

WS

中华人民共和国卫生行业标准

WS/T XXXXX—XXXX

代替 GBZ/T 144-2002, GBZ/T 202-2007

外照射放射防护剂量转换系数标准

Dose Conversion Coefficients for Radiological Protection  
Quantities for External Radiation Exposures

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国国家卫生健康委员会

发布

## 目 次

1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 标准照射条件.....	2
5 注量和比释动能对应有效剂量转换系数.....	2
6 注量对应器官吸收剂量转换系数.....	3
7 注量对应眼晶状体吸收剂量的转换系数.....	3
8 注量对应局部皮肤吸收剂量的转换系数.....	3
附录 A（资料性附录） 照射几何条件.....	4
附录 B（规范性附录） 辐射场量到有效剂量的转换系数.....	5
附录 C（规范性附录） 光子辐射场量到器官剂量的转换系数.....	22
附录 D（规范性附录） 中子辐射场量到器官剂量的转换系数.....	82
附录 E（规范性附录） 注量对应眼晶状体吸收剂量的转换系数.....	143
附录 F（规范性附录） 注量对应局部皮肤吸收剂量的转换系数.....	149
参考文献.....	150

## 前言

本标准代替 GBZ/T 144—2002《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》和 GBZ/T 202—2007《用于中子外照射放射防护的剂量转换系数》，与 GBZ/T 146—2002 和 GBZ/T 202—2007 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 标准名称修改为“外照射放射防护剂量转换系数标准”；
- b) 修订了术语和定义。保留了原标准中注量、ICRU 球、防护量、器官剂量、有效剂量、拟人模型、照射几何条件等术语，增加了剂量转换系数和体素两个术语及其定义，并修订了其他术语的定义表述；
- c) 扩展了原标准中光子和中子的能量范围，中子能量从原标准的  $1.00\text{E}-9\text{MeV}\sim 1.80\text{E}+2\text{MeV}$  扩展到了  $1.00\text{E}-9\text{MeV}\sim 1.00\text{E}+4\text{MeV}$ ，光子能量从原标准的  $1.00\text{E}-2\text{MeV}\sim 10\text{MeV}$  扩展到了  $1.00\text{E}-2\text{MeV}\sim 1.00\text{E}+4\text{MeV}$ ；
- d) 增加了正负电子、质子、正负  $\pi$  介子、正负  $\mu$  子和氦离子注量对应有效剂量转换系数；
- e) 删除了光子、中子外照射防护监测中实用量的运用；
- f) 删除了光子辐射场物理量之间的转换系数；
- g) 删除了自由空气比释动能、光子注量与实用量的转换系数；
- h) 删除了中子注量与实用量的转换系数；
- i) 删除了实用量与防护量之间的转换系数；
- j) 删除了一些实际中子源实用量与防护量的比较。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准起草单位：北京市职业病防治研究院、中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所、中国计量科学研究院、复旦大学放射医学所、清华大学。

本标准主要起草人：刘澜涛、朱卫国、王坤、卓维海、苏垠平、李君利、张德钦、杜晓宏、潘洋。

本标准所代替文件 GBZ/T 146—2002 的历次版本发布情况为：

——1989 年首次发布为 GB 11712-89；

本标准所代替文件 GBZ/T 202—2007 的历次版本发布情况为：

——1995 年首次发布为 GB/T 16139-1995。



# 外照射放射防护剂量转换系数标准

## 1 范围

本标准给出了光子、中子、正负电子、质子、正负 $\mu$ 子、正负 $\pi$ 介子和氦离子外照射放射防护中由辐射场量到防护量的转换系数。

本标准仅适用于成年男性和女性的外照射放射防护，包括以下能量单能线束的外照射：10keV-10GeV的光子、0.001eV-10GeV的中子、50keV-10GeV的正负电子、1MeV-10GeV的质子、1 MeV - 10 GeV的正负 $\mu$ 子、1MeV-200GeV的正负 $\pi$ 介子和1MeV/u-100GeV/u的氦离子。

本标准不适用于儿童外照射的放射防护。

## 2 规范性引用文件

本标准没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**注量 fluence**

入射到单位截面球体中的光子数。

### 3.2

**防护量 protection quantities**

国际放射防护委员会（ICRP）规定的放射防护范畴中人体的剂量学量，防护量包括器官剂量和有效剂量等。

### 3.3

**器官剂量 organ dose**

特定器官或组织平均吸收剂量的简称。

### 3.4

**剂量转换系数 dose conversion coefficient**

一个将剂量学量和物理量联系起来的系数。

### 3.5

**ICRU球 ICRU sphere**

直径为 30cm、密度为 $1\text{g cm}^{-3}$ 的组织等效球体，元素组成按质量计为O: 76.2%、H: 10.1%、C: 11.1%、N: 2.6%。

### 3.6

**有效剂量 effective dose**

人体各组织或器官的当量剂量乘以相应的组织权重因子后的和。见公式（1）。

$$E = \sum_T \omega_T \sum_R \omega_R D_{T,R} = \sum_T \omega_T H_T \quad \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$E$  ——有效剂量，单位是焦耳每千克（J/kg），专用单位名称是希沃特（Sv）；

$W_T$  ——组织或器官T的组织权重因子；

$W_R$  ——辐射权重因子；

$D_{T,R}$  ——R型辐射授予器官或组织T的平均吸收剂量；

$H_T$  ——器官或组织T的当量剂量。

### 3.7

#### 参考体模 reference phantom

基于真实人体的计算机体层摄影数据，由三维立方体体素数组组成，用于计算人体吸收剂量分布的人体数学模型。

### 3.8

#### 体素 voxels

在人体三维解剖结构中分割的小三维体积元素。

### 3.9

#### 照射几何条件 irradiation geometries

表示入射辐射束相对于身体或体模的取向。

## 4 照射条件

### 4.1 参考体模

4.1.1 分为男性参考体模和女性参考体模，分别代表成年男性参考人和成年女性参考人。

4.1.2 男性参考体模包括195万个组织体素（不包括代表体表皮外的真空体素），每个体素的层厚（对应于体素高度）为8.0 mm，平面内分辨率（即体素宽度和深度）为2.137 mm，对应于体素体积为36.54 mm<sup>3</sup>，总层数为220层，组成的身高为1.76米，体重为73kg。

4.1.3 女性参考体模由389万个组织体素组成，每个体素的层厚为4.84mm，平面内分辨率为1.775mm，对应体素体积为15.25 mm<sup>3</sup>。总层数为346层，组成的身高1.63m，体重60kg。

4.1.4 参考体模中包含对有效剂量有贡献的所有器官，即红（活性）骨髓、结肠、肺、胃、乳腺、卵巢、睾丸、膀胱壁、食道、肝脏、甲状腺、骨内膜、脑、唾液腺和皮肤以及其余组织。

### 4.2 照射几何条件

4.2.1 在宽平行束均匀辐射场中，根据单向射束照射人体的入射方向，规定了由前向后、由后向前、由侧面（包括左侧面和右侧面）、旋转照射和各向同性等几种照射几何条件，照射时光子束垂直于体模的长轴线；理想的标准照射几何条件示意图见附录A。

4.2.2 在各向同性照射时，该辐射场中每单位立体角的光子注量与方向无关。

## 5 注量和比释动能对应有效剂量转换系数

5.1 单能光子束在规定的照射几何条件下单位注量对应有效剂量的转换系数见附录B表B.1；

5.2 对于能量达10MeV的光子，在标准照射几何条件下单位比释动能对应有效剂量的转换系数见附录B表B.2；

5.3 单能中子、电子、正电子、质子、负 $\mu$ 子、正 $\mu$ 子、负 $\pi$ 介子、正 $\pi$ 介子、氦离子在标准照射几何条件下由单位注量对应有有效剂量的转换系数见附录B表B.3-11。

## 6 注量对应器官吸收剂量转换系数

6.1 单能光子束在标准几何照射条件下单位注量对应各器官剂量的转换系数，其中女性相关系数见附录C表C.1-15，男性相关系数见附录C表C.16-30；

6.2 单能中子束在标准几何照射条件下单位注量对应各器官剂量的转换系数，其中女性相关系数见附录D表D.1-15，男性相关系数见附录D表D.16-30。

## 7 注量对应眼晶状体吸收剂量的转换系数

7.1 从5keV到10MeV能量的光子在前后（AP）、后前（PA）、侧向（LAT）、旋转（ROT）和各向同性（ISO）照射几何条件下单位注量对应眼晶状体吸收剂量的转换系数见附录E表E.1。

7.2 从100keV到12MeV能量的电子在前后（AP）照射几何条件下单位注量对应眼晶状体吸收剂量的转换系数见附录E表E.2。

7.3 从0.001eV到10MeV能量的中子在前后（AP）、侧向（LAT）和旋转照射（ROT）照射几何条件下单位注量对应眼晶状体吸收剂量的转换系数见附录E表E.3。

## 8 注量对应局部皮肤吸收剂量的转换系数

8.1 电子垂直入射皮肤时单位注量对应局部皮肤吸收剂量的转换系数见附录F表F.1。

8.2  $\alpha$ 粒子束垂直入射皮肤时单位注量对应局部皮肤吸收剂量的转换系数见附录F表F.2。

附录 A  
(资料性附录)  
照射几何条件

为方便计算，限制了照射几何条件的数目。一般来说，计算时均假定为宽束单向辐射对全身照射，或者是平面平行束对全身照射，下面给出了一些典型的照射几何条件，其示意图见图 A. 1。

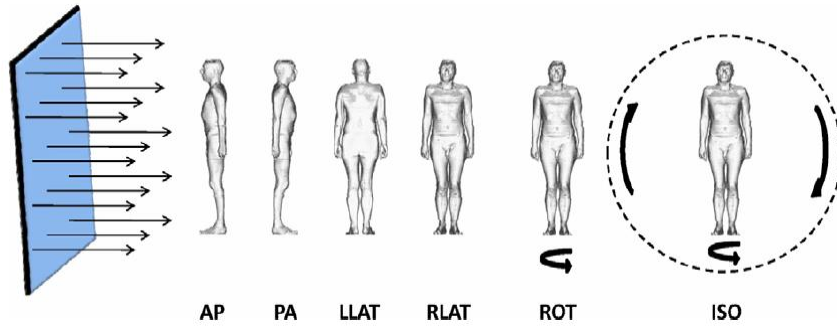


图 A1. 外辐射照射拟人模型的几种理想的几何条件示意图。其中，AP 为由前向后照射；PA 为由后向前照射；RLAT 为由右侧面照射；LLAT 为由左侧面照射；ROT 为旋转照射；ISO 为各向同性照射。

(来自 ICRP 第 116 号出版物)

附 录 B  
(规范性附录)

辐射场量到有效剂量的转换系数

单能光子束在标准照射条件下,由单位光子注量对应有效剂量的转换系数 $E/\phi$ 见表B.1,由单位空气比释动能到有效剂量的转换系数 $E/K_a$ 见表B.2;其他粒子在标准照射条件下由单位注量对应有效剂量的转换系数见表B.3—表B.11。

表 B.1 单能光子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	0.0685	0.0184	0.0189	0.0182	0.0337	0.0288
0.015	0.156	0.0155	0.0416	0.0390	0.0664	0.0560
0.02	0.225	0.0260	0.0655	0.0573	0.0986	0.0812
0.03	0.313	0.0940	0.110	0.0891	0.158	0.127
0.04	0.351	0.161	0.140	0.114	0.199	0.158
0.05	0.370	0.208	0.160	0.133	0.226	0.180
0.06	0.390	0.242	0.177	0.150	0.248	0.199
0.07	0.413	0.271	0.194	0.167	0.273	0.218
0.08	0.444	0.301	0.214	0.185	0.297	0.239
0.1	0.519	0.361	0.259	0.225	0.355	0.287
0.15	0.748	0.541	0.395	0.348	0.528	0.429
0.2	1.00	0.741	0.552	0.492	0.721	0.589
0.3	1.51	1.16	0.888	0.802	1.12	0.932
0.4	2.00	1.57	1.24	1.13	1.52	1.28
0.5	2.47	1.98	1.58	1.45	1.92	1.63
0.511	2.52	2.03	1.62	1.49	1.96	1.67
0.6	2.91	2.38	1.93	1.78	2.30	1.97
0.622	3.17	2.62	2.14	1.98	2.54	2.17
0.8	3.73	3.13	2.59	2.41	3.04	2.62
1.0	4.49	3.83	3.23	3.03	3.72	3.25
1.117	4.90	4.22	3.58	3.37	4.10	3.60
1.33	5.59	4.89	4.20	3.98	4.75	4.20
1.5	6.12	5.39	4.68	4.45	5.24	4.66
2.0	7.48	6.75	5.96	5.70	6.55	5.90
3.0	9.75	9.12	8.21	7.90	8.84	8.08
4.0	11.7	11.2	10.2	9.86	10.8	10.0

(来自ICRP第116号出版物,以下各表同)

表 B.1 单能光子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 E/Φ (pSv cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
5.0	13.4	13.1	12.0	11.7	12.7	11.8
6.0	15.0	15.0	13.7	13.4	14.4	13.5
6.129	15.1	15.2	13.9	13.6	14.6	13.7
8.0	17.8	18.6	17.0	16.6	17.6	16.6
10.0	20.5	22.0	20.1	19.7	20.6	19.6
15.0	26.1	30.3	27.4	27.1	27.7	26.8
20.0	30.8	38.2	34.4	34.4	34.4	33.8
30.0	37.9	51.4	47.4	48.1	46.1	46.1
40.0	43.1	62.0	59.2	60.9	56.0	56.9
50.0	47.1	70.4	69.5	72.2	64.4	66.2
60.0	50.1	76.9	78.3	82.0	71.2	74.1
80.0	54.5	86.6	92.4	97.9	82.0	87.2
100	57.8	93.2	103	110	89.7	97.5
150	63.3	104	121	130	102	116
200	67.3	111	133	143	111	130
300	72.3	119	148	161	121	147
400	75.5	124	158	172	128	159
500	77.5	128	165	180	133	168
600	78.9	131	170	186	136	174
800	80.5	135	178	195	142	185
1000	81.7	138	183	201	145	193
1500	83.8	142	193	212	152	208
2000	85.2	145	198	220	156	218
3000	86.9	148	206	229	161	232
4000	88.1	150	212	235	165	243
5000	88.9	152	216	240	168	251
6000	89.5	153	219	244	170	258
8000	90.2	155	224	251	172	268
10000	90.7	155	228	255	175	276

表 B.2 单能光子照射每单位自由空气比释动能对应的有效剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下 $E/K_a$ (pSv/Gy)					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	0.0090	0.0024	0.0025	0.0024	0.0044	0.0038
0.015	0.0485	0.0048	0.0130	0.0122	0.0207	0.0175
0.02	0.130	0.0151	0.0379	0.0332	0.0571	0.0470
0.03	0.423	0.127	0.149	0.121	0.214	0.171
0.04	0.801	0.369	0.319	0.261	0.455	0.361
0.05	1.13	0.633	0.487	0.406	0.688	0.548
0.06	1.33	0.827	0.604	0.513	0.850	0.680
0.07	1.42	0.935	0.668	0.574	0.939	0.751
0.08	1.44	0.974	0.693	0.599	0.963	0.773
0.1	1.39	0.970	0.694	0.605	0.953	0.769
0.15	1.25	0.901	0.658	0.581	0.880	0.715
0.2	1.17	0.865	0.644	0.574	0.842	0.687
0.3	1.09	0.836	0.643	0.580	0.812	0.675
0.4	1.06	0.831	0.653	0.595	0.806	0.678
0.5	1.04	0.833	0.665	0.611	0.807	0.684
0.511	1.03	0.833	0.667	0.613	0.807	0.685
0.6	1.02	0.837	0.678	0.626	0.810	0.692
0.622	1.02	0.839	0.685	0.635	0.813	0.697
0.8	1.01	0.846	0.699	0.652	0.821	0.708
1.0	1.00	0.855	0.720	0.676	0.830	0.725
1.117	0.999	0.861	0.730	0.688	0.836	0.734
1.33	0.996	0.870	0.748	0.709	0.846	0.748
1.5	0.996	0.878	0.761	0.724	0.853	0.759
2.0	0.990	0.894	0.788	0.754	0.867	0.781
3.0	0.977	0.914	0.823	0.792	0.886	0.810
4.0	0.960	0.923	0.839	0.812	0.893	0.824
5.0	0.943	0.927	0.846	0.822	0.893	0.831
6.0	0.924	0.927	0.848	0.825	0.889	0.832
6.129	0.921	0.926	0.848	0.825	0.888	0.832
8.0	0.886	0.922	0.842	0.824	0.874	0.825
10.0	0.848	0.913	0.831	0.816	0.856	0.814
15.0	0.756	0.880	0.794	0.786	0.804	0.778
20.0	0.697	0.843	0.759	0.758	0.759	0.744

表 B.3 单能中子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	3.09	1.85	1.04	0.893	1.70	1.29
1.0E-8	3.55	2.11	1.15	0.978	2.03	1.56
2.5E-8	4.00	2.44	1.32	1.12	2.31	1.76
1.0E-7	5.20	3.25	1.70	1.42	2.98	2.26
2.0E-7	5.87	3.72	1.94	1.63	3.36	2.54
5.0E-7	6.59	4.33	2.21	1.86	3.86	2.92
1.0E-6	7.03	4.73	2.40	2.02	4.17	3.15
2.0E-6	7.39	5.02	2.52	2.11	4.40	3.32
5.0E-6	7.71	5.30	2.64	2.21	4.59	3.47
1.0E-5	7.82	5.44	2.65	2.24	4.68	3.52
2.0E-5	7.84	5.51	2.68	2.26	4.72	3.54
5.0E-5	7.82	5.55	2.66	2.24	4.73	3.55
1.0E-4	7.79	5.57	2.65	2.23	4.72	3.54
2.0E-4	7.73	5.59	2.66	2.24	4.67	3.52
5.0E-4	7.54	5.60	2.62	2.21	4.60	3.47
0.001	7.54	5.60	2.61	2.21	4.58	3.46
0.002	7.61	5.62	2.60	2.20	4.61	3.48
0.005	7.97	5.95	2.74	2.33	4.86	3.66
0.01	9.11	6.81	3.13	2.67	5.57	4.19
0.02	12.2	8.93	4.21	3.60	7.41	5.61
0.03	15.7	11.2	5.40	4.62	9.46	7.18
0.05	23.0	15.7	7.91	6.78	13.7	10.4
0.07	30.6	20.0	10.5	8.95	18.0	13.7
0.1	41.9	25.9	14.4	12.3	24.3	18.6
0.15	60.6	34.9	20.8	17.9	34.7	26.6
0.2	78.8	43.1	27.2	23.4	44.7	34.4
0.3	114	58.1	39.7	34.2	63.8	49.4
0.5	177	85.9	63.7	54.4	99.1	77.1
0.7	232	112	85.5	72.6	131	102
0.9	279	136	105	89.3	160	126
1.0	301	148	115	97.4	174	137
1.2	330	167	130	110	193	153
1.5	365	195	150	128	219	174
2.0	407	235	179	153	254	203
3.0	458	292	221	192	301	244
4.0	483	330	249	220	331	271

表 B.3 单能中子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
5.0	494	354	269	240	351	290
6.0	498	371	284	255	365	303
7.0	499	383	295	267	374	313
8.0	499	392	303	276	381	321
9.0	500	398	310	284	386	327
10.0	500	404	316	290	390	332
12.0	499	412	325	301	395	339
14.0	495	417	333	310	398	344
15.0	493	419	336	313	398	346
16.0	490	420	338	317	399	347
18.0	484	422	343	323	399	350
20.0	477	423	347	328	398	352
21.0	474	423	348	330	398	353
30.0	453	422	360	345	395	358
50.0	433	428	380	370	395	371
75.0	420	439	399	392	402	387
100	402	444	409	404	406	397
130	382	446	416	413	411	407
150	373	446	420	418	414	412
180	363	447	425	425	418	421
200	359	448	427	429	422	426
300	363	464	441	451	443	455
400	389	496	472	483	472	488
500	422	533	510	523	503	521
600	457	569	547	563	532	553
700	486	599	579	597	558	580
800	508	623	603	620	580	604
900	524	640	621	638	598	624
1000	537	654	635	651	614	642
2000	612	740	730	747	718	767
5000	716	924	963	979	906	1.01E+3
10,000	933	1.17E+3	1.23E+3	1.26E+3	1.14E+3	1.32E+3

表 B.4 单能电子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )		
	AP	PA	ISO
0.01	0.0269	0.0268	0.0188
0.015	0.0404	0.0402	0.0283
0.02	0.0539	0.0535	0.0377
0.03	0.0810	0.0801	0.0567
0.04	0.108	0.107	0.0758
0.05	0.135	0.133	0.0948
0.06	0.163	0.160	0.114
0.08	0.218	0.213	0.152
0.1	0.275	0.267	0.191
0.15	0.418	0.399	0.291
0.2	0.569	0.530	0.393
0.3	0.889	0.787	0.606
0.4	1.24	1.04	0.832
0.5	1.63	1.28	1.08
0.6	2.05	1.50	1.35
0.8	4.04	1.68	1.97
1.0	7.10	1.68	2.76
1.5	15.0	1.62	4.96
2.0	22.4	1.62	7.24
3.0	36.1	1.95	11.9
4.0	48.2	2.62	16.4
5.0	59.3	3.63	21.0
6.0	70.6	5.04	25.5
8.0	97.9	9.46	35.5
10.0	125	18.3	46.7
15.0	188	53.1	76.9
20.0	236	104	106
30.0	302	220	164
40.0	329	297	212
50.0	337	331	249
60.0	341	344	275
80.0	346	358	309
100	349	366	331
150	355	379	363
200	359	388	383
300	365	399	410

400	369	408	430
-----	-----	-----	-----

WS/T XXXX-XXXX

表 B.4 单能电子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数 (续)

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )		
	AP	PA	ISO
500	372	414	445
600	375	419	457
800	379	428	478
1000	382	434	495
1500	387	446	525
2000	391	455	549
3000	397	468	583
4000	401	477	608
5000	405	484	628
6000	407	490	646
8000	411	499	675
10,000	414	507	699

表 B.5 单能正电子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )		
	AP	PA	ISO
0.01	3.28	1.62	1.39
0.015	3.29	1.64	1.40
0.02	3.30	1.65	1.41
0.03	3.33	1.68	1.43
0.04	3.36	1.71	1.45
0.05	3.39	1.73	1.47
0.06	3.42	1.76	1.49
0.08	3.47	1.82	1.53
0.1	3.53	1.87	1.57
0.15	3.67	2.01	1.67
0.2	3.84	2.14	1.77
0.3	4.16	2.40	1.98
0.4	4.52	2.65	2.21
0.5	4.90	2.90	2.45
0.6	5.36	3.12	2.72
0.8	7.41	3.32	3.38
1.0	10.5	3.37	4.20
1.5	18.3	3.44	6.42
2.0	25.7	3.59	8.70
3.0	39.1	4.19	13.3
4.0	51.0	5.11	18.0
5.0	61.7	6.31	22.4
6.0	72.9	8.03	26.9
8.0	99.0	14.0	36.7
10.0	126	23.6	47.6
15.0	184	59.0	75.5
20.0	229	111	104
30.0	294	221	162
40.0	320	291	209
50.0	327	321	243
60.0	333	334	268
80.0	339	349	302
100	342	357	323
150	349	371	356
200	354	381	377

表 B.5 单能正电子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )		
	AP	PA	ISO
300	362	393	405
400	366	402	425
500	369	409	440
600	372	415	453
800	376	424	474
1000	379	430	491
1500	385	443	522
2000	389	451	545
3000	395	465	580
4000	399	473	605
5000	402	480	627
6000	404	486	645
8000	408	495	674
10,000	411	503	699

表 B.6 单能质子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0	5.46	5.47	2.81	2.81	4.50	3.52
1.5	8.20	8.21	4.21	4.20	6.75	5.28
2.0	10.9	10.9	5.61	5.62	8.98	7.02
3.0	16.4	16.4	8.43	8.41	13.4	10.5
4.0	21.9	21.9	11.2	11.2	17.8	13.9
5.0	27.3	27.3	14.0	14.0	22.1	17.3
6.0	32.8	32.8	16.8	16.8	26.3	20.5
8.0	43.7	43.7	22.4	22.4	34.5	26.8
10.0	54.9	54.6	28.1	28.1	50.1	45.8
15.0	189	56.1	50.7	48.9	93.7	80.1
20.0	428	43.6	82.8	78.8	165	136
30.0	750	36.1	180	172	296	249
40.0	1.02E+3	45.5	290	278	422	358
50.0	1.18E+3	71.5	379	372	532	451
60.0	1.48E+3	156	500	447	687	551
80.0	2.16E+3	560	799	602	1.09E+3	837
100	2.51E+3	1.19E+3	994	818	1.44E+3	1.13E+3
150	2.38E+3	2.82E+3	1.64E+3	1.46E+3	2.16E+3	1.79E+3
200	1.77E+3	1.93E+3	2.15E+3	2.18E+3	1.96E+3	1.84E+3
300	1.38E+3	1.45E+3	1.44E+3	1.45E+3	1.44E+3	1.42E+3
400	1.23E+3	1.30E+3	1.27E+3	1.28E+3	1.28E+3	1.25E+3
500	1.15E+3	1.24E+3	1.21E+3	1.21E+3	1.22E+3	1.18E+3
600	1.16E+3	1.23E+3	1.20E+3	1.20E+3	1.22E+3	1.17E+3
800	1.11E+3	1.23E+3	1.19E+3	1.20E+3	1.20E+3	1.17E+3
1000	1.09E+3	1.23E+3	1.18E+3	1.20E+3	1.19E+3	1.15E+3
1500	1.15E+3	1.25E+3	1.21E+3	1.23E+3	1.23E+3	1.21E+3
2000	1.12E+3	1.28E+3	1.25E+3	1.25E+3	1.23E+3	1.22E+3
3000	1.23E+3	1.34E+3	1.32E+3	1.32E+3	1.30E+3	1.31E+3
4000	1.27E+3	1.40E+3	1.31E+3	1.33E+3	1.29E+3	1.40E+3
5000	1.23E+3	1.45E+3	1.39E+3	1.41E+3	1.35E+3	1.43E+3
6000	1.37E+3	1.53E+3	1.44E+3	1.45E+3	1.41E+3	1.57E+3
8000	1.45E+3	1.65E+3	1.56E+3	1.59E+3	1.49E+3	1.71E+3
10,000	1.41E+3	1.74E+3	1.63E+3	1.67E+3	1.56E+3	1.78E+3

表 B.7 单能负  $\mu$  介子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )		
	AP	PA	ISO
1.0	180	75.2	78.7
1.5	180	76.8	79.5
2.0	184	78.3	80.9
3.0	188	81.4	83.7
4.0	193	84.8	87.1
5.0	205	87.7	91.5
6.0	242	86.7	98.1
8.0	293	86.8	113
10.0	332	88.6	127
15.0	414	100	161
20.0	465	122	191
30.0	657	251	275
40.0	735	457	363
50.0	755	703	446
60.0	628	775	496
80.0	431	485	498
100	382	402	432
150	340	345	354
200	326	329	332
300	319	321	321
400	320	321	321
500	321	324	323
600	325	326	326
800	327	332	331
1000	333	337	337
1500	331	338	338
2000	333	341	341
3000	336	344	344
4000	337	345	346
5000	337	346	347
6000	337	346	347
8000	337	347	348
10,000	338	347	348

表 B.8 单能正  $\mu$  介子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )		
	AP	PA	ISO
1.0	194	82.6	85.2
1.5	196	84.1	86.2
2.0	198	85.7	87.5
3.0	202	88.9	90.3
4.0	207	92.1	93.6
5.0	216	94.3	97.7
6.0	251	92.5	103
8.0	300	92.8	117
10.0	340	94.8	132
15.0	425	108	167
20.0	481	133	199
30.0	674	265	284
40.0	751	473	373
50.0	768	721	456
60.0	635	787	506
80.0	431	483	502
100	381	399	432
150	339	345	354
200	326	328	332
300	318	320	320
400	319	321	320
500	320	323	322
600	322	325	324
800	325	330	329
1000	327	333	333
1500	331	339	338
2000	333	341	341
3000	336	344	344
4000	337	345	346
5000	337	346	347
6000	337	346	347
8000	337	347	348
10,000	339	347	348

表 B.9 单能负  $\pi$  介子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )		
	AP	PA	ISO
1.0	406	194	176
1.5	422	201	189
2.0	433	210	198
3.0	458	225	215
4.0	491	233	232
5.0	528	237	251
6.0	673	208	271
8.0	965	181	317
10.0	1.09E+3	178	361
15.0	1.25E+3	197	439
20.0	1.28E+3	244	508
30.0	1.77E+3	547	676
40.0	1.92E+3	1.02E+3	868
50.0	1.93E+3	1.70E+3	1.02E+3
60.0	1.68E+3	1.99E+3	1.15E+3
80.0	1.14E+3	1.31E+3	1.15E+3
100	995	991	1.03E+3
150	927	889	857
200	902	871	815
300	848	843	794
400	844	850	807
500	869	880	838
600	901	917	875
800	947	976	935
1000	977	1.02E+3	979
1500	1.03E+3	1.08E+3	1.05E+3
2000	1.05E+3	1.12E+3	1.09E+3
3000	1.03E+3	1.11E+3	1.11E+3
4000	1.03E+3	1.13E+3	1.15E+3
5000	1.06E+3	1.18E+3	1.20E+3
6000	1.09E+3	1.22E+3	1.26E+3
8000	1.14E+3	1.29E+3	1.36E+3
10,000	1.17E+3	1.34E+3	1.43E+3
15,000	1.21E+3	1.41E+3	1.55E+3
20,000	1.24E+3	1.47E+3	1.64E+3
30,000	1.30E+3	1.56E+3	1.79E+3

表 B.9 (续)

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )		
	AP	PA	ISO
40,000	1.35E+3	1.63E+3	1.91E+3
50,000	1.39E+3	1.70E+3	2.02E+3
60,000	1.42E+3	1.75E+3	2.11E+3
80,000	1.48E+3	1.86E+3	2.29E+3
100,000	1.54E+3	1.95E+3	2.46E+3
150,000	1.67E+3	2.15E+3	2.80E+3
200,000	1.78E+3	2.33E+3	3.04E+3

表 B.10 单能正  $\pi$  介子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )		
	AP	PA	ISO
1.0	314	121	151
1.5	324	125	160
2.0	340	133	168
3.0	379	151	183
4.0	429	170	198
5.0	489	183	216
6.0	540	185	233
8.0	717	177	265
10.0	819	179	296
15.0	1000	201	367
20.0	1.10E+3	247	439
30.0	1.52E+3	494	602
40.0	1.75E+3	906	787
50.0	1.83E+3	1.48E+3	953
60.0	1.66E+3	1.82E+3	1.09E+3
80.0	1.22E+3	1.38E+3	1.16E+3
100	1.13E+3	1.12E+3	1.10E+3
150	1.22E+3	1.15E+3	1.05E+3
200	1.25E+3	1.23E+3	1.08E+3
300	1.07E+3	1.10E+3	1.02E+3
400	969	998	953
500	943	970	930
600	952	980	938
800	999	1.04E+3	993
1000	1.04E+3	1.09E+3	1.05E+3
1500	1.10E+3	1.16E+3	1.13E+3
2000	1.10E+3	1.19E+3	1.16E+3
3000	1.06E+3	1.16E+3	1.16E+3
4000	1.06E+3	1.16E+3	1.18E+3
5000	1.07E+3	1.20E+3	1.23E+3
6000	1.10E+3	1.24E+3	1.28E+3
8000	1.14E+3	1.31E+3	1.37E+3
10,000	1.17E+3	1.35E+3	1.43E+3
15,000	1.22E+3	1.42E+3	1.55E+3
20,000	1.25E+3	1.48E+3	1.64E+3
30,000	1.30E+3	1.57E+3	1.79E+3

表 B.10 单能正  $\pi$  介子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数 (续)

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )		
	AP	PA	ISO
40,000	1.34E+3	1.64E+3	1.90E+3
50,000	1.38E+3	1.70E+3	2.01E+3
60,000	1.42E+3	1.75E+3	2.10E+3
80,000	1.48E+3	1.84E+3	2.27E+3
100,000	1.54E+3	1.94E+3	2.42E+3
150,000	1.67E+3	2.14E+3	2.76E+3
200,000	1.78E+3	2.33E+3	3.07E+3

表 B.11 单能氦离子照射每单位注量对应的有效剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $E/\phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )		
	AP	PA	ISO
1.0	219	219	141
2.0	438	438	281
3.0	656	657	419
5.0	1.09E+3	1.09E+3	689
10.0	2.19E+3	2.19E+3	1.82E+3
14.0	4.61E+3	2.56E+3	2.81E+3
20.0	1.72E+4	1.74E+3	5.46E+3
30.0	3.01E+4	1.44E+3	9.86E+3
50.0	4.75E+4	2.88E+3	1.78E+4
75.0	8.05E+4	1.75E+4	3.00E+4
100	1.01E+5	4.84E+4	4.55E+4
150	9.25E+4	1.10E+5	6.95E+4
200	6.74E+4	7.29E+4	7.01E+4
300	5.14E+4	5.33E+4	5.25E+4
500	4.27E+4	4.49E+4	4.27E+4
700	4.11E+4	4.60E+4	4.19E+4
1000	4.00E+4	4.47E+4	4.09E+4
2000	4.02E+4	4.80E+4	4.31E+4
3000	4.08E+4	5.01E+4	4.50E+4
5000	4.12E+4	5.17E+4	4.76E+4
10,000	4.56E+4	6.26E+4	5.73E+4
20,000	5.12E+4	6.10E+4	7.10E+4
50,000	6.12E+4	8.14E+4	9.67E+4
100,000	7.14E+4	1.01E+5	1.24E+5

附 录 C  
(规范性附录)

光子辐射场量到器官剂量的转换系数

单能光子束在标准照射条件下由单位剂量对应各器官剂量的转换系数  $D_T/\phi$ 。其中，女性相关系数见表 C. 1—C. 15，男性相关系数见表 C. 16—C. 30。

表 C. 1 女性，单能光子照射每单位剂量对应脑的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	-	-	-	2.8E-8	-	9.8E-7
0.015	4.8E-5	8.0E-5	9.0E-5	9.0E-5	1.2E-4	2.5E-4
0.02	0.0022	0.0043	0.0060	0.0061	0.0059	0.0063
0.03	0.0453	0.0710	0.0901	0.0919	0.0806	0.0714
0.04	0.108	0.148	0.180	0.183	0.162	0.143
0.05	0.152	0.191	0.226	0.231	0.207	0.183
0.06	0.185	0.219	0.257	0.261	0.235	0.209
0.07	0.199	0.243	0.288	0.291	0.262	0.236
0.08	0.229	0.268	0.311	0.315	0.287	0.257
0.1	0.284	0.329	0.376	0.381	0.347	0.311
0.15	0.444	0.506	0.574	0.580	0.538	0.481
0.2	0.628	0.702	0.796	0.803	0.745	0.671
0.3	1.01	1.12	1.25	1.26	1.18	1.07
0.4	1.41	1.54	1.71	1.72	1.62	1.48
0.5	1.81	1.95	2.16	2.16	2.06	1.88
0.511	1.85	2.00	2.20	2.21	2.10	1.93
0.6	2.19	2.36	2.58	2.59	2.47	2.28
0.662	2.42	2.60	2.84	2.85	2.72	2.51
0.8	2.92	3.12	3.38	3.39	3.25	3.01
1.0	3.62	3.84	4.13	4.13	3.98	3.71
1.117	4.01	4.23	4.54	4.55	4.38	4.10
1.33	4.69	4.92	5.24	5.25	5.07	4.78
1.5	5.21	5.44	5.79	5.81	5.61	5.29
2.0	6.58	6.82	7.21	7.23	7.01	6.64
3.0	8.98	9.26	9.66	9.68	9.43	8.99

表 C.1 女性, 单能光子照射每单位注量对应脑的器官剂量转换系数 (续)

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	11.1	11.5	11.9	11.9	11.6	11.1
5.0	13.1	13.5	13.9	13.9	13.6	13.1
6.0	15.0	15.5	15.8	15.8	15.6	15.0
6.129	15.3	15.7	16.1	16.1	15.8	15.3
8.0	18.7	19.0	19.5	19.4	19.2	18.6
10.0	22.2	22.4	22.9	22.8	22.6	21.9
15.0	30.4	30.1	30.4	30.1	30.0	29.6
20.0	37.8	36.7	36.6	36.4	36.5	36.5
30.0	50.2	47.4	45.9	45.7	46.4	47.6
40.0	59.7	55.6	52.6	52.1	53.9	55.6
50.0	67.2	61.8	57.7	57.0	59.6	62.1
60.0	73.1	66.8	61.6	60.7	64.0	67.4
80.0	82.2	74.5	67.5	66.4	70.8	75.6
100	88.6	79.7	71.8	70.6	75.5	82.1
150	99.8	88.3	78.9	77.6	83.0	94.0
200	107	93.7	83.7	82.3	88.0	102
300	116	101	89.6	88.1	94.3	113
400	120	105	93.0	91.4	98.3	120
500	124	108	95.2	93.5	101	126
600	127	111	96.9	95.2	103	130
800	131	115	99.4	97.6	106	136
1000	134	117	101	99.5	108	141
1500	140	121	104	103	110	150
2000	142	122	106	104	112	156
3000	145	125	107	106	114	166
4000	147	127	108	107	117	174
5000	148	128	109	107	118	180
6000	149	129	110	107	119	185
8000	151	131	111	108	121	192
10000	152	132	112	109	122	198

