

电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法

Estimation methods of eye lens dose caused by ionizing radiation

2017 - 10 - 27 发布

2018 - 05 - 01 实施

中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 术语和定义	1
3 通用要求	1
4 X、 γ 外照射眼晶状体吸收剂量估算方法	1
5 中子外照射眼晶状体吸收剂量估算方法	4
6 电子外照射眼晶状体吸收剂量估算方法	5
附录 A (资料性附录) X、 γ 外照射眼晶状体吸收剂量估算中的相关转换系数	7
附录 B (资料性附录) 中子外照射眼晶状体吸收剂量估算中的相关转换系数	14
附录 C (资料性附录) 电子外照射眼晶状体吸收剂量估算中的相关转换系数	18
附录 D (资料性附录) 外照射眼晶状体吸收剂量估算方法示例	21
参考文献	25

前 言

本标准依据《中华人民共和国职业病防治法》起草。

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准代替 WS/T 117-1999《X、 γ 、 β 射线和电子束所致眼晶状体剂量估算规范》，与 WS/T 117-1999 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

——修改了标准名称；

——修改了 X、 γ 和电子外照射剂量估算方法及参数（见第 4 章，第 6 章，附录 A 和附录 C，1999 年版的第 4 章）；

——增加了中子外照射所致眼晶状体吸收剂量估算方法（见第 5 章和附录 B）；

——增加了外照射眼晶状体吸收剂量估算方法举例（见附录 D）；

本标准起草单位：中国医学科学院放射医学研究所、中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所、四川省疾病预防控制中心。

本标准主要起草人：张良安、孙全富、张文艺、焦玲、何玲。

电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法

1 范围

本标准规定了电离辐射所致眼晶状体剂量估算的方法。
本标准适用于成人受到电离辐射外照射时眼晶状体剂量的估算。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

眼晶状体当量剂量 eye lens equivalent dose

特定电离辐射在眼晶状体中产生的平均吸收剂量与该种辐射的辐射权重因子的乘积。

2.2

照射几何条件 irradiation geometries

平行辐射束入射到人体上的照射几何条件。

注：常用的这类照射几何条件有：

- 前后入射（AP）：垂直于人体长轴（Z轴）从人体正面的入射；
- 后前入射（PA）：垂直于人体长轴（Z轴）从人体背面的入射；
- 侧向入射（LAT）：垂直于人体长轴（Z轴）从人体侧面的入射，当需要更详细的描述时，从左侧的表示为LLAT，从右侧的表示为RLAT；
- 转动入射（ROT）：垂直于人体长轴（Z轴）围绕着长轴均匀速度转动方式的入射，也可以认为是身体在围绕着长轴均匀速度转动；
- 各向同性入射（ISO）：每单位立体角注量不随角度变化的辐射。

3 通用要求

- 3.1 仅当电子能量 ≥ 0.5 MeV，X、 γ 射线能量 ≥ 10 keV 才需进行外照射眼晶状体剂量估算。
- 3.2 在辐射损伤疾病诊断中，特别是超剂量限值时，宜用眼晶状体吸收剂量作为眼晶状体剂量估算目标量；在辐射防护评价中应使用眼晶状体当量剂量为估算目标量。
- 3.3 眼晶状体剂量估算的结果不但应给出平均值，还应给出受照射线的种类、能量、照射时间、剂量率、照射的次数和照射间隔时间等信息。

4 X、 γ 外照射眼晶状体吸收剂量估算方法

4.1 有个人监测信息的剂量估算

当有X、 γ 个人剂量当量 $H_p(d)$ 监测或估算结果、并有射线能量和入射角等信息时，应用式（1）估算眼晶状体吸收剂量：

$$D_L = f_{p\gamma} H_p(d) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

D_L —— 眼晶状体吸收剂量，单位为毫戈瑞（mGy）；

$f_{p\gamma}$ —— 个人剂量当量到眼晶状体吸收剂量的转换系数（其值参见附录A中A.2），单位为毫戈瑞每毫希沃特（mGy/mSv）；

$H_p(d)$ —— 个人剂量当量（对X、 γ 射线，其能量>40 keV，或前向入射时，或各向同性入射时，一般采用 $H_p(10)$ 进行眼晶状体吸收剂量估算，在其他情况下，宜用 $H_p(0.07)$ 进行眼晶状体吸收剂量估算），单位为毫希沃特（mSv）。

4.2 有注量信息时的剂量估算

4.2.1 有辐射场注量相关信息时，眼晶状体吸收剂量用式(2)进行估算：

$$D_L = f_{z\gamma} \Phi_\gamma \times 10^{-9} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

D_L —— 眼晶状体吸收剂量，单位为毫戈瑞（mGy）；

$f_{z\gamma}$ —— X、 γ 辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数（其值参见附录A中表A.5），单位为皮戈瑞平方厘米（pGy·cm²）；

Φ_γ —— X、 γ 辐射场的注量，单位为每平方厘米（cm⁻²）；

10^{-9} —— 皮戈瑞转换为毫戈瑞的转换系数。

4.2.2 X、 γ 辐射场的注量可用以下方式获取：

a) 若有用注量率测量仪器直接测得的辐射场的注量率，可用式（3）计算出注量：

$$\Phi_\gamma = \phi_\gamma \cdot t \dots\dots\dots (3)$$

式中：

Φ_γ —— X、 γ 辐射场的注量，单位为每平方厘米（cm⁻²）；

ϕ_γ —— X、 γ 辐射场的注量率，单位为每平方厘米每小时（cm⁻²·h⁻¹）；

t —— 人员在相应场所的停留时间，单位为小时（h）。

b) 若已知核素源的放射性活度，则可用式（4）计算注量：

$$\Phi_\gamma = \frac{AF_\gamma t}{4\pi R^2} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

Φ_γ —— X、 γ 辐射场的注量，单位为每平方厘米（cm⁻²）；

- A —— 放射源的放射性活度，单位为贝可（Bq）；
 F_{γ} —— 放射源每次衰变发射X、 γ 射线的分支比（其值参见表A.6）；
 t —— 人员在相应场所的停留时间，单位为秒（s）；
 R —— 关注点到源的距离，单位为厘米（cm）。

4.3 有场所检测资料的剂量估算

4.3.1 有辐射场空气比释动能率信息时，眼晶状体吸收剂量用式(5)进行估算：

$$D_L = C_{kL} \dot{k} \cdot 10^{-3} \cdot t \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- D_L —— 眼晶状体吸收剂量，单位为毫戈瑞（mGy）；
 \dot{k} —— X、 γ 辐射场的空气比释动能率，单位为微戈瑞每小时（ $\mu\text{Gy/h}$ ）；
 C_{kL} —— 空气比释动能到眼晶状体吸收剂量的转换系数（其值参见附录A中表A.4），单位为戈瑞每戈瑞（Gy/Gy）；
 t —— 人员累积受照时间，单位为小时（h）；
 10^{-3} —— 微戈瑞转换为毫戈瑞的转换系数。

