

ICS 13.100

GBZ

C57

中华人民共和国国家职业卫生标准

GBZ/T 151-2002

放射事故个人外照射剂量估算原则

Principles of estimate on personal dose

from external exposure in radiation accident

2002-04-08 发布

2002-06-01 实施

中华人民共和国卫生部

发布

前 言

根据《中华人民共和国职业病防治法》制定本标准。原标准 GB/T 16135-1995 与本标准不一致的，以本标准为准。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 和附录 D 是资料性附录。

本标准由卫生部提出并归口。

本标准起草人：李开宝、赵招罗

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。

本标准由卫生部负责解释。

1 范围

本标准规定了放射事故中个人外照射剂量估计的一般原则和基本要求。

本标准适用于光子、中子辐射外照射事故。

本标准不适用于 β 辐射事故。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修改版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用文件的最新版本。凡不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GBZ 104 外照射急性放射病诊断标准

GBZ 113 电离辐射事故干预水平及医学处理原则

GBZ/T 144 用于光子外照射放射防护的剂量转换系数

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

事故照射 accidental exposure

在事故情况下受到的非自愿的、意外照射。

3.2

外照射 external exposure

体外辐射源对人体的照射。

3.3

一次急性照射 single acute exposure

在短时间内受到的一次性大剂量照射。

3.4

分次照射 fractionated exposure

在较长时间内受到多次、间歇性照射。

3.5

延时照射 protracted exposure

在长时期内受到的低剂量率连续或间断性照射。

3.6

相对均匀和非均匀照射 relatively uniform irradiation and non-uniform irradiation

事故照射情况下，受照者体内的剂量分布往往是很不均匀的，当不同部位吸收剂量值的变化因子不大于3时可称作相对均匀照射，大于3时可称作非均匀照射。

4 受照人员的初步鉴别

4.1 根据当事人（或在场者）关于事故情况的叙述判断其是否受到事故照射。

4.2 应根据个人剂量计和场所辐射监测装置的测量结果鉴别人员是否受到事故照射，但必须注意非均匀和局部照射情况，避免误判。

4.3 有可能受到中子照射的有关人员，应根据其血液、头发或其携带的金属制品的中子感生放射性活

度的测量结果鉴别其是否受到中子辐射事故照射。

4.4 依据受照者早期出现的症状，如厌食、恶心、呕吐和腹泻等判断受照程度，参见 GBZ 104。

4.5 对暂时难于作出是否受照判断的人员，可假定其均受到事故照射，待获得剂量学资料后再作甄别。

5 事故剂量估算程序

5.1 事故后 0~6h

5.1.1 收集个人剂量计及可供事故剂量测量用的样品（如手表红宝石等）进行测量，查阅事故发生时现场内辐射监测仪表的记录。

5.1.2 如存在中子照射，采集有关人员的头发、血液样品或其携带的金属制品，进行感生放射性活度测量。

5.1.3 了解事故过程和受照条件，情况允许时请受照射者进行模拟。

5.1.4 采集血液样品进行血象变化观察；培养淋巴细胞，为染色体畸变分析作准备。

5.1.5 作出物理剂量的初步估计，对照射均匀程度和大剂量局部照射部位作出判断。

5.2 事故后 7~71h

5.2.1 对前阶段调查的资料进行复查，做进一步分析。

5.2.2 有条件必要时，利用人体模型模拟事故受照条件，进行剂量分布测量。

5.2.3 比较物理剂量和根据血象变化推判的剂量结果。

5.2.4 对前阶段物理剂量的初步结果进行修正并给出初步的剂量分布资料。

5.3 事故 72h 以后

5.3.1 比较物理剂量和染色体畸变分析所估计的剂量结果并和临床的病情程度进行对照分析。

5.3.2 必要时做进一步的事事故模拟。

5.3.3 给出受照者剂量的最终报告。

6 事故调查要求

6.1 现场调查应有详细的调查笔录，必要时录音、录像。

6.2 调查内容包括辐射源的性质（辐射类型、能谱等）、源活度或辐射场照射量（或中子通量）分布、人员受照几何条件（距离、体位和姿态）、屏蔽和散射条件、受照时间及受照方式等。