表 C.2 女性, 单能光子照射每单位注量对应乳腺的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	0.323	-	0.0617	0.0575	0.120	0.100
0.015	0.720	1.1E-5	0.175	0.167	0.282	0.233
0.02	0.751	4.7E-4	0.228	0.220	0.322	0.279
0.03	0.569	0.0187	0.222	0.216	0.272	0.246
0.04	0.457	0.0502	0.197	0.191	0.231	0.213
0.05	0.416	0.0753	0.188	0.183	0.221	0.201
0.06	0.416	0.0956	0.195	0.190	0.229	0.206
0.07	0.444	0.118	0.212	0.206	0.249	0.221
0.08	0.479	0.139	0.235	0.229	0.276	0.247
0.1	0.577	0.186	0.294	0.288	0.343	0.305
0.15	0.878	0.328	0.477	0.470	0.546	0.490
0.2	1.19	0.489	0.683	0.674	0.769	0.686
0.3	1.81	0.849	1.11	1.10	1.22	1.10
0.4	2.38	1.23	1.55	1.53	1.67	1.51
0.5	2.91	1.62	1.97	1.96	2.10	1.92
0.511	2.98	1.66	2.02	2.01	2.15	1.96
0.6	3.42	2.00	2.39	2.38	2.52	2.30
0.6627	3.72	2.23	2.64	2.63	2.77	2.53
0.8	4.35	2.74	3.16	3.16	3.31	3.03
1.0	5.17	3.44	3.91	3.90	4.04	3.73
1.117	5.59	3.83	4.31	4.31	4.43	4.11
1.33	6.30	4.50	5.02	5.00	5.10	4.74
1.5	6.79	5.02	5.53	5.51	5.61	5.21
2.0	7.96	6.40	6.85	6.85	6.89	6.43
3.0	9.43	8.75	8.95	8.97	8.91	8.37
4.0	10.2	10.8	10.7	10.7	10.5	9.92
5.0	10.7	12.7	12.2	12.3	11.8	11.3
6.0	10.9	14.5	13.5	13.6	12.9	12.4
6.129	10.9	14.7	13.7	13.8	13.1	12.6
8.0	10.9	17.8	15.8	15.9	14.9	14.5
10.0	10.7	21.0	17.8	18.0	16.7	16.3
15.0	10.6	29.4	22.4	22.7	20.9	20.6
20.0	10.7	38.2	26.7	27.0	24.9	24.7
30.0	10.9	54.7	34.4	34.8	32.5	32.4
40.0	11.3	68.3	41.4	41.9	39.9	39.7
50.0	11.7	79.0	47.4	48.1	46.4	46.4

表 C.2 女性，单能光子照射每单位注量对应乳腺的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	12.0	87.1	52.2	53.2	51.8	52.2
80.0	12.4	98.9	60.2	61.2	60.5	61.6
100	12.7	107	65.8	66.9	66.7	69.0
150	13.4	119	75.5	76.8	76.4	81.9
200	14.2	127	82.2	83.4	82.9	91.0
300	15.2	137	90.7	91.9	91.2	104
400	15.8	143	95.7	97.3	96.4	113
500	16.1	147	99.0	101	99.9	119
600	16.2	151	101	103	103	124
800	16.2	156	105	107	107	132
1000	16.3	159	107	109	109	138
1500	16.5	164	112	114	114	149
2000	16.6	167	114	116	118	157
3000	16.7	171	117	119	122	168
4000	16.8	174	119	121	125	175
5000	16.9	176	121	123	127	183
6000	16.9	178	122	124	129	188
8000	17.1	179	125	127	131	197
10000	17.1	180	127	128	133	203

表 C.3 女性, 单能光子照射每单位注量对应结肠的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	3.3E-4	-	9.9E-8	2.0E-7	5.1E-5	2.0E-5
0.015	0.0407	9.8E-4	0.0012	0.0010	0.0092	0.0057
0.02	0.178	0.0115	0.0177	0.0180	0.0542	0.0352
0.03	0.369	0.0757	0.0800	0.0832	0.153	0.111
0.04	0.412	0.139	0.120	0.123	0.203	0.152
0.05	0.423	0.183	0.144	0.144	0.228	0.173
0.06	0.441	0.215	0.163	0.161	0.249	0.192
0.07	0.468	0.242	0.180	0.178	0.272	0.209
0.08	0.496	0.274	0.198	0.195	0.295	0.229
0.1	0.575	0.332	0.242	0.236	0.349	0.275
0.15	0.818	0.502	0.372	0.365	0.524	0.407
0.2	1.09	0.689	0.524	0.515	0.715	0.559
0.3	1.63	1.09	0.849	0.838	1.11	0.888
0.4	2.14	1.48	1.19	1.17	1.50	1.23
0.5	2.63	1.88	1.53	1.51	1.89	1.56
0.511	2.68	1.93	1.57	1.55	1.93	1.59
0.6	3.08	2.26	1.87	1.84	2.27	1.89
0.662	3.35	2.50	2.08	2.05	2.50	2.09
0.8	3.92	2.99	2.53	2.50	3.00	2.53
1.0	4.70	3.68	3.16	3.12	3.68	3.13
1.117	5.11	4.06	3.52	3.47	4.05	3.48
1.33	5.82	4.71	4.14	4.10	4.68	4.06
1.5	6.37	5.20	4.62	4.57	5.17	4.51
2.0	7.80	6.54	5.91	5.88	6.52	5.79
3.0	10.3	8.94	8.19	8.17	8.88	8.07
4.0	12.4	11.0	10.2	10.2	11.0	10.1
5.0	14.4	12.9	12.1	12.0	12.9	12.0
6.0	16.4	14.7	13.9	13.9	14.8	13.7
6.129	16.6	14.9	14.1	14.1	15.0	13.9
8.0	19.8	18.2	17.4	17.3	18.2	17.0
10.0	22.7	21.7	20.8	20.7	21.4	20.2
15.0	27.6	30.6	28.7	28.5	28.5	27.6
20.0	31.4	39.0	36.4	35.9	35.6	34.8
30.0	36.5	53.6	50.1	49.5	47.3	47.5
40.0	40.3	65.6	62.4	62.0	57.4	58.8
50.0	43.2	75.2	73.3	73.1	66.0	68.5

60.0	45.3	82.5	82.6	82.6	73.0	77.0
------	------	------	------	------	------	------

表 C.3 女性，单能光子照射每单位注量对应结肠的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
80.0	48.7	93.8	97.7	97.7	84.2	90.9
100	51.1	101	109	109	92.2	102
150	55.2	113	127	128	104	123
200	58.4	120	139	140	112	137
300	62.3	130	154	156	123	157
400	65.0	136	164	166	130	169
500	66.6	140	171	173	135	179
600	67.6	143	176	179	139	187
800	68.8	148	184	187	145	199
1000	69.8	151	189	192	148	207
1500	71.3	157	199	202	154	222
2000	72.5	161	204	209	159	232
3000	73.9	164	212	216	165	248
4000	74.6	167	217	221	168	259
5000	75.2	168	220	225	171	268
6000	75.6	169	223	228	173	275
8000	76.2	171	228	233	175	286
10000	76.6	173	233	237	177	294

表 C.4 女性，单能光子照射每单位注量对应骨内膜的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	2.0E-4	6.1E-5	1.2E-4	1.1E-4	2.0E-4	0.0012
0.015	0.0107	0.0067	0.0072	0.0070	0.0102	0.0156
0.02	0.0717	0.0566	0.0495	0.0506	0.0617	0.0601
0.03	0.277	0.243	0.179	0.182	0.233	0.192
0.04	0.392	0.363	0.251	0.254	0.335	0.274
0.05	0.434	0.412	0.279	0.282	0.374	0.307
0.06	0.451	0.432	0.290	0.293	0.391	0.322
0.07	0.464	0.447	0.298	0.300	0.401	0.332
0.08	0.479	0.463	0.308	0.310	0.415	0.342
0.1	0.524	0.509	0.338	0.340	0.455	0.375
0.15	0.699	0.682	0.459	0.461	0.612	0.507
0.2	0.914	0.894	0.612	0.615	0.805	0.671
0.3	1.36	1.35	0.952	0.956	1.22	1.04
0.4	1.83	1.80	1.30	1.31	1.65	1.41
0.5	2.27	2.24	1.66	1.66	2.07	1.78
0.511	2.31	2.29	1.70	1.70	2.11	1.82
0.6	2.69	2.67	2.00	2.00	2.47	2.15
0.662	2.96	2.92	2.22	2.22	2.71	2.36
0.8	3.50	3.47	2.67	2.67	3.22	2.84
1.0	4.24	4.20	3.31	3.31	3.93	3.50
1.117	4.64	4.60	3.67	3.67	4.32	3.86
1.33	5.33	5.30	4.30	4.30	5.01	4.51
1.5	5.85	5.82	4.77	4.78	5.52	4.99
2.0	7.30	7.24	6.07	6.08	6.91	6.32
3.0	9.74	9.71	8.37	8.37	9.35	8.66
4.0	11.9	11.9	10.4	10.4	11.5	10.7
5.0	13.9	13.8	12.3	12.3	13.5	12.6
6.0	15.7	15.7	14.1	14.1	15.3	14.4
6.129	16.0	15.9	14.3	14.3	15.5	14.6
8.0	19.1	19.2	17.3	17.3	18.7	17.8
10.0	22.2	22.5	20.3	20.3	21.8	20.9
15.0	28.7	29.5	27.1	27.2	28.7	28.0
20.0	34.0	35.3	33.5	33.4	34.4	34.3
30.0	41.9	43.8	44.6	44.4	43.6	45.0
40.0	47.8	50.0	54.4	54.1	51.0	53.8
50.0	52.2	54.6	62.9	62.5	57.2	61.1

表 C.4 女性，单能光子照射每单位注量对应骨内膜的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	55.6	58.3	70.1	69.8	62.1	67.3
80.0	60.9	64.0	82.1	81.8	69.9	77.3
100	64.7	67.9	91.3	91.1	75.3	85.2
150	71.1	74.4	108	107	84.4	99.8
200	75.6	78.5	119	119	90.3	110
300	81.2	83.5	133	133	97.9	124
400	84.5	86.7	143	143	103	133
500	86.7	88.9	150	149	106	139
600	88.2	90.5	155	155	109	145
800	90.4	93.0	162	162	113	153
1000	91.9	94.5	168	168	115	159
1500	94.5	97.1	178	178	120	171
2000	95.9	98.6	184	184	122	178
3000	97.7	100	193	193	126	189
4000	98.8	102	200	199	129	197
5000	99.7	102	204	204	131	204
6000	100	103	208	208	132	210
8000	101	104	213	214	134	219
10000	102	104	217	218	135	227

表 C.5 女性, 单能光子照射每单位注量对应肝脏的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	2.9E-5	1.1E-6	2.4E-7	8.4E-6	1.3E-5	6.6E-6
0.015	0.0131	0.0022	3.9E-4	0.0068	0.0055	0.0031
0.02	0.0859	0.0235	0.0046	0.0488	0.0388	0.0248
0.03	0.257	0.110	0.0308	0.164	0.138	0.0984
0.04	0.335	0.182	0.0614	0.227	0.201	0.149
0.05	0.367	0.230	0.0839	0.255	0.235	0.177
0.06	0.391	0.264	0.102	0.275	0.259	0.198
0.07	0.420	0.295	0.117	0.297	0.283	0.217
0.08	0.445	0.325	0.132	0.318	0.309	0.236
0.1	0.516	0.389	0.165	0.375	0.367	0.283
0.15	0.736	0.575	0.264	0.554	0.538	0.420
0.2	0.977	0.779	0.379	0.759	0.730	0.573
0.3	1.47	1.20	0.641	1.19	1.14	0.905
0.4	1.95	1.63	0.924	1.62	1.54	1.25
0.5	2.41	2.04	1.22	2.05	1.93	1.59
0.511	2.46	2.08	1.25	2.09	1.97	1.62
0.6	2.85	2.44	1.52	2.46	2.32	1.92
0.662	3.11	2.68	1.71	2.70	2.55	2.12
0.8	3.67	3.19	2.11	3.22	3.04	2.56
1.0	4.42	3.89	2.69	3.95	3.73	3.17
1.117	4.82	4.27	3.01	4.35	4.11	3.52
1.33	5.52	4.93	3.60	5.05	4.77	4.12
1.5	6.04	5.43	4.05	5.58	5.26	4.58
2.0	7.44	6.80	5.29	6.97	6.59	5.84
3.0	9.89	9.18	7.49	9.39	8.95	8.07
4.0	12.1	11.3	9.49	11.5	11.1	10.1
5.0	14.1	13.2	11.3	13.5	13.1	12.0
6.0	16.0	15.1	13.1	15.4	14.9	13.8
6.129	16.2	15.4	13.3	15.7	15.2	14.0
8.0	19.6	18.8	16.5	19.1	18.4	17.2
10.0	22.9	22.2	19.9	22.5	21.8	20.6
15.0	29.8	30.4	28.2	30.3	29.6	28.4
20.0	35.2	38.3	36.5	37.1	36.7	35.6
30.0	43.0	51.0	52.6	48.4	48.7	48.6
40.0	48.7	61.2	68.0	57.2	58.8	60.1
50.0	52.8	69.4	82.0	64.2	67.1	70.0

表 C.5 女性，单能光子照射每单位注量对应肝脏的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	55.9	75.6	94.1	69.6	73.8	78.3
80.0	60.5	85.3	114	77.9	84.5	92.0
100	63.9	91.7	129	83.6	92.0	103
150	69.6	102	153	93.4	105	122
200	74.0	108	170	100.0	113	135
300	79.6	117	190	108	123	153
400	83.1	122	204	113	129	165
500	85.1	125	213	116	134	174
600	86.7	128	221	118	137	181
800	88.1	133	231	121	142	191
1000	89.4	136	239	124	147	199
1500	91.6	140	252	128	153	213
2000	93.6	142	261	130	157	224
3000	95.6	144	273	133	162	237
4000	96.7	147	282	135	165	246
5000	97.3	149	288	137	167	254
6000	97.7	150	293	138	168	260
8000	98.1	152	300	140	171	271
10000	98.3	154	305	142	173	279

表 C.6 女性，单能光子照射每单位注量对应肺的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	2.4E-5	4.9E-6	4.4E-6	3.5E-6	6.7E-6	7.7E-6
0.015	0.0065	0.0069	0.0030	0.0030	0.0045	0.0026
0.02	0.0593	0.0568	0.0172	0.0201	0.0376	0.0248
0.03	0.219	0.208	0.0554	0.0657	0.142	0.106
0.04	0.291	0.291	0.0884	0.0972	0.205	0.158
0.05	0.319	0.331	0.111	0.117	0.236	0.185
0.06	0.340	0.360	0.127	0.133	0.259	0.206
0.07	0.363	0.387	0.144	0.150	0.281	0.226
0.08	0.390	0.423	0.159	0.164	0.307	0.247
0.1	0.457	0.500	0.195	0.200	0.365	0.296
0.15	0.665	0.734	0.304	0.311	0.542	0.445
0.2	0.897	0.993	0.433	0.440	0.744	0.614
0.3	1.37	1.51	0.722	0.730	1.17	0.979
0.4	1.84	2.01	1.03	1.03	1.59	1.35
0.5	2.29	2.50	1.34	1.34	2.00	1.71
0.511	2.34	2.55	1.38	1.38	2.05	1.75
0.6	2.72	2.95	1.66	1.65	2.40	2.06
0.662	2.98	3.23	1.85	1.84	2.64	2.28
0.8	3.53	3.80	2.28	2.26	3.16	2.75
1.0	4.27	4.56	2.88	2.86	3.87	3.41
1.117	4.68	4.98	3.23	3.20	4.26	3.78
1.33	5.39	5.71	3.84	3.80	4.95	4.41
1.5	5.92	6.26	4.32	4.26	5.45	4.90
2.0	7.36	7.70	5.61	5.52	6.84	6.22
3.0	9.85	10.2	7.88	7.80	9.31	8.55
4.0	12.1	12.4	9.95	9.90	11.5	10.7
5.0	14.2	14.5	11.9	11.8	13.6	12.6
6.0	16.2	16.6	13.8	13.6	15.5	14.5
6.129	16.5	16.8	14.0	13.9	15.8	14.8
8.0	20.1	20.5	17.4	17.3	19.3	18.2
10.0	23.7	24.2	20.9	20.8	23.0	21.8
15.0	31.4	31.3	29.5	29.2	31.2	30.0
20.0	37.6	36.6	38.0	37.5	38.3	37.6
30.0	46.2	43.4	54.2	53.1	49.9	50.5
40.0	52.1	48.1	68.9	67.3	59.1	60.8
50.0	56.4	51.5	81.4	79.5	66.5	69.3

表 C.6 女性，单能光子照射每单位注量对应肺的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	59.7	54.3	91.9	89.9	72.5	76.4
80.0	64.9	58.6	108	107	81.9	87.8
100	68.5	61.4	120	119	88.6	96.4
150	74.9	65.9	140	140	99.1	112
200	79.4	69.0	154	154	106	123
300	85.0	73.0	171	172	114	138
400	88.3	75.3	181	183	119	147
500	90.3	76.9	188	191	123	155
600	91.6	78.1	193	197	126	160
800	93.5	79.8	201	206	130	169
1000	94.9	80.9	208	212	133	175
1500	97.0	82.6	218	223	137	187
2000	98.6	83.4	224	230	140	194
3000	100	84.6	232	239	143	206
4000	101	85.5	237	246	146	214
5000	102	86.1	241	251	147	220
6000	103	86.6	245	255	149	225
8000	104	86.7	250	261	151	233
10000	104	86.8	253	265	152	240

表 C.7 女性, 单能光子照射每单位注量对应食管器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	-	-	-	-	-	-
0.015	0.0010	-	2.5E-5	1.5E-5	1.5E-4	8.3E-5
0.02	0.0353	7.5E-4	0.0030	0.0031	0.0090	0.0051
0.03	0.215	0.0380	0.0582	0.0537	0.0871	0.0573
0.04	0.318	0.106	0.122	0.112	0.159	0.113
0.05	0.366	0.162	0.159	0.148	0.205	0.146
0.06	0.397	0.205	0.185	0.173	0.238	0.170
0.07	0.432	0.245	0.209	0.196	0.262	0.190
0.08	0.460	0.277	0.231	0.217	0.292	0.213
0.1	0.540	0.349	0.281	0.265	0.346	0.256
0.15	0.769	0.535	0.431	0.410	0.530	0.392
0.2	1.02	0.728	0.599	0.578	0.729	0.535
0.3	1.52	1.14	0.971	0.939	1.11	0.851
0.4	2.00	1.55	1.36	1.31	1.50	1.17
0.5	2.47	1.95	1.74	1.68	1.89	1.50
0.511	2.52	1.99	1.79	1.72	1.95	1.53
0.6	2.90	2.33	2.12	2.06	2.29	1.82
0.662	3.16	2.56	2.35	2.28	2.51	2.03
0.8	3.71	3.10	2.84	2.77	3.03	2.46
1.0	4.46	3.81	3.52	3.46	3.73	3.04
1.117	4.88	4.21	3.88	3.83	4.11	3.37
1.33	5.57	4.87	4.51	4.49	4.78	3.91
1.5	6.10	5.38	4.98	4.99	5.27	4.35
2.0	7.53	6.70	6.33	6.33	6.56	5.55
3.0	10.1	8.95	8.73	8.61	8.81	7.73
4.0	12.3	11.1	10.8	10.7	10.9	9.75
5.0	14.2	13.0	12.8	12.5	12.9	11.6
6.0	16.1	14.8	14.7	14.4	14.8	13.4
6.129	16.4	15.1	14.9	14.6	15.0	13.6
8.0	19.9	18.5	18.4	18.1	18.4	16.8
10.0	23.6	22.0	22.0	21.7	21.8	20.1
15.0	31.8	30.9	30.9	30.5	29.9	28.3
20.0	38.4	40.2	39.6	39.6	38.1	36.4
30.0	45.9	56.2	54.8	54.9	52.4	51.3
40.0	51.0	69.2	67.1	67.8	63.4	63.8
50.0	54.5	79.3	77.0	78.4	72.3	74.5

表 C.7 女性，单能光子照射每单位注量对应食管器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	57.1	86.5	84.7	86.7	79.5	83.4
80.0	61.3	96.9	96.4	99.6	90.0	98.3
100	64.3	102	104	109	98.0	110
150	69.3	113	118	123	112	131
200	73.7	123	126	132	120	147
300	78.9	132	138	144	129	167
400	82.0	137	146	152	135	180
500	83.8	140	151	157	139	189
600	84.9	142	154	162	142	196
800	86.0	146	158	167	147	207
1000	87.4	150	162	171	150	217
1500	88.6	155	167	176	158	233
2000	90.0	159	171	180	163	244
3000	91.9	165	174	186	170	260
4000	92.6	168	178	190	171	269
5000	93.8	169	181	192	171	275
6000	94.3	170	182	193	172	281
8000	94.9	170	184	196	173	293
10000	95.1	170	186	198	173	301

表 C.8 女性, 单能光子照射每单位注量对应卵巢的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	-	-	-	-	-	-
0.015	6.4E-6	1.1E-4	-	-	-	7.8E-5
0.02	0.0034	0.0126	2.9E-5	5.8E-5	0.0037	0.0018
0.03	0.0843	0.145	0.0042	0.0055	0.0535	0.0366
0.04	0.180	0.241	0.0242	0.0300	0.121	0.0857
0.05	0.247	0.311	0.0493	0.0586	0.161	0.128
0.06	0.295	0.359	0.0717	0.0832	0.199	0.154
0.07	0.331	0.392	0.0828	0.106	0.246	0.183
0.08	0.370	0.425	0.105	0.125	0.267	0.204
0.1	0.439	0.490	0.142	0.159	0.322	0.246
0.15	0.652	0.700	0.230	0.254	0.468	0.366
0.2	0.892	0.942	0.333	0.368	0.634	0.502
0.3	1.36	1.40	0.564	0.611	1.000	0.807
0.4	1.79	1.85	0.807	0.883	1.37	1.13
0.5	2.21	2.30	1.06	1.17	1.73	1.45
0.511	2.27	2.34	1.10	1.20	1.77	1.48
0.6	2.62	2.71	1.35	1.46	2.09	1.77
0.662	2.87	2.97	1.54	1.64	2.32	1.96
0.8	3.42	3.55	1.93	2.03	2.80	2.41
1.0	4.18	4.32	2.49	2.63	3.45	3.02
1.117	4.60	4.75	2.79	2.97	3.82	3.35
1.33	5.31	5.41	3.36	3.54	4.46	3.93
1.5	5.89	5.94	3.77	3.95	4.95	4.38
2.0	7.23	7.28	4.95	5.17	6.22	5.58
3.0	9.52	9.66	7.10	7.36	8.56	7.72
4.0	11.5	11.8	9.09	9.34	10.7	9.72
5.0	13.4	13.8	10.9	11.2	12.6	11.6
6.0	15.2	15.9	12.7	13.0	14.5	13.4
6.129	15.4	16.1	13.0	13.2	14.7	13.7
8.0	18.8	19.7	16.0	16.4	18.0	17.0
10.0	22.5	23.5	19.3	19.7	21.5	20.5
15.0	31.8	32.4	27.9	28.0	29.8	28.8
20.0	39.8	40.6	36.8	36.5	38.5	37.4
30.0	53.9	50.9	54.2	54.7	54.3	52.7
40.0	63.4	57.5	71.7	72.4	66.7	66.5
50.0	70.4	63.0	88.1	87.4	76.7	78.5

表 C.8 女性，单能光子照射每单位注量对应卵巢的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	75.4	67.0	102	100	85.6	89.0
80.0	82.0	74.1	127	121	98.4	104
100	87.2	79.4	144	136	109	117
150	94.9	87.1	171	163	127	139
200	100	91.4	189	182	137	153
300	108	96.3	212	205	150	174
400	112	98.8	229	217	158	191
500	115	100	241	228	163	201
600	118	102	250	235	166	207
800	120	104	264	245	173	221
1000	122	105	272	254	178	230
1500	124	108	290	268	185	246
2000	124	110	300	277	190	258
3000	124	112	310	289	198	272
4000	125	113	316	298	203	283
5000	127	114	322	305	206	292
6000	128	114	328	310	209	299
8000	129	114	335	320	213	310
10000	131	114	341	326	216	320

表 C.9 女性，单能光子照射每单位注量对应红骨髓的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	3.5E-4	2.8E-5	2.0E-4	1.5E-4	2.2E-4	6.9E-4
0.015	0.0169	0.0080	0.0092	0.0082	0.0106	0.0114
0.02	0.0669	0.0542	0.0344	0.0342	0.0469	0.0414
0.03	0.202	0.211	0.0972	0.100	0.156	0.125
0.04	0.305	0.333	0.148	0.154	0.243	0.191
0.05	0.362	0.398	0.180	0.187	0.295	0.231
0.06	0.395	0.437	0.200	0.207	0.326	0.257
0.07	0.423	0.465	0.217	0.224	0.350	0.278
0.08	0.447	0.492	0.232	0.239	0.371	0.294
0.1	0.502	0.552	0.265	0.272	0.419	0.333
0.15	0.678	0.743	0.372	0.381	0.574	0.460
0.2	0.882	0.963	0.501	0.512	0.754	0.609
0.3	1.32	1.43	0.792	0.807	1.14	0.936
0.4	1.75	1.88	1.10	1.12	1.54	1.28
0.5	2.17	2.32	1.41	1.43	1.93	1.61
0.511	2.22	2.37	1.45	1.47	1.97	1.65
0.6	2.58	2.75	1.72	1.74	2.31	1.95
0.662	2.83	3.01	1.92	1.94	2.54	2.15
0.8	3.35	3.55	2.34	2.36	3.03	2.59
1.0	4.07	4.28	2.93	2.96	3.70	3.21
1.117	4.47	4.68	3.27	3.30	4.08	3.56
1.33	5.14	5.37	3.87	3.89	4.74	4.17
1.5	5.65	5.89	4.32	4.36	5.23	4.63
2.0	7.02	7.29	5.57	5.61	6.58	5.90
3.0	9.44	9.73	7.80	7.84	8.97	8.17
4.0	11.6	11.9	9.81	9.85	11.1	10.2
5.0	13.6	13.9	11.7	11.7	13.1	12.1
6.0	15.4	15.8	13.5	13.5	14.9	13.9
6.129	15.6	16.1	13.7	13.8	15.1	14.1
8.0	18.9	19.5	16.9	16.9	18.4	17.3
10.0	22.2	22.9	20.1	20.1	21.8	20.6
15.0	30.0	30.4	28.0	27.9	29.8	28.5
20.0	37.1	36.8	35.6	35.7	37.0	35.9
30.0	48.4	46.3	50.1	49.9	49.1	49.1
40.0	56.8	53.1	63.3	62.9	59.0	60.3
50.0	63.1	58.2	74.8	74.3	67.3	69.8

表 C.9 女性，单能光子照射每单位注量对应红骨髓的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	67.9	62.1	84.6	83.9	73.8	77.9
80.0	75.1	68.2	101	99.8	84.1	91.0
100	80.3	72.4	113	112	91.4	101
150	89.1	79.2	134	132	103	120
200	95.0	83.5	148	146	111	133
300	102	89.0	166	164	121	150
400	107	92.6	177	175	127	161
500	110	95.1	185	183	132	170
600	112	96.9	192	189	135	176
800	115	99.5	201	198	140	187
1000	117	101	208	205	143	194
1500	120	104	220	217	149	208
2000	122	105	227	224	152	218
3000	125	107	238	234	158	231
4000	127	108	245	241	161	240
5000	128	109	250	247	163	248
6000	128	110	254	251	165	254
8000	130	111	261	258	168	264
10000	131	111	267	263	169	271

表 C.10 女性，单能光子照射每单位注量对应其余组织的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	0.0023	8.0E-4	0.0011	0.0012	0.0014	0.0017
0.015	0.0370	0.0113	0.0131	0.0119	0.0177	0.0135
0.02	0.0967	0.0348	0.0360	0.0271	0.0467	0.0346
0.03	0.209	0.113	0.0974	0.0673	0.119	0.0898
0.04	0.271	0.179	0.142	0.104	0.174	0.134
0.05	0.304	0.224	0.171	0.128	0.210	0.164
0.06	0.332	0.257	0.193	0.148	0.234	0.186
0.07	0.365	0.287	0.215	0.169	0.260	0.207
0.08	0.391	0.318	0.239	0.189	0.286	0.230
0.1	0.464	0.387	0.292	0.232	0.347	0.280
0.15	0.679	0.581	0.447	0.366	0.522	0.424
0.2	0.915	0.792	0.623	0.519	0.717	0.586
0.3	1.40	1.23	1.000	0.848	1.13	0.930
0.4	1.86	1.66	1.38	1.19	1.54	1.28
0.5	2.31	2.08	1.76	1.53	1.93	1.63
0.511	2.36	2.13	1.80	1.56	1.98	1.67
0.6	2.73	2.49	2.13	1.86	2.32	1.97
0.662	2.98	2.73	2.35	2.07	2.56	2.18
0.8	3.53	3.26	2.84	2.52	3.07	2.63
1.0	4.27	3.97	3.51	3.16	3.77	3.27
1.117	4.67	4.36	3.87	3.51	4.16	3.62
1.33	5.37	5.04	4.52	4.13	4.83	4.25
1.5	5.90	5.56	5.02	4.61	5.33	4.71
2.0	7.30	6.95	6.36	5.90	6.69	6.01
3.0	9.70	9.33	8.70	8.19	9.05	8.31
4.0	11.8	11.5	10.8	10.2	11.1	10.3
5.0	13.8	13.4	12.7	12.1	13.1	12.2
6.0	15.6	15.2	14.6	13.9	14.9	14.0
6.129	15.8	15.5	14.8	14.1	15.2	14.2
8.0	19.0	18.8	18.1	17.3	18.5	17.3
10.0	22.2	22.2	21.5	20.6	21.9	20.6
15.0	29.3	30.5	29.4	28.7	29.8	28.4
20.0	35.4	38.6	36.8	36.4	37.1	36.1
30.0	44.5	51.3	49.6	50.6	49.4	49.5
40.0	51.0	60.8	60.7	63.3	59.4	60.6
50.0	55.9	68.1	69.8	74.3	67.7	70.0

表 C.10 女性, 单能光子照射每单位注量对应其余组织的器官剂量转换系数 (续)

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	59.6	73.5	77.4	83.7	74.3	77.9
80.0	65.3	82.0	89.2	98.6	84.4	90.9
100	69.5	87.6	97.7	110	91.5	101
150	76.5	96.9	112	128	103	119
200	81.5	103	121	141	111	131
300	88.0	110	134	157	120	147
400	92.2	115	141	167	126	158
500	94.7	118	146	175	130	165
600	96.6	120	150	180	134	172
800	98.8	124	156	188	138	181
1000	101	127	160	194	141	188
1500	104	131	167	204	146	201
2000	106	133	171	211	150	210
3000	109	136	177	219	155	223
4000	111	138	180	225	158	232
5000	112	139	183	230	160	239
6000	113	139	185	233	161	245
8000	114	140	188	238	163	254
10000	114	141	191	242	165	261

表 C.11 女性，单能光子照射每单位注量对应唾液腺的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	7.9E-5	5.3E-4	0.0302	0.0224	0.0121	0.0075
0.015	0.0094	0.0255	0.220	0.202	0.120	0.0787
0.02	0.0583	0.101	0.330	0.326	0.214	0.154
0.03	0.161	0.207	0.324	0.329	0.260	0.192
0.04	0.209	0.234	0.293	0.296	0.256	0.190
0.05	0.228	0.241	0.282	0.287	0.260	0.194
0.06	0.249	0.261	0.290	0.291	0.274	0.206
0.07	0.275	0.284	0.307	0.305	0.297	0.219
0.08	0.305	0.308	0.336	0.338	0.325	0.248
0.1	0.372	0.387	0.408	0.407	0.396	0.299
0.15	0.578	0.612	0.632	0.628	0.614	0.475
0.2	0.814	0.858	0.878	0.871	0.851	0.672
0.3	1.30	1.37	1.36	1.37	1.32	1.07
0.4	1.77	1.87	1.86	1.85	1.81	1.47
0.5	2.24	2.34	2.33	2.32	2.28	1.86
0.511	2.29	2.39	2.38	2.37	2.33	1.90
0.6	2.69	2.78	2.76	2.77	2.73	2.23
0.662	2.95	3.05	3.03	3.02	3.01	2.45
0.8	3.52	3.62	3.60	3.59	3.58	2.95
1.0	4.28	4.44	4.39	4.34	4.33	3.62
1.117	4.69	4.90	4.83	4.76	4.76	4.02
1.33	5.40	5.67	5.56	5.47	5.47	4.66
1.5	5.92	6.28	6.12	6.00	6.05	5.18
2.0	7.34	7.74	7.50	7.46	7.49	6.52
3.0	9.82	10.2	9.82	9.88	10.0	8.79
4.0	12.0	12.4	11.8	11.9	12.0	10.8
5.0	14.0	14.3	13.3	13.5	13.7	12.5
6.0	15.9	16.2	14.8	14.8	15.4	14.1
6.129	16.1	16.4	14.9	15.0	15.5	14.2
8.0	19.3	19.5	17.0	17.1	18.2	16.9
10.0	22.4	22.6	19.1	19.1	20.9	19.6
15.0	29.1	29.2	24.3	23.9	26.3	26.0
20.0	35.0	34.5	28.7	28.4	31.7	31.7
30.0	42.6	41.2	36.4	36.2	38.8	42.2
40.0	47.8	45.2	42.4	41.9	44.4	50.8
50.0	51.5	48.0	46.7	46.5	49.5	57.7

表 C.11 女性，单能光子照射每单位注量对应唾液腺的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	54.0	50.9	50.2	49.8	52.7	63.2
80.0	58.1	55.7	55.5	55.1	57.2	72.5
100	61.0	59.9	58.8	59.1	60.1	79.1
150	65.3	63.9	65.1	65.1	66.4	92.6
200	69.1	65.8	69.0	69.2	70.3	102
300	74.0	69.3	74.4	74.9	75.0	115
400	76.6	71.7	77.9	78.4	77.2	123
500	78.6	73.5	79.9	80.1	79.1	128
600	79.5	74.7	81.5	81.9	80.7	132
800	81.3	76.1	83.0	84.1	82.8	140
1000	81.9	77.2	84.1	85.6	84.0	145
1500	84.2	78.1	86.0	86.1	86.5	156
2000	85.6	78.7	87.4	87.1	88.1	162
3000	85.6	80.2	90.1	88.0	89.1	171
4000	85.6	80.8	91.8	89.3	90.2	174
5000	85.7	81.1	92.6	90.4	91.2	179
6000	86.0	81.2	93.2	91.4	92.0	184
8000	86.9	81.4	93.7	93.0	93.6	193
10000	87.3	81.4	93.5	94.3	95.2	199

表 C.12 女性，单能光子照射每单位注量对应皮肤的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	1.95	1.92	0.998	1.00	1.59	1.31
0.015	1.30	1.27	0.688	0.692	1.10	0.971
0.02	0.894	0.874	0.494	0.497	0.768	0.696
0.03	0.531	0.529	0.312	0.314	0.460	0.419
0.04	0.392	0.397	0.237	0.238	0.342	0.308
0.05	0.340	0.343	0.208	0.209	0.296	0.266
0.06	0.328	0.331	0.203	0.204	0.286	0.256
0.07	0.339	0.339	0.212	0.212	0.294	0.264
0.08	0.360	0.362	0.228	0.229	0.315	0.282
0.1	0.429	0.429	0.277	0.279	0.375	0.338
0.15	0.658	0.652	0.439	0.442	0.581	0.526
0.2	0.910	0.902	0.623	0.627	0.809	0.734
0.3	1.41	1.39	1.00	1.01	1.27	1.16
0.4	1.88	1.85	1.37	1.38	1.70	1.56
0.5	2.30	2.26	1.71	1.72	2.09	1.93
0.511	2.34	2.30	1.74	1.76	2.13	1.97
0.6	2.66	2.63	2.02	2.03	2.43	2.26
0.662	2.87	2.83	2.20	2.22	2.63	2.45
0.8	3.27	3.22	2.56	2.57	3.01	2.83
1.0	3.72	3.66	3.00	3.02	3.46	3.28
1.117	3.94	3.87	3.23	3.25	3.70	3.52
1.33	4.27	4.22	3.61	3.62	4.04	3.88
1.5	4.51	4.47	3.87	3.88	4.30	4.13
2.0	5.10	5.06	4.53	4.56	4.97	4.75
3.0	6.09	6.03	5.73	5.74	6.03	5.84
4.0	6.92	6.91	6.76	6.79	6.97	6.78
5.0	7.70	7.75	7.73	7.75	7.83	7.67
6.0	8.45	8.56	8.67	8.66	8.67	8.51
6.129	8.54	8.66	8.79	8.78	8.77	8.60
8.0	9.85	10.1	10.5	10.4	10.3	10.1
10.0	11.2	11.4	12.2	12.2	11.8	11.6
15.0	14.4	14.7	16.4	16.4	15.5	15.3
20.0	17.3	17.7	20.5	20.5	18.9	18.9
30.0	22.5	22.9	28.1	28.1	25.1	25.5
40.0	26.8	27.2	34.8	34.7	30.4	31.4
50.0	29.8	30.8	40.9	40.7	35.0	36.3