4.3.2 X、 γ 辐射场的空气比释动能率可用以下方式之一获取：

- a) 用空气比释动能率测量仪器直接测得的辐射场的空气比释动能率；
b) 若有辐射场周围剂量当量率的测量数据，可用式（6）计算辐射场的空气比释动能率；

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}^*(10)}{C_{kH^*}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- \dot{k} —— X、 γ 辐射场的空气比释动能率，单位为微戈瑞每小时（ $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ）；
 $\dot{H}^*(10)$ —— X、 γ 辐射场的周围剂量当量率，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ）；
 C_{kH^*} —— 空气比释动能到周围剂量当量的转换系数（其值参见附录A中表A.7），单位为希沃特每戈瑞（Sv/Gy）。

c) 若有辐射场定向剂量当量率的测量数据，可用式（7）计算辐射场的空气比释动能率：

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}'(0.07)}{C_{kH'}} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- \dot{k} —— X、 γ 辐射场的空气比释动能率，单位为微戈瑞每小时（ $\mu\text{Gy/h}$ ）；
 $\dot{H}'(0.07)$ —— 定向剂量当量率，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；
 $C_{kH'}$ —— 是空气比释动能到定向剂量当量的转换系数（其值参见附录A中表A.7），单位为希沃特每戈瑞（Sv/Gy）。

5 中子外照射眼晶状体吸收剂量估算方法

5.1 有个人监测信息的剂量估算

当有中子个人剂量当量 $H_p(10)$ 监测结果、并有中子射线能量和入射角信息时,应用式(8)估算眼晶状体吸收剂量:

$$D_L = f_{pn} H_p(10) \dots\dots\dots (8)$$

式中:

D_L ——眼晶状体吸收剂量,单位为毫戈瑞(mGy);

f_{pn} ——个人剂量当量到眼晶状体吸收剂量的转换系数(其值参见附录B中B.1的方法计算),单位为戈瑞每希沃特(Gy/Sv);

$H_p(10)$ ——个人剂量当量,对中子只需监测 $H_p(10)$,单位为毫希沃特(mSv)。

5.2 有注量信息时的剂量估算

5.2.1 有辐射场注量相关信息时,眼晶状体吸收剂量用式(9)进行估算:

$$D_L = C_{\Phi_e} \times \Phi_n \times 10^{-9} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

D_L ——眼晶状体吸收剂量,单位为毫戈瑞(mGy);

C_{Φ_e} ——中子辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数(其值参见附录B中表B.1),单位为皮戈瑞平方厘米($\text{pGy}\cdot\text{cm}^2$);

Φ_n ——中子辐射场的注量,单位为每平方厘米(cm^{-2});

10^{-9} ——皮戈瑞转换为毫戈瑞的转换系数。

5.2.2 中子辐射场的注量可用以下方式之一获取:

a) 若有用中子注量率测量仪器直接测得的辐射场的注量率,可用式(10)计算出注量。

$$\Phi_n = \phi_n \cdot t \dots\dots\dots (10)$$

式中:

Φ_n ——中子辐射场的注量,单位为每平方厘米(cm^{-2});

ϕ_n ——中子辐射场的注量率,单位为每平方厘米小时($\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$);

t ——人员在相应场所的停留时间,单位为小时(h)。

b) 若已知核素源的放射性活度,则可用式(11)计算注量。

$$\Phi_n = \frac{AF_n t}{4\pi R^2} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

- Φ_n ——中子辐射场的注量,单位为每平方厘米(cm^2);
 A ——放射源的放射性活度,单位为贝可(Bq);
 F_n ——中子放射源每次衰变发射的中子数(其值参见附录B中表B.3);
 t ——人员在相应场所的停留时间,单位为秒(s);
 R ——关注点到源的距离,单位为厘米(cm)。

c) 若有中子辐射场周围剂量当量率监测数据时,则可用式(12)计算注量:

$$\Phi_n = \frac{\dot{H}^*(10) \times t \times 10^6}{C_{\Phi H}} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

- Φ_n ——中子辐射场注量,单位为每平方厘米(cm^2);
 $\dot{H}^*(10)$ ——周围剂量当量率,单位为微希沃特每小时($\mu\text{Sv/h}$);
 t ——人员在相应场所的停留时间,单位为小时(h);
 $C_{\Phi H}$ ——中子注量到周围剂量当量的转换系数(其值参见附录B中表B.2),单位为皮希沃特平方厘米($\text{pSv}\cdot\text{cm}^2$);
 10^6 ——微希沃特每小时转化为皮希沃特每小时的转换系数。

6 电子外照射眼晶状体吸收剂量估算方法

6.1 有注量信息的剂量估算

6.1.1 公式(13)是有辐射场注量相关信息时,眼晶状体吸收剂量用式(13)进行估算:

$$D_L = C_{LH} \cdot \Phi_e \times 10^{-9} \dots\dots\dots (13)$$

式中:

- D_L ——眼晶状体吸收剂量,单位为毫戈瑞(mGy);
 C_{LH} ——电子辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数(其值参见附录C中表C.1),单位为皮戈瑞平方厘米($\text{pGy}\cdot\text{cm}^2$);
 ϕ_e ——电子辐射场中眼晶状体相应位置的注量率,单位为每平方厘米秒($\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$);
 10^{-9} ——皮戈瑞转换为毫戈瑞的转换系数。

6.1.2 电子辐射场的注量可用以下方式获取:

a) 若有用电子注量率测量仪器直接测得的辐射场的注量率,可用式(14)计算出注量。

$$\Phi_n = \phi_e \cdot t \dots\dots\dots (14)$$

式中:

- Φ_e —— 电子辐射场的注量，单位为每平方厘米 (cm^2)；
 ϕ_e —— 电子辐射场的注量率，单位为每平方厘米小时 ($\text{cm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)；
 t —— 人员在相应场所的停留时间，单位为小时 (h)。

b) 若已知核素源的放射性活度及每次衰变发射的 β (包括电子) 粒子数，则可用式 (15) 计算注量：

$$\Phi_e = \frac{AF_e t}{4\pi R^2} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- Φ_e —— 电子辐射场的注量，单位为每平方厘米 (cm^2)；
 A —— 放射源的放射性活度，单位为贝可 (Bq)；
 F_e —— β 发射放射源每次衰变发射的电子数 (其值参见附录C中表C.2)；
 t —— 人员在相应场所的停留时间，单位为秒 (s)；
 R —— 关注点到源的距离，单位为厘米 (cm)。

6.2 有定向剂量当量率信息

6.2.1 当有电子辐射场定向剂量当量率信息时，可用式 (16) 先计算出电子注量率，再用式 (13) 计算眼晶状体吸收剂量。此时的估算仅适用于全身均匀照射的情况。

$$\phi_e = \frac{\dot{H}'(0.07, 0^\circ) \times R(0.07, \alpha) \times 10^3}{C_{eH}} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- C_{eH} —— 电子注量到周围剂量当量的转换系数 (其值参见附录 C 中的表 C.3)，单位为纳希沃特平方厘米 ($\text{nSv} \cdot \text{cm}^2$)；
 $\dot{H}'(0.07, 0^\circ)$ —— 入射方向为 0° 时的浅层定向剂量当量率，单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv/h}$)；
 $R(0.07, \alpha)$ —— 相对于入射角度为 α 时的定向剂量当量修正值 (其值见附录 C 中的表 C.4~表 C.6)；
 10^3 —— 微希沃特每小时转换为纳希沃特每小时的转换系数。

6.2.2 外照射眼晶状体吸收剂量估算方法示例见附录D。

附录 A
(资料性附录)

