



中华人民共和国国家标准

GB/T 16149—2012
代替 GB/T 16149—1995

外照射慢性放射病剂量估算规范

Specification of dose estimation for chronic
radiation sickness from external exposure

2012-06-29 发布

2012-08-01 实施



中华人民共和国卫生部
中国国家标准化管理委员会

发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 16149—1995《外照射慢性放射病剂量估算规范》。

本标准与 GB/T 16149—1995 相比,主要变化如下:

- 增加了比释动能(K_a)、吸收剂量(D)的术语和定义;
- 利用个人剂量监测数据 $H_p(d)$ 及其转换系数 C_{pej} , 计算器官吸收剂量;
- 在计算无个人剂量监测资料时,采用归一化工作量剂量估算方法,在附录中除了附录 A 外,对其他附录和表做了较大修改;
- 明确了有效剂量(E)不能作确定性效应的评价。

本标准由中华人民共和国卫生部提出并归口。

本标准起草单位:中国医学科学院放射医学研究所。

本标准主要起草人:苑淑渝、戴光复、姜恩海、张良安。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 16149—1995。

外照射慢性放射病剂量估算规范

1 范围

本标准规定了外照射慢性放射病剂量估算的基本原则和方法。

本标准适用于对医用诊断 X 线工作人员的受照剂量估算和外照射慢性放射病病人和待诊断人员(以下统称人员)的物理剂量估算,也适用于放射性肿瘤进行辐射病因判断的剂量估算。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

外照射慢性放射病 chronic radiation sickness from external exposure

放射性工作人员在较长时间内连续或间断受到超剂量当量限值的外照射,达到一定累积剂量后引起的以造血组织损伤为主并伴有其他系统改变的全身性疾病。

2.2

比释动能 kerma

不带电电离粒子(如 γ 射线或中子)在单位质量物质中传递给带电粒子的动能。它系指在质量为 dm 的某一介质内,由不带电粒子释放出来的所有带电电离粒子的初始动能之和 dE_{tr} 除以该体积内的介质质量 dm 而得的商 K_a ,见式(1):

$$K_a = \frac{dE_{tr}}{dm} \dots\dots\dots (1)$$

在描述比释动能时,必须说明媒质的类型,是空气或其他介质。

比释动能的 SI 单位是焦耳每千克($J \cdot kg^{-1}$)。SI 单位的专用名称为戈瑞(Gy), $1 Gy = 1 J \cdot kg^{-1}$ 。

2.3

照射量率 exposure rate

照射量已不是法定的计量单位,应不再使用,但作为一个过渡计量单位,可采用照射量率常数计算辐射场中某一点处照射量率,见式(2):

$$\dot{X} = \frac{A\Gamma_x}{R^2} \dots\dots\dots (2)$$

2.4

中子注量 neutron fluence

对接触核素中子源的人员,离中子源心的距离为 $R(cm)$ 处时,近似计算中子注量 Φ ,见式(3):

$$\Phi = \frac{PA_n t}{4\pi R^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

t ——受中子源照射的时间, s;

A_n ——中子源的活度, Bq;

P ——每贝可的中子产额,对核素中子源的中子产额,见附录 B 表 B.1。

2.5

吸收剂量 absorbed dose

电离辐射与物质相互作用时,表示单位质量物质内吸收射线能量多少的物理量。它系指由射线授予某一体积元物质的平均能量 $d\bar{\epsilon}$ 除以该体积元物质的质量 dm 所得的商 D ,见式(4):

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

D 的 SI 单位是焦耳每千克($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$);SI 单位的专用名称是戈瑞(Gy), $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$;非法定的吸收剂量专用单位是拉德(rad), $1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$ 。

2.6

归一化工作量 normalized workload

为某一位 X 射线工作者第 j 年在 k 类工作条件下的总工作量 W_{jk} (单位为千人次)与归一化系数 γ_k 乘积之和。

2.7

归一化系数 normalized coefficient

k 类工作条件与标准化工作条件下单位工作量的比值。

3 剂量估算方法

3.1 比释动能 K 与粒子注量 Φ 的基本关系

基本关系式见式(5):

$$K = \Phi \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right) E \dots\dots\dots (5)$$

式中:

E ——入射粒子能量,SI 单位是 J,专用符号 MeV, $1 \text{ MeV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$;

Φ ——粒子注量,SI 单位是 m^{-2} (m^{-2});