表 C.12 女性，单能光子照射每单位注量对应皮肤的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	33.4	34.2	46.5	46.4	39.5	40.9
80.0	36.6	38.1	55.5	55.3	45.4	48.3
100	39.4	41.1	62.8	62.5	49.8	54.3
150	44.5	46.0	76.1	75.6	57.7	65.2
200	47.5	49.2	85.3	84.8	62.8	73.2
300	52.0	53.1	97.7	97.0	69.1	84.3
400	54.9	55.6	106	105	73.4	91.5
500	56.7	57.4	112	111	76.5	96.8
600	57.6	58.8	116	115	78.9	101
800	59.6	60.7	123	122	82.4	108
1000	60.2	61.9	128	127	84.9	113
1500	62.2	64.1	137	136	89.0	122
2000	63.7	65.6	143	141	91.6	129
3000	66.4	67.2	151	149	95.4	138
4000	66.9	68.3	156	154	97.7	144
5000	67.9	68.9	160	158	99.6	149
6000	68.9	69.5	164	162	101	154
8000	69.6	70.6	169	167	103	161
10,000	69.8	71.0	172	172	105	168

表 C.13 女性，单能光子照射每单位注量对应胃壁的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	1.9E-5	-	8.9E-6	-	3.7E-6	-
0.015	0.0243	2.0E-5	0.0109	1.3E-5	0.0079	0.0046
0.02	0.137	0.0049	0.0829	7.3E-4	0.0516	0.0331
0.03	0.321	0.0701	0.246	0.0153	0.155	0.111
0.04	0.381	0.140	0.309	0.0408	0.209	0.156
0.05	0.402	0.188	0.331	0.0613	0.240	0.181
0.06	0.420	0.220	0.344	0.0784	0.262	0.201
0.07	0.450	0.254	0.365	0.0945	0.286	0.218
0.08	0.473	0.283	0.391	0.109	0.309	0.237
0.1	0.547	0.335	0.458	0.140	0.372	0.285
0.15	0.780	0.517	0.672	0.228	0.542	0.420
0.2	1.04	0.708	0.916	0.336	0.737	0.574
0.3	1.55	1.11	1.42	0.588	1.15	0.909
0.4	2.06	1.52	1.91	0.859	1.55	1.25
0.5	2.53	1.91	2.38	1.15	1.95	1.59
0.511	2.58	1.96	2.43	1.18	2.00	1.63
0.6	2.97	2.30	2.83	1.45	2.34	1.92
0.662	3.24	2.52	3.10	1.64	2.57	2.13
0.8	3.80	3.02	3.67	2.05	3.09	2.56
1.0	4.57	3.70	4.44	2.63	3.77	3.18
1.117	4.99	4.09	4.86	2.96	4.14	3.53
1.33	5.72	4.75	5.58	3.56	4.78	4.18
1.5	6.25	5.27	6.13	4.01	5.24	4.69
2.0	7.69	6.61	7.58	5.25	6.51	5.96
3.0	10.2	8.90	10.1	7.43	8.99	8.15
4.0	12.3	10.9	12.2	9.40	11.2	10.2
5.0	14.3	12.9	14.3	11.3	13.2	12.0
6.0	16.2	14.7	16.3	13.1	15.0	13.8
6.129	16.4	15.0	16.5	13.2	15.2	14.0
8.0	19.7	18.4	19.9	16.6	18.3	17.1
10.0	22.7	21.9	23.2	19.9	21.5	20.2
15.0	28.5	30.4	30.2	28.1	28.6	27.5
20.0	32.9	38.9	36.0	36.7	35.7	35.0
30.0	38.8	53.0	44.2	53.6	47.0	48.1
40.0	43.1	64.6	49.8	70.0	56.6	59.0
50.0	46.2	73.9	53.8	84.9	65.0	68.3

表 C.13 女性，单能光子照射每单位注量对应胃壁的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	48.4	80.6	56.9	97.7	71.9	76.2
80.0	52.2	91.2	61.6	119	82.6	89.8
100	54.8	98.4	65.0	134	90.4	100
150	59.4	109	70.9	158	102	120
200	63.0	116	75.0	174	109	134
300	67.5	125	80.2	195	120	152
400	70.4	130	82.8	208	126	163
500	72.1	135	84.8	217	131	171
600	73.3	138	86.1	224	134	178
800	74.5	143	88.0	234	140	188
1000	75.5	147	89.7	242	144	197
1500	77.1	150	92.1	255	150	212
2000	77.7	152	93.1	264	154	222
3000	79.2	155	94.6	276	159	238
4000	79.9	158	95.2	284	161	249
5000	80.4	160	96.1	290	163	258
6000	80.7	161	96.7	294	165	264
8000	81.3	164	98.0	300	167	273
10000	81.8	165	99.2	304	167	278

表 C.14 女性，单能光子照射每单位注量对应甲状腺的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	0.0129	-	2.0E-6	-	0.0019	9.8E-4
0.015	0.308	-	2.7E-4	0.0015	0.0773	0.0414
0.02	0.644	6.4E-4	0.0029	0.0173	0.205	0.119
0.03	0.698	0.0279	0.0250	0.0674	0.287	0.186
0.04	0.684	0.0972	0.0512	0.107	0.300	0.206
0.05	0.624	0.157	0.0737	0.129	0.301	0.223
0.06	0.592	0.201	0.0930	0.147	0.312	0.239
0.07	0.597	0.226	0.111	0.167	0.330	0.250
0.08	0.619	0.254	0.126	0.183	0.353	0.274
0.1	0.699	0.310	0.154	0.217	0.413	0.318
0.15	0.962	0.483	0.233	0.324	0.607	0.471
0.2	1.28	0.662	0.333	0.452	0.825	0.645
0.3	1.88	1.05	0.560	0.746	1.26	1.04
0.4	2.47	1.44	0.792	1.05	1.69	1.41
0.5	3.02	1.82	1.05	1.35	2.13	1.78
0.511	3.08	1.86	1.07	1.39	2.16	1.82
0.6	3.52	2.19	1.30	1.67	2.53	2.15
0.662	3.80	2.41	1.45	1.85	2.79	2.39
0.8	4.39	2.88	1.81	2.26	3.32	2.88
1.0	5.25	3.52	2.33	2.88	4.02	3.55
1.117	5.70	3.88	2.65	3.21	4.40	3.95
1.33	6.50	4.55	3.19	3.85	5.06	4.63
1.5	7.08	5.05	3.58	4.36	5.52	5.15
2.0	8.58	6.42	4.77	5.64	6.89	6.53
3.0	11.1	8.80	7.05	7.91	9.45	8.86
4.0	13.1	10.9	9.11	9.98	11.5	10.8
5.0	14.9	12.9	11.0	11.9	13.4	12.5
6.0	16.1	14.8	12.7	13.8	15.1	14.2
6.129	16.2	15.1	12.9	14.1	15.4	14.5
8.0	16.9	18.6	16.0	17.3	18.0	17.6
10.0	17.0	22.2	19.1	20.6	20.6	20.9
15.0	17.0	31.2	26.4	27.7	26.0	27.6
20.0	17.4	40.5	34.3	34.2	31.1	33.5
30.0	18.0	56.3	49.3	45.8	40.5	45.2
40.0	18.9	67.8	63.6	57.0	48.7	55.0
50.0	19.5	76.9	76.3	66.4	55.8	62.8

表 C.14 女性，单能光子照射每单位注量对应甲状腺的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	19.9	83.2	87.3	75.2	61.0	69.7
80.0	20.5	93.6	106	90.5	69.5	80.3
100	21.3	101	120	102	75.7	89.0
150	22.5	112	145	120	85.9	104
200	24.0	120	163	132	93.2	115
300	25.3	130	186	146	102	128
400	26.2	136	200	156	108	135
500	26.3	140	211	162	110	143
600	26.6	142	219	168	113	150
800	26.8	147	232	177	117	160
1000	27.2	149	239	183	120	169
1500	27.5	154	252	193	125	183
2000	27.6	157	260	197	129	190
3000	28.3	160	275	202	132	197
4000	28.3	162	285	208	134	203
5000	28.3	164	290	211	136	209
6000	28.2	165	290	214	137	214
8000	28.4	167	282	218	139	226
10000	28.5	170	268	222	141	237

表 C.15 女性，单能光子照射每单位注量对应膀胱壁的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	0.0154	-	8.8E-7	-	0.0025	0.0015
0.015	0.234	-	2.3E-5	9.3E-6	0.0574	0.0388
0.02	0.415	5.4E-4	8.0E-4	6.1E-4	0.120	0.0866
0.03	0.501	0.0306	0.0161	0.0144	0.166	0.132
0.04	0.498	0.0797	0.0399	0.0411	0.195	0.154
0.05	0.496	0.128	0.0646	0.0638	0.212	0.171
0.06	0.505	0.166	0.0840	0.0857	0.236	0.190
0.07	0.532	0.187	0.104	0.0993	0.252	0.207
0.08	0.555	0.217	0.120	0.118	0.281	0.226
0.1	0.645	0.273	0.154	0.154	0.327	0.273
0.15	0.915	0.425	0.253	0.255	0.501	0.404
0.2	1.20	0.590	0.371	0.370	0.675	0.554
0.3	1.77	0.951	0.636	0.639	1.05	0.875
0.4	2.30	1.33	0.921	0.920	1.44	1.20
0.5	2.80	1.69	1.22	1.21	1.82	1.53
0.511	2.88	1.72	1.24	1.24	1.85	1.57
0.6	3.31	2.04	1.50	1.50	2.18	1.87
0.662	3.62	2.25	1.68	1.67	2.39	2.09
0.8	4.19	2.71	2.09	2.07	2.86	2.52
1.0	4.97	3.36	2.71	2.66	3.51	3.15
1.117	5.39	3.73	3.06	3.01	3.88	3.49
1.33	6.16	4.37	3.64	3.61	4.54	4.11
1.5	6.71	4.85	4.12	4.10	5.06	4.56
2.0	8.21	6.15	5.38	5.35	6.38	5.80
3.0	10.7	8.47	7.57	7.53	8.65	7.95
4.0	12.6	10.4	9.56	9.49	10.7	9.82
5.0	14.4	12.4	11.4	11.3	12.7	11.6
6.0	15.8	14.2	13.2	13.1	14.5	13.2
6.129	15.9	14.4	13.4	13.3	14.8	13.4
8.0	18.1	17.7	16.6	16.5	17.6	16.4
10.0	20.0	21.0	19.9	19.9	20.6	19.4
15.0	23.9	29.6	28.1	28.1	27.9	26.6
20.0	26.8	38.6	36.4	36.1	34.5	33.5
30.0	30.5	55.3	53.2	52.7	46.5	46.6
40.0	32.7	70.6	68.6	68.8	57.3	58.6
50.0	34.5	82.6	82.1	82.6	67.3	68.6

表 C.15 女性，单能光子照射每单位注量对应膀胱壁的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	35.8	92.2	93.8	94.5	75.4	77.9
80.0	38.3	105	112	112	88.6	92.4
100	39.8	114	125	125	98.5	104
150	42.7	127	147	147	114	126
200	44.7	137	161	162	124	141
300	47.8	149	178	180	136	160
400	49.4	156	188	191	141	173
500	50.1	160	196	199	145	183
600	51.0	164	202	204	150	190
800	51.7	172	212	213	157	201
1000	51.9	176	220	220	163	208
1500	53.3	182	229	228	174	224
2000	54.3	185	233	234	179	236
3000	55.0	189	240	245	184	249
4000	56.2	193	246	253	189	257
5000	56.3	196	248	258	191	267
6000	56.1	199	252	263	193	273
8000	56.3	203	259	269	197	283
10000	56.0	208	267	271	202	291

表 C.16 男性，单能光子照射每单位注量对应脑的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	3.6E-7	-	-	2.5E-8	2.8E-8	7.9E-7
0.015	9.7E-5	3.1E-5	6.0E-5	7.2E-5	1.1E-4	2.8E-4
0.02	0.0022	0.0023	0.0046	0.0048	0.0040	0.0060
0.03	0.0400	0.0580	0.0805	0.0834	0.0661	0.0662
0.04	0.0988	0.135	0.169	0.173	0.144	0.136
0.05	0.141	0.181	0.218	0.224	0.193	0.177
0.06	0.170	0.210	0.250	0.255	0.224	0.204
0.07	0.188	0.236	0.276	0.282	0.249	0.228
0.08	0.219	0.262	0.306	0.313	0.279	0.253
0.1	0.274	0.321	0.371	0.377	0.337	0.308
0.15	0.432	0.496	0.566	0.574	0.522	0.476
0.2	0.612	0.691	0.784	0.795	0.726	0.661
0.3	0.990	1.10	1.24	1.25	1.15	1.06
0.4	1.38	1.52	1.69	1.70	1.59	1.46
0.5	1.77	1.93	2.12	2.13	2.01	1.85
0.511	1.81	1.97	2.17	2.18	2.05	1.89
0.6	2.15	2.32	2.54	2.56	2.41	2.23
0.662	2.38	2.57	2.79	2.81	2.65	2.45
0.8	2.87	3.09	3.33	3.36	3.18	2.95
1.0	3.56	3.79	4.07	4.10	3.91	3.65
1.117	3.94	4.18	4.48	4.50	4.30	4.04
1.33	4.61	4.85	5.18	5.20	5.00	4.70
1.5	5.12	5.37	5.70	5.73	5.53	5.21
2.0	6.50	6.76	7.14	7.15	6.93	6.56
3.0	8.89	9.18	9.62	9.63	9.37	8.92
4.0	11.0	11.4	11.8	11.8	11.5	11.1
5.0	13.0	13.4	13.8	13.8	13.6	13.0
6.0	14.9	15.4	15.8	15.8	15.5	14.9
6.129	15.1	15.6	16.0	16.0	15.8	15.2
8.0	18.5	19.1	19.5	19.4	19.1	18.6
10.0	22.0	22.5	22.9	22.9	22.5	22.0
15.0	30.3	30.3	30.2	30.3	30.6	29.9
20.0	38.1	37.5	37.1	36.8	37.4	36.9
30.0	51.6	48.7	47.1	46.5	48.3	48.1
40.0	61.8	57.3	54.2	53.2	56.5	56.6
50.0	70.4	64.1	59.5	58.5	62.9	63.4

表 C.16 男性，单能光子照射每单位注量对应脑的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	76.8	69.5	63.7	62.3	67.8	69.0
80.0	86.3	78.1	70.1	68.4	75.0	77.9
100	92.2	84.0	74.7	72.8	80.3	84.8
150	104	93.2	82.6	80.2	88.7	96.9
200	111	98.7	87.7	85.2	94.5	105
300	121	105	93.8	91.5	102	116
400	128	110	97.2	95.0	106	124
500	132	114	99.7	97.3	109	130
600	135	116	101	99.2	111	134
800	138	120	104	102	114	141
1000	141	122	106	103	116	147
1500	146	126	109	107	119	156
2000	149	128	111	108	122	163
3000	153	131	113	110	124	174
4000	156	134	114	111	126	182
5000	158	135	115	112	128	189
6000	159	136	116	112	128	194
8000	161	137	117	113	129	203
10000	163	138	117	114	130	210

表 C.17 男性，单能光子照射每单位注量对应乳腺的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	0.449	-	0.0802	0.0747	0.160	0.131
0.015	0.987	-	0.283	0.268	0.378	0.328
0.02	0.922	3.8E-6	0.346	0.331	0.390	0.366
0.03	0.613	0.0048	0.277	0.267	0.296	0.289
0.04	0.463	0.0211	0.215	0.206	0.230	0.224
0.05	0.417	0.0356	0.197	0.190	0.215	0.207
0.06	0.423	0.0525	0.197	0.190	0.217	0.207
0.07	0.428	0.0692	0.209	0.198	0.241	0.220
0.08	0.475	0.0861	0.233	0.225	0.265	0.245
0.1	0.571	0.120	0.290	0.279	0.332	0.305
0.15	0.886	0.228	0.462	0.448	0.533	0.494
0.2	1.21	0.365	0.656	0.639	0.754	0.687
0.3	1.82	0.667	1.04	1.01	1.18	1.10
0.4	2.40	0.997	1.44	1.39	1.62	1.50
0.5	2.95	1.34	1.83	1.78	2.05	1.89
0.511	3.00	1.39	1.88	1.83	2.09	1.93
0.6	3.45	1.72	2.23	2.16	2.45	2.28
0.662	3.76	1.94	2.46	2.38	2.71	2.50
0.8	4.39	2.45	2.93	2.85	3.25	2.99
1.0	5.23	3.11	3.59	3.50	3.98	3.64
1.117	5.67	3.47	3.93	3.86	4.37	3.99
1.33	6.36	4.14	4.56	4.49	5.06	4.59
1.5	6.81	4.65	5.03	4.95	5.58	5.03
2.0	7.80	6.04	6.26	6.12	6.75	6.07
3.0	8.72	8.41	8.20	8.02	8.45	7.73
4.0	8.80	10.4	9.66	9.50	9.69	9.03
5.0	8.56	12.1	10.8	10.8	10.7	10.3
6.0	8.21	13.8	11.8	11.7	11.6	11.3
6.129	8.17	14.0	11.9	11.8	11.7	11.4
8.0	7.68	17.1	13.5	13.4	13.2	12.7
10.0	7.28	20.3	15.0	14.9	14.5	14.1
15.0	6.93	28.6	18.5	18.5	17.7	17.7
20.0	6.79	37.2	21.9	22.1	20.7	21.6
30.0	6.75	54.8	28.7	29.3	28.1	28.4
40.0	6.91	71.5	35.6	37.0	35.6	34.4
50.0	7.12	85.6	42.2	44.1	42.3	40.4

表 C.17 男性，单能光子照射每单位注量对应乳腺的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	7.30	97.8	48.1	50.3	48.0	45.8
80.0	7.53	114	58.2	61.2	57.5	55.4
100	7.87	125	66.2	69.3	63.7	63.5
150	8.29	144	80.9	84.4	76.3	77.9
200	8.81	154	91.1	95.5	84.7	88.3
300	9.59	166	104	111	96.2	103
400	10.1	174	112	121	103	113
500	10.3	179	118	128	108	120
600	10.4	184	122	133	112	127
800	10.4	189	129	142	118	137
1000	10.6	194	133	147	122	145
1500	10.6	201	143	158	129	158
2000	10.6	206	148	164	134	166
3000	10.6	211	155	169	140	177
4000	10.6	214	157	174	143	186
5000	10.6	218	160	178	147	195
6000	10.7	220	162	182	150	202
8000	10.7	222	167	188	155	212
10000	10.8	223	172	195	158	218

表 C.18 男性，单能光子照射每单位注量对应结肠的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	3.2E-4	-	2.1E-6	1.1E-7	3.3E-5	3.3E-5
0.015	0.0168	6.6E-5	0.0051	9.5E-4	0.0050	0.0030
0.02	0.0926	0.0044	0.0499	0.0197	0.0386	0.0259
0.03	0.269	0.0634	0.151	0.0951	0.136	0.101
0.04	0.340	0.130	0.190	0.138	0.194	0.146
0.05	0.372	0.178	0.204	0.159	0.225	0.170
0.06	0.396	0.210	0.218	0.175	0.245	0.188
0.07	0.412	0.245	0.233	0.190	0.267	0.209
0.08	0.447	0.270	0.253	0.208	0.292	0.226
0.1	0.521	0.333	0.298	0.251	0.350	0.269
0.15	0.749	0.501	0.445	0.377	0.514	0.404
0.2	0.997	0.690	0.610	0.525	0.702	0.550
0.3	1.50	1.09	0.964	0.841	1.09	0.868
0.4	1.99	1.49	1.33	1.17	1.47	1.19
0.5	2.46	1.88	1.68	1.49	1.85	1.52
0.511	2.50	1.92	1.71	1.53	1.89	1.55
0.6	2.90	2.26	2.02	1.82	2.22	1.84
0.662	3.16	2.50	2.23	2.02	2.46	2.03
0.8	3.71	2.99	2.69	2.45	2.95	2.47
1.0	4.44	3.67	3.33	3.07	3.61	3.07
1.117	4.84	4.06	3.70	3.41	3.98	3.41
1.33	5.53	4.72	4.31	4.01	4.61	4.00
1.5	6.06	5.22	4.79	4.48	5.07	4.44
2.0	7.48	6.59	6.09	5.74	6.39	5.67
3.0	9.94	8.97	8.42	7.97	8.72	7.89
4.0	12.1	11.0	10.5	9.99	10.8	9.88
5.0	14.1	12.9	12.3	11.8	12.7	11.7
6.0	16.0	14.7	14.1	13.6	14.5	13.5
6.129	16.3	14.9	14.3	13.8	14.7	13.7
8.0	19.6	18.2	17.5	17.0	18.0	16.7
10.0	22.8	21.7	20.6	20.3	21.0	19.9
15.0	29.5	29.8	27.4	27.9	28.1	27.5
20.0	34.7	37.9	33.5	35.1	35.1	34.8
30.0	42.2	52.3	45.0	47.8	47.6	47.5
40.0	47.4	64.3	55.8	59.6	58.2	58.7
50.0	51.3	73.9	65.5	70.3	67.0	68.6

表 C.18 男性，单能光子照射每单位注量对应结肠的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	54.3	81.3	74.1	79.8	74.1	77.3
80.0	58.7	92.5	88.2	96.4	85.6	92.2
100	62.0	100	99.0	109	93.9	104
150	67.5	112	117	131	108	126
200	71.6	120	129	145	118	142
300	76.8	131	145	164	130	163
400	79.9	138	156	175	138	175
500	82.0	143	163	184	143	185
600	83.4	146	169	191	147	193
800	85.1	150	177	201	154	206
1000	86.3	153	183	208	158	217
1500	88.4	157	193	219	165	235
2000	89.7	161	199	227	169	247
3000	91.2	166	207	237	176	263
4000	92.8	170	214	243	181	275
5000	93.7	172	219	247	184	285
6000	94.2	173	223	251	186	292
8000	94.6	174	228	258	190	305
10000	94.4	174	231	265	193	316

表 C.19 男性，单能光子照射每单位注量对应骨内膜的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	3.5E-4	4.3E-5	1.1E-4	1.4E-4	2.3E-4	-
0.015	0.0098	0.0030	0.0051	0.0056	0.0082	0.0152
0.02	0.0586	0.0356	0.0384	0.0410	0.0493	0.0542
0.03	0.238	0.196	0.153	0.158	0.198	0.170
0.04	0.346	0.313	0.219	0.223	0.292	0.245
0.05	0.389	0.365	0.246	0.250	0.333	0.277
0.06	0.408	0.392	0.258	0.262	0.351	0.293
0.07	0.425	0.411	0.268	0.273	0.367	0.307
0.08	0.442	0.433	0.281	0.285	0.384	0.320
0.1	0.491	0.484	0.315	0.319	0.428	0.358
0.15	0.669	0.665	0.440	0.444	0.588	0.494
0.2	0.882	0.878	0.593	0.599	0.782	0.659
0.3	1.33	1.33	0.928	0.935	1.20	1.02
0.4	1.79	1.78	1.27	1.28	1.62	1.40
0.5	2.22	2.22	1.62	1.63	2.03	1.76
0.511	2.27	2.26	1.65	1.67	2.07	1.81
0.6	2.64	2.64	1.96	1.97	2.42	2.13
0.662	2.89	2.89	2.16	2.18	2.66	2.35
0.8	3.43	3.43	2.62	2.63	3.18	2.82
1.0	4.16	4.16	3.24	3.26	3.88	3.47
1.117	4.56	4.56	3.59	3.61	4.27	3.83
1.33	5.25	5.25	4.20	4.22	4.95	4.47
1.5	5.77	5.79	4.66	4.69	5.46	4.96
2.0	7.19	7.20	5.95	5.97	6.83	6.28
3.0	9.66	9.65	8.23	8.25	9.22	8.61
4.0	11.8	11.8	10.3	10.3	11.3	10.7
5.0	13.7	13.8	12.1	12.1	13.3	12.6
6.0	15.5	15.7	13.9	13.9	15.1	14.3
6.129	15.8	16.0	14.1	14.1	15.3	14.6
8.0	18.8	19.3	17.1	17.1	18.5	17.6
10.0	21.8	22.6	20.1	20.0	21.6	20.7
15.0	28.3	29.7	26.9	26.8	28.4	27.7
20.0	33.7	35.7	33.1	32.9	34.2	34.0
30.0	42.2	44.6	44.0	43.8	43.8	44.7
40.0	48.9	51.2	53.9	53.6	51.7	53.7
50.0	54.0	56.2	62.7	62.2	58.3	61.2

表 C.19 男性，单能光子照射每单位注量对应骨内膜的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	58.1	60.2	70.4	69.8	63.6	67.6
80.0	64.3	66.4	83.3	82.5	72.0	78.2
100	68.7	70.6	93.4	92.4	78.0	86.6
150	76.2	77.2	111	110	88.1	102
200	81.3	81.5	124	123	94.7	113
300	87.8	87.0	141	140	103	128
400	91.5	90.5	152	151	109	138
500	94.0	93.1	160	159	113	145
600	95.8	95.0	166	165	116	151
800	98.1	97.6	176	175	120	160
1000	99.9	99.4	183	182	123	167
1500	103	102	195	194	128	180
2000	105	104	203	203	131	189
3000	107	106	215	214	136	203
4000	109	108	224	223	138	213
5000	110	108	230	229	141	221
6000	111	109	235	234	143	228
8000	112	110	243	241	145	239
10000	113	110	249	246	147	247

表 C.20 男性, 单能光子照射每单位注量对应肝脏的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	1.5E-6	-	-	1.8E-6	1.7E-6	-
0.015	0.0040	2.9E-4	4.7E-6	0.0037	0.0018	0.0010
0.02	0.0406	0.0070	3.0E-4	0.0339	0.0188	0.0119
0.03	0.169	0.0618	0.0084	0.136	0.0906	0.0660
0.04	0.255	0.127	0.0270	0.208	0.152	0.115
0.05	0.304	0.178	0.0454	0.246	0.192	0.148
0.06	0.337	0.219	0.0610	0.272	0.223	0.173
0.07	0.359	0.253	0.0743	0.298	0.249	0.195
0.08	0.396	0.285	0.0875	0.323	0.275	0.217
0.1	0.466	0.350	0.114	0.383	0.330	0.263
0.15	0.668	0.526	0.188	0.566	0.491	0.392
0.2	0.889	0.719	0.274	0.772	0.669	0.538
0.3	1.34	1.12	0.477	1.20	1.04	0.850
0.4	1.78	1.52	0.708	1.63	1.40	1.17
0.5	2.21	1.91	0.952	2.05	1.77	1.49
0.511	2.26	1.95	0.979	2.09	1.81	1.52
0.6	2.62	2.29	1.20	2.45	2.13	1.81
0.662	2.87	2.52	1.36	2.69	2.35	2.00
0.8	3.39	3.01	1.71	3.21	2.82	2.42
1.0	4.10	3.69	2.23	3.93	3.47	3.01
1.117	4.49	4.06	2.52	4.32	3.83	3.34
1.33	5.16	4.71	3.05	5.01	4.46	3.92
1.5	5.67	5.21	3.47	5.52	4.94	4.37
2.0	7.04	6.54	4.63	6.90	6.24	5.60
3.0	9.44	8.82	6.75	9.29	8.57	7.82
4.0	11.6	10.8	8.67	11.4	10.6	9.81
5.0	13.6	12.8	10.5	13.4	12.6	11.7
6.0	15.5	14.7	12.1	15.3	14.4	13.4
6.129	15.7	14.9	12.4	15.5	14.6	13.7
8.0	19.1	18.3	15.4	18.9	17.9	16.8
10.0	22.5	21.9	18.6	22.3	21.3	20.1
15.0	30.3	30.1	26.7	30.0	29.2	28.0
20.0	37.1	38.2	34.9	37.2	36.7	35.8
30.0	47.8	52.6	51.1	49.0	50.0	49.8
40.0	56.3	64.8	67.5	58.5	61.8	62.2
50.0	62.6	74.8	82.8	66.1	71.8	73.1

表 C. 20 男性，单能光子照射每单位注量对应肝脏的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	67.5	82.5	96.7	72.0	80.0	82.4
80.0	74.6	94.5	121	81.0	93.2	98.1
100	79.7	103	139	87.4	102	110
150	87.8	116	171	98.2	119	132
200	94.0	124	193	105	129	148
300	102	135	221	114	143	169
400	107	142	240	120	152	183
500	110	147	253	123	158	192
600	112	151	264	126	163	200
800	115	156	279	130	169	213
1000	117	160	291	133	174	222
1500	120	166	310	137	183	239
2000	123	170	323	140	189	251
3000	126	175	342	144	196	266
4000	128	178	354	146	201	278
5000	129	180	363	148	205	288
6000	130	182	371	150	208	295
8000	131	184	383	151	211	308
10000	133	186	393	152	213	318

表 C.21 男性，单能光子照射每单位注量对应肺的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	7.1E-6	-	1.3E-7	1.8E-7	8.0E-7	2.2E-6
0.015	0.0100	3.5E-4	6.8E-4	2.6E-4	0.0021	0.0017
0.02	0.0761	0.0094	0.0075	0.0054	0.0222	0.0165
0.03	0.230	0.0833	0.0373	0.0371	0.0985	0.0758
0.04	0.290	0.168	0.0678	0.0681	0.157	0.124
0.05	0.319	0.226	0.0909	0.0906	0.193	0.154
0.06	0.342	0.268	0.109	0.109	0.220	0.178
0.07	0.361	0.305	0.126	0.125	0.246	0.201
0.08	0.396	0.340	0.142	0.141	0.271	0.223
0.1	0.468	0.415	0.177	0.176	0.329	0.273
0.15	0.691	0.629	0.279	0.278	0.500	0.417
0.2	0.936	0.859	0.397	0.395	0.688	0.577
0.3	1.43	1.32	0.662	0.655	1.08	0.919
0.4	1.91	1.78	0.941	0.936	1.48	1.27
0.5	2.38	2.23	1.23	1.22	1.87	1.62
0.511	2.43	2.28	1.26	1.25	1.91	1.66
0.6	2.82	2.65	1.52	1.51	2.25	1.97
0.662	3.09	2.90	1.70	1.69	2.48	2.18
0.8	3.64	3.44	2.10	2.08	2.98	2.62
1.0	4.39	4.17	2.67	2.64	3.67	3.26
1.117	4.80	4.58	2.99	2.95	4.04	3.61
1.33	5.51	5.28	3.57	3.52	4.69	4.24
1.5	6.04	5.82	4.01	3.96	5.18	4.72
2.0	7.47	7.24	5.24	5.17	6.52	5.99
3.0	9.94	9.67	7.45	7.37	8.90	8.24
4.0	12.1	11.8	9.46	9.38	11.0	10.3
5.0	14.3	13.8	11.4	11.3	13.0	12.3
6.0	16.2	15.8	13.2	13.1	14.9	14.2
6.129	16.5	16.0	13.5	13.3	15.1	14.4
8.0	20.0	19.7	16.8	16.7	18.6	17.8
10.0	23.4	23.6	20.3	20.1	22.3	21.3
15.0	30.6	32.7	28.8	28.6	30.8	29.8
20.0	36.5	40.8	37.2	37.0	38.9	37.8
30.0	44.4	51.9	53.4	52.9	51.7	51.7
40.0	50.2	60.1	68.6	67.7	62.5	63.3
50.0	54.4	66.2	82.1	81.0	71.2	72.9

表 C. 21 男性，单能光子照射每单位注量对应肺的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	57.6	70.9	93.8	92.5	78.3	80.9
80.0	62.3	78.2	113	112	89.8	93.9
100	65.9	83.1	127	127	97.3	104
150	71.6	90.6	152	153	111	123
200	75.8	95.4	168	170	119	136
300	81.1	101	189	191	130	153
400	84.6	105	202	206	137	164
500	86.8	108	211	216	142	172
600	88.3	110	218	224	146	179
800	89.9	113	229	236	151	189
1000	91.2	114	236	244	155	196
1500	93.3	118	249	259	162	211
2000	95.0	120	258	269	166	221
3000	96.9	123	270	283	170	235
4000	98.5	124	277	291	174	245
5000	99.4	125	283	298	176	252
6000	99.8	126	288	304	178	258
8000	100	126	296	313	181	268
10000	100	126	302	319	183	278

表 C.22 男性，单能光子照射每单位注量对应食管的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	9.8E-5	-	-	-	8.2E-6	1.1E-5
0.015	0.0120	-	2.6E-4	1.2E-4	0.0026	0.0015
0.02	0.0626	4.8E-4	0.0080	0.0047	0.0193	0.0115
0.03	0.166	0.0237	0.0403	0.0312	0.0707	0.0460
0.04	0.229	0.0951	0.0703	0.0547	0.119	0.0838
0.05	0.273	0.157	0.0949	0.0781	0.156	0.116
0.06	0.304	0.209	0.116	0.0992	0.193	0.146
0.07	0.326	0.257	0.134	0.117	0.227	0.170
0.08	0.369	0.294	0.157	0.133	0.254	0.191
0.1	0.446	0.364	0.197	0.173	0.317	0.244
0.15	0.665	0.579	0.313	0.277	0.498	0.377
0.2	0.897	0.789	0.452	0.402	0.686	0.530
0.3	1.35	1.22	0.737	0.679	1.08	0.855
0.4	1.83	1.64	1.05	0.957	1.45	1.19
0.5	2.27	2.05	1.37	1.24	1.84	1.52
0.511	2.32	2.08	1.41	1.28	1.89	1.56
0.6	2.69	2.44	1.68	1.54	2.23	1.85
0.662	2.95	2.67	1.87	1.72	2.45	2.05
0.8	3.51	3.18	2.28	2.11	2.96	2.47
1.0	4.27	3.88	2.90	2.70	3.63	3.04
1.117	4.68	4.28	3.24	3.03	4.02	3.34
1.33	5.38	4.98	3.86	3.64	4.66	3.88
1.5	5.92	5.50	4.31	4.12	5.18	4.34
2.0	7.38	6.94	5.57	5.27	6.53	5.64
3.0	9.86	9.29	7.86	7.34	8.86	8.03
4.0	12.0	11.5	9.83	9.30	10.9	10.0
5.0	13.9	13.3	11.7	11.1	12.8	11.8
6.0	15.8	15.1	13.5	13.0	14.7	13.5
6.129	16.0	15.4	13.7	13.2	14.9	13.7
8.0	19.2	18.7	16.9	16.6	18.3	16.9
10.0	22.4	22.4	20.3	20.0	21.7	20.1
15.0	29.6	31.8	28.6	28.1	30.1	28.3
20.0	36.7	41.1	36.6	35.8	38.4	36.6
30.0	47.1	56.4	52.3	50.9	52.7	52.0
40.0	55.2	67.6	67.1	66.3	64.0	65.5
50.0	60.8	75.8	79.9	80.1	73.4	76.7

表 C.22 男性，单能光子照射每单位注量对应食管的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	65.1	81.7	91.2	92.2	80.8	86.4
80.0	71.0	90.8	108	112	92.4	100
100	75.6	96.5	121	126	99.8	112
150	82.5	107	144	151	113	134
200	88.0	113	159	167	121	150
300	95.0	122	176	188	132	168
400	99.7	127	185	200	140	179
500	102	131	192	209	146	188
600	104	134	196	216	150	194
800	106	138	204	225	155	205
1000	107	141	210	233	159	213
1500	111	146	221	246	163	231
2000	114	148	228	255	167	244
3000	117	150	237	269	172	258
4000	118	152	245	280	175	270
5000	118	152	250	287	177	279
6000	119	153	254	291	180	286
8000	119	153	261	294	183	297
10000	118	154	265	297	186	306

表 C.23 男性，单能光子照射每单位注量对应红骨髓的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	6.7E-4	1.6E-5	1.2E-4	1.5E-4	2.5E-4	6.8E-4
0.015	0.0178	0.0024	0.0071	0.0079	0.0088	0.0099
0.02	0.0597	0.0266	0.0295	0.0323	0.0371	0.0347
0.03	0.175	0.155	0.0863	0.0909	0.128	0.104
0.04	0.267	0.275	0.130	0.134	0.207	0.164
0.05	0.321	0.347	0.158	0.161	0.257	0.203
0.06	0.355	0.394	0.177	0.180	0.290	0.229
0.07	0.384	0.427	0.193	0.197	0.315	0.251
0.08	0.409	0.462	0.208	0.211	0.340	0.269
0.1	0.465	0.529	0.241	0.245	0.392	0.311
0.15	0.639	0.729	0.345	0.350	0.545	0.436
0.2	0.839	0.953	0.468	0.475	0.723	0.581
0.3	1.26	1.41	0.741	0.750	1.10	0.897
0.4	1.68	1.87	1.03	1.04	1.49	1.22
0.5	2.09	2.31	1.32	1.34	1.87	1.55
0.511	2.14	2.36	1.35	1.37	1.91	1.59
0.6	2.49	2.73	1.62	1.64	2.23	1.88
0.662	2.72	2.98	1.80	1.82	2.45	2.07
0.8	3.24	3.52	2.20	2.22	2.94	2.50
1.0	3.94	4.24	2.77	2.79	3.61	3.10
1.117	4.33	4.64	3.09	3.11	3.98	3.44
1.33	4.99	5.32	3.66	3.68	4.63	4.04
1.5	5.50	5.85	4.10	4.11	5.11	4.50
2.0	6.87	7.24	5.31	5.33	6.44	5.76
3.0	9.25	9.65	7.49	7.54	8.76	8.01
4.0	11.4	11.8	9.47	9.53	10.9	10.0
5.0	13.3	13.9	11.3	11.4	12.8	11.9
6.0	15.2	15.8	13.1	13.1	14.7	13.6
6.129	15.4	16.1	13.3	13.3	14.9	13.9
8.0	18.6	19.5	16.4	16.4	18.2	17.1
10.0	21.8	23.1	19.6	19.7	21.5	20.3
15.0	29.6	31.2	27.4	27.4	29.4	28.2
20.0	36.8	37.7	34.9	35.0	36.8	35.7
30.0	48.9	47.8	49.1	49.2	49.6	49.2
40.0	58.5	55.1	62.7	62.5	60.4	60.9
50.0	66.0	60.8	74.9	74.5	69.4	71.0