6.3 模拟测量使用的人体模型应具有约定的几何尺寸和元素组成，使用的固态剂量计应具有好的组织等效性。如使用组织等效电离室，其灵敏体积应小于 1cm^3 。

7 事故剂量的表示方式

7.1 在评价随机效应时，事故剂量用有效剂量当量表示。

7.2 在评价非随机效应时，事故剂量用吸收剂量表示。

7.3 在上述两种情况下，均应给出主要器官（或组织）的吸收剂量。

7.4 对非均匀照射和分次、延时照射，应归一到一次照射等效剂量，参见附录 A 和附录 B。

8 事故剂量的测量方法

8.1 可用外周血淋巴细胞染色体畸变分析技术测定一次相对均匀照射的事故剂量，可测剂量范围约为 0.25 至 5Gy。

8.2 剂量在 1Gy 以下的外照射事故，受照人员可根据其早期血象变化估计受照剂量，参见 GBZ 113。

8.3 利用受照人员的个人剂量计或受照人员携带的能够给出剂量学信息的物质来测量局部位置的受照剂量，其测量结果可作为剂量参考点，用于检验所设立的事事故受照条件是否合理。

8.4 利用手表红宝石等的热释光现象测量人体局部剂量，可测剂量范围约为 0.25 至 10Gy。

8.5 利用自旋共振波谱技术测量受照人员某些伴随物（如药物等）样品中辐射产生的长寿命自由度浓度的变化来测量剂量，可测剂量范围约为 0.5 至数十 Gy。

8.6 可利用血液中钠和毛发中硫的中子激活分析技术测定中子剂量，可测剂量范围约为 0.1 至数十 Gy。

9 事故剂量的估算方法

9.1 主要用一般剂量学方法计算人员体内吸收剂量分布，参见附录 C。

9.2 中子照射由注量换算为吸收剂量可参见附录 D；光子照射由照射量或空气比释动能换算为剂量当量的详细数据，参见 GBZ/T 144。

10 剂量估算结果评价

10.1 事故剂量估算中，影响物理剂量准确度的最重要参数是受照时间和距离，但其估计值往往受到某些主观因素的影响，因此，物理剂量估计一般很难做到准确无误。

10.2 在一次相对均匀照射条件下，染色体畸变分析技术能够提供比较准确的整体剂量平均值，但对局部、分次和延时照射，剂量评价存在困难。

10.3 利用病人早期临床反应和血象变化估计受照剂量，由于个体差异较大，其剂量结果属半定量估计值。

10.4 最终剂量的确定应基于物理剂量、临床观察和生物剂量三方面资料。

附录 A
(资料性附录)
干细胞活存计权等效剂量计算方法

A1 在事故情况下，人员受到的照射都是不均匀的。目前还没有可以适用于各种剂量范围又能反映效应程度的剂量表达方式来表示这种不均匀照射的方法。本附录以可参照使用的用红骨髓造血干细胞活存计权等效剂量的方法，表示骨髓型放射病人的剂量。

A2 在非均匀照射条件下，干细胞的活存率 (S_n) 的计算方法如下：

$$S_n = \frac{1}{W} \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} m(D) S_u(D) dD \quad \dots\dots\dots (A1)$$

式中： W ——全身红骨髓质量，g；
 D ——红骨髓吸收剂量，Gy；
 $m(D)$ ——受照剂量为 D 的红骨髓质量，g；
 $S_u(D)$ ——均匀照射条件下，剂量为 D 时干细胞活存率，%。

$S_u(D)$ 的一般表达式为：

$$S_u(D) = 1 - (1 - e^{-D/D_0})^n \quad \dots\dots\dots (A2)$$

式中： D_0 ——常数，Gy；
 n ——常数。

A3 根据体内红骨髓分布和剂量分布资料，按方程 (A1) 求得非均匀照射条件下的干细胞存活率 S_n ，并以此作为均匀照射条件下的干细胞存活率代入 S_u 代入方程 (A2)，求得 D (即干细胞存活计权等效剂量 D_{sw})。

附录 B
(资料性附录)