X、 γ 外照射眼晶状体吸收剂量估算中的相关转换系数

A.1 空气比释动能与注量的相互转换系数

表 A.1 中列出了 X、 γ 外照射时，空气比释动能与注量的相互转换系数。

表 A.1 空气比释动能与注量相互转换时的转换系数

光子能量 MeV	$(\mu_{tr}/\rho)_{air}$ $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	单位注量的空气比释动能 $\text{pGy} \cdot \text{cm}^2$
0.010	4.61	7.38
0.015	1.27	3.052
0.02	0.511	1.637
0.03	0.148	0.711
0.04	0.0668	0.4281
0.05	0.0406	0.3252
0.06	0.0305	0.2932
0.07	0.0270	0.3028
0.08	0.0243	0.3114
0.10	0.0234	0.3749
0.15	0.0250	0.601
0.2	0.0268	0.859
0.3	0.0287	1.379
0.4	0.0295	1.890
0.5	0.0297	2.379
0.6	0.0296	2.845
0.8	0.0289	3.704
1.0	0.0280	4.486
1.25	0.0268	5.37
1.5	0.0256	6.15
2	0.0236	7.56
3	0.0207	9.95
4	0.0189	12.11
5	0.0178	14.26
6	0.0168	16.15
8	0.0157	20.12
10	0.0151	24.19

注： $(\mu_{tr}/\rho)_{air}$ 引自苏旭 张良安主编 《实用辐射防护与剂量学》，原子能出版社，2014。
单位注量的空气比释动能= $1.602E(\mu_{tr}/\rho)_{air} \times 10^{-10}$ ，单位 $\text{pGy} \cdot \text{cm}^2$ 。 E 的单位 MeV ； $(\mu_{tr}/\rho)_{air}$ 的单位 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ 。

A.2 个人剂量当量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 f_{py}

个人剂量当量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 f_{py} 用式 (A.1) 计算：

$$f_{\text{PY}} = C_{\text{ke}} / C_{\text{kp}} \quad \dots\dots\dots \quad (\text{A. 1})$$

式中:

- f_{PY} —— 个人剂量当量到眼晶状体吸收剂量的转换系数, 单位毫戈瑞每毫希沃特 (mGy/mSv);
- C_{kp} —— 从空气比释动能到个人剂量当量的转换系数 (其值参见表A. 2和表A. 3), 单位毫希沃特每毫戈瑞 (mSv/mGy);
- C_{ke} —— 空气比释动能到眼晶状体吸收剂量的转换系数 (其值参见表A.4), 单位为毫戈瑞每毫戈瑞 (mGy/mGy)。

表A. 2 从空气比释动能到 $H_b(10, \alpha)$ 的转换系数 G_{kp}

光子能量 MeV	垂直入射 (0°) C_{kp} mSv/mGy	相对于垂直入射的角度修正因子, $H_b(10, \alpha) / H_b(10, 0^\circ)$					
		0°	15°	30°	45°	60°	75°
0.010	0.009	1.000	0.889	0.556	0.222	0.000	0.000
0.0125	0.098	1.000	0.929	0.704	0.388	0.102	0.000
0.015	0.264	1.000	0.966	0.822	0.576	0.261	0.030
0.0175	0.445	1.000	0.971	0.879	0.701	0.416	0.092
0.020	0.611	1.000	0.982	0.913	0.763	0.520	0.167
0.025	0.883	1.000	0.980	0.937	0.832	0.650	0.319
0.030	1.112	1.000	0.984	0.950	0.868	0.716	0.411
0.040	1.490	1.000	0.986	0.959	0.894	0.760	0.494
0.050	1.766	1.000	0.988	0.963	0.891	0.779	0.526
0.060	1.892	1.000	0.988	0.969	0.911	0.793	0.561
0.080	1.903	1.000	0.997	0.970	0.919	0.809	0.594
0.100	1.811	1.000	0.992	0.972	0.927	0.834	0.612
0.125	1.696	1.000	0.998	0.980	0.938	0.857	0.647
0.150	1.607	1.000	0.997	0.984	0.947	0.871	0.677
0.200	1.492	1.000	0.997	0.991	0.959	0.900	0.724
0.300	1.369	1.000	1.000	0.996	0.984	0.931	0.771
0.400	1.300	1.000	1.004	1.001	0.993	0.955	0.814
0.500	1.256	1.000	1.005	1.002	1.001	0.968	0.846
0.600	1.226	1.000	1.005	1.004	1.003	0.975	0.868
0.800	1.190	1.000	1.001	1.003	1.007	0.987	0.892
1	1.167	1.000	1.000	0.996	1.009	0.990	0.910
1.5	1.139	1.000	1.002	1.003	1.006	0.997	0.934
3	1.117	1.000	1.005	1.010	0.998	0.998	0.958
6	1.109	1.000	1.003	1.003	0.992	0.997	0.995
10	1.111	1.000	0.998	0.995	0.989	0.992	0.966

注: 本表的数据来源: ICRP 74 出版物, 1996。

表 A.3 空气比释动能到 $H_b(0.07, \alpha)$ 的转换系数

光子能量 MeV	垂直入射 (0°) C_{sp} mSv/mGy	相对于垂直入射的角度修正因子, $H_b(0.07, \alpha)/H_b(0.07, 0^\circ)$					
		0°	15°	30°	45°	60°	75°
0.005	0.750	1.000	0.991	0.956	0.895	0.769	0.457
0.010	0.947	1.000	0.996	0.994	0.987	0.964	0.904
0.015	0.981	1.000	1.000	1.001	0.994	0.992	0.954
0.020	1.045	1.000	0.996	0.996	0.987	0.982	0.948
0.030	1.230	1.000	0.990	0.989	0.972	0.946	0.897
0.040	1.444	1.000	0.994	0.990	0.965	0.923	0.857
0.050	1.632	1.000	0.994	0.979	0.954	0.907	0.828
0.060	1.716	1.000	0.995	0.984	0.961	0.913	0.837
0.080	1.732	1.000	0.994	0.991	0.966	0.927	0.855
0.100	1.669	1.000	0.993	0.990	0.973	0.946	0.887
0.150	1.518	1.000	1.001	1.005	0.995	0.977	0.950
0.200	1.432	1.000	1.001	1.001	1.003	0.997	0.981
0.300	1.336	1.000	1.002	1.007	1.010	1.019	1.013
0.400	1.280	1.000	1.002	1.009	1.016	1.032	1.035
0.500	1.244	1.000	1.002	1.008	1.020	1.040	1.054
0.600	1.220	1.000	1.003	1.009	1.019	1.043	1.057
0.800	1.189	1.000	1.001	1.008	1.019	1.043	1.062
1.000	1.173	1.000	1.002	1.005	1.016	1.038	1.060

注：本表的数据来源：ICRP 74 出版物，1996。

表A.4 空气比释动能到眼晶状体吸收剂量的转换系数 C_{kL}

光子能量 MeV	不同入射方式下的 C_{kL} mGy/mGy				
	AP	PA	LAT	ROT	ISO
0.01	0.113	-	0.0103	0.0375	0.0335
0.015	0.531	-	0.137	0.215	0.129
0.02	0.825	-	0.306	0.376	0.250
0.03	1.14	0.0068	0.594	0.608	0.481
0.04	1.36	0.0470	0.825	0.785	0.659
0.05	1.49	0.101	0.975	0.904	0.763
0.06	1.53	0.142	1.06	0.972	0.832
0.07	1.51	0.167	1.07	0.969	0.830
0.08	1.55	0.189	1.11	1.01	0.851
0.10	1.49	0.209	1.11	1.00	0.835
0.15	1.39	0.236	1.07	0.965	0.805
0.2	1.32	0.263	1.06	0.943	0.799
0.3	1.26	0.310	1.05	0.928	0.819
0.4	1.22	0.349	1.04	0.926	0.841
0.5	1.19	0.381	1.03	0.929	0.858
0.6	1.17	0.411	1.03	0.931	0.865
0.8	1.15	0.462	1.03	0.934	0.872
1.0	1.13	0.497	1.03	0.932	0.876
1.25	1.06	0.533	1.02	0.944	0.857
1.5	1.02	0.567	1.02	0.919	0.857
2.0	0.93	0.612	1.01	0.893	0.839
3.0	0.70	0.692	0.99	0.845	0.810
4.0	0.545	0.749	0.933	0.795	0.794
5.0	0.441	0.757	0.877	0.743	0.750
6.0	0.369	0.768	0.830	0.700	0.731
8.0	0.270	0.775	0.755	0.651	0.691
10.0	0.209	0.777	0.703	0.608	0.653