表 C. 23 男性，单能光子照射每单位注量对应红骨髓的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	71.8	65.2	85.7	85.1	76.8	79.8
80.0	80.6	72.2	104	103	88.4	94.2
100	86.7	76.8	118	117	96.6	106
150	97.3	84.0	142	141	111	127
200	104	88.9	159	158	120	142
300	113	95.0	181	180	131	162
400	119	98.9	195	194	138	175
500	122	102	206	205	143	184
600	125	104	214	213	148	192
800	128	107	226	224	153	204
1000	131	109	235	233	158	214
1500	135	111	250	249	165	230
2000	138	113	260	259	170	242
3000	142	116	275	274	176	258
4000	144	118	285	283	179	271
5000	146	119	292	291	182	281
6000	147	119	298	297	185	288
8000	149	120	308	307	189	301
10000	151	120	315	314	192	312

表 C.24 男性，单能光子照射每单位注量对应其余组织的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	0.0076	0.0021	0.0041	0.0039	0.0044	0.0051
0.015	0.0492	0.0134	0.0199	0.0186	0.0247	0.0201
0.02	0.100	0.0323	0.0341	0.0317	0.0493	0.0378
0.03	0.184	0.102	0.0679	0.0628	0.106	0.0798
0.04	0.240	0.163	0.103	0.0958	0.155	0.119
0.05	0.279	0.206	0.131	0.121	0.191	0.148
0.06	0.309	0.242	0.152	0.142	0.220	0.170
0.07	0.331	0.272	0.172	0.160	0.246	0.192
0.08	0.368	0.306	0.193	0.181	0.276	0.215
0.1	0.441	0.371	0.239	0.226	0.337	0.263
0.15	0.647	0.560	0.371	0.355	0.507	0.403
0.2	0.870	0.769	0.520	0.499	0.697	0.556
0.3	1.33	1.19	0.843	0.808	1.09	0.881
0.4	1.77	1.61	1.18	1.13	1.48	1.21
0.5	2.20	2.02	1.52	1.46	1.87	1.55
0.511	2.25	2.07	1.55	1.49	1.91	1.58
0.6	2.62	2.43	1.85	1.78	2.25	1.88
0.662	2.86	2.66	2.05	1.98	2.47	2.08
0.8	3.39	3.18	2.50	2.41	2.96	2.51
1.0	4.11	3.87	3.12	3.01	3.64	3.11
1.117	4.49	4.25	3.46	3.35	4.01	3.45
1.33	5.17	4.91	4.07	3.95	4.66	4.05
1.5	5.68	5.40	4.53	4.41	5.15	4.51
2.0	7.05	6.74	5.81	5.65	6.49	5.77
3.0	9.43	9.10	8.09	7.87	8.82	8.00
4.0	11.5	11.2	10.1	9.84	10.9	10.0
5.0	13.4	13.1	11.9	11.7	12.8	11.9
6.0	15.2	15.0	13.7	13.4	14.5	13.6
6.129	15.4	15.2	13.9	13.6	14.7	13.8
8.0	18.5	18.6	17.0	16.7	17.9	16.9
10.0	21.5	21.9	20.3	20.0	21.2	20.1
15.0	28.5	30.1	28.1	27.7	29.0	27.8
20.0	34.9	38.0	35.9	35.3	36.5	35.2
30.0	45.3	51.1	50.0	49.1	49.1	48.7
40.0	53.4	61.5	62.7	61.7	60.0	60.5
50.0	59.6	69.9	73.9	73.2	69.0	70.6

表 C.24 男性，单能光子照射每单位注量对应其余组织的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	64.4	76.6	83.4	83.1	76.5	79.2
80.0	71.5	86.6	98.7	99.4	88.1	93.4
100	76.7	93.5	110	112	96.4	105
150	85.3	105	130	134	110	125
200	91.5	112	142	149	119	139
300	99.4	120	159	168	130	159
400	104	126	170	181	137	172
500	108	130	177	190	142	181
600	110	133	183	198	146	188
800	112	137	192	208	152	200
1000	115	140	198	216	155	208
1500	118	146	208	229	163	225
2000	121	149	215	238	167	236
3000	124	153	223	249	173	252
4000	126	155	229	257	177	264
5000	128	156	233	263	180	273
6000	129	157	237	268	182	280
8000	130	158	242	276	186	291
10,000	131	159	246	282	187	299

表 C.25 男性，单能光子照射每单位注量对应唾液腺的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	7.0E-4	0.0058	0.0775	0.0544	0.0335	0.0231
0.015	0.0325	0.0700	0.328	0.284	0.191	0.138
0.02	0.136	0.178	0.420	0.392	0.296	0.225
0.03	0.251	0.256	0.360	0.345	0.294	0.238
0.04	0.262	0.247	0.303	0.294	0.267	0.214
0.05	0.264	0.245	0.283	0.278	0.258	0.210
0.06	0.273	0.254	0.283	0.280	0.266	0.214
0.07	0.291	0.278	0.295	0.292	0.289	0.228
0.08	0.325	0.307	0.323	0.318	0.313	0.248
0.1	0.400	0.374	0.390	0.384	0.377	0.305
0.15	0.621	0.602	0.599	0.587	0.589	0.482
0.2	0.867	0.859	0.823	0.820	0.810	0.674
0.3	1.37	1.38	1.28	1.29	1.30	1.07
0.4	1.87	1.88	1.76	1.76	1.79	1.47
0.5	2.36	2.38	2.22	2.20	2.25	1.87
0.511	2.41	2.42	2.26	2.24	2.29	1.92
0.6	2.82	2.83	2.64	2.63	2.67	2.26
0.662	3.10	3.11	2.89	2.88	2.92	2.49
0.8	3.68	3.69	3.43	3.43	3.46	3.00
1.0	4.48	4.47	4.18	4.15	4.24	3.69
1.117	4.92	4.91	4.59	4.54	4.66	4.06
1.33	5.65	5.62	5.29	5.24	5.40	4.72
1.5	6.22	6.17	5.82	5.79	5.94	5.23
2.0	7.69	7.62	7.17	7.24	7.33	6.62
3.0	10.1	10.3	9.32	9.46	9.50	8.67
4.0	12.1	12.6	10.9	11.1	11.3	10.4
5.0	14.0	14.4	12.2	12.5	13.0	12.1
6.0	15.9	16.1	13.4	13.5	14.4	13.6
6.129	16.1	16.4	13.5	13.7	14.6	13.8
8.0	19.0	19.1	15.3	15.4	16.5	16.5
10.0	21.6	21.8	17.2	17.3	18.5	19.0
15.0	27.0	27.7	21.9	22.2	24.0	24.7
20.0	31.1	32.4	26.5	26.8	29.0	30.0
30.0	37.0	39.2	35.0	35.2	37.2	39.6
40.0	40.7	43.6	42.2	42.6	44.0	48.0
50.0	43.3	47.0	48.0	48.5	49.4	55.0

表 C. 25 男性, 单能光子照射每单位注量对应唾液腺的器官剂量转换系数 (续)

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	45.3	48.8	52.6	53.5	53.4	60.9
80.0	47.7	52.3	59.7	60.8	59.6	70.4
100	49.7	53.9	64.6	66.2	63.5	77.7
150	53.3	59.0	73.7	75.2	70.3	91.9
200	56.0	62.6	79.6	81.5	75.7	102
300	59.2	65.9	86.5	88.7	81.4	114
400	61.4	68.2	91.4	93.1	84.8	123
500	62.6	69.6	94.6	96.1	87.3	130
600	63.5	70.6	96.9	98.4	89.4	135
800	65.0	71.9	100	102	91.8	142
1000	66.1	72.9	103	104	93.6	148
1500	66.7	74.2	107	109	96.5	158
2000	67.6	75.3	109	112	98.7	165
3000	69.3	77.3	113	114	101	177
4000	70.1	78.5	115	117	102	184
5000	70.7	79.4	116	118	103	190
6000	71.3	80.1	117	120	104	194
8000	72.1	81.3	117	122	105	201
10000	72.8	82.4	117	124	106	205

表 C.26 男性, 单能光子照射每单位注量对应皮肤的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	1.74	1.72	0.912	0.907	1.43	1.17
0.015	1.23	1.20	0.665	0.653	1.04	0.917
0.02	0.855	0.839	0.480	0.467	0.735	0.667
0.03	0.506	0.506	0.298	0.291	0.439	0.403
0.04	0.376	0.378	0.227	0.223	0.326	0.298
0.05	0.328	0.329	0.201	0.197	0.284	0.258
0.06	0.320	0.319	0.197	0.194	0.276	0.249
0.07	0.326	0.328	0.207	0.203	0.286	0.258
0.08	0.353	0.351	0.223	0.220	0.307	0.276
0.1	0.421	0.418	0.272	0.269	0.368	0.333
0.15	0.649	0.640	0.433	0.428	0.569	0.518
0.2	0.898	0.885	0.615	0.607	0.792	0.725
0.3	1.40	1.38	0.987	0.978	1.24	1.14
0.4	1.87	1.83	1.35	1.34	1.67	1.55
0.5	2.29	2.25	1.69	1.68	2.07	1.92
0.511	2.34	2.29	1.73	1.71	2.11	1.96
0.6	2.68	2.62	2.01	1.99	2.42	2.26
0.662	2.89	2.83	2.20	2.18	2.62	2.46
0.8	3.30	3.24	2.57	2.55	3.03	2.85
1.0	3.80	3.72	3.03	3.01	3.51	3.33
1.117	4.03	3.95	3.27	3.24	3.76	3.57
1.33	4.40	4.31	3.65	3.62	4.14	3.95
1.5	4.65	4.54	3.92	3.89	4.39	4.21
2.0	5.28	5.16	4.62	4.60	5.05	4.89
3.0	6.26	6.18	5.78	5.76	6.11	6.00
4.0	7.11	7.06	6.81	6.79	7.05	6.94
5.0	7.90	7.87	7.77	7.77	7.93	7.81
6.0	8.65	8.67	8.71	8.70	8.77	8.64
6.129	8.75	8.77	8.83	8.82	8.88	8.75
8.0	10.1	10.2	10.5	10.5	10.4	10.3
10.0	11.5	11.7	12.3	12.3	11.9	11.8
15.0	14.8	15.2	16.6	16.6	15.7	15.6
20.0	17.9	18.3	20.7	20.7	19.2	19.3
30.0	23.2	23.8	28.3	28.4	25.6	26.0
40.0	27.9	28.6	35.2	35.4	31.4	32.0
50.0	31.6	32.6	41.4	41.7	36.4	37.3

表 C. 26 男性，单能光子照射每单位注量对应皮肤的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	34.6	35.9	47.0	47.4	40.7	42.0
80.0	39.1	41.1	56.6	57.2	47.6	50.0
100	42.4	44.7	64.5	65.3	52.9	56.5
150	47.9	50.5	79.4	80.4	61.8	68.8
200	51.8	54.3	90.2	91.2	67.8	77.7
300	56.8	59.0	105	106	75.6	90.0
400	60.1	62.0	115	116	80.7	98.3
500	62.2	64.1	122	124	84.4	105
600	63.7	65.8	128	129	87.2	109
800	65.4	68.0	137	138	91.5	117
1000	67.0	69.7	143	145	94.6	123
1500	69.4	72.4	155	156	99.9	134
2000	71.5	74.2	163	165	104	142
3000	73.8	76.5	174	176	108	154
4000	75.3	77.9	182	184	111	163
5000	76.5	78.9	188	189	114	169
6000	77.3	79.6	193	194	116	175
8000	78.4	80.6	202	203	119	184
10,000	79.1	81.4	208	210	121	191

表 C.27 男性, 单能光子照射每单位注量对应胃壁的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	3.3E-6	-	-	-	-	-
0.015	0.0077	-	0.0014	6.9E-7	0.0019	0.0011
0.02	0.0767	8.5E-4	0.0258	5.4E-5	0.0240	0.0149
0.03	0.256	0.0285	0.144	0.0064	0.104	0.0738
0.04	0.336	0.0826	0.222	0.0265	0.162	0.121
0.05	0.375	0.130	0.261	0.0475	0.199	0.153
0.06	0.404	0.167	0.287	0.0655	0.227	0.176
0.07	0.422	0.201	0.311	0.0800	0.251	0.199
0.08	0.460	0.227	0.339	0.0951	0.277	0.218
0.1	0.536	0.285	0.398	0.123	0.331	0.261
0.15	0.763	0.436	0.593	0.202	0.492	0.388
0.2	1.01	0.615	0.806	0.298	0.664	0.530
0.3	1.50	0.965	1.26	0.521	1.03	0.838
0.4	1.98	1.33	1.71	0.769	1.39	1.17
0.5	2.45	1.69	2.14	1.03	1.75	1.49
0.511	2.50	1.73	2.19	1.06	1.80	1.52
0.6	2.89	2.05	2.56	1.30	2.11	1.80
0.662	3.15	2.26	2.81	1.47	2.33	1.98
0.8	3.70	2.73	3.35	1.84	2.80	2.42
1.0	4.44	3.38	4.09	2.38	3.46	3.03
1.117	4.85	3.74	4.49	2.68	3.83	3.37
1.33	5.55	4.35	5.18	3.24	4.48	3.97
1.5	6.10	4.82	5.71	3.67	4.95	4.42
2.0	7.50	6.13	7.14	4.87	6.25	5.62
3.0	9.91	8.48	9.61	7.03	8.52	7.78
4.0	12.1	10.6	11.8	8.96	10.5	9.74
5.0	14.1	12.5	13.7	10.7	12.4	11.7
6.0	16.0	14.2	15.5	12.4	14.3	13.4
6.129	16.2	14.4	15.8	12.7	14.5	13.6
8.0	19.6	17.5	19.2	15.8	17.8	16.7
10.0	23.0	20.8	22.7	19.0	21.1	20.0
15.0	30.0	29.2	30.5	26.9	28.8	27.8
20.0	35.5	37.7	37.5	35.1	36.2	35.4
30.0	43.4	53.9	48.8	52.0	49.3	48.7
40.0	49.2	68.2	57.1	68.7	61.1	61.0
50.0	53.5	80.2	63.5	84.3	71.0	71.7

表 C. 27 男性，单能光子照射每单位注量对应胃壁的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	56.8	90.0	68.4	98.0	79.5	80.9
80.0	61.3	104	75.9	121	92.6	96.2
100	64.8	115	81.1	138	102	108
150	70.4	131	90.9	167	118	130
200	74.8	141	97.3	185	128	146
300	80.2	154	105	210	142	167
400	83.4	162	109	226	150	180
500	85.2	168	112	238	155	190
600	86.8	172	114	247	160	197
800	88.6	178	117	259	165	209
1000	89.6	183	118	269	170	217
1500	92.2	191	122	284	180	234
2000	93.5	196	124	294	186	246
3000	95.1	202	126	310	194	263
4000	96.7	206	128	320	199	276
5000	97.3	208	130	328	203	286
6000	97.7	210	132	335	205	295
8000	97.9	212	134	345	210	309
10000	98.2	213	137	352	213	320

表 C.28 男性，单能光子照射每单位注量对应睾丸的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	0.0569	-	2.2E-5	9.1E-6	0.0278	0.0439
0.015	0.268	6.1E-5	5.0E-4	8.0E-5	0.118	0.120
0.02	0.487	0.0050	0.0036	0.0010	0.205	0.188
0.03	0.620	0.0676	0.0269	0.0145	0.258	0.231
0.04	0.585	0.127	0.0559	0.0379	0.264	0.229
0.05	0.547	0.166	0.0767	0.0590	0.263	0.224
0.06	0.535	0.189	0.0940	0.0752	0.267	0.230
0.07	0.543	0.211	0.110	0.0890	0.283	0.237
0.08	0.571	0.236	0.124	0.102	0.297	0.253
0.1	0.650	0.287	0.152	0.131	0.352	0.304
0.15	0.904	0.436	0.252	0.215	0.528	0.450
0.2	1.20	0.616	0.371	0.324	0.730	0.617
0.3	1.77	1.02	0.644	0.575	1.10	0.975
0.4	2.33	1.41	0.945	0.855	1.51	1.34
0.5	2.83	1.80	1.25	1.15	1.91	1.68
0.511	2.88	1.84	1.29	1.19	1.95	1.72
0.6	3.30	2.18	1.57	1.46	2.30	2.04
0.662	3.59	2.41	1.77	1.64	2.53	2.25
0.8	4.17	2.94	2.20	2.04	3.04	2.69
1.0	4.96	3.63	2.83	2.64	3.72	3.33
1.117	5.37	4.02	3.18	2.98	4.09	3.67
1.33	6.07	4.68	3.81	3.58	4.76	4.25
1.5	6.64	5.16	4.30	4.04	5.26	4.68
2.0	8.04	6.44	5.56	5.29	6.59	5.87
3.0	10.3	8.75	7.84	7.56	8.83	7.98
4.0	12.1	10.9	9.92	9.58	10.7	9.91
5.0	13.4	12.9	11.7	11.4	12.4	11.6
6.0	14.6	14.7	13.5	13.1	13.8	13.1
6.129	14.7	15.0	13.7	13.3	14.1	13.3
8.0	16.6	18.2	16.7	16.4	16.6	16.1
10.0	18.2	21.7	19.8	19.6	19.1	18.5
15.0	20.0	30.3	27.2	27.3	24.7	24.2
20.0	21.1	39.1	35.1	35.1	30.2	29.5
30.0	22.8	54.5	50.4	51.0	40.8	40.0
40.0	24.3	66.3	65.0	66.6	51.2	50.3
50.0	25.5	75.1	77.1	79.9	59.8	58.6

表 C. 28 男性，单能光子照射每单位注量对应睾丸的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	26.5	81.9	87.5	90.8	67.0	66.4
80.0	27.6	91.9	102	107	77.3	78.6
100	28.6	98.7	113	119	84.8	88.1
150	30.4	109	131	138	97.9	107
200	32.0	116	142	151	107	121
300	34.0	125	156	168	118	140
400	36.0	131	165	178	124	154
500	36.9	135	172	184	128	163
600	37.4	138	177	190	132	171
800	37.6	142	184	198	138	181
1000	37.7	145	188	203	142	189
1500	38.0	150	197	212	150	203
2000	38.4	153	202	217	154	215
3000	39.1	156	207	222	158	232
4000	39.9	158	210	227	162	247
5000	40.5	159	214	231	165	260
6000	41.0	160	216	233	167	269
8000	41.5	162	218	235	170	280
10000	41.6	164	220	237	172	287

表 C.29 男性，单能光子照射每单位子注量对应甲状腺的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	0.0063	-	2.2E-5	4.5E-5	0.0015	5.9E-4
0.015	0.216	3.1E-5	0.0116	0.0175	0.0627	0.0328
0.02	0.534	3.9E-4	0.0621	0.0873	0.186	0.107
0.03	0.649	0.0187	0.134	0.173	0.267	0.179
0.04	0.634	0.0757	0.160	0.195	0.284	0.197
0.05	0.596	0.126	0.175	0.202	0.294	0.204
0.06	0.578	0.166	0.185	0.209	0.301	0.220
0.07	0.595	0.202	0.200	0.222	0.325	0.243
0.08	0.613	0.229	0.218	0.243	0.349	0.265
0.1	0.693	0.281	0.266	0.289	0.408	0.317
0.15	0.955	0.443	0.396	0.431	0.600	0.450
0.2	1.27	0.627	0.551	0.603	0.797	0.627
0.3	1.88	1.01	0.874	0.970	1.25	0.985
0.4	2.45	1.40	1.22	1.34	1.69	1.35
0.5	2.99	1.80	1.55	1.70	2.12	1.71
0.511	3.05	1.84	1.59	1.74	2.17	1.74
0.6	3.48	2.18	1.88	2.06	2.52	2.05
0.662	3.77	2.40	2.07	2.27	2.77	2.27
0.8	4.39	2.89	2.51	2.74	3.28	2.72
1.0	5.19	3.57	3.16	3.39	3.98	3.38
1.117	5.63	3.93	3.54	3.76	4.36	3.74
1.33	6.37	4.56	4.18	4.42	5.01	4.39
1.5	6.90	5.01	4.68	4.94	5.51	4.87
2.0	8.42	6.31	5.98	6.29	6.88	6.16
3.0	11.0	8.62	8.28	8.69	9.35	8.53
4.0	13.1	10.7	10.4	10.8	11.5	10.4
5.0	14.9	12.7	12.4	12.8	13.5	12.3
6.0	16.4	14.7	14.1	14.5	15.2	14.0
6.129	16.4	15.0	14.3	14.7	15.4	14.2
8.0	17.8	18.6	17.3	17.5	17.7	17.1
10.0	18.5	22.4	20.1	20.4	20.3	20.0
15.0	18.9	31.6	26.9	27.2	26.3	26.9
20.0	19.3	40.6	33.2	33.3	31.6	33.1
30.0	20.1	56.7	44.7	44.6	41.2	44.5
40.0	20.8	69.2	56.0	55.0	49.5	54.0
50.0	21.4	78.9	66.7	65.0	56.2	62.5

表 C. 29 男性，单能光子照射每单位子注量对应甲状腺的器官剂量转换系数（续）

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	21.9	86.3	75.8	73.1	62.0	69.7
80.0	22.7	96.8	91.9	86.2	70.2	81.5
100	23.3	105	103	96.1	76.1	91.4
150	25.0	118	122	113	86.4	109
200	26.3	126	135	124	93.4	121
300	27.6	135	150	140	103	137
400	28.3	141	160	148	110	147
500	29.0	146	166	155	114	154
600	29.2	149	172	161	117	160
800	29.6	153	180	168	120	169
1000	29.6	156	184	173	122	178
1500	30.0	161	194	183	127	192
2000	30.4	164	199	188	130	201
3000	31.0	167	207	195	134	218
4000	31.5	170	214	200	137	228
5000	31.9	171	219	204	140	236
6000	32.2	172	223	207	141	242
8000	32.7	174	229	211	144	251
10000	33.1	175	235	214	146	258

表 C.30 男性，单能光子照射各单位对应膀胱壁的器官剂量转换系数

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.01	1.0E-6	-	-	-	-	-
0.015	0.0064	2.3E-5	1.0E-5	1.5E-5	0.0021	0.0010
0.02	0.0662	0.0021	5.7E-4	3.4E-4	0.0217	0.0135
0.03	0.203	0.0474	0.0109	0.0067	0.0892	0.0608
0.04	0.351	0.111	0.0359	0.0261	0.145	0.100
0.05	0.392	0.165	0.0623	0.0503	0.177	0.130
0.06	0.422	0.212	0.0827	0.0713	0.208	0.156
0.07	0.443	0.247	0.101	0.0902	0.240	0.180
0.08	0.486	0.278	0.119	0.109	0.272	0.201
0.1	0.574	0.357	0.159	0.144	0.327	0.247
0.15	0.822	0.528	0.259	0.236	0.483	0.366
0.2	1.09	0.725	0.374	0.347	0.656	0.506
0.3	1.62	1.12	0.641	0.592	1.03	0.803
0.4	2.12	1.50	0.929	0.863	1.41	1.11
0.5	2.58	1.90	1.22	1.15	1.79	1.41
0.511	2.63	1.94	1.25	1.18	1.83	1.45
0.6	3.02	2.27	1.51	1.44	2.13	1.72
0.662	3.28	2.50	1.70	1.61	2.35	1.91
0.8	3.85	3.01	2.09	2.00	2.81	2.31
1.0	4.66	3.71	2.66	2.57	3.45	2.90
1.117	5.10	4.08	2.99	2.90	3.81	3.22
1.33	5.85	4.75	3.58	3.46	4.45	3.82
1.5	6.41	5.25	4.02	3.91	4.92	4.27
2.0	7.81	6.60	5.26	5.13	6.19	5.49
3.0	10.2	8.88	7.49	7.24	8.50	7.59
4.0	12.4	11.0	9.39	9.12	10.6	9.52
5.0	14.5	12.9	11.2	11.0	12.6	11.3
6.0	16.4	14.8	13.0	12.8	14.5	13.0
6.129	16.6	15.0	13.2	13.0	14.7	13.2
8.0	20.0	18.4	16.3	16.3	18.1	16.4
10.0	23.2	21.8	19.6	19.5	21.5	19.7
15.0	29.8	30.3	27.5	27.7	29.3	27.5
20.0	35.2	38.9	36.0	36.1	37.1	35.3
30.0	42.2	54.8	53.9	53.4	51.1	49.9
40.0	46.9	68.0	70.6	70.3	63.5	63.2
50.0	50.4	77.9	85.5	85.8	73.8	74.6

表 C.30 男性, 单能光子照射每单位对应膀胱壁的器官剂量转换系数 (续)

能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
60.0	52.9	86.1	98.2	98.7	82.3	84.6
80.0	57.2	97.0	118	120	95.8	101
100	60.1	104	132	135	106	114
150	65.1	116	156	161	121	138
200	68.6	122	172	178	130	155
300	72.6	131	191	199	143	178
400	75.6	138	205	213	152	193
500	77.3	143	213	222	158	205
600	78.7	147	220	230	163	213
800	80.4	152	230	240	170	227
1000	81.5	154	238	248	174	236
1500	82.7	159	250	261	183	254
2000	83.0	163	259	270	190	270
3000	83.3	166	268	284	196	287
4000	84.0	169	276	292	200	299
5000	84.6	171	283	299	203	307
6000	85.1	172	288	304	204	314
8000	85.8	174	296	311	207	323
10000	86.4	175	302	317	208	330

附 录 D  
(规范性附录)

中子辐射场量到器官剂量的转换系数

单能中子束在标准照射条件下由单位注量对应各器官剂量的转换系数  $D_T/\phi$ 。其中，女性相关系数见表 D. 1—表 D. 16，男性相关系数见表 D. 17—D. 30。

表 D. 1 女性，单能中子照射每单位注量对应脑的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	0.577	0.630	0.675	0.685	0.595	0.526
1.0E-8	0.636	0.686	0.804	0.798	0.736	0.641
2.5E-8	0.728	0.808	0.946	0.952	0.853	0.736
1.0E-7	0.942	1.06	1.26	1.26	1.13	0.972
2.0E-7	1.08	1.22	1.45	1.47	1.28	1.10
5.0E-7	1.21	1.40	1.67	1.69	1.49	1.27
1.0E-6	1.29	1.50	1.81	1.83	1.61	1.37
2.0E-6	1.35	1.56	1.89	1.91	1.69	1.45
5.0E-6	1.42	1.64	1.98	2.00	1.76	1.51
1.0E-5	1.44	1.66	1.99	2.01	1.79	1.53
2.0E-5	1.45	1.67	2.00	2.02	1.80	1.53
5.0E-5	1.44	1.64	1.98	1.99	1.79	1.52
1.0E-4	1.43	1.64	1.95	1.99	1.77	1.51
2.0E-4	1.39	1.63	1.94	1.96	1.72	1.46
5.0E-4	1.33	1.60	1.91	1.90	1.63	1.38
0.001	1.34	1.57	1.88	1.89	1.60	1.36
0.002	1.34	1.55	1.84	1.87	1.60	1.36
0.005	1.30	1.53	1.82	1.84	1.55	1.31
0.01	1.27	1.52	1.81	1.82	1.52	1.28
0.02	1.29	11.54	1.85	1.87	1.53	1.30
0.03	1.31	1.57	1.89	1.93	1.57	1.34
0.05	1.37	1.66	2.02	2.06	1.68	1.43
0.07	1.46	1.76	2.15	2.19	1.80	1.54
0.1	1.59	1.92	2.38	2.41	2.00	1.71
0.15	1.84	2.23	2.80	2.83	2.37	2.03
0.2	2.11	2.57	3.25	3.28	2.75	2.38

表 D.1 女性, 单能中子照射每单位注量对应脑的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
0.3	2.69	3.30	4.20	4.24	3.56	3.11
0.5	3.96	4.84	6.21	6.26	5.27	4.65
0.7	5.30	6.37	8.13	8.20	7.01	6.23
0.9	6.68	7.88	9.94	10.0	8.77	7.83
1.0	7.40	8.65	10.8	10.9	9.64	8.63
1.2	8.86	10.2	12.7	12.9	11.4	10.2
1.5	11.0	12.6	15.6	15.7	13.9	12.5
2.0	14.3	16.2	19.8	20.0	17.7	16.0
3.0	20.2	22.5	26.8	27.0	24.2	22.0
4.0	25.1	27.7	32.4	32.5	29.6	27.0
5.0	29.3	32.0	36.8	37.0	34.1	31.2
6.0	33.0	35.6	40.5	40.7	37.9	34.8
7.0	36.1	38.8	43.8	43.9	41.2	37.9
8.0	39.0	41.6	46.7	46.8	44.1	40.7
9.0	41.5	44.2	49.3	49.5	46.7	43.2
10.0	43.8	46.5	51.8	51.9	49.1	45.4
12.0	47.8	50.7	56.1	56.3	53.0	49.2
14.0	51.1	54.1	59.6	59.8	56.2	52.4
15.0	52.5	55.5	61.1	61.3	57.6	53.7
16.0	53.8	56.9	62.4	62.6	58.8	54.9
18.0	56.2	59.2	64.6	64.8	60.9	56.9
20.0	58.2	61.1	66.4	66.5	62.6	58.6
21.0	59.1	61.9	67.1	67.3	63.3	59.4
30.0	65.2	67.4	72.0	71.9	68.0	64.1
50.0	73.1	74.6	78.0	77.6	73.1	69.8
75.0	79.5	80.8	83.4	83.0	77.5	75.1
100	84.0	84.6	86.1	85.8	81.3	80.0
130	87.7	87.1	87.0	86.8	85.2	84.9
150	89.7	88.3	87.4	87.1	87.6	87.7
180	92.5	89.9	88.3	87.8	91.0	91.7
200	94.3	91.0	89.1	88.5	93.2	94.3
300	105	100	97.2	96.1	105	108
400	119	114	111	110	118	122
500	134	129	128	127	131	136

表 D.1 女性, 单能中子照射每单位注量对应脑的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
600	148	144	145	143	143	148
700	161	157	159	157	154	160
800	172	167	170	169	163	169
900	181	175	177	177	171	177
1000	188	181	183	184	178	184
2000	229	214	215	214	217	227
5000	286	271	266	254	268	293
10000	382	366	362	358	321	379

表 D.2 女性, 单能中子照射每单位注量对应乳腺的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 DT/Φ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.71	0.430	0.472	0.440	0.733	0.581
1.0E-8	1.94	0.437	0.478	0.447	0.852	0.658
2.5E-8	2.12	0.516	0.584	0.539	0.948	0.739
1.0E-7	2.62	0.667	0.666	0.626	1.17	0.906
2.0E-7	2.90	0.757	0.806	0.740	1.27	0.989
5.0E-7	3.04	0.876	0.828	0.764	1.40	1.09
1.0E-6	3.13	0.959	0.928	0.853	1.47	1.14
2.0E-6	3.18	1.01	0.887	0.828	1.50	1.17
5.0E-6	3.22	1.07	0.968	0.896	1.52	1.18
1.0E-5	3.17	1.09	0.893	0.822	1.52	1.19
2.0E-5	3.14	1.11	0.951	0.868	1.51	1.16
5.0E-5	3.00	1.11	0.840	0.788	1.48	1.13
1.0E-4	2.96	1.11	0.829	0.779	1.45	1.12
2.0E-4	2.89	1.12	0.882	0.808	1.41	1.09
5.0E-4	2.63	1.12	0.799	0.735	1.34	1.03
0.001	2.65	1.12	0.833	0.766	1.31	1.02
0.002	2.68	1.11	0.790	0.723	1.32	1.04
0.005	2.69	1.12	0.846	0.764	1.33	1.04
0.01	2.83	1.13	0.861	0.779	1.40	1.09
0.02	3.31	1.14	0.978	0.912	1.60	1.26
0.03	3.78	1.16	1.10	1.02	1.80	1.43
0.05	4.64	1.18	1.35	1.28	2.20	1.78
0.07	5.49	1.20	1.60	1.51	2.58	2.11
0.1	6.83	1.23	1.99	1.87	3.13	2.58
0.15	8.76	1.28	2.61	2.46	3.97	3.32
0.2	10.4	1.34	3.16	3.04	4.76	4.01
0.3	13.5	1.46	4.27	4.12	6.18	5.29
0.5	18.5	1.79	6.28	6.08	8.67	7.55
0.7	22.5	2.25	8.03	7.83	10.8	9.55
0.9	26.2	2.81	9.61	9.39	12.8	11.4
1.0	27.9	3.14	10.4	10.1	13.7	12.2
1.2	30.7	3.92	11.9	11.7	15.5	13.9
1.5	34.0	5.29	14.1	13.8	17.8	16.1
2.0	38.7	7.88	17.4	17.1	21.3	19.3
3.0	46.6	13.4	23.0	22.8	27.1	24.7

表 D.2 女性, 单能中子照射每单位注量对应乳腺的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 DT/ $\Phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	52.7	18.5	28.0	27.7	31.9	29.2
5.0	56.7	23.3	32.0	31.6	36.0	33.1
6.0	59.9	27.5	35.4	35.0	39.6	36.4
7.0	62.7	31.3	38.4	38.0	42.8	39.4
8.0	65.5	34.7	41.0	40.7	45.7	42.2
9.0	68.2	37.9	43.6	43.4	48.4	44.7
10.0	70.8	40.8	46.1	45.9	50.8	47.1
12.0	75.2	46.0	50.7	50.5	55.1	51.3
14.0	78.5	50.7	54.7	54.4	58.6	54.8
15.0	79.7	52.8	56.4	56.2	60.0	56.3
16.0	80.6	54.8	57.9	57.7	61.4	57.6
18.0	81.8	58.4	60.4	60.3	63.5	59.9
20.0	82.3	61.5	62.4	62.4	65.2	61.7
21.0	82.4	62.9	63.2	63.3	65.9	62.4
30.0	81.9	72.1	69.0	69.3	69.8	66.4
50.0	78.0	82.5	74.5	75.6	71.9	68.8
75.0	71.8	90.8	79.1	79.3	73.1	70.9
100	63.5	98.0	80.9	80.9	74.7	73.8
130	55.6	106	79.8	80.6	77.3	77.9
150	52.6	111	80.6	81.3	79.3	80.7
180	50.7	117	84.3	83.6	82.5	84.8
200	50.4	121	86.4	85.4	84.9	87.5
300	55.5	139	93.6	95.5	97.6	101
400	64.7	158	107	110	112	114
500	74.8	176	122	126	125	128
600	85.0	193	140	144	138	141
700	93.6	208	154	158	149	153
800	100	220	164	168	158	163
900	105	230	172	175	165	171
1000	109	238	177	179	171	178
2000	129	287	211	207	210	221
5000	136	378	269	278	272	296
10000	204	479	375	373	347	389

表 D.3 女性, 单能中子照射每单位注量对应结肠的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 DT/ $\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.35	0.689	0.362	0.361	0.642	0.504
1.0E-8	1.48	0.774	0.390	0.377	0.806	0.614
2.5E-8	1.75	0.893	0.466	0.451	0.924	0.703
1.0E-7	2.37	1.19	0.597	0.580	1.22	0.910
2.0E-7	2.81	1.36	0.699	0.685	1.39	1.03
5.0E-7	3.09	1.56	0.816	0.790	1.62	1.20
1.0E-6	3.39	1.71	0.898	0.869	1.77	1.30
2.0E-6	3.70	1.81	0.950	0.916	1.88	1.37
5.0E-6	3.87	1.92	1.01	0.981	1.97	1.43
1.0E-5	3.82	1.97	1.03	0.981	2.02	1.46
2.0E-5	3.97	2.00	1.04	1.01	2.03	1.48
5.0E-5	3.93	2.01	1.04	1.00	2.05	1.49
1.0E-4	3.83	2.02	1.04	0.992	2.05	1.50
2.0E-4	3.90	2.05	1.05	1.01	2.03	1.50
5.0E-4	3.74	2.06	1.04	0.992	2.02	1.48
0.001	3.77	2.06	1.03	0.992	2.02	1.47
0.002	3.81	2.06	1.01	0.964	2.01	1.47
0.005	3.72	2.07	1.02	0.987	1.99	1.47
0.01	3.61	2.09	1.02	0.991	1.99	1.48
0.02	3.65	2.12	1.02	0.991	2.02	1.49
0.03	3.69	2.15	1.03	0.988	2.05	1.51
0.05	3.84	2.21	1.06	1.01	2.12	1.55
0.07	4.02	2.27	1.10	1.05	2.20	1.60
0.1	4.28	2.35	1.17	1.11	2.33	1.69
0.15	4.77	2.49	1.29	1.23	2.57	1.86
0.2	5.33	2.64	1.43	1.36	2.82	2.04
0.3	6.45	2.94	1.73	1.65	3.36	2.41
0.5	8.83	3.62	2.42	2.34	4.48	3.21
0.7	11.2	4.37	3.16	3.09	5.62	4.04
0.9	13.5	5.21	3.94	3.86	6.78	4.90
1.0	14.6	5.66	4.35	4.27	7.37	5.34
1.2	16.8	6.65	5.23	5.16	8.58	6.24
1.5	20.1	8.26	6.62	6.57	10.4	7.62
2.0	24.8	11.1	8.97	8.94	13.4	9.92
3.0	32.7	16.6	13.5	13.4	18.9	14.3