$\frac{\mu_{tr}}{\rho}$ ——不带电电离粒子的质量能量转移系数。

3.2 空气比释动能率与放射性活度之间的关系

将一枚放射源视为点源时,在该辐射场中任意一点处的空气比释动能率与放射性活度之间的关系,见式(6):

$$\dot{K}_a = \frac{A \cdot \Gamma_k}{R^2} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$\dot{K}_a$ ——空气比释动能率, $\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$;

A ——源的放射性活度,GBq;

R ——放射性点源到考察点的距离,m;

Γ_k ——空气比释动能率常数, $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{GBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,常用核素的 Γ_k 值见附录 A 表 A.1。

3.3 已知中子注量 Φ ,计算器官吸收剂量

已知的数据是个人剂量计佩戴位置处,相应于 i 种能量的中子辐射场的注量 Φ ,计算器官吸收剂量 D_T (包括红骨髓剂量),见式(7):

$$D_T = \sum_i C_{T\Phi} \Phi_i \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$C_{T\Phi}$ ——中子辐射场的注量 Φ 到 T 器官吸收剂量的转换系数(见附录 B 表 B.2)。

3.4 已知空气比释动能 K_a , 计算器官吸收剂量

已知监测数据是个人剂量计佩戴位置处的空气比释动能, 计算器官吸收剂量, 见式(8):

$$D_T = C_{KP} C_{Tpj} K_a \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

C_{TP} ——个人剂量当量与器官吸收剂量之间的转换系数(见附录 C 表 C.1);

C_{KP} ——空气比释动能到个人剂量当量的转换系数(见附录 C 表 C.2)。

3.5 有个人剂量监测数据 $H_p(d)$, 计算器官吸收剂量(参考附录 D 示例 1)

已知个人剂量监测数据 $H_p(d)$, 计算器官吸收剂量, 见式(9):

$$D_T = \sum_j C_{Tpj} H_{pj}(d) \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

C_{Tpj} ——个人剂量当量与 T 器官吸收剂量的转换系数, Gy/Sv;

$H_{pj}(d)$ ——在 j 类条件下(辐射类型、能量及入射角度)的个人剂量当量。

在实际情况下, C_{Tpj} 通常采用实验模拟的方法求得。特定情况下的转换系数(C_{Tpj})见附录 C 表 C.1。

3.6 归一化工作量剂量估算方法(参考附录 D 示例 2)

当某些医用 X 射线工作人员在无个人剂量监测数据 $H_p(d)$ 时, 可采用归一化工作量剂量估算方法, 计算佩戴个人剂量计位置处的累积皮肤剂量 D , 见式(10):

$$D = PW \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

P ——单位归一化工作量下, 职业人员所接受的剂量($P=0.263$ mGy/千人次);

W ——归一化工作量, 由式(11)计算:

$$W = \sum_j \sum_k \gamma_k W_{jk} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

j ——第 j 年;

k ——第 k 类工作条件;

W ——X 射线工作人员相应的累积归一化工作量, 单位为千人次;

W_{jk} ——某 X 射线工作者第 j 年在 k 类工作条件下的总工作量;

γ_k —— k 类工作条件与标化工作条件下单位工作量的比值, 也称之为“归一化系数”。

工作条件主要按其辐射防护的状况对其进行分类(k), 不同工作条件(k)下的归一化系数 γ_k 见附录 E 表 E.1 中。

附 录 A
(资料性附录)