注：本表的数据来源：依据ICRP 116 出版物，2010中光子注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数，并考虑到表A.1中注量的空气比释动能转换系数推算而得出。

A.3 X、 γ 辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 f_{ZY}

表 A.5 中列出了 X、 γ 辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 f_{ZY} 。

表 A.5 X、 γ 辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数

光子能量MeV	不同照射几何条件下注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 f_{ZY}				
	pGy·cm ²				
	AP	PA	LAT	ROT	ISO
0.01	0.833	-	0.0762	0.277	0.247
0.015	1.62	-	0.417	0.657	0.393
0.02	1.35	-	0.501	0.616	0.409
0.03	0.812	0.0048	0.422	0.432	0.342
0.04	0.581	0.0201	0.353	0.336	0.282
0.05	0.483	0.0328	0.317	0.294	0.248
0.06	0.450	0.0417	0.312	0.285	0.244
0.07	0.455	0.0504	0.322	0.293	0.251
0.08	0.482	0.0590	0.347	0.314	0.265
0.10	0.559	0.0780	0.416	0.376	0.313
0.15	0.838	0.142	0.642	0.580	0.484
0.2	1.13	0.225	0.912	0.810	0.686
0.3	1.74	0.427	1.45	1.28	1.13
0.4	2.30	0.659	1.97	1.75	1.59
0.5	2.83	0.907	2.46	2.21	2.04
0.6	3.34	1.17	2.94	2.65	2.46
0.8	4.26	1.71	3.81	3.46	3.23
1.0	5.06	2.23	4.62	4.18	3.93
1.5	6.30	3.49	6.30	5.65	5.27
2.0	7.04	4.63	7.61	6.75	6.34
3.0	6.93	6.89	9.85	8.41	8.06
4.0	6.60	9.07	11.3	9.63	9.62
5.0	6.29	10.8	12.5	10.6	10.7
6.0	5.96	12.4	13.4	11.3	11.8
8.0	5.44	15.6	15.2	13.1	13.9
10.0	5.05	18.8	17.0	14.7	15.8
15.0	4.82	26.9	20.7	18.6	20.4
20.0	4.64	35.8	23.8	22.2	23.4
30.0	4.52	53.5	28.8	28.4	29.7

注：本表的数据来源：ICRP 116 出版物，2010。

A.4 放射性核素源每次衰变发射X、 γ 射线的分支比

表A.6中列出了放射性核素源每次衰变发射X、 γ 射线的分支比。

表 A.6 放射性核素源每次衰变发射 X、 γ 射线的分支比 F_γ

放射性核素	半衰期	最大能量 MeV	平均能量 MeV	F_γ
氟-18	109.77 min	0.5110	0.5109	1.9348
钠-22	2.6088 a	1.2745	0.7834	2.7986
氩-37	35.04 d	-	0.0026	0.0850
钾-40	1.28×10^9 a	1.4610	1.343	0.1161
钙-47	4.536 d	1.8780	1.1991	0.8373
钪-46	83.81 d	1.1205	1.0049	1.9997
钪-47	3.3492 d	0.1594	0.1593	0.6836
铬-51	27.7025 d	0.3201	0.1009	0.3257
铁-55	2.73 a	0.0065	0.0059	0.2823
铁-59	44.503 d	1.4817	1.1409	1.0416
钴-57	271.74 d	0.6924	0.0768	1.6297
钴-58	70.86 d	1.6747	0.6206	1.571
钴-60	5.2714 a	1.3325	1.2529	1.9996
锌-65	244.26 d	1.1155	0.6278	0.927
镓-67	3.2612 d	0.8877	0.1096	1.4562
砷-74	17.77 d	2.1982	0.5003	1.5114
砷-76	1.0778 d	2.6553	0.6743	0.61525
硒-75	119.79 d	0.5722	0.1655	2.3448
铷-84	32.77 d	1.8978	0.553	1.6161
铷-86	18.631 d	-	1.0770	0.0864
锶-85	64.84 d	0.8681	0.3207	1.5641
锶-89	50.53 d	-	0.9090	0.0001
钼-99	65.94 h	0.9608	0.4671	0.3257
钨-99m	6.01 h	0.1426	0.1306	0.9688
铟-111	2.8047 d	0.2454	0.1481	2.734
碘-124	4.176 d	2.7469	0.5447	2.1224
碘-125	59.4 d	0.0355	0.0261	1.6248
碘-131	8.0207 d	0.7229	0.3604	1.0617
氙-127	36.4 d	0.6184	0.1387	1.9882
氙-133	5.243 d	0.1606	0.0499	0.9434
氙-133m	2.19 d	0.2332	0.055	0.743
钡-131	11.5 d	1.0476	0.1987	2.3951
镱-169	32.026 d	0.3077	0.0815	3.8677
铈-186	3.7183 d	0.7675	0.0825	0.2513
铈-192	73.827 d	1.0615	0.3459	2.36
金-198	2.6951 d	1.0877	0.4004	1.0062
汞-203	46.612 d	0.2792	0.237	1.0028

注：本表资料来自<http://hps.org/publicinformation/radardecaydata.cfm>。

A.5 空气比释动能到周围剂量当量或定向剂量当量的转换系数

表A.7中列出了空气比释动能到周围剂量当量或定向剂量当量的转换系数。

表A.7 空气比释动能到周围剂量当量或定向剂量当量的转换系数

光子能量 MeV	$C_{\text{KH}^*} = H^*(10)/k_a$ Sv/Gy	$C_{\text{KH}^*} = H^*(0.07,0^\circ)/k_a$ Sv/Gy
0.010	0.0080	0.95
0.015	0.26	0.99
0.020	0.61	1.05
0.030	1.10	1.22
0.040	1.47	1.41
0.050	1.67	1.53
0.060	1.74	1.59
0.080	1.72	1.61
0.100	1.65	1.55
0.150	1.49	1.42
0.200	1.40	1.34
0.300	1.31	1.31
0.400	1.26	1.26
0.500	1.23	1.23
0.600	1.21	1.21
0.800	1.19	1.19
1	1.17	1.17
1.5	1.15	1.15
2	1.14	1.14
3	1.13	1.13
4	1.12	1.12
5	1.11	1.11
6	1.11	1.11
8	1.11	1.11
10	1.10	1.10

注：本表的数据来源：ICRP 74 出版物，1996。

附 录 B
(资料性附录)

中子外照射眼晶状体吸收剂量估算中的相关转换系数

B.1 个人剂量当量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 f_{pn}

中子个人剂量当量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 f_{pn} 用式 (B.1) 计算:

$$f_{pn} = C_{\Phi_e} / C_{\Phi_p} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- f_{pn} ——中子个人剂量到眼晶状体吸收剂量的转换系数, 单位为毫戈瑞每毫希沃特 (mGy/mSv);
 C_{Φ_e} ——中子注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 (其值参见附录B中表B.1), 单位为皮戈瑞平方厘米 ($\text{pGy}\cdot\text{cm}^2$);
 C_{Φ_p} ——中子注量到个人剂量当量的转换系数 (其值参见附录B中表B.2), 单位为皮希沃特平方厘米 ($\text{pSv}\cdot\text{cm}^2$).