表 D.3 女性, 单能中子照射每单位注量对应结肠的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 DT/Φ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	39.1	21.7	17.6	17.4	23.8	18.3
5.0	44.1	26.4	21.4	21.1	28.1	22.0
6.0	48.3	30.5	24.8	24.5	32.0	25.3
7.0	51.8	34.2	27.9	27.5	35.4	28.2
8.0	54.9	37.5	30.7	30.2	38.4	30.9
9.0	57.8	40.5	33.2	32.7	41.2	33.3
10.0	60.4	43.2	35.5	35.0	43.6	35.5
12.0	64.8	48.0	39.7	39.2	48.0	39.4
14.0	68.2	52.0	43.4	42.8	51.5	42.7
15.0	69.5	53.8	45.0	44.5	53.0	44.1
16.0	70.7	55.4	46.6	46.0	54.4	45.5
18.0	72.5	58.3	49.4	48.8	56.8	47.9
20.0	73.9	60.7	51.8	51.3	58.9	49.9
21.0	74.4	61.8	53.0	52.5	59.8	50.9
30.0	77.9	69.0	61.0	60.2	66.0	57.5
50.0	82.0	78.1	71.7	69.9	74.1	66.9
75.0	85.1	86.4	80.8	79.1	81.3	75.6
100	86.3	93.6	88.2	87.3	87.5	83.4
130	86.6	101	95.9	95.8	94.1	91.9
150	86.9	106	101	101	98.2	97.1
180	88.0	113	107	108	104	105
200	89.0	117	111	111	108	109
300	98.8	137	130	128	127	132
400	114	158	149	147	146	152
500	132	178	169	168	164	171
600	149	198	189	189	181	188
700	164	215	206	207	196	203
800	176	229	220	222	209	216
900	185	240	231	234	221	228
1000	193	250	241	244	230	238
2000	235	308	299	298	291	313
5000	286	407	400	424	388	443
10000	381	521	514	536	503	594

表 D.4 女性, 单能中子照射每单位注量对应骨内膜的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 DT/Φ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	0.970	0.878	0.451	0.454	0.687	0.546
1.0E-8	1.09	0.978	0.511	0.518	0.825	0.657
2.5E-8	1.23	1.14	0.596	0.601	0.936	0.741
1.0E-7	1.59	1.49	0.763	0.777	1.22	0.948
2.0E-7	1.79	1.70	0.874	0.886	1.37	1.06
5.0E-7	2.00	1.94	0.988	1.000	1.56	1.20
1.0E-6	2.13	2.09	1.06	1.07	1.67	1.28
2.0E-6	2.22	2.19	1.10	1.11	1.75	1.34
5.0E-6	2.31	2.30	1.13	1.15	1.81	1.39
1.0E-5	2.34	2.33	1.13	1.16	1.83	1.40
2.0E-5	2.34	2.34	1.13	1.15	1.83	1.40
5.0E-5	2.32	2.31	1.11	1.13	1.81	1.39
1.0E-4	2.30	2.30	1.09	1.11	1.79	1.37
2.0E-4	2.26	2.30	1.08	1.10	1.74	1.33
5.0E-4	2.15	2.26	1.05	1.07	1.66	1.27
0.001	2.15	2.23	1.03	1.05	1.64	1.26
0.002	2.15	2.20	1.01	1.03	1.64	1.26
0.005	2.09	2.19	1.00	1.02	1.59	1.22
0.01	2.06	2.19	0.997	1.01	1.58	1.21
0.02	2.10	2.22	1.03	1.05	1.61	1.23
0.03	2.16	2.26	1.07	1.09	1.66	1.27
0.05	2.29	2.38	1.16	1.18	1.78	1.36
0.07	2.46	2.51	1.27	1.29	1.91	1.47
0.1	2.71	2.72	1.44	1.46	2.12	1.64
0.15	3.16	3.10	1.73	1.76	2.50	1.94
0.2	3.63	3.51	2.03	2.07	2.89	2.24
0.3	4.59	4.35	2.64	2.68	3.69	2.87
0.5	6.54	6.08	3.85	3.88	5.32	4.16
0.7	8.45	7.77	4.96	5.00	6.92	5.45
0.9	10.3	9.40	6.00	6.08	8.50	6.73
1.0	11.2	10.2	6.53	6.62	9.28	7.36
1.2	13.0	11.9	7.61	7.71	10.8	8.62
1.5	15.6	14.4	9.22	9.32	13.0	10.4
2.0	19.3	18.2	11.8	11.9	16.3	13.2
3.0	25.7	24.7	16.3	16.4	22.0	18.1

表 D.4 女性, 单能中子照射每单位注量对应骨内膜的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 DT/ $\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	30.8	29.9	20.1	20.2	26.7	22.3
5.0	34.9	34.1	23.4	23.5	30.7	25.8
6.0	38.5	37.6	26.2	26.4	34.2	29.0
7.0	41.6	40.7	28.8	28.9	37.2	31.8
8.0	44.4	43.6	31.2	31.3	40.0	34.3
9.0	47.0	46.2	33.3	33.5	42.5	36.6
10.0	49.3	48.6	35.4	35.5	44.8	38.7
12.0	53.5	52.9	39.2	39.2	48.7	42.4
14.0	57.0	56.5	42.5	42.5	52.0	45.5
15.0	58.4	58.0	43.9	44.0	53.4	46.8
16.0	59.8	59.3	45.3	45.3	54.6	48.1
18.0	62.0	61.6	47.7	47.7	56.8	50.3
20.0	63.8	63.4	49.8	49.8	58.6	52.1
21.0	64.5	64.1	50.7	50.8	59.3	52.9
30.0	69.3	68.9	56.9	57.3	64.3	58.5
50.0	75.0	74.9	65.6	66.2	70.0	65.7
75.0	79.5	80.6	73.9	74.1	75.1	72.2
100	82.4	84.6	80.3	80.0	79.7	77.9
130	84.8	87.4	85.8	85.4	84.6	84.2
150	86.2	88.7	88.7	88.4	87.6	88.0
180	88.4	90.6	92.4	92.4	91.9	93.5
200	90.0	91.9	94.6	94.9	94.8	97.0
300	101	102	107	108	109	114
400	116	117	123	124	124	130
500	132	134	141	142	139	146
600	147	150	160	159	154	160
700	161	164	176	174	166	173
800	172	175	188	186	177	184
900	182	183	197	196	186	193
1000	189	189	204	203	193	201
2000	230	223	245	247	239	254
5000	281	279	331	330	301	338
10000	370	368	441	437	376	436

表 D.5 女性，单能中子照射每单位注量对应卵巢的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 DT/Φ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	0.935	0.950	0.218	0.215	0.578	0.375
1.0E-8	1.01	1.09	0.199	0.252	0.661	0.490
2.5E-8	1.17	1.27	0.246	0.269	0.767	0.568
1.0E-7	1.50	1.72	0.366	0.314	0.962	0.757
2.0E-7	1.70	1.98	0.385	0.388	1.10	0.866
5.0E-7	1.98	2.36	0.405	0.407	1.35	0.997
1.0E-6	2.17	2.59	0.482	0.543	1.54	1.10
2.0E-6	2.31	2.73	0.555	0.524	1.63	1.21
5.0E-6	2.44	2.86	0.523	0.579	1.69	1.30
1.0E-5	2.51	2.90	0.545	0.628	1.74	1.28
2.0E-5	2.57	3.00	0.545	0.610	1.78	1.25
5.0E-5	2.67	3.03	0.545	0.548	1.84	1.28
1.0E-4	2.73	3.01	0.594	0.507	1.87	1.28
2.0E-4	2.76	3.07	0.567	0.623	1.82	1.31
5.0E-4	2.74	3.14	0.536	0.595	1.81	1.36
0.001	2.73	3.15	0.565	0.669	1.82	1.37
0.002	2.75	3.17	0.550	0.608	1.83	1.36
0.005	2.74	3.22	0.511	0.602	1.86	1.34
0.01	2.74	3.24	0.516	0.581	1.88	1.37
0.02	2.80	3.27	0.583	0.677	1.90	1.45
0.03	2.85	3.30	0.558	0.721	1.94	1.48
0.05	2.92	3.38	0.601	0.786	2.02	1.50
0.07	2.97	3.47	0.636	0.695	2.08	1.51
0.1	3.06	3.58	0.660	0.683	2.15	1.54
0.15	3.24	3.78	0.672	0.776	2.26	1.61
0.2	3.44	4.00	0.705	0.870	2.37	1.70
0.3	3.88	4.47	0.809	0.990	2.60	1.88
0.5	4.90	5.56	0.975	1.22	3.10	2.30
0.7	6.03	6.75	1.11	1.26	3.71	2.79
0.9	7.28	8.05	1.26	1.39	4.41	3.35
1.0	7.94	8.74	1.36	1.50	4.81	3.65
1.2	9.32	10.2	1.68	1.88	5.66	4.29
1.5	11.5	12.5	2.36	2.72	7.04	5.32
2.0	15.1	16.3	3.74	4.50	9.46	7.13
3.0	21.9	23.4	6.51	7.59	14.4	10.9

表 D.5 女性, 单能中子照射每单位注量对应卵巢的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 DT/ $\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	27.9	29.6	9.27	10.4	19.1	14.7
5.0	33.2	34.9	12.4	13.9	23.4	18.3
6.0	37.7	39.5	15.4	17.2	27.4	21.6
7.0	41.7	43.5	18.1	20.2	30.9	24.7
8.0	45.1	47.1	20.5	22.6	34.1	27.5
9.0	48.2	50.2	22.7	24.7	36.9	30.2
10.0	50.9	53.0	24.7	26.6	39.5	32.6
12.0	55.6	57.8	28.6	30.3	43.8	37.0
14.0	59.4	61.7	32.2	34.1	47.4	41.0
15.0	61.1	63.3	33.9	35.9	48.9	42.8
16.0	62.6	64.8	35.5	37.6	50.3	44.5
18.0	65.4	67.3	38.9	41.0	52.7	47.6
20.0	67.7	69.4	42.1	44.2	54.8	50.4
21.0	68.7	70.3	43.7	45.7	55.7	51.7
30.0	75.8	76.0	55.0	54.5	61.9	60.5
50.0	84.4	82.8	65.2	65.7	70.5	71.4
75.0	91.6	87.6	75.6	73.8	79.2	79.8
100	97.6	91.4	87.6	87.4	87.6	86.8
130	104	95.5	104	97.7	97.3	94.4
150	108	98.2	114	104	103	99.2
180	114	103	125	115	111	106
200	118	106	129	119	116	111
300	136	123	142	134	138	137
400	155	142	170	152	159	163
500	173	162	201	184	179	187
600	189	181	231	230	196	209
700	204	198	254	262	211	227
800	218	213	267	267	224	242
900	229	225	275	262	235	255
1000	239	235	278	256	244	266
2000	299	287	327	303	300	337
5000	375	349	490	395	406	462
10000	468	434	611	593	568	618

表 D.6 女性, 单能中子照射每单位注量对应肝脏的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.24	0.868	0.224	0.583	0.688	0.520
1.0E-8	1.43	0.983	0.241	0.665	0.846	0.638
2.5E-8	1.63	1.14	0.277	0.779	0.973	0.728
1.0E-7	2.18	1.52	0.358	1.02	1.28	0.946
2.0E-7	2.49	1.74	0.411	1.19	1.46	1.07
5.0E-7	2.85	2.02	0.479	1.39	1.69	1.24
1.0E-6	3.07	2.20	0.521	1.51	1.84	1.35
2.0E-6	3.24	2.33	0.553	1.59	1.95	1.42
5.0E-6	3.42	2.48	0.585	1.68	2.06	1.50
1.0E-5	3.50	2.54	0.597	1.70	2.10	1.53
2.0E-5	3.54	2.57	0.606	1.73	2.12	1.55
5.0E-5	3.53	2.56	0.605	1.70	2.13	1.57
1.0E-4	3.54	2.59	0.605	1.71	2.14	1.58
2.0E-4	3.50	2.62	0.609	1.72	2.12	1.56
5.0E-4	3.40	2.61	0.609	1.69	2.07	1.52
0.001	3.41	2.60	0.610	1.68	2.06	1.51
0.002	3.43	2.58	0.609	1.66	2.06	1.51
0.005	3.36	2.60	0.609	1.65	2.02	1.49
0.01	3.30	2.62	0.608	1.63	2.00	1.49
0.02	3.33	2.65	0.617	1.65	2.02	1.50
0.03	3.36	2.68	0.626	1.67	2.04	1.51
0.05	3.47	2.75	0.649	1.75	2.11	1.55
0.07	3.60	2.83	0.672	1.82	2.18	1.60
0.1	3.81	2.95	0.707	1.95	2.31	1.68
0.15	4.20	3.16	0.768	2.20	2.55	1.83
0.2	4.63	3.39	0.831	2.48	2.80	2.00
0.3	5.54	3.87	0.966	3.07	3.34	2.37
0.5	7.48	4.91	1.27	4.38	4.48	3.17
0.7	9.45	6.00	1.63	5.69	5.69	4.04
0.9	11.4	7.14	2.03	7.00	6.93	4.96
1.0	12.4	7.75	2.26	7.68	7.56	5.43
1.2	14.4	9.05	2.75	9.12	8.84	6.40
1.5	17.2	11.1	3.57	11.4	10.7	7.86
2.0	21.4	14.5	5.07	14.9	13.8	10.2
3.0	28.4	20.6	8.31	21.2	19.3	14.7

表 D.6 女性, 单能中子照射每单位注量对应肝脏的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	34.2	25.9	11.6	26.4	24.2	18.8
5.0	39.0	30.5	14.7	30.9	28.5	22.4
6.0	43.0	34.5	17.7	34.7	32.3	25.7
7.0	46.5	37.9	20.4	38.1	35.6	28.6
8.0	49.7	41.1	23.0	41.1	38.6	31.3
9.0	52.5	43.9	25.3	43.9	41.3	33.7
10.0	55.0	46.5	27.5	46.4	43.7	35.9
12.0	59.4	51.2	31.5	50.9	47.8	39.7
14.0	62.9	55.0	35.1	54.7	51.2	43.0
15.0	64.3	56.7	36.7	56.3	52.7	44.5
16.0	65.5	58.2	38.3	57.8	54.1	45.8
18.0	67.6	60.8	41.1	60.4	56.4	48.3
20.0	69.3	62.9	43.8	62.5	58.4	50.4
21.0	70.0	63.9	45.0	63.5	59.3	51.4
30.0	74.6	70.0	53.9	69.5	65.2	58.2
50.0	80.0	77.7	66.6	76.5	72.7	67.7
75.0	84.3	85.4	77.7	83.6	79.7	76.3
100	86.9	92.0	87.0	89.5	86.1	83.7
130	89.1	98.5	96.8	94.8	93.0	91.7
150	90.5	102	103	97.5	97.3	96.6
180	92.7	107	111	101	103	103
200	94.4	110	117	103	107	108
300	107	126	140	115	126	128
400	123	145	162	132	144	148
500	141	165	182	152	161	166
600	158	185	201	171	176	183
700	174	201	217	188	190	198
800	186	215	232	201	203	211
900	196	225	244	211	213	222
1000	204	233	255	219	223	233
2000	249	279	328	260	284	300
5000	306	360	452	333	373	410
10000	400	461	574	442	465	532

表 D.7 女性, 单能中子照射每单位注量对应肺的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.01	1.03	0.324	0.342	0.654	0.519
1.0E-8	1.15	1.22	0.352	0.366	0.808	0.628
2.5E-8	1.31	1.42	0.406	0.424	0.928	0.716
1.0E-7	1.73	1.93	0.519	0.537	1.22	0.934
2.0E-7	1.98	2.21	0.594	0.621	1.38	1.06
5.0E-7	2.26	2.58	0.681	0.715	1.60	1.23
1.0E-6	2.44	2.80	0.742	0.769	1.74	1.33
2.0E-6	2.58	2.94	0.785	0.804	1.84	1.41
5.0E-6	2.73	3.11	0.824	0.850	1.94	1.48
1.0E-5	2.80	3.19	0.829	0.861	1.99	1.51
2.0E-5	2.83	3.22	0.846	0.876	2.01	1.53
5.0E-5	2.84	3.20	0.847	0.871	2.02	1.54
1.0E-4	2.84	3.21	0.844	0.873	2.01	1.53
2.0E-4	2.80	3.21	0.844	0.879	1.99	1.52
5.0E-4	2.71	3.17	0.833	0.864	1.93	1.48
0.001	2.73	3.15	0.833	0.864	1.92	1.47
0.002	2.75	3.11	0.823	0.852	1.91	1.46
0.005	2.69	3.10	0.827	0.845	1.88	1.44
0.01	2.63	3.10	0.829	0.835	1.85	1.43
0.02	2.65	3.11	0.834	0.850	1.85	1.42
0.03	2.68	3.15	0.838	0.855	1.87	1.43
0.05	2.75	3.26	0.861	0.880	1.93	1.47
0.07	2.84	3.39	0.895	0.915	2.00	1.52
0.1	2.98	3.62	0.945	0.967	2.13	1.61
0.15	3.27	4.05	1.03	1.06	2.37	1.79
0.2	3.61	4.53	1.12	1.17	2.63	1.99
0.3	4.34	5.58	1.32	1.39	3.21	2.42
0.5	5.99	7.80	1.76	1.90	4.49	3.39
0.7	7.76	9.96	2.25	2.46	5.85	4.43
0.9	9.58	12.0	2.78	3.06	7.25	5.54
1.0	10.5	13.1	3.07	3.38	7.96	6.11
1.2	12.4	15.2	3.72	4.08	9.40	7.27
1.5	15.1	18.3	4.80	5.21	11.5	9.01
2.0	19.2	23.0	6.73	7.20	14.8	11.8
3.0	26.1	30.6	10.6	11.1	20.8	16.9

表 D.7 女性, 单能中子照射每单位注量对应肺的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	31.8	36.7	14.2	14.7	25.9	21.4
5.0	36.5	41.5	17.7	18.1	30.3	25.4
6.0	40.5	45.5	20.8	21.1	34.2	28.9
7.0	43.9	49.0	23.6	23.8	37.6	32.0
8.0	47.0	52.0	26.1	26.3	40.5	34.8
9.0	49.8	54.8	28.4	28.6	43.2	37.3
10.0	52.4	57.4	30.6	30.6	45.6	39.6
12.0	56.8	61.8	34.4	34.4	49.6	43.5
14.0	60.3	65.2	37.8	37.6	52.9	46.9
15.0	61.8	66.6	39.3	39.1	54.3	48.4
16.0	63.1	67.8	40.8	40.6	55.6	49.7
18.0	65.3	69.8	43.5	43.1	57.8	52.1
20.0	67.1	71.3	45.9	45.5	59.7	54.2
21.0	67.8	71.9	47.0	46.5	60.5	55.2
30.0	72.7	75.6	54.9	54.2	66.0	61.5
50.0	78.9	80.1	66.0	65.2	73.0	69.9
75.0	84.3	84.5	76.1	75.3	79.3	77.3
100	87.9	87.2	84.6	83.4	84.8	83.9
130	90.5	88.8	93.1	91.5	90.6	90.9
150	91.9	89.5	97.7	96.0	94.1	95.2
180	93.7	90.9	103	102	99.1	101
200	95.0	92.1	107	105	102	105
300	105	103	120	119	118	122
400	121	119	136	136	134	139
500	138	137	154	154	149	154
600	155	154	172	172	163	169
700	171	168	189	188	175	181
800	183	179	202	200	186	193
900	193	187	213	210	195	202
1000	201	193	221	219	203	211
2000	243	227	274	265	254	268
5000	292	280	378	360	326	359
10000	390	364	488	478	401	457

表 D.8 女性, 单能中子照射每单位注量对应食管的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.04	0.922	0.328	0.320	0.664	0.520
1.0E-8	1.22	1.12	0.380	0.331	0.820	0.621
2.5E-8	1.38	1.30	0.427	0.393	0.943	0.706
1.0E-7	1.85	1.74	0.519	0.506	1.24	0.919
2.0E-7	2.12	2.02	0.601	0.582	1.39	1.04
5.0E-7	2.44	2.38	0.710	0.675	1.61	1.20
1.0E-6	2.65	2.62	0.778	0.741	1.76	1.30
2.0E-6	2.75	2.81	0.823	0.781	1.86	1.39
5.0E-6	2.84	3.01	0.881	0.836	1.97	1.46
1.0E-5	2.98	3.11	0.908	0.853	2.02	1.52
2.0E-5	3.10	3.14	0.898	0.862	2.07	1.56
5.0E-5	3.12	3.14	0.882	0.869	2.12	1.60
1.0E-4	3.11	3.19	0.906	0.878	2.12	1.62
2.0E-4	3.07	3.23	0.913	0.883	2.08	1.61
5.0E-4	3.00	3.22	0.893	0.879	2.03	1.57
0.001	3.00	3.21	0.904	0.870	2.03	1.57
0.002	3.07	3.21	0.919	0.864	2.02	1.57
0.005	2.97	3.23	0.906	0.873	2.00	1.54
0.01	2.91	3.24	0.904	0.880	1.98	1.50
0.02	2.96	3.26	0.931	0.900	2.01	1.49
0.03	3.01	3.28	0.934	0.903	2.04	1.50
0.05	3.12	3.34	0.936	0.904	2.11	1.55
0.07	3.23	3.41	0.965	0.918	2.18	1.59
0.1	3.40	3.53	1.01	0.948	2.27	1.67
0.15	3.76	3.74	1.09	1.02	2.44	1.81
0.2	4.15	3.99	1.15	1.09	2.64	1.97
0.3	4.94	4.55	1.29	1.27	3.10	2.30
0.5	6.68	5.83	1.61	1.67	4.16	3.04
0.7	8.53	7.23	1.98	2.10	5.32	3.86
0.9	10.4	8.72	2.43	2.58	6.54	4.76
1.0	11.4	9.49	2.68	2.85	7.18	5.23
1.2	13.4	11.1	3.25	3.42	8.50	6.21
1.5	16.3	13.5	4.24	4.38	10.5	7.72
2.0	20.7	17.5	6.07	6.12	13.7	10.2
3.0	28.3	24.7	10.0	9.76	19.7	15.1

表 D.8 女性, 单能中子照射每单位注量对应食管的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	34.5	30.7	13.9	13.3	25.0	19.5
5.0	39.5	35.7	17.5	16.7	29.7	23.4
6.0	43.6	39.9	20.8	19.8	33.7	26.9
7.0	47.1	43.6	23.8	22.6	37.2	30.1
8.0	50.3	46.7	26.5	25.2	40.3	32.9
9.0	53.2	49.6	28.9	27.6	43.0	35.5
10.0	55.9	52.1	31.2	29.7	45.5	37.8
12.0	60.6	56.4	35.2	33.7	49.8	41.8
14.0	64.4	59.8	38.7	37.1	53.3	45.2
15.0	66.0	61.2	40.3	38.7	54.7	46.7
16.0	67.3	62.5	41.8	40.2	56.1	48.1
18.0	69.5	64.6	44.7	42.9	58.4	50.6
20.0	71.1	66.4	47.2	45.4	60.4	52.7
21.0	71.8	67.1	48.4	46.5	61.2	53.7
30.0	75.7	72.0	57.4	54.8	66.8	60.5
50.0	80.7	78.1	70.0	66.5	74.4	69.8
75.0	86.5	84.3	80.1	75.6	81.7	78.1
100	91.2	89.9	88.2	82.5	88.0	85.2
130	95.0	95.8	96.9	89.7	94.8	93.0
150	97.0	99.4	102	94.4	98.8	97.7
180	99.8	104	108	101	104	105
200	101	108	112	105	108	109
300	112	123	128	126	124	129
400	128	139	145	146	140	149
500	146	154	162	165	156	166
600	165	169	180	183	172	183
700	181	181	197	198	186	197
800	195	192	211	210	199	210
900	206	201	222	221	210	220
1000	215	209	232	230	219	230
2000	258	258	289	285	276	291
5000	304	332	381	377	357	385
10000	415	411	493	518	434	480

表 D9 女性, 单能中子照射每单位注量对应红骨髓的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	0.928	1.01	0.353	0.367	0.651	0.507
1.0E-8	1.06	1.16	0.394	0.408	0.789	0.614
2.5E-8	1.20	1.36	0.458	0.474	0.901	0.705
1.0E-7	1.58	1.83	0.587	0.608	1.18	0.911
2.0E-7	1.79	2.11	0.674	0.696	1.35	1.03
5.0E-7	2.04	2.45	0.769	0.800	1.56	1.18
1.0E-6	2.19	2.66	0.832	0.864	1.69	1.27
2.0E-6	2.32	2.80	0.870	0.909	1.78	1.35
5.0E-6	2.44	2.99	0.918	0.954	1.86	1.41
1.0E-5	2.50	3.04	0.931	0.967	1.91	1.44
2.0E-5	2.53	3.08	0.940	0.977	1.93	1.45
5.0E-5	2.54	3.05	0.933	0.970	1.94	1.46
1.0E-4	2.54	3.06	0.930	0.970	1.94	1.46
2.0E-4	2.53	3.08	0.933	0.971	1.91	1.45
5.0E-4	2.47	3.06	0.920	0.959	1.86	1.42
0.001	2.47	3.04	0.914	0.955	1.86	1.41
0.002	2.48	3.00	0.904	0.948	1.86	1.41
0.005	2.45	3.00	0.907	0.937	1.83	1.39
0.01	2.44	3.00	0.913	0.924	1.82	1.38
0.02	2.48	3.03	0.930	0.954	1.85	1.39
0.03	2.52	3.08	0.946	0.981	1.88	1.42
0.05	2.63	3.19	0.995	1.03	1.95	1.48
0.07	2.75	3.31	1.05	1.09	2.04	1.55
0.1	2.92	3.50	1.14	1.18	2.17	1.65
0.15	3.23	3.84	1.29	1.33	2.40	1.83
0.2	3.54	4.21	1.43	1.49	2.65	2.02
0.3	4.19	5.00	1.73	1.80	3.17	2.41
0.5	5.55	6.65	2.34	2.41	4.25	3.25
0.7	6.95	8.27	2.94	3.04	5.39	4.13
0.9	8.39	9.85	3.54	3.68	6.57	5.05
1.0	9.13	10.7	3.86	4.02	7.17	5.53
1.2	10.6	12.3	4.56	4.75	8.40	6.49
1.5	12.8	14.9	5.69	5.91	10.2	7.93
2.0	16.3	18.8	7.64	7.89	13.1	10.3
3.0	22.4	25.6	11.4	11.7	18.4	14.6

表 D9 女性, 单能中子照射每单位注量对应红骨髓的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	27.6	31.0	14.8	15.2	23.1	18.5
5.0	32.0	35.4	18.0	18.4	27.1	22.0
6.0	35.7	39.1	20.9	21.3	30.7	25.2
7.0	39.0	42.4	23.5	23.9	33.9	28.0
8.0	42.0	45.3	25.9	26.3	36.7	30.5
9.0	44.7	48.1	28.0	28.5	39.3	32.9
10.0	47.2	50.6	30.1	30.5	41.7	35.0
12.0	51.6	55.1	33.9	34.3	45.8	38.8
14.0	55.2	58.8	37.3	37.7	49.2	42.1
15.0	56.8	60.3	38.8	39.2	50.7	43.6
16.0	58.2	61.7	40.3	40.7	52.0	44.9
18.0	60.6	64.0	43.1	43.3	54.4	47.3
20.0	62.6	65.7	45.5	45.7	56.4	49.4
21.0	63.5	66.5	46.5	46.8	57.3	50.3
30.0	69.2	71.0	54.3	54.6	63.1	56.8
50.0	76.1	77.0	64.8	65.4	70.6	65.7
75.0	82.2	83.5	74.8	75.1	77.7	74.2
100	87.1	88.3	83.6	83.3	84.2	82.0
130	92.1	92.3	92.4	91.6	91.3	90.7
150	95.2	94.2	97.3	96.5	95.6	95.9
180	99.5	96.7	103	103	102	103
200	102	98.4	107	107	105	108
300	118	110	123	124	123	129
400	135	128	142	143	141	148
500	154	147	163	163	159	166
600	172	165	184	183	175	183
700	187	181	202	200	189	198
800	201	193	216	214	202	210
900	212	202	227	225	212	222
1000	221	209	236	234	222	231
2000	274	247	286	288	278	295
5000	344	312	392	392	359	402
10000	444	407	513	510	455	527

表 D.10 女性, 单能中子照射每单位注量对应其余组织的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.13	0.846	0.397	0.353	0.674	0.515
1.0E-8	1.31	0.968	0.464	0.400	0.816	0.621
2.5E-8	1.48	1.13	0.535	0.464	0.936	0.709
1.0E-7	1.95	1.50	0.700	0.601	1.22	0.923
2.0E-7	2.21	1.72	0.795	0.695	1.39	1.05
5.0E-7	2.52	2.00	0.916	0.808	1.61	1.20
1.0E-6	2.71	2.18	1.00	0.874	1.75	1.30
2.0E-6	2.87	2.32	1.06	0.918	1.85	1.37
5.0E-6	3.02	2.47	1.12	0.973	1.96	1.45
1.0E-5	3.07	2.53	1.14	0.989	2.00	1.48
2.0E-5	3.09	2.57	1.16	1.00	2.02	1.48
5.0E-5	3.10	2.56	1.16	1.00	2.03	1.49
1.0E-4	3.09	2.58	1.15	1.00	2.03	1.49
2.0E-4	3.07	2.60	1.15	1.01	2.01	1.48
5.0E-4	2.99	2.60	1.14	1.01	1.96	1.45
0.001	3.00	2.59	1.13	1.000	1.94	1.45
0.002	3.01	2.57	1.12	0.987	1.94	1.44
0.005	2.95	2.59	1.11	0.984	1.93	1.42
0.01	2.92	2.60	1.12	0.985	1.92	1.42
0.02	2.97	2.63	1.14	1.00	1.94	1.43
0.03	3.02	2.66	1.16	1.02	1.97	1.45
0.05	3.14	2.74	1.22	1.07	2.05	1.51
0.07	3.29	2.83	1.29	1.12	2.13	1.57
0.1	3.50	2.97	1.38	1.21	2.27	1.67
0.15	3.90	3.20	1.55	1.36	2.51	1.85
0.2	4.33	3.46	1.74	1.51	2.76	2.03
0.3	5.21	4.00	2.12	1.85	3.31	2.43
0.5	7.06	5.19	2.96	2.55	4.49	3.27
0.7	8.92	6.44	3.83	3.29	5.74	4.18
0.9	10.8	7.73	4.73	4.07	7.04	5.13
1.0	11.7	8.41	5.20	4.48	7.70	5.62
1.2	13.6	9.83	6.19	5.34	9.04	6.62
1.5	16.2	12.0	7.73	6.69	11.0	8.13
2.0	20.2	15.6	10.3	8.99	14.2	10.6
3.0	27.2	22.2	15.2	13.4	20.0	15.2

表 D.10 女性, 单能中子照射每单位注量对应其余组织的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	33.0	27.8	19.6	17.5	25.2	19.5
5.0	37.7	32.7	23.6	21.2	29.6	23.2
6.0	41.8	36.8	27.2	24.6	33.5	26.6
7.0	45.3	40.5	30.4	27.6	37.0	29.6
8.0	48.4	43.7	33.2	30.3	40.1	32.3
9.0	51.2	46.6	35.8	32.8	42.8	34.8
10.0	53.8	49.3	38.2	35.1	45.3	37.0
12.0	58.1	53.9	42.4	39.1	49.6	41.0
14.0	61.6	57.7	46.0	42.7	53.1	44.3
15.0	63.0	59.3	47.6	44.2	54.6	45.7
16.0	64.3	60.8	49.1	45.7	55.9	47.1
18.0	66.4	63.2	51.7	48.4	58.3	49.5
20.0	68.1	65.3	54.0	50.8	60.2	51.6
21.0	68.9	66.2	55.0	51.9	61.1	52.5
30.0	73.6	72.0	62.1	59.4	66.8	59.1
50.0	79.2	79.3	71.8	69.7	73.6	68.3
75.0	83.8	85.8	80.4	78.8	80.0	76.6
100	87.2	91.0	87.4	86.4	86.0	83.8
130	90.4	96.2	94.4	94.3	92.8	91.6
150	92.3	99.4	98.5	99.0	97.0	96.5
180	95.2	104	104	106	103	104
200	97.2	107	108	110	107	108
300	110	123	125	128	125	129
400	126	142	143	147	143	148
500	143	160	162	167	160	166
600	160	178	180	185	176	182
700	175	192	196	201	190	196
800	187	204	209	214	201	209
900	197	214	220	225	212	220
1000	206	222	229	234	221	230
2000	253	270	284	288	278	295
5000	310	346	382	383	361	402
10000	399	442	489	500	450	526

表 D.11 女性，单能中子照射每单位注量对应唾液腺的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	0.971	0.638	0.906	0.904	0.836	0.612
1.0E-8	1.01	0.689	1.05	1.10	0.980	0.749
2.5E-8	1.12	0.779	1.23	1.24	1.11	0.849
1.0E-7	1.39	1.01	1.60	1.56	1.41	1.06
2.0E-7	1.56	1.16	1.78	1.76	1.57	1.17
5.0E-7	1.69	1.33	1.96	1.97	1.75	1.30
1.0E-6	1.80	1.47	2.03	2.05	1.84	1.38
2.0E-6	1.85	1.55	2.02	2.09	1.91	1.43
5.0E-6	1.91	1.64	2.10	2.13	1.97	1.46
1.0E-5	1.94	1.66	2.09	2.13	1.98	1.46
2.0E-5	1.98	1.66	2.05	2.10	1.97	1.45
5.0E-5	1.95	1.62	1.95	2.04	1.95	1.43
1.0E-4	1.92	1.61	1.92	2.02	1.91	1.42
2.0E-4	1.88	1.62	1.91	1.98	1.84	1.39
5.0E-4	1.80	1.59	1.82	1.90	1.76	1.32
0.001	1.78	1.58	1.78	1.85	1.72	1.29
0.002	1.80	1.56	1.76	1.80	1.70	1.28
0.005	1.70	1.54	1.74	1.83	1.66	1.24
0.01	1.61	1.52	1.71	1.89	1.66	1.23
0.02	1.65	1.55	1.86	1.97	1.73	1.28
0.03	1.69	1.60	2.05	2.08	1.83	1.36
0.05	1.76	1.70	2.39	2.37	2.05	1.52
0.07	1.86	1.82	2.74	2.70	2.29	1.68
0.1	2.01	2.01	3.27	3.19	2.66	1.93
0.15	2.31	2.39	4.10	3.99	3.27	2.35
0.2	2.68	2.80	4.87	4.75	3.87	2.77
0.3	3.48	3.69	6.32	6.18	5.07	3.60
0.5	5.27	5.60	9.01	8.79	7.39	5.23
0.7	7.21	7.53	11.4	11.1	9.62	6.81
0.9	9.19	9.43	13.5	13.3	11.7	8.35
1.0	10.2	10.4	14.5	14.3	12.8	9.10
1.2	12.2	12.4	16.4	16.2	14.7	10.6
1.5	15.1	15.4	19.1	18.9	17.5	12.6
2.0	19.3	20.0	23.1	22.8	21.6	15.8
3.0	26.4	27.8	29.9	29.5	28.4	21.3

表 D.11 女性, 单能中子照射每单位注量对应唾液腺的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	32.1	33.9	35.3	34.9	34.0	25.9
5.0	36.8	38.8	39.7	39.3	38.7	29.9
6.0	40.7	42.8	43.4	43.1	42.6	33.3
7.0	44.1	46.3	46.6	46.4	46.1	36.3
8.0	47.1	49.5	49.6	49.4	49.0	39.0
9.0	49.9	52.4	52.3	52.1	51.7	41.4
10.0	52.3	55.1	54.8	54.6	54.0	43.5
12.0	56.6	59.8	59.2	58.8	57.9	47.0
14.0	60.1	63.7	62.8	62.3	60.9	49.9
15.0	61.5	65.3	64.2	63.7	62.1	51.2
16.0	62.8	66.7	65.5	65.0	63.2	52.3
18.0	64.9	69.0	67.6	67.2	64.9	54.3
20.0	66.7	70.8	69.2	68.9	66.3	56.0
21.0	67.4	71.5	69.8	69.6	66.8	56.7
30.0	72.4	75.7	73.5	73.6	70.1	62.1
50.0	78.4	81.3	77.9	77.3	73.1	69.2
75.0	82.3	86.7	82.5	79.5	76.2	75.1
100	83.3	89.3	84.4	80.9	79.3	80.0
130	83.3	89.8	84.8	82.4	83.0	85.1
150	83.4	90.0	85.1	83.7	85.3	88.1
180	84.2	90.9	86.0	86.1	88.9	92.3
200	85.0	91.9	87.1	87.9	91.4	95.0
300	93.2	102	97.3	99.6	104	109
400	106	117	112	114	117	122
500	120	133	127	129	130	136
600	134	148	142	143	143	149
700	146	161	155	155	153	160
800	156	171	167	165	163	170
900	164	179	176	173	171	179
1000	171	185	183	180	178	186
2000	206	217	217	225	222	236
5000	244	258	264	293	271	311
10000	332	363	379	382	310	397