分次、延时照射归一为一次照射等效剂量的方法

B1 分次、延时照射比一次等剂量低 LET 辐射的急性照射有较小的辐射效应。把分次、延时照射的累积剂量归一为一次照射等剂量，目前还没有找出比较成熟的方法。下面提出的计算方法是放射治疗中经常使用的计算模式或根据事故病人资料总结的经验公式，可作为现阶段参考使用。

B2 分次照射的一次等效剂量 NSD (nominal standard dose) 的计算公式如下：

$$NSD = (TDF)^{1/1.538} \dots\dots\dots (B1)$$

式中：TDF——时间-剂量分次因子 (time-dose fractionation factor)。

TDF 的表达式如下：

$$TDF = n \cdot d^{1.538} \cdot X^{-0.169} \dots\dots\dots (B2)$$

式中：n——分割照射次数；

d——分次照射剂量，cGy；

X——分次照射时间间隔，天；(数值上 $X=7/f$, f 为每周 (7 天) 分次照射频率。)

方程式 (B2) 式适用于 $n \geq 4$ 。另外 TDF 可以相加，即，

$$TDF_{total} = \sum_{i=1}^k TDF_i \dots\dots\dots (B3)$$

式中：TDF_i——第 i 分次照射程序的时间-剂量分次因子。

对两个疗程间的休息用衰减因子 (decay factor) 进行校正，衰减因子 (DF) 的计算公式如下：

$$DF = (T_1 / (T_1 + R))^{0.11} \dots\dots\dots (B4)$$

式中：T₁——第一疗程的治疗时间间隔，天；

R——第一疗程结束到第二疗程开始之间时间间隔，天。

例如，求两个疗程结束后的一次等效剂量，对式 (B1) 校正如下：

$$NSD = (TDF_1)^{1/1.538} \cdot DF + (TDF_2)^{1/1.538} \dots\dots\dots (B5)$$

式中：TDF₁——第一疗程的 TDF 值；

TDF₂——第二疗程的 TDF 值。

计算举例：如 $n=10$, $d=100$, cGy, $X=1.4$ 天 (每周照射 5 次)，求一次照射等效剂量。

计算：(1) $TDF = n \cdot d^{1.538} \cdot X^{-0.169}$
 $= 10 \times 100^{1.538} \times 1.4^{-0.169}$
 $= 11252$
 (2) $NSD = (TDF_1)^{1/1.538}$
 $= (11252)^{1/1.538}$
 $= 430.6(\text{cGy 当量})$

B3 延时照射的等效剂量计算公式如下：

$$ED = D / (1 + K / \sqrt[3]{\dot{D}}) \dots\dots\dots (B6)$$

式中：ED——等效为一周内的照射剂量当量；

D——累积剂量，cGy；

\dot{D} ——剂量率，cGy/min；

K——常数，正常健康人 $K=0.475$ ，白细胞减少症人 $K=0.237$ 。此式适用于 100 天以内的照射。

附录 C
(资料性附录)
吸收剂量的计算方法

C1 在事故剂量的计算中，所采用的计算模型通常只考虑含有红骨髓的躯干、肢体上端和头颈部。计算中通常沿体轴方向将模型分为 17 层（头颈部 5 层，躯干部 12 层），各层所在的部位和编号见表 C1。可根据实际要求把每个计算层划分为若干个小立体单元。首先计算出各单元的剂量，则可进一步计算其他所考虑的剂量。

表 C1 计算各层所在部位。

| 编 号 | 部 位 | 编 号 | 部 位 |
|-----|------------------|-----|-------------|
| 17 | 头中心（前额） | 9 | 第五肋骨（肩胛骨） |
| 16 | 眶中心 | 8 | 剑突下 |
| 15 | 口腔中心（鼻孔、舌根、第一颈椎） | 7 | 第七胸椎（第九肋骨） |
| 14 | 下颌中心（下唇、第四颈椎） | 6 | 第二腰椎 |
| 13 | 第七颈椎 | 5 | 腹中心（脐、第三腰椎） |
| 12 | 锁骨下 | 4 | 肋骨上端（第五腰椎） |
| 11 | 第二肋骨（肩胛中部） | 3 | 骨盆中心（第一骶骨） |
| 10 | 第四肋骨（胸骨中心） | 2 | 股骨头（耻骨联合上缘） |
| | | 1 | 股骨粗隆 |

