

# 用于 X、 $\gamma$ 线外照射放射防护的剂量 转换因子

## 1 主题内容与适用范围

1.1 放射防护的基本限值量(有效剂量当量和器官剂量当量)不能直接测量,因此在监测中要使用可测量的“运用量”。本标准提供的转换因子可用于估计放射工作人员的器官剂量当量和有效剂量当量。

1.2 本标准只适用于成人受 X、 $\gamma$  线外照射,不适用于局部照射和大剂量的事故照射。

## 2 术语、代号

2.1 弱贯穿辐射和强贯穿辐射 weakly penetrating radiation and strongly penetrating radiation

在均匀、单向电离辐射场中,对某一给定的人体取向,如皮肤敏感层的任何小块区域内所接受的剂量当量比有效剂量当量大 10 倍以上,则此辐射称为弱贯穿辐射;如该小块皮肤所接受的剂量当量与有效剂量当量之比值小于 10,则此辐射称为强贯穿辐射。

2.2 ICRU 球(ICRU sphere)

ICRU 球为 30cm 直径、密度为  $1\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  的组织等效模体,其组成成分的质量比为:O:76.2%,C:11.1%,H:10.1%,N:2.6%。

2.3 扩展场 (expanded field)

扩展场是由实际的辐射场导出的一个假设的辐射场,在扩展场内的注量、角分布和能谱分布都与参考点处实际辐射场的值相同。

2.4 齐向扩展场 (aligned and expanded field)

注量及能谱分布与扩展场相同,但注量是单向的。

2.5 周围剂量当量 (ambient dose equivalent)  $H^*(d)$

辐射场中某一点处的周围剂量当量是相应的齐向扩展场在 ICRU 球体内与齐向扩展场方向相反的半径上、深度为  $d$  处产生的剂量当量。

单位名称:希[沃特],符号:Sv。

a. 推荐  $d=10\text{mm}$ ,  $H^*(d)$  写为  $H\cdot(10)$ 。

b. 具有各向同性响应、按本定义定度的仪器,可用于测量周围剂量当量(要求在探头范围内辐射场是均匀的)。

c. 按周围剂量当量的定义要求,仪器设计应考虑到反散射的影响。

d. 周围剂量当量用在环境和场所监测强贯穿辐射。

2.6 定向剂量当量 (directional dose equivalent)  $H'(d)$

辐射场中某一点处的定向剂量当量是相应的扩展场在 ICRU 球体内、指定方向的半径上、深度为  $d$  处产生的剂量当量。

单位名称:希[沃特],符号:Sva

- a. 推荐  $d=0.07\text{Mm}$ ,  $H'(d)$  写为  $H'(0.07)$ 。
- b. 定向剂量当量用在环境和场所监测弱贯穿辐射。

### 2.7 贯穿性个人剂量当量 (individual dose equivalent, penetrating), $H_p(d)$

贯穿性个人剂量当量是人体某一位置、深度为  $d$  处软组织的剂量当量。

单位名称:希[沃特],符号:Sv。

- a. 推荐  $d=10\text{mm}$ ,  $H_p(d)$  写为  $H_p(10)$ 。
- b. 可用佩带在人体表面、用适当厚度的组织等效材料(或代用品)罩住的探测器来测量贯穿性个人剂量当量。
- c. 对佩带在人体躯干上的贯穿性个人剂量当量计,可以用 ICRU 球做为模体定度。
- d. 贯穿性个人剂量当量用在强贯穿辐射场中个人剂量当量监测。

### 2.8 浅表个人剂量当量 (individual dose equivalent, superficial), $H_s(d)$

浅表个人剂量当量是身体上某一位置、深度为  $d$  处软组织的剂量当量。

单位名称:希[沃特],符号:Sv。

- a. 推荐  $d=0.07\text{Mm}$ ,  $H_s(d)$  写为  $H_s(0.07)$ 。
- b. 可用佩带在人体表面、以适当厚度的组织等效材料(或代用品)罩住的探测器测量浅表个人剂量当量。
- c. 对佩带在人体躯干上的浅表个人剂量当量计,可以用 ICRU 球做为模体定度。
- d. 浅表个人剂量当量用在弱贯穿辐射场中个人皮肤剂量当量监测。
- e. 在大多数的照射条件下,当有效剂量当量和个人皮肤剂量当量都未超过防护标准的限值时,眼晶体的剂量当量一般也不会超过限值。但有时可能需要测量眼晶体的剂量当量,这时应取  $d=3\text{Mm}$ ,以监测  $H_s(3)$ 。