照射量率常数 Γ_x 和空气比释动能率常数 Γ_k

部分放射性核素的照射量率常数和空气比释动能率常数见表 A.1。

表 A.1 照射量率常数 Γ_x 和空气比释动能率常数 Γ_k

核素	Γ_x $R \cdot m^2 \cdot Ci^{-1} \cdot h^{-1}$	Γ_k $mGy \cdot m^2 \cdot GBq^{-1} \cdot h^{-1}$	核素	Γ_x $R \cdot m^2 \cdot Ci^{-1} \cdot h^{-1}$	Γ_k $mGy \cdot m^2 \cdot GBq^{-1} \cdot h^{-1}$
7Be	~ 0.03	$\sim 7E-3$	^{114}In	~ 0.02	$\sim 5E-3$
^{11}C	0.59	0.139	^{113}Sn	~ 0.17	~ 0.04
^{22}Na	1.20	0.283	^{122}Sb	0.24	$5.66E-2$
^{24}Na	1.84	0.434	^{124}Sb	0.98	0.231
^{28}Mg	1.57	0.371	^{121}Te	0.33	$7.78E-2$
^{38}Cl	0.88	0.208	^{132}Te	0.22	$1.59E-2$
^{42}K	0.14	$3.3E-2$	^{124}I	0.72	0.170
^{43}K	0.56	0.132	^{125}I	~ 0.07	$\sim 1.65E-2$
^{47}Ca	0.57	0.135	^{126}I	0.25	$5.9E-2$
^{46}Sc	1.09	0.257	^{130}I	1.22	0.288
^{47}Sc	$5.6E-2$	$1.32E-2$	^{131}I	0.22	$1.59E-2$
^{48}V	1.56	0.368	^{132}I	1.18	0.278
^{51}Cr	$1.6E-2$	$3.78E-3$	^{131}Ba	~ 0.30	$7.08E-2$
^{52}Mn	1.86	0.439	^{133}Ba	~ 0.24	$5.66E-2$
^{54}Mn	0.47	0.111	^{140}Ba	1.24	0.293
^{56}Mn	0.83	0.196	^{133}Xe	0.01	$2.36E-3$
^{59}Fe	0.64	0.151	^{134}Cs	0.87	0.205
^{56}Co	1.76	0.415	^{137}Cs	0.326	$7.69E-2$
^{57}Co	0.09	$2.12E-2$	^{140}La	1.13	0.267
^{58}Co	0.55	0.130	^{141}Ce	$3.5E-2$	$8.26E-3$
^{60}Co	1.29	0.304	^{144}Ce	~ 0.04	$\sim 9.2E-3$
^{65}Ni	~ 0.31	$\sim 7.32E-2$	^{147}Nd	0.08	$1.84E-2$
^{64}Cu	0.12	$2.83E-2$	^{152}Eu	0.58	0.137
^{65}Zn	0.27	$6.37E-2$	^{154}Eu	~ 0.02	0.146
^{67}Ga	~ 0.11	$\sim 2.6E-2$	^{155}Eu	~ 0.03	$\sim 7.08E-3$
^{72}Ga	1.16	0.274	^{153}Gd	$6.67E-2$	$1.57E-2$
^{72}As	1.01	0.238	^{170}Tu	$2.5E-3$	$5.9E-4$
^{74}As	0.44	0.104	^{175}Hf	~ 0.21	$\sim 4.96E-2$
^{76}As	0.24	$5.66E-2$	^{181}Hf	~ 0.31	$7.32E-2$

表 A.1 (续)

核素	Γ_x $R \cdot m^2 \cdot Ci^{-1} \cdot h^{-1}$	Γ_K $mGy \cdot m^2 \cdot GBq^{-1} \cdot h^{-1}$	核素	Γ_x $R \cdot m^2 \cdot Ci^{-1} \cdot h^{-1}$	Γ_K $mGy \cdot m^2 \cdot GBq^{-1} \cdot h^{-1}$
^{177}Lu	9E-3	2.12E-3	^{169}Yb	0.177	4.18E-2
^{75}Se	0.20	0.153	^{182}Ta	0.673	0.159
^{82}Br	1.46	0.345	^{185}W	~0.05	1.15E-2
^{85}Kr	~4.0E-3	~9.44E-4	^{187}W	0.30	7.08E-2
^{86}Rb	0.05	1.18E-2	^{186}Re	~0.02	~4.72E-3
^{85}Sr	0.30	7.08E-2	^{192}Ir	0.48	0.109
^{88}Y	0.41	9.43E-2	^{194}Ir	0.15	3.45E-2
^{91}Y	1E-3	2.36E-4	^{191}Os	~0.06	~1.42E-2
^{95}Nb	0.42	9.91E-2	^{197}Pt	~0.05	~1.18E-2
^{90}Zr	0.41	9.43E-2	^{198}Au	0.23	5.43E-2
^{99}Mo	0.18	4.25E-2	^{199}Au	0.09	2.12E-2
^{106}Ru	0.17	4.01E-2	^{227}Ac	0.22	5.19E-2
^{109}Pd	3E-3	7.08E-4	^{226}Ra	0.825	0.195
^{110m}Ag	1.43	0.337	^{226}Ra 和子体	0.908	0.209
^{111}Ag	~0.02	4.72E-3	^{228}Ra	~0.51	~0.120
^{109}Cd	0.180	4.25E-2	^{234}U	~0.01	2.36E-3
^{115m}Cd	~0.02	4.72E-3	—	—	—