C2 平均吸收剂量的计算方法如下：

$$D_{aw} = \frac{\sum_{i=1}^k D_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^k m_i} \dots\dots\dots (C1)$$

式中： D_{aw} ——平均吸收剂量，Gy；
 D_i ——第*i*小组织块内的吸收剂量，Gy；
 m_i ——第*i*小组织块的质量，g。

C3 红骨髓平均剂量的计算方法如下：

$$D_{rw} = \frac{\sum_{i=1}^k D_i \cdot W_i}{\sum_{i=1}^k W_i} \dots\dots\dots (C2)$$

式中 D_{rw} ——红骨髓平均剂量，Gy；
 W_i ——第*i*个小立方体内的红骨髓质量，g。

按上述 17 个截面划分的红骨髓分布列于表 C 2 中。

表 C 2 红骨髓分布¹⁾

| | | | | | | | | |
|----|---------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 截面 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 |
| 质量 | 24.87 | 54.69 | 31.08 | 36.64 | 23.88 | 105.25 | 82.53 | 55.07 |
| 截面 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| 质量 | 58.04 | 60.48 | 23.23 | 23.79 | 24.08 | 184.20 | 152.08 | 77.74 |
| 总计 | 1046.63 | | | | | | | |

注：1) 在非均匀照射条件下，要对红骨髓分布作相应的年龄校正，特别是对儿童。

附录 D
(资料性附录)
中子剂量-剂量转换系数

D1 本附录给出的数据是为了放射防护的目的所用。计算中假定仿人模型受到单向宽射线束（或平面平行束）照射，照射几何条件分前向（AP）照射、背向（PA）照射、侧向（LAT）照射、旋转（ROT）照射和各向同性（ISO）照射。表 D1 给出了在上述各种照射条件下不同能量的单位中子剂量的有效剂量当量。

D2 剂量当量只限于用来表示在低剂量范围产生的随机效应，不能用来表示严重事故照射所引起的人的早期急性损伤（非随机效应）。对后者，最基本的辐射量是吸收剂量。表 D2 给出了不同中子能量的单位剂量在不同组织深部的吸收剂量。这些数据的计算模型为正圆柱体组织等效均匀模型，并假定为单向平行束照射。

表D1 中子剂量-有效剂量当量的转换系数 $10^{-12}\text{Sv} \cdot \text{cm}^2$

| 中子能量, MeV | AP | PA | LAT | ROT |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| 2.5×10^{-8} | 8.00 | 5.20 | 2.60 | 4.60 |
| 1.0×10^{-7} | 8.80 | 5.40 | 2.80 | 4.80 |
| 1.0×10^{-6} | 9.64 | 5.62 | 2.86 | 5.26 |
| 1.0×10^{-5} | 8.92 | 5.56 | 2.66 | 4.96 |
| 1.0×10^{-4} | 8.28 | 5.26 | 2.54 | 4.66 |
| 1.0×10^{-3} | 7.66 | 4.98 | 2.38 | 4.36 |
| 1.0×10^{-2} | 9.06 | 5.16 | 2.54 | 4.82 |
| 2.0×10^{-2} | 11.74 | 5.58 | 2.92 | 5.78 |
| 5.0×10^{-2} | 21.8 | 7.28 | 4.28 | 9.40 |
| 1.0×10^{-1} | 39.6 | 11.38 | 7.14 | 16.30 |
| 2.0×10^{-1} | 77.2 | 17.20 | 13.88 | 30.60 |
| 5.0×10^{-1} | 174.0 | 61.6 | 37.4 | 77.6 |
| 1.0×10^0 | 286 | 107.0 | 66.6 | 131.4 |
| 1.5×10^0 | 366 | 161.6 | 104.2 | 187.4 |
| 2.0×10^0 | 428 | 240 | 143.6 | 240 |
| 3.0×10^0 | 528 | 348 | 210 | 324 |
| 4.0×10^0 | 600 | 430 | 262 | 390 |
| 5.0×10^0 | 654 | 488 | 302 | 438 |
| 6.0×10^0 | 694 | 530 | 334 | 474 |
| 7.0×10^0 | 730 | 566 | 362 | 506 |
| 8.0×10^0 | 760 | 592 | 388 | 532 |
| 1.0×10^1 | 820 | 642 | 436 | 584 |
| 1.4×10^1 | 960 | 830 | 560 | 730 |