### 2.9 照射几何条件的代号

- 2.9.1 前向照射 (antero-posterior irradiation), AP
- 2.9.2 背向照射 (posterior-antero irradiation), PA
- 2.9.3 侧向照射 (lateral irradiation), LAT
- 2.9.4 旋转照射 (rotational irradiation), ROT
- 2.9.5 各向同性照射 (isotropic irradiation), ISO
- 2.9.6 平行线束照射 (parallel irradiation), PAR
- 2.9.7 点源(point source), PS

## 3 X、 $\gamma$ 线外照射放射防护中的运用量

3.1 外照射放射防护监测中的运用量有周围剂量当量,定向剂量当量,贯穿性及浅表个人剂量当量以及比释动能和吸收剂量等。

3.2 放射防护监测结果,原则上应给出有效剂量当量,但并不要求所有的测量数据都换算为有效剂量当量。如使用的运用量不出现低估或过高的高估,就可直接使用。

3.3 年剂量当量不超过年限值的三分之一时,以运用量表示的监测结果可直接视为有效剂量当量。当监测结果超过年限值的三分之一至年限值上下,并在确有必要时,可换算为有效剂量当量;较大的照射,例如应急照射或计划照射(有可能达到  $100\text{mSv}$  时)应按照照射条件换算为有效剂量当量和器官剂量当量。

### 3.4 环境和场所监测的运用量

3.4.1 可以用周围剂量当量和定向剂量当量作为环境和场所监测的运用量。但它是用于了解环境辐

射场和预计在此可能受到的照射,而不是用它给定个人剂量当量。

3.4.2 周围剂量当量  $H^*(10)$  与空气比释动能  $K_a$  的关系见式(1)(适用的能量范围为 10keV~10MeV)。

$$H^*(10)/K_a(\text{Sv/Gy}) = [X/(ax^2 + bx + c)] + d \cdot \arctan(gx) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $x = \ln(E/E_0)$ ,  $E_0 = 9.85\text{keV}$ ;

$$a = 1.465;$$

$$b = -4.414;$$

$$c = 4.789;$$

$$d = 0.7006;$$

$$g = 0.6519;$$

角度单位为弧度(rad);  $E$  为 X、 $\gamma$  线能量(keV)。

3.4.3 定向剂量当量与空气比释动能  $K_a$  的关系如式(2)(适用的能量范围为 10~250keV)。

$$[H'(0.07, \alpha = 0^\circ)]/K_a(\text{Sv/Gy}) = a + bx + cx^d \cdot \exp(gx^2) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:  $x = \ln(E/E_0)$ ,  $E_0 = 9.85\text{keV}$ ;

$$a = 0.9505;$$

$$b = 0.09432;$$

$$c = 0.2302;$$

$$d = 5.082;$$

$$g = -0.6997;$$

角度单位为弧度(rad);  $E$  为 X、 $\gamma$  线能量(keV);

$\alpha = 0^\circ$  表示定向剂量当量的取点位置为与平行线束入射相反的半径上。

3.5 个人剂量当量监测的运用量

对弱贯穿辐射的个人剂量当量监测,可用浅表个人剂量当量;对强贯穿辐射,可用贯穿性个人剂量当量。

3.6 本标准给出的各有关放射防护量之间的转换因子〔附录 A(补充件)〕都只在所规定的照射条件下才是较为准确的。对接近或大于限值的照射,应该尽可能详细记录照射条件。

3.7 附录 A 中提出的数据,是当前国际放射防护领域提供的推荐值,并非不可改变,附录 B(参考件)是参考值,表中一般给出三位有效数字,在这里并不是代表其准确度,而是为了运算方便。

## 附录 A

### 各有关剂量当量关系数据

#### (补充件)

A1 X、 $\gamma$  线定向剂量当量  $H'(0.07)$  和周围剂量当量  $H^*(10)$  与空气比释动能的比值见表 A1,表中数据可以由 3.4.2 和 3.4.3 算出。