注：照射量率常数表示在空气中，单位居里 γ 源在距源 1 m 处产生的照射量率大小；空气比释动能率常数表示在空气中，单位贝可 γ 源在距源 1 m 处产生的空气比释动能率大小。

附 录 B
(资料性附录)

核素中子源的特性和不同照射条件下单位中子注量产生的剂量

B.1 核素中子源特性见表 B.1。

表 B.1 部分核素中子源的特性

中子源	半衰期	中子平均能量 MeV	每贝可的中子产额× 10^{-5} 中子/Bq	每贝可的空气比释动 能率(1 m 处) Gy/h
$^{210}\text{Po-Be}$	138.4 d	4.2	6.8	6.98×10^{-18}
$^{226}\text{Ra-Be}$	1 620 a	4.0	35	1.96×10^{-13}
$^{226}\text{Pu-Be}$	86.4 a	4.5	6.2	$\sim 6.98 \times 10^{-18}$
$^{239}\text{Pu-Be}$	24 360 a	4.1	5.9	$\sim 6.98 \times 10^{-18}$
$^{241}\text{Am-Be}$	458 a	4.5	5.9	$\sim 6.98 \times 10^{-18}$
$^{124}\text{Sb-B}$	60 d	0.024	3.5	2.30×10^{-13}

B.2 中子注量产生的红骨髓剂量见表 B.2。

表 B.2 不同照射条件下单位中子注量产生的红骨髓剂量当量

中子能量 MeV	转换系数 $C_{TP} [\times 10^{-12} \text{Sv} \cdot \text{cm}^{-2}]$			
	前向入射	背向入射	侧向入射	旋转照射
1.00×10^{-6}	3.17	4.33	2.00	2.87
1.00×10^{-5}	3.01	4.07	1.85	2.69
1.00×10^{-4}	2.87	3.78	1.69	2.51
1.00×10^{-3}	2.74	3.67	1.59	2.40
1.00×10^{-2}	2.91	3.93	1.85	2.64
2.30×10^{-2}	3.52	4.74	2.57	3.35
5.00×10^{-2}	5.31	7.24	4.42	5.35
1.00×10^{-1}	9.49	13.4	8.51	9.97
2.52×10^{-1}	24.5	26.0	21.6	23.4
5.00×10^{-1}	50.8	72.7	41.8	51.8
1.00×10^0	84.7	121	68.1	85.5
2.10×10^0	175	227	128	165
4.50×10^0	277	334	203	254
7.50×10^0	330	381	245	300
1.10×10^1	380	429	291	348
1.35×10^1	447	499	343	408

注：表中系数值是在 1985 年前确定的，按(ICRP,1985)的规定，表中的系数值应乘 2。

附 录 C
(资料性附录)