表 D.12 女性, 单能中子照射每单位注量对应脑的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.73	1.85	0.826	0.825	1.28	1.02
1.0E-8	1.43	1.46	0.648	0.647	1.11	0.880
2.5E-8	1.43	1.52	0.666	0.664	1.09	0.862
1.0E-7	1.50	1.57	0.663	0.661	1.15	0.897
2.0E-7	1.61	1.71	0.708	0.705	1.20	0.926
5.0E-7	1.62	1.73	0.722	0.720	1.25	0.960
1.0E-6	1.64	1.79	0.750	0.744	1.27	0.978
2.0E-6	1.66	1.79	0.746	0.739	1.29	0.992
5.0E-6	1.68	1.86	0.760	0.755	1.29	0.991
1.0E-5	1.65	1.81	0.738	0.736	1.27	0.973
2.0E-5	1.64	1.82	0.733	0.728	1.25	0.954
5.0E-5	1.57	1.70	0.688	0.680	1.22	0.927
1.0E-4	1.54	1.66	0.677	0.668	1.19	0.906
2.0E-4	1.52	1.69	0.680	0.674	1.15	0.879
5.0E-4	1.42	1.60	0.649	0.646	1.09	0.832
0.001	1.44	1.60	0.654	0.648	1.09	0.833
0.002	1.48	1.60	0.657	0.648	1.12	0.869
0.005	1.57	1.71	0.726	0.720	1.20	0.945
0.01	1.75	1.89	0.829	0.824	1.37	1.10
0.02	2.18	2.30	1.06	1.06	1.73	1.43
0.03	2.58	2.67	1.26	1.27	2.06	1.74
0.05	3.31	3.36	1.65	1.66	2.67	2.30
0.07	3.97	4.00	2.01	2.02	3.22	2.81
0.1	4.84	4.82	2.48	2.49	3.94	3.48
0.15	6.06	5.99	3.15	3.17	4.97	4.43
0.2	7.11	7.00	3.75	3.76	5.85	5.25
0.3	8.87	8.70	4.77	4.79	7.37	6.66
0.5	11.8	11.5	6.49	6.52	9.89	8.99
0.7	14.3	13.9	8.03	8.08	12.1	11.0
0.9	16.6	16.1	9.45	9.52	14.0	12.8
1.0	17.7	17.1	10.1	10.2	14.9	13.6
1.2	19.5	18.8	11.3	11.4	16.5	15.2
1.5	21.8	21.0	13.0	13.1	18.7	17.1
2.0	25.1	24.3	15.6	15.7	21.7	20.0
3.0	30.8	30.2	20.1	20.2	27.0	24.8

表 D.12 女性, 单能中子照射每单位注量对应脑的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	35.7	35.0	23.9	24.1	31.4	28.8
5.0	39.6	38.9	27.2	27.5	35.2	32.3
6.0	42.9	42.1	30.1	30.4	38.4	35.3
7.0	45.9	45.0	32.8	33.0	41.3	38.1
8.0	48.6	47.7	35.2	35.4	43.9	40.5
9.0	51.1	50.2	37.4	37.7	46.3	42.8
10.0	53.5	52.6	39.5	39.7	48.3	44.8
12.0	57.5	56.6	43.1	43.4	51.7	48.1
14.0	60.4	59.6	46.0	46.3	54.1	50.6
15.0	61.5	60.6	47.2	47.6	55.0	51.5
16.0	62.4	61.5	48.3	48.7	55.7	52.2
18.0	63.5	62.5	50.1	50.5	56.5	53.2
20.0	64.0	62.9	51.4	51.9	56.9	53.7
21.0	64.1	63.0	52.0	52.4	57.0	53.8
30.0	64.2	63.0	55.4	55.9	56.6	54.0
50.0	63.9	63.4	59.7	60.0	55.2	53.6
75.0	64.2	64.5	62.9	63.1	55.8	55.1
100	63.2	63.6	64.1	64.4	57.9	57.7
130	62.3	62.0	64.5	64.9	61.0	61.3
150	62.4	61.7	65.3	65.8	63.1	63.7
180	63.6	62.3	67.3	67.8	66.2	67.2
200	64.7	63.2	68.9	69.4	68.3	69.6
300	73.4	70.6	78.5	79.0	79.2	81.4
400	84.8	81.6	90.7	91.0	90.5	93.3
500	96.9	93.6	104	104	102	105
600	109	105	116	117	112	116
700	119	115	127	128	121	125
800	128	123	136	137	129	133
900	134	128	144	144	135	140
1000	140	133	149	149	140	145
2000	170	157	182	182	172	181
5000	205	197	245	245	219	243
10000	280	272	338	339	277	317

表 D.13 女性, 单能中子照射每单位注量对应胃壁的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.33	0.724	0.695	0.177	0.685	0.509
1.0E-8	1.55	0.792	0.798	0.173	0.840	0.629
2.5E-8	1.79	0.932	0.954	0.204	0.967	0.714
1.0E-7	2.37	1.23	1.26	0.266	1.27	0.924
2.0E-7	2.70	1.40	1.46	0.304	1.45	1.05
5.0E-7	3.10	1.62	1.69	0.354	1.68	1.24
1.0E-6	3.32	1.77	1.85	0.378	1.83	1.36
2.0E-6	3.50	1.88	1.96	0.392	1.94	1.42
5.0E-6	3.67	2.01	2.05	0.416	2.03	1.48
1.0E-5	3.76	2.07	2.07	0.431	2.07	1.52
2.0E-5	3.79	2.10	2.09	0.437	2.09	1.54
5.0E-5	3.78	2.10	2.08	0.441	2.11	1.55
1.0E-4	3.76	2.11	2.08	0.449	2.10	1.54
2.0E-4	3.69	2.13	2.08	0.452	2.08	1.52
5.0E-4	3.57	2.14	2.03	0.447	2.03	1.49
0.001	3.59	2.15	2.02	0.448	2.02	1.49
0.002	3.63	2.14	2.01	0.446	2.02	1.49
0.005	3.54	2.17	2.01	0.444	1.98	1.47
0.01	3.46	2.18	2.01	0.450	1.97	1.45
0.02	3.48	2.22	2.00	0.456	1.97	1.46
0.03	3.52	2.24	2.01	0.463	1.99	1.47
0.05	3.65	2.30	2.09	0.480	2.06	1.51
0.07	3.82	2.36	2.19	0.495	2.14	1.57
0.1	4.07	2.44	2.37	0.514	2.29	1.66
0.15	4.57	2.58	2.75	0.548	2.55	1.84
0.2	5.11	2.73	3.17	0.583	2.83	2.04
0.3	6.24	3.03	4.07	0.657	3.41	2.44
0.5	8.62	3.73	5.95	0.830	4.63	3.31
0.7	11.0	4.53	7.84	1.05	5.90	4.23
0.9	13.3	5.43	9.71	1.32	7.20	5.19
1.0	14.4	5.92	10.7	1.48	7.86	5.68
1.2	16.6	7.01	12.6	1.84	9.19	6.67
1.5	19.7	8.78	15.4	2.51	11.1	8.17
2.0	24.1	11.9	19.9	3.82	14.3	10.6
3.0	31.6	17.8	27.3	6.89	20.0	15.2

表 D.13 女性, 单能中子照射每单位注量对应胃壁的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	37.6	23.1	33.3	10.1	25.0	19.3
5.0	42.5	27.7	38.3	13.4	29.3	23.1
6.0	46.6	31.9	42.4	16.5	33.2	26.4
7.0	50.2	35.5	46.1	19.3	36.6	29.4
8.0	53.3	38.8	49.3	22.0	39.6	32.1
9.0	56.1	41.7	52.2	24.4	42.4	34.6
10.0	58.7	44.4	54.9	26.7	44.8	36.9
12.0	62.9	49.2	59.5	30.8	49.0	40.9
14.0	66.3	53.3	63.3	34.4	52.4	44.3
15.0	67.6	55.1	64.8	36.1	53.9	45.8
16.0	68.8	56.7	66.3	37.7	55.3	47.2
18.0	70.7	59.5	68.6	40.7	57.6	49.7
20.0	72.2	61.9	70.6	43.4	59.6	51.9
21.0	72.9	63.0	71.4	44.7	60.5	52.9
30.0	76.8	70.1	76.4	54.0	66.4	59.9
50.0	81.2	78.6	81.7	67.6	73.8	69.3
75.0	84.0	86.1	85.9	79.6	80.4	77.8
100	85.4	92.7	88.9	89.4	86.4	85.1
130	86.5	99.4	91.6	99.7	93.0	92.9
150	87.4	103	93.3	106	97.2	97.7
180	89.2	109	96.2	114	103	104
200	90.7	113	98.3	120	107	109
300	102	131	111	143	125	130
400	117	151	127	166	142	149
500	133	171	144	187	158	168
600	150	191	161	207	173	185
700	164	208	175	224	186	200
800	175	221	187	240	198	213
900	185	233	197	252	209	224
1000	192	242	205	263	218	234
2000	232	297	245	331	279	302
5000	277	383	313	452	370	414
10000	361	486	407	578	462	544

表 D.14 女性, 单能中子照射每单位注量对应甲状腺的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.66	0.671	0.395	0.504	0.816	0.561
1.0E-8	2.02	0.665	0.398	0.540	0.955	0.755
2.5E-8	2.32	0.820	0.457	0.574	1.07	0.805
1.0E-7	2.93	1.12	0.590	0.715	1.40	1.000
2.0E-7	3.31	1.28	0.670	0.855	1.61	1.11
5.0E-7	3.60	1.46	0.763	0.999	1.84	1.28
1.0E-6	3.74	1.64	0.802	1.04	1.95	1.41
2.0E-6	3.81	1.76	0.824	1.05	2.02	1.52
5.0E-6	3.88	1.88	0.848	1.11	2.08	1.57
1.0E-5	3.85	1.90	0.871	1.14	2.08	1.58
2.0E-5	3.83	1.95	0.898	1.14	2.05	1.59
5.0E-5	3.80	1.99	0.904	1.11	2.05	1.53
1.0E-4	3.68	1.97	0.894	1.13	2.04	1.50
2.0E-4	3.48	1.98	0.885	1.11	1.98	1.49
5.0E-4	3.17	1.97	0.876	1.06	1.85	1.46
0.001	3.17	1.99	0.876	1.09	1.79	1.42
0.002	3.23	1.96	0.859	1.10	1.77	1.38
0.005	3.11	1.96	0.820	1.13	1.76	1.32
0.01	3.08	2.04	0.806	1.19	1.78	1.31
0.02	3.27	2.04	0.847	1.17	1.84	1.34
0.03	3.49	2.05	0.865	1.13	1.93	1.39
0.05	4.03	2.08	0.872	1.09	2.13	1.51
0.07	4.63	2.11	0.874	1.10	2.33	1.65
0.1	5.53	2.15	0.877	1.15	2.63	1.85
0.15	7.01	2.20	0.903	1.29	3.15	2.19
0.2	8.42	2.30	0.949	1.43	3.67	2.54
0.3	11.0	2.57	1.06	1.73	4.70	3.24
0.5	15.7	3.18	1.31	2.31	6.67	4.60
0.7	19.6	3.89	1.59	2.85	8.54	5.91
0.9	23.1	4.70	1.91	3.41	10.3	7.19
1.0	24.6	5.18	2.08	3.71	11.2	7.82
1.2	27.4	6.28	2.46	4.35	12.8	9.06
1.5	30.8	8.17	3.10	5.38	15.1	10.8
2.0	35.5	11.4	4.30	7.18	18.5	13.6
3.0	43.0	17.5	6.96	10.8	24.3	18.6

表 D.14 女性, 单能中子照射每单位注量对应甲状腺的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	48.7	22.8	9.67	14.2	29.2	22.9
5.0	53.2	27.3	12.3	17.4	33.4	26.8
6.0	56.9	31.1	14.8	20.3	37.0	30.2
7.0	60.1	34.6	17.2	22.9	40.2	33.2
8.0	63.1	37.6	19.3	25.3	43.0	36.0
9.0	65.9	40.4	21.3	27.5	45.5	38.5
10.0	68.4	43.0	23.2	29.5	47.8	40.8
12.0	72.6	47.6	26.5	33.0	51.7	44.8
14.0	75.7	51.3	29.4	36.0	54.8	48.3
15.0	76.8	52.9	30.8	37.4	56.2	49.8
16.0	77.8	54.4	32.1	38.6	57.4	51.2
18.0	79.3	56.9	34.5	40.8	59.5	53.7
20.0	80.3	59.0	36.8	42.7	61.3	55.8
21.0	80.7	59.9	37.8	43.6	62.0	56.8
30.0	82.3	66.6	45.8	50.1	66.6	63.2
50.0	81.6	73.8	58.2	60.7	70.6	71.1
75.0	78.1	81.3	69.2	70.7	73.8	76.8
100	73.4	89.1	77.6	77.8	77.3	81.3
130	69.5	97.1	85.6	84.3	82.0	86.3
150	68.4	100	90.3	87.8	85.2	89.7
180	68.7	103	96.4	92.6	90.0	94.8
200	69.6	104	100	95.6	93.2	98.3
300	79.1	113	117	110	109	115
400	93.2	128	132	125	124	132
500	109	148	147	140	138	147
600	124	168	160	155	151	160
700	136	186	172	167	162	172
800	144	200	182	177	172	181
900	151	210	191	185	181	190
1000	156	218	198	193	188	197
2000	182	260	239	238	236	245
5000	205	345	324	330	300	333
10000	282	434	445	418	366	445

表 D.15 女性, 单能中子照射每单位注量对应膀胱壁的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.64	0.584	0.211	0.207	0.659	0.481
1.0E-8	1.91	0.635	0.216	0.221	0.813	0.615
2.5E-8	2.22	0.734	0.254	0.255	0.932	0.698
1.0E-7	2.96	0.956	0.314	0.318	1.23	0.899
2.0E-7	3.41	1.11	0.362	0.361	1.38	1.01
5.0E-7	3.79	1.28	0.411	0.418	1.56	1.16
1.0E-6	4.08	1.39	0.480	0.468	1.68	1.26
2.0E-6	4.20	1.48	0.520	0.508	1.77	1.33
5.0E-6	4.35	1.59	0.520	0.535	1.86	1.40
1.0E-5	4.37	1.64	0.499	0.539	1.89	1.43
2.0E-5	4.48	1.64	0.538	0.540	1.91	1.45
5.0E-5	4.37	1.62	0.545	0.533	1.92	1.42
1.0E-4	4.45	1.64	0.524	0.531	1.91	1.40
2.0E-4	4.43	1.67	0.545	0.542	1.87	1.38
5.0E-4	4.04	1.67	0.564	0.551	1.83	1.35
0.001	4.17	1.67	0.550	0.550	1.83	1.34
0.002	4.19	1.66	0.543	0.542	1.83	1.33
0.005	4.10	1.68	0.543	0.544	1.80	1.30
0.01	4.03	1.69	0.498	0.542	1.79	1.29
0.02	4.25	1.73	0.557	0.558	1.82	1.34
0.03	4.31	1.77	0.563	0.569	1.87	1.39
0.05	4.63	1.84	0.547	0.584	1.99	1.49
0.07	5.10	1.90	0.598	0.605	2.11	1.58
0.1	5.48	1.98	0.668	0.630	2.31	1.71
0.15	6.43	2.08	0.717	0.659	2.62	1.94
0.2	7.49	2.17	0.733	0.685	2.93	2.18
0.3	9.00	2.32	0.784	0.745	3.54	2.65
0.5	12.4	2.67	0.956	0.926	4.72	3.57
0.7	15.5	3.10	1.16	1.17	5.87	4.49
0.9	18.1	3.61	1.39	1.46	7.01	5.42
1.0	19.6	3.91	1.53	1.63	7.58	5.89
1.2	23.0	4.57	1.92	2.02	8.71	6.82
1.5	25.8	5.70	2.70	2.72	10.4	8.20
2.0	29.9	7.81	4.25	4.09	13.0	10.4
3.0	37.6	12.3	7.51	7.27	17.9	14.6

表 D.15 女性, 单能中子照射每单位注量对应膀胱壁的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	44.4	16.8	10.6	10.6	22.4	18.4
5.0	49.4	21.1	14.1	14.0	26.4	22.0
6.0	53.2	25.0	17.5	17.2	30.1	25.2
7.0	55.8	28.6	20.6	20.1	33.3	28.1
8.0	58.3	31.9	23.1	22.9	36.3	30.8
9.0	61.4	34.9	25.4	25.4	38.9	33.2
10.0	64.7	37.7	27.6	27.7	41.4	35.4
12.0	70.5	42.6	31.5	31.9	45.6	39.4
14.0	73.8	46.8	35.2	35.5	49.1	42.7
15.0	74.8	48.7	37.0	37.2	50.7	44.2
16.0	75.5	50.4	38.6	38.8	52.1	45.6
18.0	76.4	53.5	41.8	41.7	54.5	48.2
20.0	76.8	56.2	44.7	44.3	56.6	50.4
21.0	76.7	57.4	46.1	45.6	57.6	51.4
30.0	79.6	65.4	55.9	54.3	63.8	58.4
50.0	80.7	75.5	67.3	66.7	71.2	68.0
75.0	84.8	84.5	77.5	77.6	77.6	76.6
100	84.0	92.6	86.6	86.9	83.9	84.0
130	77.4	102	96.4	96.5	91.2	92.3
150	77.4	107	103	102	95.9	97.6
180	74.6	116	111	109	103	105
200	73.4	121	115	114	107	110
300	83.5	146	130	133	128	132
400	99.9	170	151	152	148	153
500	116	194	177	171	167	172
600	147	215	205	188	185	190
700	171	233	225	203	200	206
800	176	248	237	217	214	220
900	169	259	244	229	225	232
1000	165	269	249	239	236	243
2000	220	326	300	309	300	316
5000	243	428	420	426	394	444
10000	349	557	562	538	498	596

表 D.16 女性, 单能中子照射每单位注量对应脑的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	0.518	0.629	0.663	0.708	0.605	0.526
1.0E-8	0.574	0.698	0.789	0.835	0.736	0.639
2.5E-8	0.646	0.810	0.918	0.965	0.847	0.730
1.0E-7	0.847	1.07	1.23	1.29	1.11	0.964
2.0E-7	0.963	1.21	1.42	1.49	1.27	1.09
5.0E-7	1.10	1.40	1.66	1.73	1.48	1.27
1.0E-6	1.17	1.51	1.81	1.88	1.61	1.38
2.0E-6	1.24	1.59	1.90	1.98	1.70	1.46
5.0E-6	1.29	1.66	1.97	2.06	1.78	1.52
1.0E-5	1.32	1.69	2.00	2.08	1.80	1.54
2.0E-5	1.32	1.69	2.01	2.09	1.81	1.55
5.0E-5	1.34	1.70	2.01	2.09	1.80	1.55
1.0E-4	1.35	1.70	2.00	2.07	1.79	1.54
2.0E-4	1.32	1.67	1.98	2.05	1.78	1.53
5.0E-4	1.31	1.66	1.96	2.02	1.76	1.52
0.001	1.29	1.63	1.93	1.99	1.74	1.50
0.002	1.28	1.61	1.91	1.97	1.72	1.48
0.005	1.26	1.60	1.87	1.95	1.71	1.46
0.01	1.27	1.60	1.86	1.97	1.71	1.46
0.02	1.28	1.61	1.89	1.98	1.72	1.47
0.03	1.31	1.64	1.94	2.01	1.75	1.49
0.05	1.37	1.70	2.05	2.11	1.83	1.57
0.07	1.44	1.78	2.16	2.24	1.94	1.66
0.1	1.55	1.93	2.35	2.46	2.11	1.82
0.15	1.75	2.20	2.71	2.85	2.43	2.10
0.2	1.97	2.49	3.11	3.25	2.78	2.41
0.3	2.46	3.14	3.96	4.12	3.50	3.06
0.5	3.55	4.54	5.73	5.96	5.02	4.42
0.7	4.68	5.94	7.46	7.72	6.57	5.82
0.9	5.85	7.36	9.16	9.45	8.12	7.23
1.0	6.46	8.08	10.0	10.3	8.90	7.94
1.2	7.75	9.58	11.8	12.1	10.5	9.37
1.5	9.76	11.8	14.4	14.8	12.8	11.5
2.0	13.0	15.4	18.5	19.0	16.5	14.9
3.0	18.9	21.6	25.3	25.8	23.0	20.8

表 D.16 女性, 单能中子照射每单位注量对应脑的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	23.8	26.8	30.9	31.3	28.4	25.8
5.0	28.0	31.1	35.4	35.7	33.0	30.0
6.0	31.7	34.8	39.2	39.5	36.9	33.7
7.0	34.9	38.1	42.5	42.8	40.2	36.8
8.0	37.7	40.9	45.4	45.7	43.2	39.6
9.0	40.3	43.5	48.0	48.3	45.8	42.1
10.0	42.6	45.9	50.4	50.7	48.2	44.3
12.0	46.7	49.9	54.6	55.0	52.2	48.1
14.0	50.0	53.2	58.1	58.4	55.4	51.1
15.0	51.5	54.7	59.5	59.9	56.8	52.5
16.0	52.9	55.9	60.8	61.1	58.0	53.6
18.0	55.3	58.2	63.1	63.3	60.1	55.7
20.0	57.3	60.0	64.9	65.0	61.8	57.5
21.0	58.2	60.8	65.6	65.7	62.6	58.2
30.0	64.4	66.3	70.5	70.2	67.4	63.5
50.0	72.4	73.8	76.4	76.1	73.0	70.6
75.0	79.5	80.6	81.8	81.6	77.9	76.7
100	85.0	85.4	85.7	85.5	82.2	81.9
130	90.2	89.0	88.6	88.4	86.7	87.2
150	92.9	90.6	90.2	89.7	89.5	90.4
180	96.2	92.7	92.3	91.5	93.4	95.0
200	98.3	93.9	93.8	92.7	96.0	98.1
300	109	103	104	102	109	113
400	124	116	119	116	123	128
500	140	131	134	132	137	143
600	155	146	150	148	149	156
700	169	159	163	162	160	168
800	181	169	174	173	170	178
900	190	177	183	182	178	187
1000	198	184	190	188	185	194
2000	242	219	228	224	227	241
5000	302	274	291	281	281	316
10000	406	362	382	377	333	399

表 D.17 男性，单能中子照射每单位注量对应乳腺的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.75	0.318	0.530	0.488	0.819	0.503
1.0E-8	1.98	0.330	0.570	0.521	0.868	0.685
2.5E-8	2.12	0.368	0.630	0.567	0.956	0.741
1.0E-7	2.57	0.478	0.713	0.701	1.11	0.848
2.0E-7	2.68	0.542	0.784	0.746	1.19	0.938
5.0E-7	2.74	0.633	0.874	0.795	1.30	1.04
1.0E-6	2.80	0.692	0.902	0.845	1.35	1.10
2.0E-6	2.84	0.738	0.912	0.855	1.37	1.13
5.0E-6	2.84	0.771	0.911	0.871	1.35	1.12
1.0E-5	2.85	0.793	0.887	0.875	1.33	1.11
2.0E-5	2.69	0.796	0.873	0.865	1.32	1.08
5.0E-5	2.61	0.814	0.840	0.818	1.30	1.02
1.0E-4	2.58	0.827	0.824	0.776	1.28	0.991
2.0E-4	2.56	0.811	0.810	0.773	1.26	0.964
5.0E-4	2.53	0.808	0.797	0.782	1.22	0.936
0.001	2.44	0.809	0.784	0.761	1.19	0.927
0.002	2.44	0.803	0.785	0.744	1.19	0.940
0.005	2.58	0.782	0.785	0.745	1.27	0.994
0.01	3.00	0.774	0.844	0.819	1.41	1.10
0.02	3.57	0.793	1.08	1.06	1.65	1.34
0.03	4.16	0.814	1.33	1.29	1.90	1.58
0.05	5.36	0.840	1.79	1.70	2.40	2.03
0.07	6.49	0.863	2.23	2.10	2.87	2.45
0.1	8.05	0.893	2.82	2.65	3.53	3.05
0.15	10.3	0.932	3.69	3.54	4.55	3.96
0.2	12.2	0.960	4.48	4.36	5.47	4.79
0.3	15.5	1.01	5.89	5.79	7.09	6.28
0.5	20.6	1.18	8.30	8.20	9.76	8.82
0.7	24.7	1.42	10.4	10.2	12.0	11.0
0.9	28.2	1.74	12.2	11.9	13.9	12.9
1.0	29.6	1.94	13.0	12.7	14.8	13.7
1.2	32.2	2.39	14.5	14.1	16.5	15.4
1.5	35.3	3.21	16.5	16.0	18.7	17.6
2.0	39.8	4.85	19.3	18.7	22.0	20.8
3.0	47.4	8.74	24.0	23.1	27.5	26.2

表 D.17 男性, 单能中子照射每单位注量对应乳腺的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	53.0	12.9	27.7	26.8	32.0	30.5
5.0	56.9	17.0	30.9	30.0	35.8	34.2
6.0	60.1	20.9	33.8	32.8	39.1	37.4
7.0	63.0	24.5	36.4	35.3	42.2	40.2
8.0	65.8	27.9	38.7	37.6	44.9	42.6
9.0	68.5	30.9	41.0	39.7	47.5	44.9
10.0	71.0	33.8	43.0	41.8	49.8	46.9
12.0	75.5	38.9	46.7	45.5	53.9	50.3
14.0	78.7	43.4	49.9	48.7	57.2	53.0
15.0	79.9	45.5	51.2	50.2	58.6	54.1
16.0	80.8	47.4	52.5	51.5	59.9	55.1
18.0	81.9	50.9	54.7	54.0	61.9	56.8
20.0	82.2	54.1	56.6	56.0	63.6	58.1
21.0	82.2	55.5	57.4	56.9	64.3	58.7
30.0	80.1	65.4	63.0	62.4	67.8	61.9
50.0	74.3	78.2	68.7	67.0	68.8	64.0
75.0	65.3	88.6	71.2	68.3	68.4	65.5
100	54.9	97.5	72.1	67.7	69.2	67.8
130	45.8	107	73.2	67.0	71.1	71.3
150	42.5	113	74.4	67.4	72.9	74.0
180	40.7	120	76.9	69.3	76.1	78.3
200	40.8	125	79.0	71.2	78.5	81.3
300	47.8	145	91.5	85.2	92.1	96.4
400	56.5	164	106	102	106	111
500	65.5	182	119	119	120	123
600	73.5	198	132	136	133	135
700	79.4	213	143	149	144	145
800	84.0	225	152	160	154	155
900	87.6	235	160	168	162	163
1000	90.7	244	167	173	170	170
2000	109	305	211	202	217	224
5000	129	416	284	274	291	304
10000	190	520	347	369	377	381

表 D. 18 男性，单能中子照射每单位注量对应结肠的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.20	0.633	0.528	0.394	0.673	0.497
1.0E-8	1.39	0.754	0.612	0.458	0.806	0.610
2.5E-8	1.57	0.858	0.713	0.524	0.925	0.699
1.0E-7	2.10	1.14	0.944	0.690	1.23	0.911
2.0E-7	2.41	1.28	1.08	0.803	1.40	1.04
5.0E-7	2.77	1.51	1.25	0.948	1.62	1.20
1.0E-6	2.97	1.66	1.36	1.04	1.77	1.30
2.0E-6	3.13	1.77	1.43	1.10	1.89	1.37
5.0E-6	3.30	1.85	1.51	1.16	1.98	1.44
1.0E-5	3.38	1.90	1.53	1.19	2.02	1.47
2.0E-5	3.38	1.93	1.53	1.20	2.05	1.49
5.0E-5	3.40	1.99	1.51	1.20	2.05	1.50
1.0E-4	3.43	2.00	1.49	1.21	2.04	1.51
2.0E-4	3.41	1.97	1.49	1.21	2.04	1.51
5.0E-4	3.39	1.99	1.48	1.20	2.02	1.49
0.001	3.36	2.00	1.46	1.20	2.02	1.48
0.002	3.34	2.00	1.44	1.19	2.00	1.48
0.005	3.31	2.00	1.42	1.18	1.99	1.48
0.01	3.32	2.02	1.40	1.17	1.99	1.49
0.02	3.35	2.06	1.40	1.18	2.01	1.50
0.03	3.39	2.10	1.42	1.19	2.04	1.51
0.05	3.51	2.16	1.50	1.24	2.12	1.56
0.07	3.64	2.21	1.59	1.28	2.21	1.61
0.1	3.85	2.30	1.74	1.35	2.34	1.70
0.15	4.25	2.44	2.02	1.50	2.58	1.87
0.2	4.69	2.58	2.31	1.67	2.82	2.04
0.3	5.64	2.89	2.92	2.04	3.35	2.41
0.5	7.63	3.55	4.15	2.84	4.44	3.19
0.7	9.58	4.28	5.36	3.67	5.56	4.02
0.9	11.5	5.10	6.54	4.53	6.69	4.87
1.0	12.4	5.55	7.12	4.98	7.27	5.30
1.2	14.4	6.52	8.28	5.89	8.44	6.20
1.5	17.2	8.09	9.97	7.29	10.2	7.57
2.0	21.6	10.9	12.6	9.59	13.1	9.85
3.0	29.1	16.3	17.4	13.9	18.5	14.2

表 D.18 男性, 单能中子照射每单位注量对应结肠的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	35.1	21.4	21.6	17.8	23.3	18.1
5.0	40.0	26.0	25.2	21.3	27.5	21.6
6.0	44.2	30.1	28.5	24.4	31.3	24.8
7.0	47.8	33.8	31.4	27.3	34.6	27.7
8.0	51.0	37.0	34.1	29.8	37.6	30.3
9.0	53.9	40.0	36.5	32.2	40.3	32.7
10.0	56.5	42.7	38.7	34.4	42.8	34.8
12.0	60.9	47.4	42.7	38.3	47.0	38.7
14.0	64.4	51.4	46.0	41.8	50.6	42.1
15.0	65.8	53.1	47.5	43.3	52.1	43.6
16.0	67.0	54.7	48.9	44.8	53.6	45.0
18.0	69.0	57.5	51.4	47.4	56.1	47.5
20.0	70.5	59.9	53.6	49.8	58.2	49.7
21.0	71.2	61.0	54.6	50.9	59.2	50.8
30.0	75.4	68.1	61.5	58.7	65.6	58.0
50.0	80.5	77.1	70.8	69.6	73.5	67.9
75.0	84.8	85.5	78.9	79.3	80.5	76.9
100	87.7	92.9	85.8	87.5	86.9	84.7
130	90.0	101	93.3	96.3	94.1	93.2
150	91.2	106	97.9	102	98.6	98.6
180	93.2	113	105	109	105	106
200	94.7	118	109	114	109	111
300	106	139	129	135	129	134
400	122	160	150	156	149	155
500	139	181	169	176	168	176
600	157	200	187	195	185	195
700	173	217	203	211	200	211
800	185	231	217	225	214	226
900	196	242	229	236	225	238
1000	204	252	239	247	235	249
2000	249	309	307	311	299	322
5000	309	407	420	422	394	446
10000	401	519	529	537	501	584

表 D.19 男性，单能中子照射每单位注量对应骨内膜的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	0.915	0.824	0.441	0.450	0.679	0.551
1.0E-8	1.04	0.952	0.506	0.517	0.814	0.653
2.5E-8	1.16	1.09	0.578	0.587	0.925	0.737
1.0E-7	1.50	1.44	0.750	0.762	1.20	0.946
2.0E-7	1.67	1.64	0.850	0.863	1.35	1.06
5.0E-7	1.88	1.89	0.970	0.981	1.53	1.20
1.0E-6	1.99	2.04	1.03	1.04	1.64	1.28
2.0E-6	2.09	2.14	1.08	1.09	1.71	1.33
5.0E-6	2.15	2.24	1.11	1.11	1.77	1.37
1.0E-5	2.18	2.28	1.11	1.12	1.79	1.38
2.0E-5	2.17	2.28	1.10	1.11	1.78	1.38
5.0E-5	2.16	2.28	1.09	1.09	1.76	1.37
1.0E-4	2.15	2.26	1.07	1.08	1.74	1.35
2.0E-4	2.11	2.24	1.05	1.06	1.72	1.33
5.0E-4	2.08	2.21	1.03	1.03	1.69	1.31
0.001	2.04	2.18	1.01	1.01	1.67	1.29
0.002	2.01	2.16	0.992	0.996	1.65	1.27
0.005	1.99	2.14	0.974	0.982	1.63	1.26
0.01	2.01	2.15	0.974	0.986	1.64	1.26
0.02	2.05	2.18	1.01	1.02	1.67	1.30
0.03	2.12	2.23	1.06	1.07	1.72	1.34
0.05	2.28	2.34	1.15	1.17	1.85	1.44
0.07	2.45	2.46	1.26	1.28	1.99	1.56
0.1	2.72	2.67	1.44	1.47	2.22	1.74
0.15	3.19	3.04	1.74	1.78	2.61	2.05
0.2	3.68	3.44	2.05	2.10	3.01	2.38
0.3	4.66	4.27	2.67	2.74	3.83	3.04
0.5	6.59	5.99	3.90	3.98	5.47	4.36
0.7	8.37	7.65	5.03	5.13	7.02	5.63
0.9	10.0	9.26	6.12	6.24	8.52	6.87
1.0	10.9	10.1	6.65	6.78	9.26	7.49
1.2	12.5	11.7	7.74	7.88	10.7	8.71
1.5	15.0	14.2	9.34	9.50	12.9	10.5
2.0	18.7	18.1	11.9	12.0	16.2	13.3
3.0	25.0	24.6	16.3	16.5	22.0	18.3

表 D.19 男性, 单能中子照射每单位注量对应骨内膜的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	30.0	29.8	20.0	20.3	26.7	22.4
5.0	34.2	34.0	23.3	23.5	30.7	26.0
6.0	37.6	37.5	26.1	26.4	34.1	29.1
7.0	40.7	40.7	28.7	28.9	37.1	31.9
8.0	43.5	43.5	31.0	31.2	39.8	34.4
9.0	46.0	46.1	33.1	33.4	42.3	36.7
10.0	48.4	48.4	35.1	35.4	44.6	38.8
12.0	52.6	52.6	38.7	39.0	48.6	42.5
14.0	56.0	56.1	41.9	42.1	51.9	45.6
15.0	57.5	57.6	43.3	43.5	53.3	47.0
16.0	58.8	58.9	44.6	44.8	54.5	48.2
18.0	60.9	61.1	46.9	47.2	56.7	50.4
20.0	62.7	62.9	48.9	49.2	58.5	52.3
21.0	63.4	63.7	49.8	50.1	59.2	53.1
30.0	68.1	68.5	56.2	56.4	64.0	58.7
50.0	73.7	74.5	64.8	65.1	69.5	65.7
75.0	78.4	79.9	72.5	72.5	74.6	72.0
100	81.6	83.6	78.3	78.1	79.3	77.6
130	84.3	86.5	83.9	83.3	84.3	83.8
150	85.8	88.0	87.2	86.4	87.3	87.6
180	88.1	90.3	91.7	90.8	91.5	93.0
200	89.8	92.0	94.5	93.6	94.2	96.6
300	101	103	109	108	109	114
400	116	118	125	125	125	131
500	133	135	142	143	141	147
600	149	151	159	159	156	162
700	164	165	174	174	169	176
800	176	176	186	186	180	188
900	185	185	195	196	190	197
1000	193	191	203	204	197	206
2000	234	226	251	252	243	261
5000	286	282	343	343	307	352
10000	383	371	456	445	386	460

表 D. 20 男性，单能中子照射每单位注量对应睾丸的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	2.04	0.579	0.250	0.182	0.823	0.645
1.0E-8	2.32	0.630	0.254	0.180	0.983	0.778
2.5E-8	2.58	0.712	0.295	0.224	1.09	0.849
1.0E-7	3.10	0.943	0.399	0.317	1.34	1.03
2.0E-7	3.41	1.05	0.423	0.346	1.45	1.15
5.0E-7	3.74	1.19	0.452	0.378	1.57	1.30
1.0E-6	3.88	1.31	0.490	0.408	1.67	1.36
2.0E-6	4.03	1.39	0.520	0.441	1.76	1.38
5.0E-6	4.16	1.45	0.514	0.454	1.83	1.37
1.0E-5	4.19	1.49	0.514	0.456	1.85	1.36
2.0E-5	4.07	1.52	0.534	0.448	1.83	1.36
5.0E-5	4.04	1.51	0.545	0.455	1.77	1.38
1.0E-4	3.94	1.50	0.543	0.446	1.74	1.38
2.0E-4	3.87	1.52	0.552	0.439	1.71	1.36
5.0E-4	3.78	1.56	0.553	0.430	1.69	1.32
0.001	3.71	1.54	0.527	0.436	1.68	1.30
0.002	3.67	1.53	0.527	0.436	1.69	1.28
0.005	3.64	1.52	0.516	0.446	1.73	1.30
0.01	3.72	1.52	0.513	0.454	1.77	1.35
0.02	3.88	1.56	0.545	0.445	1.85	1.45
0.03	4.05	1.61	0.554	0.439	1.94	1.53
0.05	4.46	1.67	0.540	0.440	2.13	1.70
0.07	4.95	1.70	0.537	0.447	2.33	1.86
0.1	5.67	1.75	0.548	0.459	2.63	2.12
0.15	6.78	1.83	0.599	0.483	3.12	2.55
0.2	7.84	1.92	0.654	0.510	3.59	2.97
0.3	9.93	2.10	0.745	0.566	4.46	3.75
0.5	13.8	2.54	0.932	0.698	6.04	5.17
0.7	17.1	3.08	1.14	0.853	7.48	6.47
0.9	19.9	3.72	1.39	1.05	8.84	7.68
1.0	21.2	4.08	1.54	1.17	9.49	8.26
1.2	23.7	4.89	1.93	1.45	10.8	9.41
1.5	27.0	6.27	2.66	1.99	12.6	11.0
2.0	31.7	8.77	4.15	3.12	15.4	13.6
3.0	39.3	14.0	7.46	5.91	20.6	18.0

表 D.20 男性, 单能中子照射每单位注量对应睾丸的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	45.3	19.0	10.8	9.02	25.1	22.0
5.0	49.9	23.6	14.2	12.2	29.1	25.5
6.0	53.6	27.8	17.5	15.3	32.6	28.7
7.0	56.8	31.5	20.5	18.2	35.8	31.5
8.0	59.7	34.8	23.2	20.8	38.7	34.1
9.0	62.3	37.9	25.6	23.3	41.2	36.5
10.0	64.7	40.8	27.9	25.5	43.5	38.7
12.0	68.7	45.8	31.9	29.6	47.5	42.4
14.0	71.5	50.2	35.5	33.1	50.8	45.6
15.0	72.6	52.1	37.1	34.8	52.2	47.0
16.0	73.4	53.8	38.7	36.3	53.4	48.2
18.0	74.7	56.9	41.5	39.1	55.6	50.4
20.0	75.6	59.6	44.0	41.7	57.4	52.3
21.0	76.0	60.8	45.2	42.8	58.2	53.1
30.0	78.0	68.6	53.0	51.0	63.2	58.7
50.0	78.5	78.7	62.9	61.6	68.8	66.0
75.0	76.1	88.5	72.0	71.1	74.1	73.8
100	71.4	97.9	79.7	79.2	79.7	80.6
130	65.8	108	87.7	88.0	86.4	87.9
150	63.2	114	92.6	93.4	90.6	92.3
180	61.1	121	98.7	101	96.5	98.5
200	60.6	125	102	105	100	102
300	65.3	141	117	124	118	121
400	75.2	160	135	142	135	140
500	87.4	181	154	159	150	159
600	100	201	173	176	164	177
700	111	218	190	192	176	193
800	121	232	203	205	187	207
900	129	243	213	216	197	218
1000	136	252	220	226	205	228
2000	173	309	276	280	265	288
5000	204	417	422	388	353	385
10000	263	548	502	496	436	534