表 A1 X、 $\gamma$  线定向剂量当量和周围剂量当量与空气比释动能比值

Sv/Gy

keV	$H'(0.07)/K_a$	$H^*(10)/K_a$
10	0.95	0.01
15	0.99	0.32
20	1.05	0.60

keV	$H'(0.07)/K_a$	$H^*(10)/K_a$
25	1.13	0.86
30	1.22	1.10
40	1.41	1.47
50	1.53	1.67
60	1.59	1.74
70	1.61	1.75
80	1.61	1.72
90	1.58	1.68
100	1.55	1.65
125	1.48	1.56
150	1.42	1.49
200	1.34	1.40
250	1.32	1.35
300	—	1.31
500	—	1.23
662	—	1.20
1000	—	1.17
1250	—	1.16
3000	—	1.13
5000	—	1.11
10000	—	1.10

**A2** X、 $\gamma$ 线有效剂量当量与周围剂量当量  $H^*(10)$  的比值见表 A2, 有效剂量当量和周围剂量当量是以平行射线照射人型体模和 ICRU 球计算出的数据。表中  $1.0E-2$  即  $1.0 \times 10^{-2}$ 。

表 A2 X、 $\gamma$ 线有效剂量当量与周围剂量当量的比值

MeV	AP	PA
$1.0E-2$	0.81	0.00
$1.5E-2$	0.19	0.04
$2.0E-2$	0.24	0.09
$3.0E-2$	0.42	0.21
$4.0E-2$	0.59	0.36
$5.0E-2$	0.73	0.49
$6.0E-2$	0.79	0.57
$8.0E-2$	0.85	0.65
$1.0E-1$	0.87	0.68
$1.5E-1$	0.87	0.70
$2.0E-1$	0.87	0.72
$3.0E-1$	0.86	0.72
$4.0E-1$	0.87	0.74
$5.0E-1$	0.88	0.76
$6.0E-1$	0.88	0.78
$8.0E-1$	0.89	0.80
$1.0E0$	0.90	0.82
$1.5E0$	0.90	0.84
$2.0E0$	0.90	0.85
$3.0E0$	0.92	0.87

MeV	AP	PA
4.0E0	0.94	0.90
5.0E0	0.95	0.92
6.0E0	0.96	0.93
8.0E0	0.98	0.95
1.0E+ 1	0.98	0.96

**A3** X、 $\gamma$  线皮肤剂量当量  $H_{sk}$ (皮肤表面下 0.07Mm 深处剂量当量)与定向剂量当量  $H'(0.07)$  的比值见表 A3,皮肤剂量当量是以人型体模算出,定向剂量当量是按 ICRU 球算出。表中  $1.0E-2$  即  $1.0 \times 10^{-2}$ 。

表 A3 X、 $\gamma$  线皮肤剂量当量与定向剂量当量的比值

MeV	AP	ISO
1.0E-2	0.51	0.99
1.5E-2	0.49	0.99
2.0E-2	0.51	0.90
3.0E-2	0.54	0.82
4.0E-2	0.57	0.84
5.0E-2	0.60	0.87
6.0E-2	0.64	0.88
8.0E-2	0.68	0.91
1.0E-1	0.69	0.92
1.5E-1	0.73	0.95
2.0E-1	0.75	0.96
3.0E-1	0.76	0.94
4.0E-1	0.78	0.94
5.0E-1	0.80	0.94
6.0E-1	0.82	0.94
8.0E-1	0.83	0.93
1.0E0	0.86	0.93
1.5E0	0.87	0.94
2.0E0	0.89	0.94
3.0E0	0.90	0.94
4.0E0	0.91	0.94
5.0E0	0.92	0.94
6.0E0	0.93	0.95
8.0E0	0.92	0.96
1.0E+ 1	0.92	0.96