X, γ 辐射的个人剂量当量与器官吸收剂量之间的转换系数

C.1 个人剂量与器官剂量的转换系数见表 C.1。

表 C.1 不同受照条件下个人剂量当量与器官吸收剂量之间的转换系数 C_T

单位为 Gy/Sv

辐射	^{60}Co			^{137}Cs			140 keV X 射线			80 keV X 射线			30 keV X 射线		
照射条件	前向入射	背向入射	各向同性	前向入射	背向入射	各向同性	前向入射	背向入射	各向同性	前向入射	背向入射	各向同性	前向入射	背向入射	各向同性
肾上腺	0.53	1.38	0.84	0.50	1.96	0.86	0.43	4.06	1.80	0.41	4.03	1.79	0.036	4.45	0.43
膀胱	0.85	0.85	0.80	0.92	1.00	1.06	1.37	1.12	1.34	1.24	0.99	1.35	0.27	0.35	0.28
脑	0.82	1.23	0.93	0.84	1.69	1.10	1.27	3.11	2.17	1.27	2.95	2.14	0.18	1.58	0.32
肾	0.51	1.36	0.80	0.48	2.88	1.14	0.40	3.42	1.58	0.37	3.86	1.71	0.032	3.58	0.41
肝	0.88	1.02	0.89	0.96	1.36	1.12	1.44	2.23	2.15	1.65	2.09	2.14	0.52	1.11	0.49
肺	0.84	1.24	0.94	0.85	1.69	1.14	1.32	3.27	2.19	1.37	3.16	2.36	0.57	2.42	0.50
卵巢	0.63	1.02	0.77	0.68	1.31	0.86	0.86	3.50	1.50	0.85	1.97	1.42	0.106	0.94	0.19
胰脏	0.65	1.00	0.74	0.67	1.28	0.85	0.79	1.94	1.37	0.77	1.78	1.29	0.092	0.79	0.16
直肠	0.66	1.01	0.77	0.68	1.31	0.95	0.84	2.06	1.44	0.82	1.89	1.37	0.10	0.86	0.18
脾	0.64	1.26	0.84	0.65	1.74	0.99	0.79	3.43	1.89	0.77	3.33	1.86	0.092	2.43	0.32
胃	0.87	0.96	0.86	0.94	1.21	1.06	1.43	1.73	1.83	1.50	1.58	1.81	0.34	0.64	0.32
睾丸	1.02	0.87	0.91	1.16	1.03	1.05	1.80	1.14	2.04	1.96	1.03	2.08	0.77	0.47	0.74
甲状腺	0.96	0.90	0.89	1.09	1.13	1.06	1.80	1.53	2.09	1.87	1.40	2.09	0.67	0.64	0.50
上部大肠	0.78	1.14	0.80	0.81	1.51	0.93	1.18	2.72	1.63	1.21	2.59	1.60	0.20	1.48	0.25
子宫	0.72	0.90	0.74	0.78	1.12	0.84	0.99	1.47	1.38	0.99	1.34	1.30	0.14	0.50	0.18
乳腺	1.00	1.01	0.94	1.10	1.38	1.25	1.74	2.02	2.22	1.87	1.91	2.27	0.71	1.13	0.74
骨髓	0.68	1.27	0.86	0.71	1.76	1.06	0.92	3.47	1.86	0.93	3.37	1.89	0.20	2.96	0.46

C.2 空气比释动能(K_a)到 $H_p(10)$ 和 $H_p(0.07)$ 的转换系数见表 C.2。

表 C.2 K_a 到 $H_p(10)$ 、 $H_p(0.07)$ 的转换系数(C_{kp})

单位为 Sv/Gy

平均能量 (keV)	$H_p(10)$ 转换系数($C_{k,d,\alpha}$)			$H_p(0.07)$ 转换系数($C_{k,s,\alpha}$)		
	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=40^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=40^\circ$	$\alpha=60^\circ$
16	0.27	0.20	0.09	0.98	0.98	0.97
20	0.39	0.32	0.20	1.01	1.00	0.99
24	0.79	0.68	0.49	1.10	1.09	1.07
26	0.91	0.79	0.60	1.14	1.13	1.10
30	1.09	0.98	0.77	1.22	1.20	1.16
33	1.17	1.06	0.85	1.27	1.24	1.19
36	1.19	1.07	0.86	1.29	1.27	1.22
44	1.55	1.42	1.18	1.49	1.44	1.37
47	1.67	1.54	1.29	1.57	1.52	1.43
56	1.77	1.65	1.39	1.64	1.58	1.50
60	1.87	1.75	1.49	1.71	1.65	1.56
65	1.88	1.76	1.50	1.72	1.66	1.58
79	1.87	1.76	1.52	1.71	1.67	1.59
86	1.87	1.76	1.53	1.71	1.67	1.60
100	1.81	1.71	1.51	1.67	1.63	1.58
109	1.77	1.68	1.49	1.64	1.61	1.56
120	1.67	1.59	1.43	1.56	1.55	1.51
137	1.65	1.57	1.42	1.55	1.53	1.50
145	1.60	1.54	1.39	1.51	1.51	1.48
164	1.57	1.51	1.38	1.49	1.49	1.46
172	1.54	1.49	1.36	1.47	1.47	1.45
185	1.52	1.47	1.36	1.45	1.46	1.44
08	1.48	1.44	1.33	1.42	1.43	1.43
213	1.47	1.44	1.33	1.42	1.43	1.42
251	1.42	1.40	1.30	1.38	1.40	1.40
^{241}Am	1.89	1.77	1.50	1.72	1.66	1.57
^{137}Cs	1.21	1.20	1.16	1.21	1.23	1.24
^{60}Co	1.17	1.16	1.14	1.18	1.18	1.19

注：夹角 α 指入射线与人体表面法线间的夹角。表中数值依据 GBZ 207—2008 编辑而成。

附录 D
(资料性附录)
正确使用本标准说明

D.1 本标准仅对医用诊断 X 线工作人员、外照射慢性放射病病人、待诊断人员受照剂量估算的有关原则做出必要的规定,对估算中遇到的一些典型或较常见问题给出了剂量估算公式和方法。