表D2 中子注量-吸收剂量的转换系数

 $10^{-9}\text{cGy} \cdot \text{cm}^2$

| 中子能量 MeV | 软组织深度, cm | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|
| | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 | 27 | 29 |
| 2.5×10^{-8} | 0.45 | 0.42 | 0.34 | 0.24 | 0.16 | 0.10 | 0.070 | 0.050 | 0.034 | 0.025 | 0.016 | 0.014 | 0.0080 | 0.005 0 | 0.001 4 |
| 1.0×10^{-7} | 0.50 | 0.56 | 0.45 | 0.32 | 0.23 | 0.17 | 0.13 | 0.080 | 0.055 | 0.036 | 0.024 | 0.017 | 0.014 | 0.010 | 0.009 0 |
| 1.0×10^{-6} | 0.40 | 0.60 | 0.52 | 0.40 | 0.28 | 0.20 | 0.15 | 0.095 | 0.065 | 0.045 | 0.030 | 0.022 | 0.016 | 0.012 | 0.008 0 |
| 1.0×10^{-5} | 0.40 | 0.57 | 0.54 | 0.42 | 0.30 | 0.22 | 0.16 | 0.12 | 0.075 | 0.050 | 0.034 | 0.026 | 0.018 | 0.016 | 0.012 |
| 1.0×10^{-4} | 0.40 | 0.57 | 0.55 | 0.45 | 0.34 | 0.25 | 0.18 | 0.13 | 0.080 | 0.050 | 0.036 | 0.026 | 0.018 | 0.014 | 0.010 |
| 1.0×10^{-3} | 0.30 | 0.50 | 0.52 | 0.45 | 0.35 | 0.25 | 0.18 | 0.13 | 0.080 | 0.050 | 0.035 | 0.022 | 0.015 | 0.010 | 0.007 0 |
| 1.0×10^{-2} | 0.34 | 0.47 | 0.50 | 0.43 | 0.34 | 0.25 | 0.18 | 0.13 | 0.085 | 0.055 | 0.040 | 0.027 | 0.018 | 0.014 | 0.090 |
| 1.0×10^{-1} | 0.75 | 0.60 | 0.55 | 0.46 | 0.40 | 0.30 | 0.22 | 0.16 | 0.10 | 0.070 | 0.050 | 0.035 | 0.025 | 0.018 | 0.012 |
| 5.0×10^{-1} | 1.8 | 1.6 | 1.2 | 0.80 | 0.56 | 0.40 | 0.32 | 0.23 | 0.17 | 0.13 | 0.080 | 0.055 | 0.038 | 0.025 | 0.018 |
| 1.0×10^0 | 3.1 | 2.4 | 1.7 | 1.2 | 0.75 | 0.54 | 0.38 | 0.27 | 0.18 | 0.13 | 0.090 | 0.060 | 0.040 | 0.026 | 0.018 |
| 2.5×10^0 | 3.8 | 3.6 | 3.4 | 2.7 | 2.5 | 1.8 | 1.6 | 1.2 | 0.90 | 0.65 | 0.50 | 0.36 | 0.25 | 0.18 | 0.13 |
| 5.0×10^0 | 5.1 | 5.5 | 5.0 | 4.6 | 3.8 | 3.4 | 2.6 | 2.3 | 1.8 | 1.5 | 1.2 | 0.85 | 0.65 | 0.50 | 0.40 |
| 7.0×10^0 | 5.8 | 6.0 | 5.7 | 5.2 | 4.6 | 4.2 | 3.5 | 3.0 | 2.6 | 2.2 | 1.8 | 1.6 | 1.3 | 1.0 | 0.80 |
| 1.0×10^1 | 5.9 | 6.0 | 5.9 | 5.6 | 5.4 | 4.7 | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 2.6 | 2.4 | 2.0 | 1.7 | 1.5 |
| 1.4×10^1 | 7.2 | 7.5 | 7.2 | 7.0 | 6.6 | 6.0 | 5.5 | 4.7 | 4.2 | 3.7 | 3.2 | 2.7 | 2.4 | 2.0 | 1.6 |