围的面积 (即 } \int_0^{50} \text{IRF}_{\text{WB}} dt \text{)}} \quad \dots\dots\dots (\text{C4})$$

C2 估算实例

例 1: 要求估算吸入 $2 \times 10^5 \text{ Bq } ^{131}\text{I}$ 后一年内所产生的累积有效剂量当量 $H_{1,E}$ 和累积甲状腺剂量当量 $H_{1,T}$ 。

由于 ^{131}I 的 $T_{1/2} = 0.0221$ 年, 本题中 $t = 1$ 年。所以满足 a 的要求, 因此修正系数 $f = 1$ 。从参考文献 [2]¹⁾ 查得吸入 $1 \text{ Bq } ^{131}\text{I}$ 后产生的待积有效剂量当量为 $8.3 \times 10^{-6} \text{ mSv}$; 所产生的待积甲状腺剂量当量为 $2.5 \times 10^{-4} \text{ mSv}$ 。

注: 1) 参考文献 [2]: Supplement of ICRP Publication 30, Limits for Intakes of radionuclides by Workers. 1981.

因此按公式 (C1) 和 (C2) 可以求得吸入 $2 \times 10^5 \text{ Bq } ^{131}\text{I}$ 之后一年内所产生的累积有效剂量当量和甲状腺量当量分别为:

$$H_{1,E} = H_{50,E} \times 1 = 2 \times 10^5 \times 8.3 \times 10^{-6} = 1.66 \text{ mSv}$$

$$H_{1,\text{甲状腺}} = H_{50,\text{甲状腺}} \times 1 = 2 \times 10^5 \times 2.5 \times 10^{-4} = 50 \text{ mSv}$$

例 2: 要求估算吸入 $4 \times 10^6 \text{ Bq } ^{137}\text{Cs}$ (D 类) 后 4 000 天内产生的累积有效剂量当量 $H_{1,E}$ 。

从 ^{137}Cs 的 IRF_{WB} 曲线可知(见参考文献 [1] B—111 页), 它基本上在 $t_0 = 2 000$ 天附近已实际上趋于零。

吸入 ^{137}Cs 后摄入全身滞留函数见表 C1。

表 C1 吸入¹³⁷Cs 后摄入全身滞留函数表

摄入后天数,d	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
IRF _{WB}	1.0	0.638	0.636	0.635	0.633	0.631	0.628	0.626
摄入后天数,d	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
IRF _{WB}	0.626	0.624	0.622	0.606	0.592	0.581	0.572	0.564
摄入后天数,d	7.0	8.0	9.0	10	20	30	40	50
IRF _{WB}	0.558	0.553	0.548	0.543	0.508	0.476	0.447	0.419
摄入后天数,d	60	70	80	90	100	200	300	400
IRF _{WB}	0.394	0.369	0.347	0.325	0.305	0.161	0.085 5	0.045 2
摄入后天数,d	500	600	700	800	900	1 000	2 000	
IRF _{WB}	0.023 9	0.012 7	6.7×10^{-3}	3.55×10^{-3}	1.88×10^{-3}	9.94×10^{-4}	1.71×10^{-6}	

从上述滞留曲线可以求出在不同时间内所覆盖的总面积。求面积可以利用下述近似数值积分的办法：

$$\int_a^b f(t)dt = \frac{b-a}{n} \left[\frac{f_a + f_b}{2} + f_1 + f_2 + \dots + f_{n-1} \right] \quad \dots\dots\dots (C5)$$