目前,在我国临床慢性放射病中遇到的剂量估算问题,大多数是医用诊断 X 线工作人员的剂量估算问题,所以在该标准中提出了具体的估算方法。外照射慢性放射病剂量估算包括了各种辐射源在不同受照条件下的剂量估算问题。作为标准不可能将所有的外照射剂量估算问题都作出规定,并提出具体估算方法,而只能对外照射剂量估算的一般原则作出必要的规定,这些原则不仅适用于 X 和 γ 射线源,也适用中子及其他强贯穿辐射粒子源。但又考虑到有一部分人员尚无个人剂量监测数据,他们的防护情况、工作量大小、机器类型和医院门诊量等方面差异较大,相互可借鉴的参考数据有限,本标准又提出了归一化工作量剂量估算方法。对无个人剂量监测数据的人员进行剂量估算时,其结果的误差可能较大,仅作参考(见 D.5 剂量估算实例,示例 2)。有个人剂量监测资料的工作人员不可借鉴此方法,应按实测数据进行人员剂量估算(见 D.5 剂量估算实例,示例 1)。

D.2 本标准未包括的受照条件下的有关剂量估算参数,可通过实际或类似受照条件下的体模实验测量或利用有关研究结果加以解决。

D.3 在使用中应注意本标准中有关参数的应用条件。

附录 B 和附录 C 中的数据是在宽束或各向同性的平行射线束,对全身照射的条件下进行计算或测量。对于点状放射源,当人体距源较远(如 1 m 以上距离),能近似视为平行射线束时才能应用。

D.4 在外照射慢性放射病的剂量评价中,应用器官剂量来评价电离辐射对人员产生的确定性效应。由于外照射慢性放射病主要以造血组织损伤为特点,用红骨髓剂量评价电离辐射对人员造血组织产生的确定性效应是评价人员全身剂量的一个重要量。在此明确了不能用有效剂量(E)进行确定性评价。

D.5 剂量估算示例

示例 1:已知个人剂量监测数据 $H_p(10)$,计算器官剂量

已知某职业人员,从事的是 ^{60}Co 放射治疗,从胸前佩带的个人剂量计监测到个人剂量当量 $H_p(10)$ 为 10 mSv/a,(仅考虑前向入射)求骨髓吸收剂量:

从表 C.1 中查得 ^{60}Co 前入射,骨髓 $C_{Tbj}=0.68 \text{ Gy/Sv}$, $H_p(10)=10 \text{ mSv/a}$,由公式(9)计算骨髓吸收剂量:

$$D_T = 0.68 \text{ Gy/Sv} \times 0.01 \text{ Sv} = 0.0068 \text{ Gy} = 6.8 \text{ mGy}$$

示例 2:用归一化工作量剂量估算方法计算医用 X 射线工作人员剂量

某放射科医生张晓,从 1970 年 1 月到 1980 年 12 月无个人监测数据,但一直从事 X 射线工作,该医院的门诊总量 1 000 人次/d,机器类型是 20 世纪 60 年代大于 50 mA 的 X 射线机,胸透和消化道检查的防护条件是有铅围裙和铅椅,由归一化工作量剂量估算方法,计算张医生胸前皮肤剂量 $H_p(0.07)$ 。

由题意可知:

1. 机器类型:20 世纪 60 年代大于 50 mA 的 X 射线机;
2. 防护条件:有铅围裙和铅椅;
3. 张医生从事 X 射线工作 11 年,他工作了两个时期(1970 年~1976 年和 1977 年~1980 年),分别为 7 年和 4 年;
4. 医院的门诊总量 1 000 人次/d。

从附录 E 表 E.1 查得归一化系数:胸透 $\gamma_{k1}=5.96$ 、消化道 $\gamma_{k2}=17.3$ 、摄片 $\gamma_{k3}=0.035$

由附录 E 表 E.2 查得工龄为 ~14 档;工作类型编码分别为 5、8。

再由附录 E 表 E.3 查得工作量的典型参考值,编码 5:胸透=2 839;胃肠=209;拍片=830;