B.2 中子辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数

表B.1中列出了中子辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数。

表 B.1 中子辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数

中子能量 MeV	不同照射几何条件下注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 C_{Φ_e}				
	$\text{pGy}\cdot\text{cm}^2$				
	AP	PA	LAT	ROT	ISO
1.0×10^{-9}	2.32	0.283	0.735	0.949	0.786
1.0×10^{-8}	2.73	0.329	0.868	1.12	0.848
2.5×10^{-8}	2.80	0.327	0.963	1.20	0.855
1.0×10^{-7}	2.87	0.322	1.14	1.28	0.863
2.0×10^{-7}	2.86	0.331	1.24	1.34	0.871
5.0×10^{-7}	2.79	0.356	1.32	1.39	0.890
1.0×10^{-6}	2.71	0.378	1.35	1.40	0.915
2.0×10^{-6}	2.63	0.395	1.37	1.40	0.949
5.0×10^{-6}	2.52	0.406	1.37	1.37	1.00
1.0×10^{-5}	2.38	0.406	1.34	1.32	1.04
2.0×10^{-5}	2.28	0.419	1.31	1.27	1.07
5.0×10^{-5}	2.16	0.452	1.25	1.22	1.09
1.0×10^{-4}	2.06	0.472	1.22	1.15	1.09
2.0×10^{-4}	1.95	0.483	1.18	1.13	1.08
5.0×10^{-4}	1.82	0.483	1.16	1.08	1.05
1.0×10^{-3}	1.77	0.479	1.13	1.05	1.02
2.0×10^{-3}	1.80	0.477	1.11	1.06	1.01
5.0×10^{-3}	1.97	0.465	1.14	1.10	1.04
1.0×10^{-2}	2.28	0.446	1.27	1.23	1.13
2.0×10^{-2}	2.93	0.424	1.51	1.52	1.35
3.0×10^{-2}	3.59	0.417	1.76	1.77	1.55
5.0×10^{-2}	4.77	0.420	2.24	2.36	1.94

表 B.1 (续)

中子能量 MeV	不同照射几何条件下注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 $C_{D,e}$ $\text{pGy}\cdot\text{cm}^2$				
	AP	PA	LAT	ROT	ISO
7.0×10^{-2}	5.86	0.417	2.71	2.84	2.29
1.0×10^{-1}	7.29	0.415	3.38	3.49	2.78
1.5×10^{-1}	9.38	0.423	4.38	4.49	3.52
2.0×10^{-1}	11.1	0.440	5.30	5.41	4.20
3.0×10^{-1}	14.1	0.493	6.95	6.91	5.45
5.0×10^{-1}	18.3	0.644	9.86	9.47	7.64
7.0×10^{-1}	21.5	0.837	12.2	11.5	9.58
9.0×10^{-1}	25.4	1.07	14.4	13.4	11.3
1.0	27.0	1.19	15.6	14.5	12.2
1.2	29.0	1.47	17.5	16.2	13.8
1.5	30.6	1.94	20.1	18.2	15.9
2.0	34.2	2.86	23.9	21.0	19.2
3.0	40.5	5.02	30.1	26.5	24.7
4.0	47.0	7.41	35.2	31.8	29.2
5.0	52.8	9.88	38.4	36.6	33.1
6.0	57.2	12.3	42.0	40.5	36.4
7.0	59.2	14.7	45.2	43.4	39.4
8.0	61.2	17.0	47.9	46.0	42.0
9.0	62.8	19.2	50.4	48.2	44.3
10.0	64.2	21.3	52.6	50.3	46.4
12.0	66.2	25.2	56.3	53.8	50.1
14.0	67.7	28.7	59.3	56.5	53.2
15.0	68.2	30.4	60.6	57.5	54.5
16.0	68.7	32.0	61.8	58.5	55.8
18.0	69.3	35.0	63.8	59.8	58.0
20.0	69.4	37.8	65.5	60.7	59.9

注：本表的数据来源：ICRP 116 出版物，2010。

B.3 中子外照射注量到周围剂量当量和个人剂量当量的转换系数

表 B.2 中列出了中子外照射注量到周围剂量当量和个人剂量当量的转换系数。

表 B.2 中子外照射注量到周围剂量当量和个人剂量当量的转换系数 ($\text{pSv}\cdot\text{cm}^2$)

中子能量 MeV	$H^*(10)$ / Φ	$H_{p,slab}(10,0^{\circ})$ / Φ	$H_{p,slab}(10,15^{\circ})$ / Φ	$H_{p,slab}(10,30^{\circ})$ / Φ	$H_{p,slab}(10,45^{\circ})$ / Φ	$H_{p,slab}(10,60^{\circ})$ / Φ	$H_{p,slab}(10,75^{\circ})$ / Φ
1.0×10^{-9}	6.60	8.19	7.64	6.57	4.23	2.61	1.13
1.0×10^{-8}	9.00	9.97	9.35	7.90	5.38	3.37	1.50
2.5×10^{-8}	10.6	11.4	10.6	9.11	6.61	4.04	1.73
1.0×10^{-7}	12.9	12.6	11.7	10.3	7.84	4.70	1.94
2.0×10^{-7}	13.5	13.5	12.6	11.1	8.73	5.21	2.12
5.0×10^{-7}	13.6	14.2	13.5	11.8	9.40	5.65	2.31
1.0×10^{-6}	13.3	14.4	13.9	12.0	9.56	5.82	2.40
2.0×10^{-6}	12.9	14.3	14.0	11.9	9.49	5.85	2.46
5.0×10^{-6}	12.0	13.8	13.9	11.5	9.11	5.71	2.48

表 B.2 (续)

中子能量 MeV	$H^*(10)$ / Φ	$H_{p,slab}$ (10, 0 ⁰) / Φ	$H_{p,slab}$ (10, 15 ⁰) / Φ	$H_{p,slab}$ (10, 30 ⁰) / Φ	$H_{p,slab}$ (10, 45 ⁰) / Φ	$H_{p,slab}$ (10, 60 ⁰) / Φ	$H_{p,slab}$ (10, 75 ⁰) / Φ
1.0×10 ⁻⁵	11.3	13.2	13.4	11.0	8.65	5.47	2.44
2.0×10 ⁻⁵	10.6	12.4	12.6	10.4	8.10	5.14	2.35
5.0×10 ⁻⁵	9.90	11.2	11.2	9.42	7.32	4.57	2.16
1.0×10 ⁻⁴	9.40	10.3	9.85	8.64	6.74	4.10	1.99
2.0×10 ⁻⁴	8.90	9.84	9.41	8.22	6.21	3.91	1.83
5.0×10 ⁻⁴	8.30	9.34	8.66	7.66	5.67	3.58	1.68
1.0×10 ⁻³	7.90	8.78	8.20	7.29	5.43	3.46	1.66
2.0×10 ⁻³	7.70	8.72	8.22	7.27	5.43	3.46	1.67
5.0×10 ⁻³	8.00	9.36	8.79	7.46	5.71	3.59	1.69
1.0×10 ⁻²	10.5	11.2	10.8	9.18	7.09	4.32	1.77
2.0×10 ⁻²	16.6	17.1	17.0	14.6	11.6	6.64	2.11
3.0×10 ⁻²	23.7	24.9	24.1	21.3	16.7	9.81	2.85
5.0×10 ⁻²	41.1	39.0	36.0	34.4	27.5	16.7	4.78
7.0×10 ⁻²	60.0	59.0	55.8	52.6	42.9	27.3	8.10
1.0×10 ⁻¹	88.0	90.6	87.8	81.3	67.1	44.6	13.7
1.5×10 ⁻¹	132	139	137	126	106	73.3	24.2
2.0×10 ⁻¹	170	180	179	166	141	100	35.5
3.0×10 ⁻¹	233	246	244	232	201	149	58.5
5.0×10 ⁻¹	322	335	330	326	291	226	102
7.0×10 ⁻¹	375	386	379	382	348	279	139
9.0×10 ⁻¹	400	414	407	415	383	317	171
1.0	416	422	416	426	395	332	180
1.2	425	433	427	440	412	355	210
2.0	420	442	438	457	439	402	274
3.0	412	431	429	449	440	412	306
4.0	408	422	421	440	435	409	320
5.0	405	420	418	437	435	409	331
6.0	400	423	422	440	439	414	345
7.0	405	432	432	449	448	425	361
8.0	409	445	445	462	460	440	379
9.0	420	461	462	478	476	458	399
10.0	440	480	481	497	493	480	421
12.0	480	517	519	536	529	523	464
14.0	520	550	552	570	561	562	503
15.0	540	564	565	584	575	579	520
16.0	555	576	577	597	588	593	535
18.0	570	595	593	617	609	615	561
20.0	600	600	595	619	615	619	570