**A4** 在自由空气中单位 X、 $\gamma$  线注量的空气吸收剂量见表 A4。表中  $1.0E-2$  即  $1.0 \times 10^{-2}$ 。

表 A4 在自由空气中单位 X、 $\gamma$  线注量的空气吸收剂量

$10^{-12} \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$

MeV	转换系数
1.0E-2	7.43
1.5E-2	3.12
2.0E-2	1.68
3.0E-2	0.721

MeV	转换系数
4.0E-2	0.429
5.0E-2	0.323
6.0E-2	0.289
8.0E-2	0.307
1.0E-1	0.371
1.5E-1	0.599
2.0E-1	0.856
3.0E-1	1.38
4.0E-1	1.89
5.0E-1	2.38
6.0E-1	2.84
8.0E-1	3.69
1.0E0	4.47
1.50E0	6.12
2.0E0	7.50
3.0E0	9.87
4.0E0	12.0
5.0E0	13.9
6.0E0	15.8
8.0E0	19.5
1.0E+1	23.1

**A5** 人型体模在各种光子 PAR 照射条件下,单位  $x, \gamma$  线注量的有效剂量当量见表 A5。表中  $1.0E-2$  即  $1.0 \times 10^{-2}$ 。

表 A5 单位 X、 $\gamma$  线注量的有效剂量当量 $10^{-12} \text{Sv} \cdot \text{cm}^2$ 

MeV	转换系数				
	AP	PA	LAT	ROT	ISO
1.0E-2	0.062	0.0000	0.0200	0.0290	0.0220
1.5E-2	0.157	0.0310	0.0330	0.0710	0.0570
2.0E-2	0.238	0.0868	0.0491	0.110	0.0912
3.0E-2	0.329	0.161	0.0863	0.166	0.138
4.0E-2	0.365	0.222	0.123	0.199	0.163
5.0E-2	0.384	0.260	0.152	0.222	0.180
6.0E-2	0.400	0.286	0.170	0.240	0.196
8.0E-2	0.451	0.344	0.212	0.293	0.237
1.0E-1	0.533	0.418	0.258	0.357	0.284
1.5E-1	0.777	0.624	0.396	0.534	0.436
2.0E-1	1.03	0.844	0.557	0.731	0.602
3.0E-1	1.56	1.30	0.891	1.14	0.949
4.0E-1	2.06	1.76	1.24	1.55	1.30
5.0E-1	2.54	2.20	1.58	1.96	1.64
6.0E-1	2.99	2.62	1.92	2.34	1.98
8.0E-1	3.83	3.43	2.60	3.07	2.64
1.0E0	4.60	4.18	3.24	3.75	3.27
1.5E0	6.24	5.80	4.70	5.24	4.68
2.0E0	7.66	7.21	6.02	6.56	5.93

MeV	转换系数				
	AP	PA	LAT	ROT	ISO
3.0E0	10.2	9.71	8.40	8.90	8.19
4.0E0	12.5	12.0	10.6	11.0	10.2
5.0E0	14.7	14.1	12.6	13.0	12.1
6.0E0	16.7	16.2	14.6	14.9	14.0
8.0E0	20.8	20.2	18.5	18.9	17.8
1.0E+1	24.7	24.2	22.3	22.9	21.6

**A6** 人型体模在各种 X,  $\gamma$  线照射条件下单位空气吸收剂量(在自由空气中)的有效剂量当量见表 A6, 自由空气中的空气吸收剂量是以垂直于人型体模纵轴位置距地高 1m 处取点, 其中未考虑地面散射。当单位空气吸收剂量改用单位照射量(伦琴)时, 此表中的转换系数应乘以  $0.873$ , 单位为  $10^{-2} \text{ Sv} \cdot \text{R}^{-1}$ 。表中  $1.0\text{E}-2$  即  $1.0 \times 10^{-2}$ 。