式中： n ——积分区间 $(b-a)$ 的等分段数；

$f_a, f_1, f_2, \dots, f_{n-1}, f_b$ ——相应等分点上的 IRF_{WB}值。

在参考文献[1]中,时间划分是以10的幂数形式分段的。因此,为了简单起见可以分段计算积分值,然后相加。

所以,本例中所要求的各个积分值如下：

$$\int_0^{400} \text{IRF}_{\text{WB}} dt = \int_0^1 \text{IRF}_{\text{WB}} dt + \int_1^{10} \text{IRF}_{\text{WB}} dt + \int_{10}^{100} \text{IRF}_{\text{WB}} dt + \int_{100}^{400} \text{IRF}_{\text{WB}} dt$$

$$\text{其中: } \int_0^1 \text{IRF}_{\text{WB}} dt = \frac{1-0}{10} \left[\frac{1+0.622}{2} + 0.638 + 0.636 + 0.635 + 0.633 + 0.631 + 0.629 + 0.628 + 0.626 + 0.624 \right] = 0.649$$

$$\text{其中: } \int_1^{10} \text{IRF}_{\text{WB}} dt = \frac{10-1}{9} \left[\frac{0.622+0.543}{2} + 0.606 + 0.592 + 0.581 + 0.572 + 0.564 + 0.558 + 0.553 + 0.548 \right] = 5.157$$

$$\text{其中: } \int_{10}^{100} \text{IRF}_{\text{WB}} dt = \frac{100-10}{9} \left[\frac{0.543+0.305}{2} + 0.508 + 0.476 + 0.447 + 0.419 + 0.394 + 0.369 + 0.347 + 0.325 \right] = 37.09$$

$$\text{其中: } \int_{100}^{400} \text{IRF}_{\text{WB}} dt = \frac{400-100}{3} \left[\frac{0.305+0.0452}{2} + 0.161 + 0.0855 \right] = 42.16$$

$$\text{所以: } \int_0^{400} \text{IRF}_{\text{WB}} dt = 0.649 + 5.157 + 37.09 + 42.16 = 85.06$$

同理可以求得

$$\begin{aligned} \int_0^{2000} \text{IRF}_{\text{WB}} dt &= \int_0^{100} \text{IRF}_{\text{WB}} dt + \int_{100}^{1000} \text{IRF}_{\text{WB}} dt + \int_{1000}^{2000} \text{IRF}_{\text{WB}} dt \\ &= (0.649 + 5.157 + 37.09) + 49.34 + 0.498 \\ &= 92.73 \end{aligned}$$

$$\text{所以 } f = \frac{\int_0^{400} \text{IRF}_{\text{WB}} dt}{\int_0^{2000} \text{IRF}_{\text{WB}} dt} = \frac{85.06}{92.73} = 0.917$$

从文献[2]查得吸入 ^{137}Cs 产生的待积有效剂量当量转换因子为： $8.33 \times 10^{-6} \text{ mSv/Bq}$ 。

所以按公式(C3)可以算得吸入 $4 \times 10^6 \text{ Bq } ^{137}\text{Cs}$ 后400天内所产生的累积有效剂量当量为：

$$\begin{aligned} H_{400, \text{E}} &= 4 \times 10^6 \text{ Bq} \times 8.33 \times 10^{-6} \text{ mSv/Bq} \times 0.917 \\ &= 30.6 \text{ mSv} \end{aligned}$$

例3：要求估算吸入450 Bq Y类 ^{235}U 以后三年(≈ 1000 天)内所产生的累积有效剂量当量。

从文献[1]查出相应的 IRF_{WB} (见B—451页)函数值。可以看到直到50年(18250天),它也远没有趋于零。因此应按公式(C4)估算。

利用上例相同的方法,可算出：

$$\begin{aligned} \int_0^{1000} \text{IRF}_{\text{WB}} dt &= \int_0^1 + \int_1^{10} + \int_{10}^{100} + \int_{100}^{1000} \\ &= 0.642 + 2.11 + 12.8 + 81.1 = 96.64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int_0^{50\text{年}} \text{IRF}_{\text{WB}} dt &= \int_0^{1000} + \int_{1000}^{10000} + \int_{10000}^{18250} \\ &= 96.64 + 106.5 + 33 = 236.14 \end{aligned}$$

$$\text{所以 } f = \frac{\int_0^{1000} \text{IRF}_{\text{WB}} dt}{\int_0^{18250} \text{IRF}_{\text{WB}} dt} = \frac{96.64}{236.11} = 0.41$$