注：本表的数据来源：ICRP 74 出版物，1996。

B.4 核素中子源的特性

表 B.3 中列出了部分核素中子源的特性

表 B.3 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 $\times 10^{-5}$ 中子/Bq	1 m 处每贝可的空气比释动能率 Gy/h
$^{210}\text{Po-Be}$	138.4 d	4.2	6.8	6.98×10^{-18}
$^{226}\text{Ra-Be}$	1600 a	4.0	35	1.96×10^{-13}
$^{238}\text{Pu-Be}$	87.7 a	4.5	6.2	$\sim 6.98 \times 10^{-18}$
$^{239}\text{Pu-Be}$	24110 a	4.1	5.9	$\sim 6.98 \times 10^{-18}$
$^{241}\text{Am-Be}$	432.2 a	4.5	5.9	$\sim 6.98 \times 10^{-18}$
$^{124}\text{Sb-Be}$	60.2 d	0.024	3.5	2.30×10^{-18}
^{252}Cf	2.65	2.13	2.4×10^{15} ^a	6.5 ^b
$^{252}\text{Cf}(\text{D}_2\text{O 慢化})$	2.65	0.55	2.4×10^{15} ^a	1.5 ^b
^a 单位质量的中子发射率，单位是 $\text{s}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。 ^b 离单位质量源1m处中子当量剂量率，单位是 $\text{Sv}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。				

附录 C

(资料性附录)

电子外照射眼晶状体吸收剂量估算中的相关转换系数

C.1 电子辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数

表 C.1 中列出了电子辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 f_{ze} 。

表 C.1 电子辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数

电子能量 MeV	不同照射几何条件下注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 f_{ze} pGy·cm ²		
	AP	PA	ISO
0.5	0.0115	7.3×10^{-5}	0.0115
0.6	0.0406	$2.6E \times 10^{-4}$	0.0406
0.7	1.46	$6.4E \times 10^{-4}$	1.46
0.8	9.97	0.0013	9.97
1.0	69.1	0.0026	22.6
1.5	307	0.0070	47.3
2.0	414	0.0141	71.0
3.0	373	0.0312	99.7
4.0	332	0.0592	115
5.0	314	0.114	123
6.0	306	0.171	128
8.0	302	0.375	142
10.0	301	0.675	160
15.0	309	1.98	184
20.0	311	4.07	208
30.0	309	19.0	240

注：本表的数据来源：ICRP 116 出版物，2010。

C.2 常用 β 发射核素每次衰变发射的分支比

表C.2中列出有 β 外照射意义的常用 β 发射核素每次衰变发射的分支比。

表C.2 有 β 外照射意义的常用 β 发射核素每次衰变发射的分支比 F_e

放射性核素	半衰期	最大能量 MeV	平均能量 MeV	F_e
钠-24	14.959 h	0.5541	0.5539	0.9999
磷-32	14.26 d	0.6949	0.6949	1.0000
氯-38	37.24 min	2.2439	1.5505	2.0013
氩-41	109.34 min	1.0769	0.4645	0.9998
钾-40	1.28×10^9 a	0.5606	0.519	0.9647
钾-42	12.36 h	1.5658	1.4304	1.000
砷-76	1.0778 d	1.2669	1.0701	0.9977
铷-86	18.631 d	0.7094	0.6682	1.000
铯-89	50.53 d	0.5846	0.5846	1.000
钇-90	64.1 h	0.9337	0.9337	1.0001
铊-210	1.3 min	1.7660	0.6442	2.0108

注：本表资料来自<http://hps.org/publicinformation/radardecaydata.cfm>。

C.3 电子注量率到定向当量剂量率的转换系数

表C.3中列出了不同能量和电子注量率到定向当量剂量率的转换系数。

表 C.3 不同能量和电子注量率到定向当量剂量率的转换系数

电子能量 MeV	定向当量剂量的转换系数 $C_{e\theta H}$ nSv·cm ²		
	$\dot{H}'(0.07,0^\circ)/\phi_e$	$\dot{H}'(3,0^\circ)/\phi_e$	$\dot{H}'(10,0^\circ)/\phi_e$
0.50	0.411	—	—
0.60	0.366	—	—
1.00	0.312	0.301	—
1.50	0.287	0.52	—
2.00	0.279	0.481	0.0050
4.00	0.272	0.334	0.447
10.00	0.275	0.303	0.330

注：本表的数据来源：ICRP 74 出版物，1996。

C.4 不同入射角度对 $\dot{H}'(d,0^\circ)$ 的修正系数

表C.4~表C.6中列出了不同入射角度对 $\dot{H}'(d,0^\circ)$ 的修正系数。

表 C.4 不同入射角度对 $\dot{H}'(0.07,0^\circ)$ 的修正系数

电子能量 MeV	$R(0.07, \alpha)$									
	0°	15°	30°	45°	60°	67.5°	75°	82.5°	85°	89°
0.40	1.00	1.04	1.14	1.33	1.35	1.82	0.66	0.245	0.133	0.0150
0.60	1.00	1.03	1.12	1.29	1.46	1.61	1.23	1.37	1.19	1.01
1.00	1.00	1.02	1.09	1.23	1.47	1.58	1.31	0.55	0.294	0.0300
1.50	1.00	1.03	1.07	1.19	1.40	1.57	1.57	0.76	0.422	0.041
2.00	1.00	1.02	1.07	1.16	1.34	1.51	1.65	0.95	0.53	0.053
4.00	1.00	1.01	1.04	1.10	1.24	1.37	1.55	1.48	0.95	0.093
10.0	1.00	1.01	1.02	1.05	1.13	1.22	1.34	1.66	1.65	0.210