表 D. 21 男性, 单能中子照射每单位注量对应肝脏的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.05	0.695	0.168	0.610	0.618	0.479
1.0E-8	1.25	0.823	0.177	0.725	0.768	0.583
2.5E-8	1.42	0.949	0.200	0.839	0.885	0.664
1.0E-7	1.89	1.26	0.254	1.13	1.16	0.872
2.0E-7	2.14	1.45	0.288	1.30	1.33	0.985
5.0E-7	2.49	1.70	0.334	1.52	1.55	1.15
1.0E-6	2.69	1.85	0.363	1.66	1.69	1.25
2.0E-6	2.86	1.97	0.386	1.77	1.79	1.33
5.0E-6	3.02	2.09	0.404	1.86	1.89	1.40
1.0E-5	3.10	2.15	0.412	1.90	1.94	1.44
2.0E-5	3.13	2.18	0.419	1.91	1.95	1.46
5.0E-5	3.17	2.21	0.426	1.92	1.97	1.47
1.0E-4	3.19	2.22	0.427	1.92	1.98	1.48
2.0E-4	3.18	2.24	0.428	1.91	1.98	1.48
5.0E-4	3.20	2.25	0.430	1.90	1.99	1.49
0.001	3.17	2.25	0.428	1.88	1.99	1.50
0.002	3.15	2.24	0.426	1.87	1.99	1.49
0.005	3.16	2.25	0.427	1.85	1.99	1.49
0.01	3.19	2.27	0.432	1.85	2.00	1.49
0.02	3.22	2.30	0.443	1.88	2.02	1.51
0.03	3.26	2.34	0.450	1.91	2.05	1.53
0.05	3.35	2.41	0.460	1.99	2.11	1.57
0.07	3.45	2.48	0.471	2.07	2.17	1.62
0.1	3.62	2.58	0.487	2.22	2.28	1.69
0.15	3.91	2.76	0.516	2.48	2.46	1.83
0.2	4.22	2.95	0.544	2.77	2.66	1.97
0.3	4.89	3.33	0.600	3.39	3.09	2.27
0.5	6.30	4.16	0.720	4.67	3.99	2.91
0.7	7.72	5.06	0.864	5.96	4.92	3.59
0.9	9.14	6.01	1.04	7.27	5.89	4.31
1.0	9.87	6.52	1.15	7.95	6.39	4.69
1.2	11.4	7.60	1.39	9.35	7.44	5.50
1.5	13.8	9.30	1.84	11.5	9.07	6.77
2.0	17.5	12.2	2.74	15.0	11.8	8.95
3.0	24.2	17.7	4.91	21.2	16.9	13.1

表 D.21 男性，单能中子照射每单位注量对应肝脏的器官剂量转换系数（续）

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
3.0	24.2	17.7	4.91	21.2	16.9	13.1
4.0	29.7	22.8	7.31	26.5	21.4	17.0
5.0	34.3	27.2	9.81	31.0	25.5	20.5
6.0	38.3	31.2	12.3	34.8	29.1	23.7
7.0	41.7	34.7	14.7	38.2	32.4	26.6
8.0	44.8	37.8	16.9	41.2	35.3	29.2
9.0	47.5	40.7	19.0	44.0	37.9	31.5
10.0	50.0	43.3	20.9	46.5	40.3	33.7
12.0	54.4	47.8	24.6	50.9	44.5	37.7
14.0	57.9	51.6	27.9	54.5	48.0	41.1
15.0	59.4	53.3	29.5	56.1	49.6	42.6
16.0	60.8	54.8	31.0	57.5	51.0	44.0
18.0	63.0	57.5	33.9	60.0	53.5	46.6
20.0	64.9	59.8	36.6	62.1	55.6	48.9
21.0	65.7	60.8	37.8	63.0	56.6	49.9
30.0	71.0	67.7	47.3	68.9	63.2	57.1
50.0	77.5	76.5	61.3	76.1	71.9	66.8
75.0	83.3	84.5	73.8	82.7	80.0	75.8
100	88.1	91.6	84.5	88.5	87.5	84.1
130	92.6	99.4	96.1	94.3	95.7	93.2
150	95.2	104	103	97.8	101	98.9
180	98.6	111	113	102	108	107
200	101	115	119	105	112	111
300	114	136	146	121	133	133
400	131	157	171	139	153	155
500	150	178	194	158	172	176
600	169	197	216	176	190	196
700	186	213	235	192	206	214
800	200	227	251	205	220	229
900	211	239	265	216	232	243
1000	221	249	276	225	242	254
2000	272	310	354	275	307	330
5000	338	410	504	362	410	451
10000	442	514	649	459	528	597

表 D.22 男性, 单能中子照射每单位注量对应肺的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	0.976	0.811	0.325	0.315	0.611	0.482
1.0E-8	1.13	0.984	0.359	0.352	0.743	0.587
2.5E-8	1.29	1.14	0.410	0.395	0.853	0.665
1.0E-7	1.74	1.55	0.528	0.502	1.13	0.877
2.0E-7	1.98	1.77	0.600	0.571	1.28	0.999
5.0E-7	2.29	2.09	0.691	0.662	1.49	1.17
1.0E-6	2.47	2.28	0.746	0.721	1.62	1.27
2.0E-6	2.61	2.43	0.791	0.763	1.72	1.34
5.0E-6	2.75	2.56	0.830	0.801	1.81	1.42
1.0E-5	2.83	2.64	0.843	0.819	1.86	1.45
2.0E-5	2.85	2.67	0.855	0.831	1.88	1.47
5.0E-5	2.85	2.73	0.862	0.841	1.90	1.48
1.0E-4	2.86	2.74	0.867	0.842	1.91	1.48
2.0E-4	2.84	2.72	0.867	0.841	1.91	1.48
5.0E-4	2.84	2.72	0.867	0.841	1.91	1.48
0.001	2.82	2.72	0.861	0.839	1.90	1.48
0.002	2.78	2.72	0.856	0.834	1.89	1.47
0.005	2.78	2.71	0.851	0.836	1.88	1.47
0.01	2.79	2.73	0.848	0.842	1.88	1.47
0.02	2.82	2.75	0.865	0.840	1.90	1.49
0.03	2.87	2.79	0.882	0.844	1.93	1.51
0.05	2.97	2.87	0.907	0.862	1.99	1.56
0.07	3.09	2.95	0.928	0.884	2.05	1.60
0.1	3.29	3.08	0.965	0.923	2.16	1.69
0.15	3.68	3.33	1.04	0.997	2.36	1.84
0.2	4.10	3.61	1.12	1.08	2.58	2.01
0.3	5.02	4.23	1.30	1.26	3.07	2.38
0.5	6.95	5.62	1.69	1.65	4.12	3.20
0.7	8.82	7.07	2.12	2.10	5.24	4.08
0.9	10.6	8.57	2.59	2.60	6.40	5.02
1.0	11.6	9.36	2.85	2.87	7.00	5.51
1.2	13.4	11.0	3.42	3.46	8.24	6.53
1.5	16.2	13.5	4.38	4.43	10.1	8.11
2.0	20.6	17.5	6.10	6.15	13.3	10.7
3.0	27.8	24.6	9.56	9.63	18.9	15.7

表 D.22 男性，单能中子照射每单位注量对应肺的器官剂量转换系数（续）

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	33.7	30.4	12.9	12.9	23.9	20.0
5.0	38.5	35.3	16.0	16.1	28.2	23.9
6.0	42.5	39.4	18.9	18.9	31.9	27.3
7.0	45.9	43.0	21.6	21.5	35.2	30.3
8.0	49.0	46.1	24.0	23.9	38.2	33.0
9.0	51.9	48.9	26.2	26.0	40.8	35.5
10.0	54.4	51.4	28.2	28.0	43.2	37.7
12.0	58.8	55.7	31.8	31.6	47.3	41.6
14.0	62.3	59.2	35.1	34.8	50.7	45.0
15.0	63.7	60.7	36.6	36.3	52.2	46.4
16.0	65.0	62.0	38.0	37.6	53.6	47.8
18.0	67.1	64.2	40.6	40.2	56.0	50.2
20.0	68.7	66.0	42.9	42.5	58.0	52.2
21.0	69.4	66.8	44.0	43.5	58.9	53.2
30.0	73.8	71.8	51.8	51.3	64.8	59.6
50.0	79.1	77.8	63.2	62.7	72.3	68.1
75.0	83.5	83.5	73.9	73.1	79.3	76.2
100	86.7	88.2	83.0	81.7	85.6	83.4
130	89.2	92.8	92.2	90.5	92.5	91.0
150	90.5	95.6	97.5	95.6	96.6	95.7
180	92.4	99.4	104	102	102	102
200	93.9	102	108	107	106	106
300	105	116	124	125	123	126
400	121	133	142	144	140	144
500	139	151	162	163	157	163
600	157	167	180	181	173	180
700	173	181	197	197	187	195
800	186	193	211	210	199	208
900	196	202	221	222	209	219
1000	205	210	230	231	218	229
2000	250	254	284	296	274	294
5000	307	325	404	414	360	395
10000	400	410	538	524	452	514

表 D. 23 男性, 单能中子照射每单位注量对应食管器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	0.984	0.777	0.362	0.299	0.593	0.451
1.0E-8	1.15	0.906	0.416	0.354	0.734	0.558
2.5E-8	1.30	1.06	0.464	0.393	0.854	0.640
1.0E-7	1.77	1.44	0.591	0.488	1.10	0.851
2.0E-7	2.02	1.66	0.676	0.560	1.26	0.967
5.0E-7	2.32	1.96	0.791	0.661	1.50	1.11
1.0E-6	2.50	2.18	0.860	0.721	1.64	1.22
2.0E-6	2.67	2.34	0.911	0.763	1.74	1.32
5.0E-6	2.82	2.49	0.947	0.811	1.82	1.46
1.0E-5	2.89	2.56	0.957	0.835	1.87	1.49
2.0E-5	2.90	2.63	0.966	0.846	1.92	1.46
5.0E-5	2.95	2.71	0.973	0.864	1.96	1.46
1.0E-4	2.97	2.74	0.980	0.887	1.98	1.49
2.0E-4	2.96	2.76	0.989	0.887	1.98	1.52
5.0E-4	2.96	2.78	1.00	0.873	1.98	1.53
0.001	2.96	2.77	1.01	0.861	1.96	1.53
0.002	2.97	2.77	0.999	0.866	1.94	1.52
0.005	2.96	2.79	0.986	0.884	1.94	1.52
0.01	2.91	2.84	0.990	0.893	1.97	1.53
0.02	2.92	2.89	1.02	0.883	2.02	1.54
0.03	2.99	2.93	1.05	0.879	2.05	1.56
0.05	3.14	3.01	1.08	0.890	2.11	1.61
0.07	3.26	3.06	1.11	0.914	2.17	1.66
0.1	3.44	3.14	1.15	0.959	2.27	1.74
0.15	3.78	3.30	1.24	1.04	2.46	1.85
0.2	4.16	3.48	1.33	1.13	2.66	1.96
0.3	4.96	3.88	1.54	1.31	3.07	2.23
0.5	6.56	4.81	2.02	1.70	3.97	2.84
0.7	8.10	5.88	2.53	2.13	4.92	3.51
0.9	9.64	7.05	3.09	2.61	5.93	4.25
1.0	10.4	7.68	3.39	2.87	6.46	4.64
1.2	12.0	9.01	4.03	3.42	7.57	5.48
1.5	14.5	11.1	5.07	4.33	9.30	6.81
2.0	18.4	14.7	6.91	5.97	12.2	9.09
3.0	25.4	21.3	10.7	9.40	17.8	13.6

表 D. 23 男性, 单能中子照射每单位注量对应食管器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	31.3	27.1	14.3	12.8	22.9	17.7
5.0	36.2	32.1	17.8	16.0	27.4	21.5
6.0	40.4	36.4	21.0	19.0	31.4	24.8
7.0	44.0	40.1	23.9	21.7	34.9	27.9
8.0	47.3	43.4	26.5	24.2	38.0	30.6
9.0	50.2	46.3	29.0	26.5	40.7	33.0
10.0	52.8	48.9	31.3	28.7	43.2	35.2
12.0	57.4	53.4	35.4	32.5	47.5	39.1
14.0	61.1	57.1	39.0	35.9	51.0	42.4
15.0	62.7	58.6	40.6	37.4	52.5	43.9
16.0	64.1	60.0	42.2	38.8	53.9	45.2
18.0	66.5	62.4	45.0	41.5	56.4	47.7
20.0	68.5	64.4	47.6	43.9	58.4	49.9
21.0	69.4	65.3	48.8	45.0	59.3	50.9
30.0	74.6	70.9	57.3	53.0	65.6	58.6
50.0	80.6	77.8	68.7	65.0	73.8	69.9
75.0	86.2	84.2	77.9	75.4	81.6	78.9
100	91.0	89.7	85.2	83.7	88.9	85.6
130	95.9	95.6	92.8	92.5	96.9	92.7
150	98.8	99.3	97.6	97.8	102	97.2
180	103	105	105	105	109	104
200	106	108	109	110	113	108
300	121	126	131	130	133	130
400	140	144	152	150	153	153
500	159	163	172	170	171	175
600	177	180	191	189	188	195
700	193	195	208	206	203	213
800	207	208	222	220	216	228
900	218	219	234	233	227	241
1000	227	229	244	245	236	251
2000	282	290	311	323	295	322
5000	353	379	435	444	393	448
10000	440	462	545	550	501	597

表 D.24 男性，单能中子照射每单位注量对应红骨髓的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	0.856	0.940	0.356	0.361	0.630	0.500
1.0E-8	0.991	1.13	0.407	0.411	0.771	0.602
2.5E-8	1.12	1.31	0.462	0.465	0.885	0.685
1.0E-7	1.48	1.78	0.598	0.601	1.17	0.893
2.0E-7	1.67	2.04	0.679	0.685	1.32	1.01
5.0E-7	1.91	2.39	0.781	0.790	1.53	1.17
1.0E-6	2.06	2.61	0.843	0.852	1.66	1.26
2.0E-6	2.17	2.77	0.890	0.897	1.75	1.33
5.0E-6	2.28	2.93	0.928	0.932	1.84	1.39
1.0E-5	2.33	3.00	0.944	0.947	1.89	1.42
2.0E-5	2.34	3.02	0.949	0.953	1.90	1.44
5.0E-5	2.37	3.05	0.947	0.956	1.91	1.44
1.0E-4	2.37	3.06	0.943	0.953	1.91	1.44
2.0E-4	2.36	3.05	0.938	0.947	1.90	1.44
5.0E-4	2.35	3.04	0.931	0.939	1.90	1.43
0.001	2.34	3.02	0.923	0.930	1.89	1.43
0.002	2.32	3.01	0.917	0.923	1.88	1.42
0.005	2.32	3.00	0.909	0.918	1.88	1.42
0.01	2.35	3.01	0.912	0.924	1.89	1.42
0.02	2.39	3.05	0.934	0.944	1.92	1.45
0.03	2.45	3.10	0.961	0.970	1.95	1.48
0.05	2.57	3.20	1.01	1.02	2.03	1.54
0.07	2.69	3.32	1.07	1.08	2.12	1.61
0.1	2.88	3.50	1.15	1.17	2.26	1.72
0.15	3.19	3.84	1.30	1.33	2.50	1.90
0.2	3.51	4.19	1.45	1.48	2.75	2.09
0.3	4.16	4.94	1.75	1.79	3.25	2.48
0.5	5.44	6.52	2.35	2.40	4.29	3.28
0.7	6.67	8.08	2.95	3.02	5.35	4.09
0.9	7.89	9.65	3.57	3.65	6.41	4.91
1.0	8.52	10.4	3.89	3.98	6.96	5.34
1.2	9.83	12.1	4.54	4.65	8.10	6.22
1.5	11.8	14.6	5.57	5.71	9.83	7.57
2.0	15.1	18.5	7.31	7.50	12.7	9.80
3.0	20.9	25.2	10.7	11.0	17.9	14.0

表 D.24 男性，单能中子照射每单位注量对应红骨髓的器官剂量转换系数（续）

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
3.0	20.9	25.2	10.7	11.0	17.9	14.0
4.0	25.9	30.7	13.9	14.2	22.4	17.8
5.0	30.1	35.2	16.9	17.2	26.4	21.2
6.0	33.8	39.0	19.6	19.9	29.9	24.2
7.0	37.0	42.3	22.1	22.4	33.0	26.9
8.0	39.9	45.2	24.4	24.7	35.8	29.4
9.0	42.6	48.0	26.5	26.8	38.4	31.7
10.0	45.1	50.4	28.4	28.8	40.7	33.8
12.0	49.5	54.8	32.0	32.4	44.8	37.6
14.0	53.1	58.3	35.2	35.6	48.2	40.8
15.0	54.7	59.8	36.6	37.0	49.7	42.3
16.0	56.1	61.1	38.0	38.4	51.1	43.6
18.0	58.6	63.3	40.5	40.9	53.5	46.1
20.0	60.6	65.1	42.8	43.2	55.5	48.2
21.0	61.5	65.8	43.9	44.2	56.3	49.1
30.0	67.1	70.6	51.5	51.9	62.2	55.7
50.0	74.2	76.6	62.8	63.0	69.7	64.5
75.0	80.9	82.5	73.1	73.0	77.1	72.8
100	86.8	87.2	81.6	81.3	83.9	80.6
130	93.0	91.5	90.7	89.9	91.5	89.2
150	96.5	94.0	96.1	95.2	96.0	94.6
180	101	97.6	104	102	102	102
200	104	100	108	107	106	107
300	120	114	129	128	126	129
400	138	132	149	148	145	150
500	158	151	169	168	164	170
600	178	169	187	187	182	188
700	195	185	203	203	198	205
800	210	198	216	217	211	219
900	222	207	228	229	222	231
1000	231	215	238	239	232	242
2000	288	258	306	306	292	315
5000	365	326	431	423	382	436
10000	477	418	559	534	487	577

表 D. 25 男性, 单能中子照射每单位注量对应其余组织的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.05	0.765	0.400	0.367	0.640	0.493
1.0E-8	1.22	0.897	0.453	0.423	0.774	0.599
2.5E-8	1.38	1.04	0.518	0.480	0.884	0.684
1.0E-7	1.82	1.39	0.677	0.625	1.17	0.880
2.0E-7	2.05	1.59	0.773	0.714	1.33	0.992
5.0E-7	2.36	1.86	0.891	0.827	1.54	1.14
1.0E-6	2.52	2.03	0.967	0.901	1.67	1.24
2.0E-6	2.65	2.14	1.03	0.959	1.77	1.31
5.0E-6	2.77	2.27	1.07	1.00	1.85	1.37
1.0E-5	2.84	2.34	1.09	1.02	1.89	1.40
2.0E-5	2.85	2.37	1.11	1.03	1.91	1.41
5.0E-5	2.86	2.39	1.12	1.04	1.92	1.43
1.0E-4	2.88	2.41	1.12	1.04	1.92	1.43
2.0E-4	2.86	2.41	1.11	1.03	1.92	1.44
5.0E-4	2.86	2.42	1.10	1.03	1.91	1.44
0.001	2.82	2.41	1.09	1.02	1.90	1.43
0.002	2.79	2.40	1.09	1.02	1.90	1.43
0.005	2.79	2.41	1.09	1.01	1.91	1.42
0.01	2.81	2.43	1.11	1.02	1.93	1.42
0.02	2.86	2.47	1.12	1.03	1.96	1.45
0.03	2.94	2.51	1.14	1.05	1.99	1.49
0.05	3.09	2.59	1.20	1.11	2.08	1.56
0.07	3.25	2.68	1.26	1.17	2.17	1.63
0.1	3.49	2.81	1.36	1.28	2.33	1.74
0.15	3.91	3.05	1.52	1.45	2.58	1.93
0.2	4.33	3.29	1.70	1.62	2.85	2.12
0.3	5.19	3.78	2.05	1.98	3.38	2.52
0.5	6.88	4.84	2.80	2.71	4.48	3.34
0.7	8.48	5.93	3.57	3.45	5.60	4.18
0.9	10.0	7.07	4.35	4.22	6.73	5.04
1.0	10.8	7.67	4.76	4.62	7.31	5.48
1.2	12.4	8.94	5.62	5.45	8.49	6.39
1.5	14.7	10.9	6.96	6.73	10.3	7.78
2.0	18.5	14.2	9.21	8.90	13.3	10.1
3.0	25.0	20.3	13.5	13.0	18.8	14.5

表 D. 25 男性, 单能中子照射每单位注量对应其余组织的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	30.4	25.7	17.5	16.9	23.7	18.5
5.0	35.0	30.3	21.1	20.3	28.0	22.2
6.0	38.9	34.4	24.4	23.5	31.7	25.4
7.0	42.4	37.9	27.3	26.3	35.1	28.4
8.0	45.4	41.1	30.0	28.9	38.1	31.0
9.0	48.2	43.9	32.4	31.2	40.8	33.5
10.0	50.7	46.5	34.7	33.4	43.2	35.7
12.0	55.0	51.1	38.7	37.3	47.5	39.5
14.0	58.5	54.9	42.2	40.7	51.0	42.8
15.0	60.0	56.5	43.8	42.3	52.5	44.3
16.0	61.3	58.0	45.2	43.7	53.9	45.6
18.0	63.4	60.6	47.8	46.3	56.4	48.0
20.0	65.2	62.7	50.1	48.6	58.4	50.2
21.0	66.0	63.7	51.2	49.6	59.4	51.1
30.0	70.9	69.9	58.6	57.0	65.5	58.0
50.0	76.7	77.0	68.8	67.1	73.3	67.7
75.0	81.8	83.7	77.9	76.1	80.6	76.7
100	86.0	90.0	85.5	83.6	87.0	84.5
130	90.1	96.8	93.3	91.7	94.0	92.9
150	92.6	101	98.1	96.7	98.4	98.1
180	96.0	106	105	104	105	105
200	98.4	110	109	108	109	110
300	112	126	128	129	128	132
400	130	145	147	149	147	152
500	148	164	166	169	165	170
600	166	183	184	187	182	188
700	182	199	200	203	197	203
800	195	212	213	217	210	217
900	206	222	224	228	222	229
1000	215	231	234	238	231	239
2000	266	282	295	300	292	312
5000	332	367	408	409	380	430
10000	431	468	527	520	484	565

表 D.26 男性, 单能中子照射每单位注量对应唾液腺的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	0.872	0.573	1.00	0.973	0.845	0.622
1.0E-8	0.976	0.613	1.17	1.15	0.960	0.741
2.5E-8	1.05	0.689	1.32	1.28	1.05	0.821
1.0E-7	1.29	0.888	1.63	1.53	1.34	1.04
2.0E-7	1.43	0.981	1.76	1.72	1.50	1.13
5.0E-7	1.59	1.12	1.91	1.89	1.66	1.24
1.0E-6	1.65	1.21	1.98	1.94	1.74	1.31
2.0E-6	1.70	1.26	2.03	1.97	1.77	1.37
5.0E-6	1.78	1.30	2.05	2.01	1.80	1.38
1.0E-5	1.80	1.32	2.03	1.99	1.79	1.37
2.0E-5	1.79	1.32	2.01	1.96	1.78	1.34
5.0E-5	1.76	1.31	1.97	1.92	1.74	1.32
1.0E-4	1.74	1.32	1.92	1.88	1.71	1.29
2.0E-4	1.71	1.29	1.86	1.82	1.69	1.27
5.0E-4	1.69	1.28	1.80	1.77	1.66	1.25
0.001	1.67	1.26	1.75	1.73	1.63	1.23
0.002	1.65	1.23	1.72	1.71	1.59	1.22
0.005	1.61	1.23	1.73	1.72	1.59	1.21
0.01	1.61	1.26	1.81	1.79	1.63	1.23
0.02	1.65	1.31	2.02	1.92	1.76	1.32
0.03	1.70	1.38	2.23	2.10	1.91	1.43
0.05	1.83	1.55	2.64	2.46	2.21	1.65
0.07	1.95	1.75	3.03	2.84	2.51	1.88
0.1	2.17	2.04	3.59	3.38	2.95	2.21
0.15	2.59	2.56	4.48	4.23	3.65	2.75
0.2	3.06	3.09	5.29	5.03	4.33	3.27
0.3	4.08	4.20	6.79	6.50	5.62	4.26
0.5	6.23	6.41	9.33	9.04	7.94	6.09
0.7	8.34	8.49	11.5	11.2	10.0	7.76
0.9	10.4	10.5	13.4	13.1	11.9	9.30
1.0	11.4	11.5	14.3	14.0	12.9	10.0
1.2	13.4	13.5	16.0	15.7	14.6	11.5
1.5	16.3	16.4	18.3	18.1	17.1	13.5
2.0	20.7	20.8	21.8	21.5	20.9	16.6
3.0	28.0	28.2	27.6	27.5	27.3	22.0

表 D.26 男性, 单能中子照射每单位注量对应唾液腺的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
4.0	33.8	34.1	32.5	32.4	32.6	26.5
5.0	38.5	38.9	36.7	36.5	37.0	30.2
6.0	42.5	42.9	40.2	39.9	40.7	33.5
7.0	45.9	46.4	43.4	43.0	44.0	36.5
8.0	48.9	49.5	46.2	45.7	46.9	39.1
9.0	51.6	52.4	48.7	48.3	49.6	41.6
10.0	54.1	55.1	50.9	50.6	52.0	43.8
12.0	58.4	59.7	54.8	54.8	56.2	47.6
14.0	61.8	63.4	57.9	58.2	59.5	50.7
15.0	63.2	64.9	59.2	59.7	60.9	52.1
16.0	64.5	66.3	60.4	61.0	62.0	53.2
18.0	66.6	68.6	62.3	63.2	63.9	55.2
20.0	68.3	70.4	63.9	65.0	65.2	56.8
21.0	69.1	71.1	64.5	65.8	65.7	57.5
30.0	73.9	75.6	68.3	70.2	68.4	61.6
50.0	78.6	79.7	71.8	73.7	69.5	65.4
75.0	79.7	82.5	74.5	76.2	71.0	68.7
100	78.4	83.9	76.8	78.1	73.6	72.3
130	76.9	84.7	79.2	80.0	77.0	76.9
150	76.7	85.2	80.8	81.6	79.2	79.9
180	77.2	86.4	83.6	84.5	82.7	84.3
200	78.1	87.7	85.6	86.5	85.0	87.2
300	87.4	98.6	97.5	98.0	98.1	102
400	101	114	111	112	113	117
500	115	132	125	127	129	133
600	129	149	138	142	143	148
700	141	163	149	154	155	160
800	151	175	159	165	165	169
900	158	183	168	173	173	177
1000	165	190	175	179	180	184
2000	196	220	220	213	213	226
5000	240	267	291	280	254	300
10000	306	352	373	391	326	417

表 D. 27 男性, 单能中子照射每单位注量对应皮肤的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.62	1.71	0.792	0.786	1.25	0.993
1.0E-8	1.40	1.43	0.655	0.653	1.11	0.881
2.5E-8	1.38	1.45	0.653	0.652	1.10	0.870
1.0E-7	1.48	1.55	0.667	0.667	1.16	0.910
2.0E-7	1.55	1.63	0.698	0.697	1.20	0.942
5.0E-7	1.60	1.70	0.726	0.725	1.26	0.978
1.0E-6	1.62	1.75	0.739	0.740	1.28	0.996
2.0E-6	1.64	1.77	0.739	0.743	1.30	1.00
5.0E-6	1.65	1.80	0.743	0.745	1.30	0.999
1.0E-5	1.63	1.77	0.733	0.732	1.28	0.986
2.0E-5	1.60	1.75	0.719	0.719	1.26	0.971
5.0E-5	1.56	1.68	0.689	0.689	1.23	0.942
1.0E-4	1.52	1.65	0.674	0.674	1.20	0.919
2.0E-4	1.49	1.63	0.663	0.663	1.17	0.899
5.0E-4	1.46	1.58	0.645	0.644	1.14	0.878
0.001	1.45	1.56	0.642	0.642	1.13	0.876
0.002	1.47	1.57	0.649	0.651	1.15	0.894
0.005	1.57	1.66	0.708	0.710	1.24	0.978
0.01	1.78	1.86	0.819	0.818	1.41	1.14
0.02	2.19	2.25	1.04	1.03	1.76	1.46
0.03	2.58	2.62	1.26	1.24	2.10	1.76
0.05	3.30	3.29	1.64	1.61	2.70	2.31
0.07	3.94	3.90	1.99	1.95	3.23	2.80
0.1	4.78	4.70	2.46	2.41	3.94	3.46
0.15	5.99	5.84	3.14	3.07	4.95	4.41
0.2	7.02	6.82	3.73	3.64	5.83	5.23
0.3	8.78	8.50	4.76	4.65	7.34	6.63
0.5	11.6	11.2	6.49	6.33	9.81	8.93
0.7	14.1	13.6	8.00	7.81	11.9	10.9
0.9	16.2	15.6	9.39	9.17	13.8	12.6
1.0	17.2	16.6	10.0	9.81	14.6	13.4
1.2	18.9	18.3	11.3	11.0	16.2	14.8
1.5	21.2	20.5	12.9	12.7	18.2	16.8
2.0	24.5	23.8	15.4	15.1	21.3	19.6
3.0	30.3	29.4	19.8	19.5	26.6	24.5

表 D.27 男性, 单能中子照射每单位注量对应皮肤的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
3.0	30.3	29.4	19.8	19.5	26.6	24.5
4.0	35.1	34.1	23.6	23.2	30.9	28.5
5.0	39.0	38.0	26.8	26.5	34.7	32.0
6.0	42.3	41.3	29.7	29.3	37.9	35.0
7.0	45.3	44.3	32.3	31.9	40.8	37.7
8.0	48.0	46.9	34.6	34.2	43.3	40.1
9.0	50.5	49.4	36.7	36.3	45.7	42.3
10.0	52.7	51.6	38.7	38.3	47.7	44.3
12.0	56.6	55.4	42.2	41.8	51.1	47.6
14.0	59.4	58.1	45.0	44.6	53.5	50.0
15.0	60.5	59.2	46.1	45.7	54.4	51.0
16.0	61.3	60.0	47.2	46.8	55.1	51.7
18.0	62.5	61.2	48.9	48.5	56.1	52.8
20.0	63.2	61.8	50.3	49.9	56.6	53.5
21.0	63.4	62.1	50.9	50.5	56.8	53.7
30.0	63.9	62.6	54.4	54.1	56.7	54.4
50.0	63.4	62.8	58.3	58.1	55.6	54.5
75.0	63.3	63.2	61.2	61.0	56.3	55.9
100	62.8	62.9	62.8	62.7	58.3	58.5
130	62.8	62.6	64.3	64.3	61.4	62.1
150	63.4	63.0	65.6	65.6	63.7	64.5
180	64.9	64.1	68.1	68.1	67.0	68.3
200	66.3	65.3	69.9	69.9	69.3	70.8
300	75.6	73.7	80.8	80.8	81.0	83.5
400	87.3	85.0	93.4	93.5	92.8	96.0
500	99.6	97.0	106	106	104	108
600	112	108	119	119	115	119
700	122	118	129	130	125	129
800	131	126	138	139	132	138
900	138	132	146	146	139	145
1000	144	137	152	152	145	152
2000	176	164	189	191	181	193
5000	218	209	265	264	235	262
10000	291	281	360	352	297	346

表 D. 28 男性, 单能中子照射每单位注量对应胃壁的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.18	0.551	0.560	0.166	0.607	0.452
1.0E-8	1.18	0.551	0.560	0.166	0.607	0.452
2.5E-8	1.60	0.726	0.748	0.191	0.834	0.632
1.0E-7	2.16	0.971	1.01	0.244	1.13	0.834
2.0E-7	2.47	1.12	1.18	0.281	1.30	0.941
5.0E-7	2.87	1.31	1.39	0.331	1.50	1.09
1.0E-6	3.10	1.43	1.51	0.357	1.63	1.21
2.0E-6	3.32	1.53	1.63	0.374	1.73	1.30
5.0E-6	3.52	1.62	1.75	0.396	1.85	1.39
1.0E-5	3.58	1.67	1.79	0.412	1.90	1.41
2.0E-5	3.59	1.69	1.80	0.421	1.92	1.42
5.0E-5	3.64	1.73	1.81	0.423	1.92	1.44
1.0E-4	3.67	1.74	1.82	0.421	1.95	1.46
2.0E-4	3.65	1.74	1.83	0.423	1.96	1.47
5.0E-4	3.65	1.76	1.82	0.424	1.96	1.46
0.001	3.64	1.76	1.79	0.426	1.95	1.45
0.002	3.62	1.75	1.76	0.424	1.95	1.44
0.005	3.61	1.76	1.78	0.430	1.96	1.44
0.01	3.62	1.78	1.81	0.442	1.96	1.45
0.02	3.66	1.82	1.81	0.439	1.99	1.46
0.03	3.71	1.86	1.84	0.437	2.02	1.47
0.05	3.82	1.92	1.92	0.443	2.07	1.51
0.07	3.95	1.97	1.98	0.463	2.12	1.56
0.1	4.15	2.04	2.08	0.492	2.21	1.64
0.15	4.52	2.14	2.30	0.528	2.39	1.78
0.2	4.92	2.25	2.54	0.557	2.59	1.92
0.3	5.80	2.46	3.11	0.612	3.02	2.21
0.5	7.68	2.92	4.38	0.729	3.91	2.84
0.7	9.53	3.45	5.73	0.874	4.84	3.53
0.9	11.4	4.05	7.13	1.06	5.81	4.26
1.0	12.3	4.39	7.86	1.17	6.32	4.65
1.2	14.2	5.15	9.39	1.44	7.38	5.46
1.5	17.0	6.43	11.7	1.94	9.03	6.73
2.0	21.3	8.76	15.6	2.96	11.8	8.91
3.0	28.8	13.6	22.4	5.46	16.9	13.2

表 D. 28 男性, 单能中子照射每单位注量对应胃壁的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
3.0	28.8	13.6	22.4	5.46	16.9	13.2
4.0	34.9	18.2	28.1	8.25	21.6	17.1
5.0	39.9	22.5	32.9	11.1	25.8	20.8
6.0	44.1	26.4	37.0	14.0	29.5	24.0
7.0	47.7	30.0	40.7	16.6	32.9	27.0
8.0	50.9	33.1	43.9	19.1	35.9	29.6
9.0	53.7	36.0	46.8	21.4	38.6	32.0
10.0	56.3	38.7	49.5	23.5	41.0	34.2
12.0	60.6	43.4	54.1	27.5	45.4	38.0
14.0	64.0	47.5	57.9	31.0	49.0	41.3
15.0	65.4	49.2	59.5	32.7	50.6	42.7
16.0	66.6	50.9	61.0	34.3	52.1	44.1
18.0	68.7	53.8	63.5	37.4	54.7	46.5
20.0	70.3	56.3	65.6	40.2	56.9	48.6
21.0	71.0	57.4	66.5	41.5	57.9	49.5
30.0	75.6	65.1	72.2	51.0	64.6	56.4
50.0	80.8	75.2	78.9	64.7	73.3	66.3
75.0	85.1	84.6	85.9	76.6	81.3	75.4
100	88.3	93.0	92.1	86.7	88.4	83.3
130	91.3	102	97.8	97.7	96.3	91.8
150	93.1	108	101	104	101	97.0
180	95.8	116	104	114	108	104
200	97.7	121	107	119	112	109
300	110	145	119	146	133	131
400	125	168	136	171	153	152
500	142	191	155	194	173	172
600	159	212	173	216	191	191
700	174	230	189	235	207	208
800	186	245	203	250	222	223
900	197	257	214	263	233	236
1000	206	268	223	274	244	247
2000	253	333	271	349	309	325
5000	305	446	355	484	410	450
10000	394	559	459	617	529	601