编码 8:胸透=2 593;胃肠=193;拍片=773。

应用公式(10)计算无个人剂量监测数据时,个人剂量计位置处的累积皮肤剂量 $D = PW$ (本标准取: $P = 0.263 \text{ mGy/千人次}$);先由(11)式计算出累积归一化工作量 W (单位:千人次)。

$$\begin{aligned} W_{jk} &= 7 \times (2\,839\gamma_{k1} + 209\gamma_{k2} + 830\gamma_{k3}) + 4 \times (2\,593\gamma_{k1} + 193\gamma_{k2} + 773\gamma_{k3}) \\ &= 143\,955 + 75\,280 = 219\,235 \approx 219 \times 10^3 \end{aligned}$$

再由(10)式计算出张医生胸前累积皮肤剂量(个人剂量计佩戴位置处的累积皮肤剂量):

$$D = 0.263 \text{ mGy/千人次} \times 219 \times 10^3 \text{ 千人次} = 57.6 \text{ mGy}$$

所以,用归一化工作量剂量估算方法计算出,张医生在无个人监测数据情况下,从事放射性工作 11 年胸前的累积皮肤剂量是 57.6 mGy。

附 录 E
(资料性附录)
归一化工作量剂量估算参数

E.1 归一化系数见表 E.1。

表 E.1 不同检查类型,不同工作条件下的归一化系数(γ_k)

检 查 类 型	γ_{k1} (胸透)			
胸 透 检 查	有铅裙 有铅椅	无铅裙 有铅椅	有铅裙 无铅椅	无铅裙 无铅椅
20 世纪 30 年代机器	76.0	141		
20 世纪 40 年代机器			11.4	25.8
20 世纪 50 年代机器	10.9	23.8	14.5	30.1
20 世纪 60 年代<30 mA 机器			6.46	14.2
20 世纪 60 年代 30 mA~50 mA 机器	1.21	3.11	18.9	63.2
20 世纪 60 年代机器>50 mA 机器	5.96	11.2	31.0	155
1969 年后<30 mA 机器	37.5	59.5	51.5	102
1969 年后 30 mA~50 mA 机器	34.2	43.0	38.7	63.2
1969 年后>50 mA 机器(不含归一机器)	1.43	3.00	5.45	10.2
1969 年后>100 mA 机器为归一值	1.00			
带显示终端的机器	0.01(有铅椅)			
隔室胸透	0.13			
消化道检查	γ_{k2} (消化道)			
	17.3(有铅裙) 23.5(无铅裙)			
拍片检查	γ_{k3} (拍片)			
	0.035			

注： γ_{k1} :不同机器类型,不同防护条件下的胸透检查, γ_{k2} :有无铅裙条件下的消化道检查, γ_{k3} :拍片检查。

E.2 归一化工作量编码见表 E.2。

表 E.2 归一化工作量的 1~27 个编码含义

工龄 a	参加工作时间 a	医院总门诊量/(人次/d)		
		>1 200	500~1 200	<500
~4	1977~1980	1	2	3
~14	1967~1976	4	5	6
	1977~1980	7	8	9

表 E.2 (续)

工龄 a	参加工作时间 a	医院总门诊量/(人次/d)		
		>1 200	500~1 200	<500
~24	1967 以前	10	11	12
	1967~1976	13	14	15
	1977~1980	16	17	18
>24	1967 以前	19	20	21
	1967~1976	22	23	24
	1977~1980	25	26	27

注：归一化工作量的因素包括工龄、参加工作时间和医院总门诊量(人次/d)等,表中共分 27 个编码。

E.3 工作量参考值见表 E.3。

表 E.3 不同编码条件下各种检查的工作量参考值

单位为人次/a

编 码	胸 透	胃 肠	拍 片	编 码	胸 透	胃 肠	拍 片
1	2 187	170	999	15	3 965	303	831
2	2 806	208	969	16	2 485	211	657
3	3 828	174	1 111	17	2 415	242	743
4	2 456	170	638	18	2 806	250	623
5	2 839	209	830	19	3 581	207	658
6	2 319	196	613	20	5 380	301	1 243
7	2 118	163	581	21	3 624	374	886
8	2 593	193	773	22	2 583	258	625
9	2 916	209	735	23	3 812	277	1 232
10	3 495	252	516	24	2 825	360	718
11	3 977	334	242	25	1 755	185	613
12	4 321	912	1 235	26	2 877	221	952
13	3 351	325	596	27	1 947	338	674
14	3 064	163	641	28	0	0	0

注：表中的 1~27 编码含义与表 E.2 相同。