注：本表的数据来源：ICRP 74 出版物，1996。

表 C.5 不同入射角度对 $\dot{H}'(3,0^\circ)$ 的修正系数

电子能量 MeV	$R(0.07, \alpha)$									
	0°	15°	30°	45°	60°	67.5°	75°	82.5°	85°	89°
0.08	1.00	0.84	0.465	0.167	0.037	0.0210	0.00300	—	—	—
1.00	1.00	0.91	0.66	0.346	0.127	0.063	0.0270	0.0070	0.0040	—
1.50	1.00	0.95	0.80	0.55	0.276	0.172	0.086	0.0290	0.0150	0.00200
2.00	1.00	1.00	0.94	0.75	0.425	0.267	0.138	0.047	0.0260	0.00300
4.00	1.00	1.04	1.13	1.27	1.04	0.740	0.412	0.142	0.078	0.0070
10.0	1.00	1.01	1.02	1.09	1.35	1.42	1.05	0.402	0.215	0.0190

注：本表的数据来源：ICRP 74 出版物，1996。

表 C.6 不同入射角度对 $\dot{H}'(10,0^\circ)$ 的修正系数

电子能量 MeV	$R(10, \alpha)$									
	0°	15°	30°	45°	60°	67.5°	75°	82.5°	85°	
2.00	1.00	0.72	0.308	0.088	0.0290	0.200	0.0100	—	—	
4.00	1.00	0.454	0.68	0.53	0.239	0.134	0.062	0.0200	0.0100	
10.0	1.00	1.02	1.08	1.21	1.01	0.69	0.360	0.114	0.060	

注：本表的数据来源：ICRP 74 出版物，1996。

附录 D

(资料性附录)

外照射眼晶状体吸收剂量估算方法示例

D.1 注意事项

D.1.1 在防护评价中,可将受照眼晶状体处的个人剂量当量 $H_p(3)$ 监测结果视为眼晶状体当量剂量,在均匀照射的情况下,也可将个人剂量当量 $H_p(10)$ 监测结果视为受照眼晶状体的眼晶状体当量剂量。

D.1.2 若需进行眼晶状体吸收剂量估算,一般应用受照眼晶状体处的个人剂量当量 $H_p(3)$ 监测结果进行估算,在均匀照射的情况下,也可用个人剂量当量 $H_p(10)$ 监测结果进行眼晶状体吸收剂量估算;无个人监测数据时,再用其他剂量信息(例如,辐射场的注量、空气比释动能、周围剂量当量、定向剂量当量等)进行眼晶状体吸收剂量估算,但采集这些数据的辐射场位置应与受照眼晶状体相近。

D.1.3 若需采用模拟剂量测量进行眼晶状体吸收剂量估算时,应注意以下技术环节:

- 测量用的剂量计应是具有一定厚度的薄型剂量计,并有组织等效材料的覆盖物;剂量计厚度不宜大于 1 mm;覆盖物的质量厚度应为 300 mg/cm^2 ,有眼睑遮盖时应为 800 mg/cm^2 ;
- 模拟检测时剂量计应置于眼或靠近眼的部位;
- 如果利用模体进行模拟测量,对 X、 γ 和中子外照射,一般将眼睛视为头部模型的一部分,将估算的头部平均剂量视为眼晶状体剂量;
- 在电子线束外照射的情况下可将薄的剂量计置于模体相应于眼晶状体的前表面赤道位置处进行模拟测量,这时可用裸眼模型的平均值作为眼晶状体剂量的估算结果。

D.1.4 在进行外照射眼晶状体剂量估算中,应按不同场景、源项信息、检测数据和其他相关信息分别用第 5 章~第 6 章的方法进行。

D.1.5 若剂量估算的目标量是眼晶状体当量剂量时,对 X、 γ 和电子为 $W_R=1$;对 中子按其能量 W_R 分别取值如下: $E_n < 1 \text{ MeV}$ 时, $W_R = 2.5 + 18.2e^{-\ln(E_n)^2/6}$;

$$1 \text{ MeV} \leq E_n \leq 50 \text{ MeV} \text{ 时, } W_R = 5.0 + 17.0e^{-\ln(2E_n)^2/6};$$

$$E_n > 50 \text{ MeV} \text{ 时, } W_R = 2.5 + 3.2e^{-\ln(0.04E_n)^2/6}$$

D.2 X、 γ 外照射眼晶状体吸收剂量估算方法举例

D.2.1 有个人监测信息

例:若进行介入操作的一个工作人员的操作眼晶状体受到事故照射,假设可视前向入射得均匀照射, $H_p(10,0^\circ)$ 的监测结果为 500 mSv, X 射线的平均能量为 30 keV,估算这个工作人员受照部位的眼晶状体吸收剂量。

解:因 X 射线的平均能量为 30 keV,而且可近似地视为 AP 入射方式的垂直入射。

从表 A.2 可查得空气比释动能到 $H_p(10,0^\circ)$ 的转换系数 $C_{kp}=1.112 \text{ mSv/mGy}$;

从表 A.4 可查得空气比释动能到眼晶状体吸收剂量的转换系数 $C_{ke}=1.14 \text{ mGy/mGy}$;

由式 (A.1) 可计算个人剂量当量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 f_{py} :

$$f_{py} = C_{ke} / C_{kp} = 1.14 / 1.112 \approx 1.025 \text{ mGy/mSv};$$

$$H_p(0.07) = 500 \text{ mSv}$$

用式 (1) 计算受照眼晶状体吸收剂量 D_L

$$D_L = f_{py} H_p(d) = 1.025 \times 500 = 513 \text{ mGy}$$

D. 2.2 有注量监测信息

例: 若进行介入操作的一个男性工作人员的操作眼晶状体受到事故照射, 受照部位注量的监测结果为 $50 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$, X 射线的平均能量为 30 keV, 估算这个工作人员受照部位的眼晶状体吸收剂量。

解: 因 X 射线的平均能量为 30 keV, 而且可近似地视为垂直入射, 而且是 AP 入射方式。

从表 A.5 可查得 X、 γ 辐射场注量到男性眼晶状体吸收剂量的转换系数 $f_{zy}=0.812 \text{ pGy}\cdot\text{cm}^2$;

用式 (2) 计算受照眼晶状体吸收剂量 D_L

$$D_L = f_{zy} \Phi_\gamma \times 10^{-9} = 0.812 \times 50 \times 10^{10} \times 10^{-9} = 406 \text{ mGy}$$

D. 2.3 有场所监测信息

例: 若进行介入操作的一个男性工作人员的操作眼晶状体受到事故照射, 眼晶状体受照部位的周围剂量当量率为 $500 \mu\text{Sv/h}$, X 射线的平均能量为 30 keV, 估算这个工作人员累计受照 10 小时后, 眼晶状体吸收剂量。

解: 因 X 射线的平均能量为 30 keV, 而且可近似地视为垂直入射, 而且是 AP 入射方式。

从表 A.7 可查得 X、 γ 辐射场空气比释动能到周围剂量当量的转换系数 $C_{kH}=1.10 \text{ Sv/Gy}$;

用式 (6) 计算这次事故辐射场的空气比释动能率;

$$k'(d,0^\circ) \dot{k} = \frac{\dot{H}^*(10)}{C_{kH}} = \frac{500}{1.10} \approx 455 \mu\text{Gy/h}$$

从表 A.4 可查出空气比释动能到眼晶状体吸收剂量的转换系数 $C_{ke}=1.197 \text{ mGy/mGy}$;

用式 (5) 计算受照眼晶状体的吸收剂量:

$$D_L = C_{ks} \times (\dot{k} \times t) \times 10^{-3} = 1.197 \times (455 \times 10) \times 10^{-3} \approx 5.45 \text{ mGy}$$