因此吸入450 Bq Y类 ^{235}U 以后三年内所产生的累积内照射有效剂量当量为：(吸入Y类 ^{235}U 的有效剂量当量转换因子为 0.025 mSv/Bq)

$$\begin{aligned} H_{3, \text{E}} &= 450 \text{ Bq} \times 0.025 \text{ mSv/Bq} \times 0.41 \\ &= 4.62 \text{ mSv} \end{aligned}$$

C3 关于几个有关问题的讨论

C3.1 关于对估算时间 t 的限制

由于ICRP30号报告等为职业照射的辐射防护领域提供的资料均是针对50年内产生的累积剂量考虑的,而放射性核素进入人体之后在体内各部位之间的分布是会随时间而变化的。因此从原则上讲,在近似计算中希望 t 接近50年越好,但从实际情况看,只要能够避开核素的滞留分布还相当不稳定的早期阶段,即在对 t 施加适当限制的前提下,这里所介绍的近似估算方法是可以接受的。对 t 的限制可以按以下四种情况考虑：

- 对任何核素和任何摄入途径和吸入类别,显然只要 t 比核素的物理半衰期大很多(如 $t > 20 T_{1/2}$),估算结果是完全可以接受的。幸运的是,绝大多数医用同位素是容易满足这一点的；
- 对吸入D类或食入途径, t 最好大于3周以上；
- 对吸入W类, t 最好大于3个月；
- 对吸入Y类, t 最好大于3年。

C3.2 关于对器官(组织)累积剂量的估算问题

在本标准中推荐利用全身摄入滞留函数来同时估算累积有效剂量当量和累积器官(组织)剂量当量,这是因为参考文献[1]中只对甲状腺和肺两个器官给出了它们的器官滞留函数,其他只给出了系统器官和全身的滞留函数。再说由于源器官一般并不仅仅限于该受照器官本身,所以会使问题变得比较复杂。因此我们建议均采用全身摄入滞留函数作为估算的基础。只要对 t 等满足一定的限制要求,这样处理才能使问题得到简化。

C3.3 关于模式、参数的适用性和剂量水平问题

ICRP30 号报告是针对防护水平的职业照射的,它的代谢模式和参数是适用于成年健康人。所涉及的剂量水平也应是职业限值以下的防护水平。因此从根本上来讲,在估算中必须充分注意到这一点。另外,由于参考人的概括性是有限的,而人与人之间的差异以及各种生活环境因素对核素在体内的代谢行为影响是很大的。因此假若出于辐射防护目的以外的考虑需要估算内照射剂量时,最好是采用“Case by Case”(具体问题逐例解决)的方法。即尽量利用受照个体本身所可能获得的充分资料来代替一般性的资料。正如 ICRP30 号报告所指出的:“如果有理由确信某人的摄入量大于相应的年摄入量限值,而且认为需要估算由此产生的待积剂量当量时,建议应该尽可能实际地考虑到他的年龄和已知的生物学参数。”

附加说明:

本标准由中华人民共和国卫生部提出。

本标准由中国核工业北京华清公司负责起草。

本标准主要起草人夏益华。

本标准由卫生部委托技术归口单位卫生部工业卫生实验所负责解释。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
放射性核素摄入量及内照射剂量
估 算 规 范

GB/T 16148—1995

*

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

电 话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 26 千字

1997年3月第一版 1997年3月第一次印刷

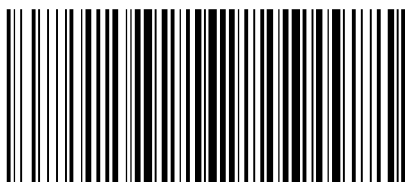
印数 1—1 000

*

书号: 155066·1-13499 定价 12.00 元

*

标 目 304—46



GB/T 16148—1995