表 A6 人型体模在各种 X,  $\gamma$  线照射条件下单位空气吸收剂量的有效剂量当量

Sv/Gy

MeV	转换系数				
	AP	PA	LAT	ROT	ISO
1.0E-2	0.0080	0.0000	0.0023	0.0034	0.0034
1.5E-2	0.0504	0.1031	0.1031	0.0023	0.0183
2.0E-2	0.150	0.0449	0.0268	0.0672	0.0567
3.0E-2	0.504	0.266	0.150	0.261	0.214
4.0E-2	0.898	0.561	0.322	0.497	0.403
5.0E-2	1.19	0.805	0.470	0.688	0.559
6.0E-2	1.39	0.991	0.588	0.832	0.678
8.0E-2	1.47	1.12	0.690	0.954	0.773
1.0E-1	1.43	1.12	0.696	0.962	0.765
1.5E-1	1.29	1.04	0.661	0.891	0.727
2.0E-1	1.21	0.986	0.652	0.855	0.703
3.0E-1	1.13	0.943	0.645	0.825	0.687
4.0E-1	1.09	0.929	0.653	0.819	0.686
5.0E-1	1.07	0.926	0.666	0.821	0.690
6.0E-1	1.05	0.924	0.678	0.824	0.698
8.0E-1	1.04	0.928	0.702	0.830	0.714
1.0E0	1.03	0.934	0.724	0.838	0.731
1.5E0	1.02	0.947	0.767	0.857	0.763
2.0E0	1.02	0.959	0.800	0.873	0.788
3.0E0	1.03	0.979	0.847	0.897	0.825
4.0E0	1.04	0.994	0.876	0.913	0.847
5.0E0	1.05	1.01	0.899	0.928	0.865
6.0E0	1.05	1.02	0.919	0.942	0.882
8.0E0	1.07	1.04	0.948	0.969	0.913
1.0E+1	1.08	1.05	0.973	0.995	0.942

**A7** PARX、 $\gamma$  线照射 ICRU 球, 由单位空气吸收剂量(在自由空气中)所致在其主轴三个深度上的剂量当量见表 A7。表中  $1.0\text{E}-2$  即  $1.0 \times 10^{-2}$ 。

表 A7 单位空气吸收剂量所致在 ICRU 球不同深度上的剂量当量

Sv/Gy

MeV	转 换 系 数		
	0.07mm	3mm	10mm
1.0E-2	0.930	0.271	0.010
1.5E-2	0.974	0.686	0.271
2.0E-2	1.02	0.917	0.601
3.0E-2	1.19	1.19	1.09
4.0E-2	1.38	1.42	1.43
5.0E-2	1.52	1.59	1.63
6.0E-2	1.58	1.67	1.74
8.0E-2	1.59	1.66	1.73
1.0E-1	1.55	1.60	1.65
1.5E-1	1.42	1.46	1.49
2.0E-1	1.34	1.36	1.38
3.0E-1	1.28	1.30	1.31
4.0E-1	1.24	1.25	1.26
5.0E-1	1.21	1.22	1.21
6.0E-1	1.19	1.20	1.19
8.0E-1	1.18	1.18	1.16
1.0E0	1.16	1.16	1.14
1.5E0	1.15	1.14	1.13
2.0E0	1.14	1.13	1.13
3.0E0	1.13	1.13	1.12
4.0E0	1.13	1.12	1.11
5.0E0	1.12	1.12	1.11
6.0E0	1.11	1.11	1.10
8.0E0	1.11	1.10	1.09
1.0E-1	1.11	1.11	1.09

**A8 器官剂量当量与自由空气中空气比释动能  $K_a$  的比值**, 见表 A8, 表中除 ISO 外皆为 PAR 条件, LAT 为由左侧照射。

表 A8 器官剂量当量与空气比释动能  $K_a$  比值

Sv/Gy

器官	能 量								照射条件
	MeV								
	0.025	0.050	0.070	0.100	0.200	0.500	1.000	3.000	
性腺	0.359	1.320	1.628	1.577	1.301	1.100	1.038	1.043	AP
	0.029	0.497	0.820	0.872	0.799	0.832	0.880	0.957	PA
	0.003	0.218	0.384	0.420	0.411	0.492	0.594	0.790	LAT
	0.120	0.590	0.819	0.911	0.807	0.779	0.806	0.875	ROT
	0.125	0.517	0.716	0.729	0.673	0.668	0.718	0.834	ISO
乳腺	0.583	1.393	1.581	1.531	1.345	1.197	1.137	1.043	AP
	0.024	0.313	0.433	0.523	0.565	0.663	0.749	0.856	PA
	0.230	0.616	0.742	0.776	0.761	0.765	0.796	0.880	LAT
	0.300	0.752	0.916	0.927	0.847	0.811	0.827	0.885	ROT
	0.306	0.726	0.825	0.857	0.822	0.802	0.825	0.902	ISO