D. 3 中子外照射眼晶状体吸收剂量估算方法举例

D. 3.1 有个人监测信息

例: 若进行 Am-241/Be 中子源操作的一个工作人员受到事故照射, 受照部位 $H_p(10)$ 的监测结果为 500 mSv, 中子的平均能量为 4.5 MeV, 估算这个工作人员受照部位的眼晶状体吸收剂量。

解：中子的平均能量为 4.5 MeV，可近似地视为垂直入射，而且是 AP 入射方式。

用插值法从表 B.1 可得中子注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 $C_{\Phi_e}=49.9 \text{ pGy}\cdot\text{cm}^2$ ；

用插值法从表 B.2 可得中子注量到个人剂量当量的转换系数 $C_{\Phi_p}=421 \text{ pSv}\cdot\text{cm}^2$ ；

用式 (B.1) 可计算中子个人剂量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 f_{pn} 。

$$f_{pn}=C_{\Phi_e}/C_{\Phi_p}=49.9\div 421\approx 0.1185 \quad \text{mGy/mSv}$$

用式 (8) 可计算出眼晶状体吸收剂量 D_L 。

$$D_L = f_{pn}H_p(10) = 0.1185 \times 500 \text{ mGy}$$

D.3.2 有注量监测信息

例：若进行 Am-241/Be 中子源操作的一个工作人员受到事故照射，事故期间受照部位注量的监测结果为 $50\times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ ，中子的平均能量为 4.5 MeV，估算这个工作人员受照部位的眼晶状体吸收剂量。

解：中子的平均能量为 4.5 MeV，可近似地视为垂直入射，而且是 AP 入射方式。

用插值法从表 B.1 可查得中子辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 $C_{\Phi_e}=19.0 \text{ pGy}\cdot\text{cm}^2$ ；

用式 (9) 计算受照眼晶状体吸收剂量 D_L 。

$$D_L=C_{\Phi_e}\times\Phi_n\times 10^{-9}=19.0\times 50\times 10^9\times 10^{-9}\approx 9.5\times 10^2 \text{ mGy}$$

D.3.3 有场所监测信息

例：若进行 Am-241/Be 中子源操作的一个工作人员受到事故照射，事故期间受照部位周围剂量当量的监测结果为 500 mSv，中子的平均能量为 4.5 MeV，估算这个工作人员受照部位的眼晶状体吸收剂量。

解：因中子的平均能量为 4.5 MeV，而且可近似地视为垂直入射，而且是 AP 入射方式。

从表 B.2 中用插值法可以得到中子注量到周围剂量当量的转换系数， $C_{\Phi_H}=406.5 \text{ pSv}\cdot\text{cm}^2$ ；

参照式 (12) 可以计算出这种情况下事故期间受照部位注量 Φ_n ：

$$\Phi_n = \frac{H^*(10)}{C_{\Phi_H}} = \frac{0.5}{406.5\times 10^{-12}} \approx 1.23\times 10^9 \quad \text{cm}^{-2}$$

从表 B.1 中用插值法可以得到中子注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数， $C_{\Phi_e}=49.9 \text{ pGy}\cdot\text{cm}^2$

用式 (9) 计算受照眼晶状体吸收剂量 D_L 。

$$D_L=C_{\Phi_e}\times\Phi_n\times 10^{-9}=49.9\times 1.23\times 10^9\times 10^{-9}=61.4 \text{ mGy}$$

D.4 电子外照射眼晶状体吸收剂量估算方法举例

D.4.1 有注量监测信息

例：在进行 Sr-89 核素治疗时一个工作人员受到事故照射， β 近似地视为垂直入射，源的活度为 3.7 GBq，工作人员受照眼晶状体离源距离为 50 cm，受照时间 1 h，估算这个工作人员受照部位的眼晶

状体吸收剂量。

解：由表 C.2 可查出 Sr-89 β 射线的平均能量为 0.5846 MeV，每次衰变发射的 β 粒子数 $F_e=1.0$ ；
用式 (15) 可计算此时的注量：

$$\Phi_e = \frac{AF_e t}{4\pi R^2} = \frac{3.7 \times 10^9 \times 1 \times 3600}{4 \times 3.14 \times (50)^2} = \frac{133.2 \times 10^9}{314} \approx 4.24 \times 10^8 \quad \text{cm}^{-2}$$

对 Sr-89， β 最大能量为 0.5846 MeV，从表 C.1 用插值法可以得到电子辐射场注量到眼晶状体吸收剂量的转换系数 $f_{ze}=0.0348 \text{ pGy} \cdot \text{cm}^2$ ；

用式 (13) 计算受照眼晶状体的吸收剂量：

$$D_L = f_{ze} \cdot \Phi_e \times 10^{-9} = 0.0348 \times 4.24 \times 10^8 \times 10^{-9} \approx 0.0148 \text{ mGy}$$

D. 4. 2 有定向剂量当量监测信息

例：在进行 Sr-89 核素治疗时一个工作人员受到事故照射， β 射线近似地视为垂直入射，在受照眼晶状体位置监测的定向剂量当量率 $\dot{H}'(0.07) = 820 \mu\text{Sv} / \text{h}$ ，受照时间 1 h，估算这个工作人员受照部位的眼晶状体吸收剂量。

解：由表 C.2 可查出 Sr-89 β 射线的平均能量为 0.5846 MeV；

参照表 C.3 用插值法可得出电子注量到定向剂量当量的转换系数 $C_{eH} \approx 0.375 \text{ nSv} \cdot \text{cm}^2$ ；

由于是垂直入射情况，因此， $R(0.07, 0^\circ) = 1$ ；

用式 (16) 和式 (14) 计算受照眼晶状体处的注量：

$$\Phi = \phi_e \times t = \frac{\dot{H}'(0.07, 0^\circ) \times R(0.07, \alpha) \times 10^3}{C_{eH}} t = \frac{820 \times 1 \times 10^3}{0.272} \times 1 \approx 3.01 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$$

再用式 (13) 计算受照眼晶状体的吸收剂量：

$$D_L = C_{eH} \cdot \Phi_e \times 10^{-9} = 0.375 \times 3.01 \times 10^6 \times 10^{-9} \approx 1.13 \times 10^{-3} \text{ mGy} = 1.13 \mu\text{Gy}$$

参 考 文 献

- [1] IAEA, General Safety Requirements, No. GSR Part 3, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, 2014
- [2] ISO 15382 Radiological Protection — Procedures for Monitoring the Dose to the Lens of the Eye, the Skin and the Extremities, International Standard, 2015
- [3] IAEA TECDOC No. 1731, IAEA Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye, 2013
- [4] ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103. 2007
- [5] ICRP 107 Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations, Ann. ICRP 38(3), 2008
- [6] ICRP, Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. ICRP Publication 116. 2010
- [7] ICRP, Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation, ICRP Publication 74. 1996
- [8] ICRP. Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics. ICRP Publication 23. 1975
- [9] ICRU. Determination of Dose Equivalents form External Radiation Sources-Part 2. ICRU Report 43. 1988
- [10] ICRU. Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations. ICRP Report 47. 1992
- [11] ICRU, 1993b. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry. ICRU Report 51. ICRU Publications: Bethesda, MC
- [12] ICRU, 1998. Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation. ICRU Report 60. ICRU Publications: Bethesda, MC
- [13] ICRU, 2001b. Determination of Operational Dose Equivalent Quantities for Neutrons. ICRU Report 66. Journal of ICRU 1 (3)
- [14] <http://hps.org/publicinformation/radardecaydata.cfm>
- [15] 苏旭, 张良安. 实用辐射防护与剂量学, 原子能出版社, 2014
-