器官	能 量 MeV								照射条件
	0.025	0.050	0.070	0.100	0.200	0.500	1.000	3.000	
红骨髓	0.031	0.368	0.649	0.764	0.745	0.727	0.760	0.853	AP
	0.097	0.766	1.221	1.321	1.161	0.994	0.964	0.969	PA
	0.031	0.325	0.530	0.642	0.638	0.628	0.703	0.810	LAT
	0.053	0.467	0.782	0.889	0.838	0.799	0.819	0.877	ROT
	0.041	0.370	0.604	0.713	0.692	0.664	0.692	0.786	ISO
肺	0.124	0.963	1.213	1.208	1.065	0.976	0.958	0.971	AP
	0.178	1.101	1.359	1.340	1.182	1.079	1.048	1.045	PA
	0.028	0.418	0.589	0.632	0.613	0.633	0.698	0.808	LAT
	0.100	0.752	0.980	1.001	0.882	0.847	0.866	0.905	ROT
	0.061	0.570	0.755	0.784	0.727	0.715	0.764	0.840	ISO
甲状腺	0.503	1.647	1.829	1.736	1.343	1.089	1.057	1.102	AP
	0.003	0.203	0.326	0.416	0.439	0.444	0.548	0.767	PA
	0.232	1.087	1.309	1.261	1.084	1.011	1.004	1.044	LAT
	0.244	0.870	1.168	1.194	1.013	0.941	0.952	1.020	ROT
	0.118	0.604	0.753	0.790	0.722	0.701	0.730	0.785	ISO

续表 A8

Sv/Gy

器官	能 量 MeV								照射条件
	0.025	0.050	0.070	0.100	0.200	0.500	1.000	3.000	
骨表面	0.274	1.886	2.514	1.698	1.103	0.880	0.876	0.921	AP
	0.384	2.399	2.612	2.038	1.225	0.982	0.937	0.958	PA
	0.237	1.354	1.448	1.214	0.782	0.670	0.711	0.801	LAT
	0.297	1.800	2.035	1.600	1.049	0.844	0.837	0.889	ROT
	0.222	1.450	1.641	1.325	0.841	0.712	0.731	0.811	ISO
其余组织	0.224	1.285	1.604	1.580	1.307	1.144	1.093	1.076	AP
	0.203	1.105	1.416	1.456	1.230	1.070	1.036	1.043	PA
	0.029	0.536	0.772	0.826	0.761	0.739	0.777	0.878	LAT
	0.092	0.673	0.909	0.953	0.857	0.833	0.844	0.900	ROT
	0.060	0.511	0.696	0.735	0.680	0.659	0.706	0.800	ISO
全身 <sup>1)</sup>	0.287	1.190	1.468	1.437	1.210	1.061	1.022	1.020	AP
	0.117	0.805	1.093	1.126	0.986	0.920	0.929	0.974	PA
	0.065	0.470	0.657	0.697	0.651	0.661	0.721	0.842	LAT
	0.138	0.689	0.922	0.963	0.854	0.817	0.835	0.893	ROT
	0.114	0.559	0.742	0.766	0.703	0.686	0.728	0.821	ISO

注:1)对于全身,应是有效剂量当量与空气比释动能  $K_a$  之比。

## 附录 B

### 点源和斜向照射的校正

(参考件)

**B1** 10keV 至 10MeV 点源扩散线束条件下,平行线束有效剂量当量与自由空气中吸收剂量或注量的转换系数的校正值见表 B1,这一校正值仅给出源高(距地)0,1,1.5m 和源至皮肤为 0.5,1.5,2.5M 等几个条件,这几个校正值都是近似(可能为最大的)值,并且不能用于 PA 条件。

表 B1 点源校正值

源 高	源—皮肤距离		
	0.5M	1.5m	2.5M
m			
0	1.40	1.15	1.13
1	1.23	1.10	1.06
1.5	1.63	1.17	1.07

**B2** 平行宽线束单能 X、 $\gamma$  线以高或低于水平方向不同角度斜射人型体模时,剂量校正系数见表 B2。

表 B2 斜射时人型体模的中线剂量校正系数

角 度	X、 $\gamma$ 线能量, MeV			
	0.06	0.112	0.259	0.660
(°)				
-30	0.87	0.88	0.83	0.93
0	1.00	1.00	1.00	1.00
+30	0.85	0.81	0.83	0.89
+45	0.59	0.63	0.63	0.72
+60	0.28	0.30	0.37	0.48
+75	0.12	0.17	0.22	0.33