表 D.29 男性，单能中子照射每单位注量对应甲状腺的器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.66	0.563	0.517	0.495	0.878	0.677
1.0E-8	1.98	0.661	0.568	0.557	0.985	0.749
2.5E-8	2.20	0.723	0.640	0.612	1.08	0.849
1.0E-7	2.84	0.940	0.836	0.805	1.34	1.07
2.0E-7	3.21	1.08	0.945	0.923	1.51	1.19
5.0E-7	3.62	1.26	1.08	1.08	1.73	1.35
1.0E-6	3.82	1.42	1.15	1.14	1.86	1.43
2.0E-6	3.94	1.56	1.19	1.17	1.96	1.46
5.0E-6	4.00	1.63	1.24	1.16	2.06	1.51
1.0E-5	4.02	1.65	1.25	1.15	2.11	1.55
2.0E-5	3.98	1.65	1.24	1.20	2.12	1.56
5.0E-5	3.85	1.67	1.21	1.23	2.08	1.53
1.0E-4	3.73	1.69	1.20	1.22	2.05	1.50
2.0E-4	3.66	1.72	1.21	1.20	2.02	1.47
5.0E-4	3.59	1.74	1.22	1.16	1.95	1.43
0.001	3.50	1.74	1.20	1.14	1.89	1.42
0.002	3.43	1.71	1.16	1.13	1.87	1.42
0.005	3.39	1.71	1.10	1.11	1.85	1.40
0.01	3.42	1.73	1.09	1.10	1.87	1.41
0.02	3.52	1.75	1.13	1.13	1.95	1.45
0.03	3.70	1.77	1.16	1.17	2.02	1.50
0.05	4.14	1.83	1.23	1.24	2.18	1.61
0.07	4.65	1.88	1.30	1.31	2.37	1.72
0.1	5.43	1.95	1.42	1.45	2.68	1.91
0.15	6.73	2.05	1.61	1.74	3.21	2.22
0.2	8.01	2.13	1.83	2.05	3.74	2.55
0.3	10.5	2.29	2.29	2.68	4.77	3.18
0.5	14.9	2.76	3.26	3.93	6.69	4.42
0.7	18.7	3.38	4.22	5.09	8.47	5.66
0.9	21.9	4.14	5.17	6.21	10.1	6.89
1.0	23.4	4.57	5.64	6.77	10.9	7.50
1.2	26.1	5.51	6.59	7.90	12.5	8.69
1.5	29.7	7.09	8.01	9.59	14.7	10.4
2.0	34.7	9.91	10.3	12.3	18.2	13.2
3.0	42.4	15.5	14.6	17.1	24.2	18.1

表 D.29 男性, 单能中子照射每单位注量对应甲状腺的器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
3.0	42.4	15.5	14.6	17.1	24.2	18.1
4.0	48.3	20.6	18.4	21.2	29.2	22.3
5.0	53.0	25.2	21.8	24.8	33.6	26.1
6.0	56.8	29.2	24.9	28.0	37.3	29.4
7.0	60.1	32.8	27.6	30.8	40.5	32.3
8.0	63.0	35.9	30.1	33.4	43.4	35.0
9.0	65.7	38.8	32.4	35.7	45.9	37.4
10.0	68.0	41.4	34.4	37.8	48.1	39.7
12.0	71.9	45.9	38.2	41.6	51.9	43.6
14.0	74.8	49.7	41.4	44.8	54.8	47.0
15.0	76.0	51.4	42.9	46.2	56.1	48.4
16.0	77.1	52.9	44.3	47.6	57.2	49.8
18.0	78.8	55.7	46.8	49.9	59.0	52.2
20.0	80.1	58.0	49.1	51.9	60.6	54.2
21.0	80.6	59.1	50.1	52.9	61.2	55.2
30.0	83.2	66.6	57.9	59.4	65.5	61.3
50.0	82.4	75.8	69.0	68.9	70.9	69.3
75.0	78.3	83.0	77.7	76.0	76.0	76.0
100	74.5	88.8	83.5	80.7	80.5	81.3
130	72.0	95.3	88.9	85.1	85.7	86.8
150	71.5	99.4	92.0	87.7	89.2	90.2
180	72.0	105	96.5	91.6	94.4	95.2
200	72.8	109	99.4	94.3	97.9	98.5
300	80.9	128	114	111	115	115
400	92.5	147	128	130	130	132
500	105	165	142	149	144	147
600	118	182	155	168	156	162
700	129	197	167	185	167	176
800	138	209	177	197	177	188
900	146	219	187	206	186	198
1000	152	228	195	213	193	208
2000	190	288	250	249	242	269
5000	238	379	346	317	319	374
10000	297	457	448	441	401	523

表 D.30 男性, 单能中子照射每单位注量对应的膀胱壁器官剂量转换系数

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_T/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
1.0E-9	1.21	0.655	0.226	0.205	0.613	0.453
1.0E-8	1.47	0.784	0.258	0.223	0.752	0.532
2.5E-8	1.68	0.926	0.276	0.245	0.859	0.602
1.0E-7	2.27	1.24	0.352	0.317	1.14	0.808
2.0E-7	2.63	1.40	0.407	0.365	1.27	0.93
5.0E-7	3.11	1.61	0.472	0.423	1.46	1.10
1.0E-6	3.38	1.76	0.515	0.460	1.59	1.18
2.0E-6	3.61	1.90	0.553	0.489	1.72	1.25
5.0E-6	3.84	2.02	0.579	0.519	1.83	1.32
1.0E-5	3.92	2.06	0.593	0.534	1.88	1.37
2.0E-5	3.91	2.11	0.603	0.543	1.90	1.41
5.0E-5	3.93	2.18	0.616	0.552	1.90	1.44
1.0E-4	3.93	2.22	0.612	0.554	1.93	1.43
2.0E-4	3.93	2.20	0.615	0.556	1.96	1.41
5.0E-4	3.94	2.20	0.627	0.557	1.95	1.41
0.001	3.93	2.21	0.627	0.552	1.93	1.42
0.002	3.92	2.22	0.628	0.550	1.93	1.42
0.005	3.89	2.27	0.619	0.561	1.98	1.40
0.01	3.91	2.30	0.615	0.576	2.02	1.41
0.02	3.95	2.32	0.618	0.576	2.04	1.44
0.03	4.01	2.35	0.619	0.580	2.05	1.46
0.05	4.15	2.43	0.636	0.597	2.07	1.51
0.07	4.29	2.51	0.655	0.612	2.13	1.55
0.1	4.50	2.61	0.680	0.633	2.22	1.62
0.15	4.92	2.75	0.725	0.664	2.38	1.73
0.2	5.39	2.87	0.772	0.700	2.56	1.85
0.3	6.40	3.13	0.866	0.776	2.93	2.10
0.5	8.50	3.72	1.07	0.932	3.72	2.65
0.7	10.5	4.38	1.31	1.12	4.55	3.26
0.9	12.5	5.14	1.60	1.36	5.44	3.91
1.0	13.5	5.56	1.77	1.50	5.92	4.26
1.2	15.6	6.49	2.18	1.85	6.92	4.98
1.5	18.7	8.02	2.91	2.47	8.52	6.12
2.0	23.4	10.8	4.34	3.73	11.2	8.07
3.0	31.2	16.3	7.63	6.74	16.4	12.0

表 D.30 男性, 单能中子照射每单位注量对应的膀胱壁器官剂量转换系数 (续)

粒子能量 (MeV)	各种照射几何条件下的 $D_r/\phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )					
	AP	PA	LLAT	RLAT	ROT	ISO
3.0	31.2	16.3	7.63	6.74	16.4	12.0
4.0	37.5	21.5	11.1	9.98	21.2	15.7
5.0	42.6	26.2	14.5	13.2	25.5	19.2
6.0	46.9	30.4	17.7	16.4	29.3	22.3
7.0	50.6	34.2	20.7	19.3	32.7	25.2
8.0	53.9	37.6	23.5	21.9	35.7	27.8
9.0	56.9	40.7	25.9	24.4	38.5	30.2
10.0	59.6	43.5	28.2	26.6	41.0	32.4
12.0	64.2	48.4	32.4	30.8	45.5	36.3
14.0	67.7	52.5	36.1	34.5	49.2	39.6
15.0	69.2	54.3	37.8	36.2	50.9	41.1
16.0	70.5	55.9	39.4	37.8	52.4	42.5
18.0	72.6	58.8	42.4	40.8	55.0	45.1
20.0	74.3	61.2	45.1	43.5	57.3	47.4
21.0	75.0	62.3	46.4	44.8	58.3	48.5
30.0	79.3	69.3	55.4	53.6	65.1	56.4
50.0	83.4	78.0	67.3	65.6	74.0	68.3
75.0	86.6	86.5	78.2	76.9	82.3	79.2
100	88.9	94.4	87.7	86.8	90.0	88.6
130	90.7	103	98.2	97.9	98.5	98.5
150	92.0	108	105	105	104	105
180	94.2	114	113	114	111	113
200	95.9	118	119	119	115	119
300	108	139	143	143	135	144
400	125	161	166	166	157	165
500	143	183	189	188	179	184
600	162	204	209	210	200	202
700	179	222	227	228	218	218
800	192	236	241	243	233	232
900	203	248	253	256	245	244
1000	212	258	263	266	256	256
2000	260	317	330	335	322	338
5000	314	412	471	472	419	483
10000	414	525	612	614	525	652

附 录 E  
(规范性附录)

注量对应眼晶状体吸收剂量的转换系数

单能光子束、电子束和中子束在特定标准照射条件下,由单位光子注量对应的眼晶状体吸收剂量转换系数见表E.1-E.3。

表 E.1 单能光子照射每单位注量对应的眼晶状体吸收剂量转换系数,单位为  $\mu\text{Gy cm}^2$

能量 (MeV)	前后	后前	左侧位	旋转	各向同性
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

表 E.1 单能光子照射每单位注量对应的眼晶状体吸收剂量转换系数, 单位为  $\mu\text{Gy cm}^2$ 

能量 (MeV)	前后	后前	左侧位	旋转	各向同性
20.0	4.64	35.8	23.8	22.2	23.4
30.0	4.52	53.5	28.8	28.4	29.7
40.0	4.58	69.6	32.7	33.7	34.6
50.0	4.64	83.5	35.3	37.9	40.0
60.0	4.68	95.7	37.6	41.5	43.4
80.0	4.80	118	41.1	47.4	51.3
100	4.92	135	43.7	52.4	57.9
150	5.22	162	48.0	59.6	65.6
200	5.39	180	50.8	64.3	71.7
300	5.60	199	53.9	69.7	81.3
400	5.70	214	56.1	73.1	87.5
500	5.80	224	57.4	75.7	91.7
600	5.86	232	58.5	77.6	95.9
800	5.96	243	59.9	80.1	104
1000	6.01	251	60.6	82.0	108
1500	6.15	264	62.0	84.6	115
2000	6.22	273	63.0	86.7	122
3000	6.28	285	64.0	89.2	129
4000	6.29	293	64.8	90.9	137
5000	6.29	299	65.4	92.2	143
6000	6.28	304	66.1	93.4	146
8000	6.25	313	67.0	95.6	148
10,000	6.22	320	67.1	97.5	149

表 E.2 单能电子照射每单位注量对应的眼晶状体吸收剂量转换系数，单位为  $\mu\text{Gy cm}^2$ 

能量 (MeV)	前后	后前	各向同性
0.01	---	---	---
0.015	---	---	---
0.02	---	---	---
0.03	---	---	---
0.04	---	---	---
0.05	---	---	---
0.06	---	---	---
0.08	---	---	---
0.10	9.4E-4	---	9.4E-4
0.15	0.0017	---	0.0017
0.2	0.0026	---	0.0026
0.3	0.0048	7.3E-7	0.0048
0.4	0.0078	1.2E-5	0.0078
0.5	0.0115	7.3E-5	0.0115
0.6	0.0406	2.6E-4	0.0406
0.7	1.46	6.4E-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
40.0	309	78.3	262
50.0	309	170	277
60.0	309	246	290
80.0	309	300	304
100	309	329	316
150	309	372	330

表 E.2 单能电子照射每单位注量对应的眼晶状体吸收剂量转换系数，单位为  $\mu\text{Gy cm}^2$ 

能量 (MeV)	前后	后前	各向同性
200	309	401	336
300	309	440	349
400	308	458	365
500	308	472	374
600	308	483	381
800	308	506	395
1000	308	524	405
1500	308	559	422
2000	309	586	434
3000	308	626	454
4000	308	657	470
5000	308	682	477
6000	308	704	483
8000	307	740	492
10,000	307	762	498

表 E.3 单能中子照射每单位注量对应的眼晶状体吸收剂量转换系数，单位为  $\mu\text{Gy cm}^2$ 

能量 (MeV)	前后	后前	左侧位	旋转	各向同性
1.0E-9	2.32	0.283	0.735	0.949	0.786
1.0E-9	2.73	0.329	0.868	1.12	0.848
2.5E-8	2.80	0.327	0.963	1.20	0.855
1.0E-7	2.87	0.322	1.14	1.28	0.863
2.0E-7	2.86	0.331	1.24	1.34	0.871
5.0E-7	2.79	0.356	1.32	1.39	0.890
1.0E-6	2.71	0.378	1.35	1.40	0.915
2.0E-6	2.63	0.395	1.37	1.40	0.949
5.0E-6	2.52	0.406	1.37	1.37	1.00
1.0E-5	2.38	0.406	1.34	1.32	1.04
2.0E-5	2.28	0.419	1.31	1.27	1.07
5.0E-5	2.16	0.452	1.25	1.22	1.09
1.0E-4	2.06	0.472	1.22	1.15	1.09
2.0E-4	1.95	0.483	1.18	1.13	1.08
5.0E-4	1.82	0.483	1.16	1.08	1.05
0.001	1.77	0.479	1.13	1.05	1.02
0.002	1.80	0.477	1.11	1.06	1.01
0.005	1.97	0.465	1.14	1.10	1.04
0.01	2.28	0.446	1.27	1.23	1.13
0.02	2.93	0.424	1.51	1.52	1.35
0.03	3.59	0.417	1.76	1.77	1.55
0.05	4.77	0.420	2.24	2.36	1.94
0.07	5.86	0.417	2.71	2.84	2.29
0.10	7.29	0.415	3.38	3.49	2.78
0.15	9.38	0.423	4.38	4.49	3.52
0.2	11.1	0.440	5.30	5.41	4.20
0.3	14.1	0.493	6.95	6.91	5.45
0.5	18.3	0.644	9.86	9.47	7.64
0.7	21.5	0.837	12.2	11.5	9.58
0.9	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

表 E.3 单能中子照射每单位注量对应的眼晶状体吸收剂量转换系数, 单位为  $\mu\text{Gy cm}^2$ 

能量 (MeV)	前后	后前	左侧位	旋转	各向同性
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
21.0	69.1	39.1	66.3	60.9	60.8
30.0	62.8	49.5	70.7	60.2	66.9
50.0	49.3	65.7	65.6	60.5	74.5
75.0	42.0	79.1	65.2	63.3	79.4
100	39.3	88.7	66.6	66.7	82.3
130	38.2	97.6	69.1	70.7	84.8
150	38.1	103	71.0	73.4	86.0
180	38.3	109	73.8	77.2	87.5
200	38.7	113	75.7	79.6	88.4
300	41.5	130	85.0	90.8	91.6
400	44.7	145	93.4	101	94.1
500	48.1	159	101	109	96.2
600	51.3	172	108	117	98.1
700	54.4	184	115	124	99.9
800	57.3	195	121	131	102
900	60.2	206	127	137	103
1000	62.9	217	133	143	105
2000	84.7	299	177	186	119
5000	119	431	249	254	157
10,000	138	552	302	300	215

附录 F  
(规范性附录)

剂量对应局部皮肤吸收剂量的转换系数

局部皮肤吸收剂量为垂直入射的平行电子束和 $\alpha$ 粒子束授予皮肤表面平均深度 50  $\mu\text{m}$ 、面积  $1\text{cm}^2$  和高度 50  $\mu\text{m}$  的中心圆柱体体积内的平均剂量。由单位剂量对应的局部皮肤吸收剂量的转换系数见表 F1-2。

表 F1. 单能电子垂直照射每单位剂量对应局部皮肤吸收剂量转换系数，单位为  $\mu\text{Gy cm}^2$

能量 (MeV)	D/ $\Phi$	能量 (MeV)	D/ $\Phi$
0.01	1.22E-03	0.50	4.41E+02
0.015	2.80E-03	0.50	3.82E+02
0.02	4.73E-03	0.60	3.43E+02
0.03	8.85E-03	0.80	3.15E+02
0.04	1.47E-02	1.0	3.04E+02
0.05	2.10E-02	1.5	2.84E+02
0.06	1.37E+01	2.0	2.80E+02
0.07	2.15E+02	3.0	2.64E+02
0.08	6.62E+02	4.0	2.59E+02
0.09	1.08E+03	5.0	2.59E+02
0.10	1.40E+03	6.0	2.59E+02
0.15	1.21E+03	8.0	2.67E+02
0.20	8.41E+02	10.0	2.62E+02
0.30	5.38E+02		

表 F2. 单能  $\alpha$  粒子束垂直照射每单位剂量对应局部皮肤吸收剂量转换系数，单位为  $\mu\text{Gy cm}^2$

能量 (MeV)	D/ $\Phi$
6.5	0.00111
6.8	0.0256
7.0	0.0420
7.5	0.0752
8.0	0.103
8.5	0.128
9.0	0.150
9.5	0.140
10.0	0.180

## 参考文献

- [1] Menzel HG, Clement C, DeLuca P. ICRP Publication 110. Realistic reference phantoms: an ICRP/ICRU joint effort. A report of adult reference computational phantoms. *Ann ICRP*. 2009;39(2):1-164. DOI:10.1016/j.icrp.2009.09.001.
- [2] Petoussi-Hens N, Bolch WE, Eckerman KF, et al. ICRP Publication 116. Conversion coefficients for radiological protection quantities for external radiation exposures. *Ann ICRP*. 2010;40(2-5):1-257. DOI:10.1016/j.icrp.2011.10.001.
- [3] International Commission on Radiation Units & Measurements. ICRU report 95. Operational Quantities for External Radiation Exposure. *J. ICRU*. 2020;20(1):1-130. DOI: 10.1177/1473669120966224.
- [4] Behrens R, Dietze G, Zankl M. Dose conversion coefficients for electron exposure of the human eye lens. *Phys Med Biol*. 2009;54(13):4069-4087. DOI:10.1088/0031-9155/54/13/008.

# 《外照射放射防护剂量转换系数标准》编制说明

## 一、任务来源与项目编号、各起草单位和起草人承担的工作、起草过程等

### （一）任务来源与项目编号

为适应新发展阶段对卫生健康标准体系的新需求，解决标准老化滞后问题，国家卫生健康委下达了卫生健康标准体系升级改造项目计划，由中国疾控中心承担《公共卫生标准体系升级改造》项目。《外辐射照射放射防护剂量转换系数》项目是此次公共卫生标准体系升级改造项目中确定的标准修订项目。本标准是对 GBZ/T 144-2002《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》和 GBZ/T 202-2007《用于中子外照射放射防护的剂量转换系数》两项标准的合并修订。

### （二）修订必要性

由于 GBZ/T 144-2002 和 GBZ/T 202-2007 两项标准中大部分内容采用了 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 第 57 号报告 (ICRU, 1998)，随着标准参考人模型的完善以及转换系数所基于的辐射加权因数  $W_R$  和组织加权因数  $W_T$  等基础数据的变化，使得转换系数发生了较大变化，为此 ICRP 发布了第 116 号出版物，替代了 ICRP 第 74 号出版物和 ICRU 第 57 号报告。为有效利用放射防护理论进展和科研成果，提出了该修订任务，旨在利用最新模拟计算结果对 GBZ/T 144-2002 中涉及的光子剂量转换系数和 GBZ/T 202-2007 中涉及的中子剂量转换系数进行修正更新，并纳入更大的能量范围和更多的辐射类型的剂量转换系数，以实现在更大范围应用剂量转换系数。

### （三）主要技术指标变化

1. 标准名称修改为“外辐射照射放射防护剂量转换系数”；

2.为减少通用性术语的描述，修订了术语和定义。保留了原标准中语境相关的 ICRU 球、防护量、器官剂量、有效剂量、拟人模型、照射几何条件等术语，增加了剂量转换系数和体素两个术语及其定义，并修订了其他术语的定义表述；

3.扩展了原标准中光子和中子的能量范围，中子能量从原标准的  $1.00\text{E}-9\text{MeV}\sim 1.80\text{E}+2\text{MeV}$  扩展到了  $1.00\text{E}-9\text{MeV}\sim 1.00\text{E}+4\text{MeV}$ ，光子能量从原标准的  $1.00\text{E}-2\text{MeV}\sim 10\text{MeV}$  扩展到了  $1.00\text{E}-2\text{MeV}\sim 1.00\text{E}+4\text{MeV}$ ；

4.增加了正负电子、质子、正负  $\pi$  介子、正负  $\mu$  子和氦离子注量对应有效剂量转换系数；

5.删除了光子、中子外照射防护监测中实用量的运用；

6.删除了光子辐射场物理量之间的转换系数，该部分内容不在本标准范围内；

7. 因 ICRU 第 95 号报告给出了新的实用量，而这些实用量并未在国内得到充分认识和应用，为避免引起混乱，删除了自由光子和中子辐射场量与实用量的转换系数，同时删除了实用量与防护量之间的转换系数和一些实际中子源实用量与防护量的比较。

#### （四）各起草单位和起草人承担的工作

本标准由北京市职业病防治研究院、中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所、中国计量科学研究院、复旦大学放射医学研究所和清华大学共同成立了编制组。

刘澜涛为总负责人，负责项目协调、文献调研、标准的撰写和标准起草的整体质量控制；朱卫国负责有效剂量系数的数据核实；王坤

和苏垠平负责新旧标准中转换系数的对比分析；卓维海和李君利负责标准内容的文稿把关和理论指导；张德钦和杜晓宏分别负责光子、其他粒子和中子部分的数据整理；潘洋负责标准制定各个阶段资料文件的查询处理，以及对征求意见稿收发与汇总工作。

#### （五）起草过程等

本标准依据的起草规则是 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》。

本标准由北京市职业病防治院组织起草组，2021年5月，招募组进行文献调研并编写标准修订大纲，召开项目启动会讨论并确定各起草组成员工作任务；2021年6月，撰写标准初稿，并分组核对光子、中子等各类粒子的剂量转换系数值；2021年7月，对新旧系数开展对比分析，同时征求专家意见。

## 二、与相关规范性文件和其他标准的关系

### （一）与本标准相关的文件和标准有：

1. 《卫生健康标准编写指南》（国卫标委函〔2021〕1号）。
2. ICRP 第116号出版物。
3. ICRU 第95号报告。
4. GBZ/T 200 系列标准。

### （二）本标准与上述文件和标准的关系：

1. 本标准按照《卫生健康标准编写指南》的要求起草。
2. 本标准采用 ICRP 第116号出版物相关数据制定

ICRP 第116号出版物中发布的转换系数是基于 ICRP 第110号出版物发布的最新标准参考人数字模型，利用多种蒙特卡洛程序输运计算得到的。新标准参考人数字模型基于真实人体的计算机断层摄影数

据，并有男女之分，

3. 由于ICRU第95号报告中指出由于现行有效的运行实用量(个人剂量当量、周围剂量当量和定向剂量当量)所代表的有效剂量和器官剂量当量仅能与随机性效应有关，且随着粒子种类和粒子能量的扩展，3毫米和0.07毫米深度处的剂量当量并不能完全反应受照器官的剂量水平。为此，ICRU第95号报告中提出了新的运行实用量，即个人剂量、眼晶状体个人吸收剂量、局部皮肤个人吸收剂量，周围剂量和定向吸收剂量等。然而这些量与我国现行基本标准GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》等有关定义不再一致，且我国也尚未建立有关新运行实用量的计量检定校准程序。因此，本标准未纳入辐射场量对应的运行实用量转换系数。

4. 新修订标准使用的参考人，与我国GBZ/T200系列标准所规定的人体的构成和基本元素组成均源自国际组织报告，来源具有一致性，人体其他元素(占比较小)组成及各器官基本元素组成具有差异性。本标准作为推荐性标准。

### 三、国外相关规定和标准情况的对比说明

本标准辐射场量对应的有效剂量、器官吸收剂量、眼晶状体吸收剂量、局部皮肤吸收剂量的转换系数与ICRP第116号出版物中章节的对应。

### 四、各项技术内容的依据

本标准规范分为8章和6个附录。8章分别是：第1章“范围”、第2章“规范性引用文件”、第3章“术语和定义”、第4章“标准照射条件”、第5章“辐射场量对应有效剂量的转换系数”、第6章“注量对应器官吸收剂量的转换系数”、第7章“注量对应眼晶状体吸收剂量的转换系数”、第8章“注量对应局部皮肤吸收剂量的转换系数”；

6个附录分别是：附录A（资料性附录）“照射几何条件”、附录B（规范性附录）“辐射场量到有效剂量的转换系数”、附录C（规范性附录）“光子辐射场量到器官剂量的转换系数”、附录D（规范性附录）“中子辐射场量到器官剂量的转换系数”、附录E（规范性附录）“注量对应眼晶状体吸收剂量的转换系数”、附录F（规范性附录）“注量对应局部皮肤吸收剂量的转换系数”。

第1章“范围”。规定了本标准的适用范围，规定了本标准中外辐射放射防护剂量转换系数适用的辐射种类和能量范围。

第2章“规范性引用文件”。列出了本标准中引用到的其他标准的情况，本标准未引用其他规范性引用文件。

第3章“术语和定义”。给出了各放射防护量和转换系相关的专业术语以及本标准中出现的需要特别解释的部分术语和定义，方便标准使用者查阅。

第4章“标准照射条件”。说明了外辐射照射放射防护剂量转换系数使用中的标准照射条件。

第5章“辐射场量对应有效剂量的转换系数”。给出辐射场量和有效剂量的转换系数，辐射场包括单能光子、中子、电子、正电子、质子、负 $\mu$ 子、正 $\mu$ 子、负 $\pi$ 介子、正 $\pi$ 介子和氦离子。

第6章“注量对应器官吸收剂量的转换系数”。给出了单能光子束和单能中子束在标准几何照射条件下单位注量和各器官剂量的转换系数。

第7章“注量对应眼晶状体吸收剂量的转换系数”。给出了不同照射几何条件下光子、电子和中子单位注量和眼晶状体吸收剂量的转换系数。

第8章“注量对应局部皮肤吸收剂量的转换系数”。给出了电子

束和  $\alpha$  粒子束垂直入射皮肤时单位注量和局部皮肤吸收剂量的转换系数。

附录 A（资料性）“照射几何条件”。规定了各种转换系数应用的标准照射条件，给出了不同照射条件的空间几何描述。

附录 B（规范性）“辐射场量到有效剂量的转换系数”。给出了光子、中子、电子、正电子、质子、负  $\mu$  子、正  $\mu$  子、负  $\pi$  介子、正  $\pi$  介子和氦离子在标准照射条件下，由单位辐射场注量对应的有效剂量的转换系数的数值。

附录 C（规范性）“光子辐射场量到器官剂量的转换系数”。给出了单能光子在标准照射条件下单位注量对应的分性别各器官剂量的转换系数的数值。

附录 D（规范性）“中子辐射场量到器官剂量的转换系数”。给出了单能中子在标准照射条件下单位注量对应的分性别各器官剂量的转换系数的数值。

附录 E（规范性）“注量对应眼晶状体吸收剂量的转换系数”。给出了单能光子、电子和中子在标准照射条件下单位注量对应的眼晶状体吸收剂量的转换系数的数值。

附录 F（规范性）“注量对应局部皮肤吸收剂量的转换系数”。给出了平行电子束和  $\alpha$  粒子束垂直入射皮肤时单位注量对应的皮肤吸收剂量的转换系数的数值。

## 五、征求意见和采纳情况

截止至 2021 年 7 月 29 日，征求了 29 名专家（其中非标委会委员 22 位）的意见，收到修改意见 24 份，共计 157 条意见，其中采纳 117 条，不采纳 40 条，不采纳的意见都说明了理由，详见《征求意见汇总表》。

## 六、重大意见分歧的处理结果和依据

在征求意见和会审过程中，对新引入的运行实用量有较大分歧，依据包括基本标准在内的现行有效标准中的相关定义，本标准最终删除了辐射场量对应运行实用量的转换系数。

## 七、实施标准的建议

本标准建议发布后六个月实施。

## 八、其他应予说明的事项

本标准涉及外辐射照射放射防护中不同类型的辐射种类的防护剂量转换系数，在辐射防护的辐射效应评估中起到了重要的作用，通过对辐射防护专业技术人员的宣贯培训，有助于更好的理解标准的各项技术内容，便于标准的更好实施。

国际放射防护委员会第 116 号出版物  
(ICRP PUBLICATION 116)

# 外辐射照射放射防护量的转换系数

(Conversion Coefficients for Radiological  
Protection Quantities for External Radiation  
Exposures)

主译 刘澜涛 岳保荣

审校 尉可道

译者 杜晓宏 刘澜涛 罗静文

岳保荣 闫 航

原子能科学出版社



## 声 明

该出版物中译稿及其发行已获得了国际放射防护委员会的许可。



## 目录

特约编者序言

前言

主要观点

内容概要

术语

1. 引言

参考文献

2. 外照射的辐射防护中使用的量

2.1 注量和比释动能

2.2 用于辐射防护的剂量学量

2.3 运行实用量

2.4 参考文献

3. ICRP/ICRU 参考模体器官吸收剂量的确定

3.1 ICRP/ICRU 参考计算模体

3.2. 考虑的照射几何

3.3. 模拟辐射输运的蒙特卡罗程序的概述

3.4. 评估骨骼组织剂量的特殊考虑

3.5 皮肤剂量

3.6 参考文献

4. 外照射转换系数

4.1 光子

4.2 电子与正电子

4.3 中子

4.4 质子

4.5 正负  $\mu$  子

4.6 正负  $\pi$  介子

4.7 氦离子

4.8 参考文献

5. 运行实用量和防护量的剂量转换系数之间的关系

5.1 防护量的变化

5.2 光子

5.3 电子

5.4 中子

5.5 眼晶状体剂量与运行实用量的比较

5.6 结论

5.7 参考文献



## 特约编者序言

### 参考人，参考模体，参考剂量系数：这些是在一起的！

国际放射防护委员会（ICRP）由国际放射学大会在 1928 年成立，其名称为国际 X 射线机和辐防护委员会（IXPC），随后在 1950 年第 2 届国际放射学大会上决定将 IXPC 改名为现在的名称，它的任务是形成限制辐射有害效应的概念、方法和指南。在它的有关医用辐射的建议书引入了对医学职业人员限制工作时长的照射概念。在 20 世纪 50 年代，ICRP 开始关注工作人员和公众成员的辐射受照问题，采用剂量来表示受照限值：外照射用最大容许剂量，内照射用最大容许人体负荷量。ICRP 于 1978 年提出了“有效剂量当量”的概念，现代放射防护中的受照限值和风险限制都是基于“有效剂量”这个概念的使用。

在 2007 年建议书中使用有效剂量作为最主要的辐射防护量。遵循正当性判断原则，有效剂量的使用能将内照射核素剂量和外照射场的剂量求和，从而使剂量限值仅提供一个数值，可以同时用于工作人员和公众成员的放射防护最优化。求和的基础是受照人群的健康危害。与有效剂量相关的健康危害可以指定一个标称值，比如 ICRP 60 和 103 号出版物提出的 0.05/Sv。用于加权的特定组织吸收剂量的辐射权重因数和组织权重因数与年龄和性别无关，因此加权后的总和，获得的有效剂量不适用于某个特定个体。有效剂量是监管框架中约定关系的基础，在不同工作实践的比较评估方面也很实用。然而，必须注意的是有效剂量不能代表某个受照的工作人员或公众成员的随机性健康风险（遗传性和致癌性）的大小。根据有效剂量表示的剂量限值、剂量约束值和参考水平在雇员和受监管许可证持有人之间以及在许可证持有人和公众之间的相互约定关系中具有重要作用。在这个作用中将有效剂量用于个体受照剂量时需要指定一个系数，这个系数指定过程不涉及不确定度。

本报告是对 ICRP 第 74 号出版物和 ICRU 第 57 号报告的更新。本报告不仅考虑了多种类型的辐射，还列举了超大能量范围的所有辐射的转换系数。本报告描述了光子（10 keV - 10 GeV）、正负电子（50 keV - 10 GeV）、中子（0.001 eV - 10 GeV）、质子（1 MeV - 10 GeV）、正负  $\pi$  介子（1 MeV - 200 GeV）、正负  $\mu$  子（1 MeV - 10 GeV）和氦离子（1 MeV/u - 100 GeV/u）。当今先进的计算环境和具有支持数据和物理模型的一套蒙特卡罗辐射输运程序，使得计算这些系数成为可能。本报告的附件和英文版随附的 CD 详细说明了用于参考男性和参考女性的特定组织吸收剂量系数，这些系数是各种理想曝光几何关系对应入射能量的函数。作为入射能量的函数的参考人的有效剂量系数，在本报告正文中列表给出。

本报告外照射的运行实用量在多大程度上仍然是辐射防护量的有效反映？ICRP 第 74 号出版物中仅发布了光子、中子和电子的运行实用量的参考转换系数。关于光子和电子剂量转换系数，本报告和 ICRP 74 号出版物的差异很少，在 20 - 30% 范围内，而且差异主要来自于计算模体的性能方面。观察到低能和高能中子之间的差异较大，这是由于它们的能量依赖的辐射权重因数的变化，而不是计算模体性能变化的结果。本报告的作者总结指出：光子、中子和电子的运行实用量能够继续为广谱粒子能量和方向分布提供良好的近似，并可在大多数辐射防护实践中应用。ICRP 74 号出版物（ICRP, 1996）和本文中剂量系数的数值一致性

是“有效剂量”稳健性质的结果。因此，目前的运行系数仍能很好地满足“常规”能量的辐射防护需求。在外层空间应用和高能加速器方面的辐射照射，考虑额外的辐射类型和向高能量的扩展是很重要的。在高能量方面，运行实用量和辐射防护量之间的关系还需进一步的研究。

30多年来，ICRP 和 ICRU 一直在声称使用人体解剖学的计算模型（模体），实际上并没有正式采用这些模体。在某种程度上，这些专门模体是基于 ICRP 第 23 号出版物(ICRP, 1975) 的参考人概念，该出版物提供了一些必要的解剖学数据。ICRP 在第 2 号出版物中启用了标准人参考数据，在 ICRP 23 号出版物中扩展了数据覆盖范围，在 ICRP 89 号出版物中进一步加强了年龄和性别方面的内容。最终，代表成年男性和女性的计算模体在 ICRP/ICRU 联合出版的第 110 号出版物中被正式采用。在计算组织剂量时采用这些模型是必要的，这为 ICRP 的剂量学框架的完整性提供了关键环节。本报告是这些模体采用后的第一次应用，完成一些防护系数基于 ICRP 2007 年建议书（ICRP, 2007）。

本报告中列表给出的系数值是为 ICRP 剂量限值系统开发的，该系统是一个完善框架，可以遵循的文件化程序，其中使用了经过严格评估和准确性确认，并由 ICRP 和 ICRU 判断用于预期目的的参考计算模型。在其预期用途范围内，国际权威机构发布的这些系数没有不确定度设位置，因此，根据计量指南联合委员会的指导，ICRP 和 ICRU 将其视为参考数据。

HANS-GEORG MENZEL, ICRU and ICRP  
KEITH F. ECKERMAN, ICRP COMMITTEE 2

#### 参考文献:

- ICRP, 1959. Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation. ICRP Publication 2. Pergamon Press, Oxford.
- ICRP, 1975. Report on the Task Group on Reference Man. ICRP Publication 23. Pergamon Press, Oxford.
- ICRP, 1978. Statement from the 1978 Stockholm Meeting of the ICRP. Ann. ICRP 2 (1).
- ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1 - 3).
- ICRP, 1996. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26 (3/4).
- ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32 (3/4).
- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2 - 4).
- ICRP, 2009. Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39 (2).
- ICRU, 1998. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection Against External Radiation. ICRU Report 57. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.
- JCGM, 2008. Joint Committee for Guides in Metrology, International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM). Se`vres.

## 摘要

与 ICRP 2007 建议书一致,本报告给出了对各类型外照射的注量与剂量转换系数,剂量包括有效剂量和器官吸收剂量。这些系数是使用代表参考成年男性和参考成年女性的 ICRP/ICRU 官方计算模体 (ICRP, 2009), 结合模拟人体内辐射运输的蒙特卡罗程序比如 EGSnrc、FLUKA、GEANT 4、MCNPX 和 PHITS 等计算得到的。

所考虑的外照射入射辐射类型和能量范围分别是单能光子 (10 keV - 10 GeV)、正负电子 (50 keV - 10 GeV)、中子 (0.001 eV - 10 GeV)、质子 (1 MeV - 10 GeV)、正负  $\pi$  介子 (1 MeV - 200 GeV)、正负  $\mu$  子 (1 MeV - 10 GeV) 和氦离子 (1 MeV/u - 100 GeV/u)。

为了模拟,考虑了理想的全身照射几何条件。这些几何条件包括沿前后、后前、左侧和右侧以及其他围绕模体纵轴 360° 旋转方向的单向宽平行束。模体的完全各向同性的照射情况也给予了考虑。

任务组成员专门为此出版物进行了模拟。出于质量保证的目的,给定辐射和辐射几何条件的数据集由不同的组成员使用相同的参考计算模型生成,但使用的蒙特卡罗程序不同。

通过模拟,确定了参考模型中每个器官的吸收剂量。注量与有效剂量的转换系数来源于所获得的器官剂量转换系数、辐射加权因数  $W_R$  和组织加权因数  $W_T$ , 这都是根据 ICRP 103 出版物 (ICRP, 2007) 中所述程序确定的。

对于 ICRP 第 74 号出版物和 ICRU 第 57 号报告中考虑的能量范围,光子、中子和电子的实用量能继续为有效剂量转换系数提供良好的近似,但更高能量不在本报告考虑范围。

本报告获得的转换系数代表 ICRP/ICRU 参考值。它们是在使用平均、平滑和插值技术等处理后的各种原始数据集基础上建立的。它们部分列表在附件中,全部内容列表在英文版随附的 ASCII 格式光盘和 Microsoft Excel 文件中。

使用样式化眼睛模型,对入射光子、电子和中子分别进行蒙特卡罗模拟,以确定眼晶状体吸收剂量。类似地,对电子和  $\alpha$  粒子所致的局部皮肤当量剂量转换系数,是由蒙特卡罗模拟计算平行光束正常入射一个组织等效平板得到的。

另外,在本报告中给出了光子和中子剂量响应函数,该函数定义了吸收剂量与粒子注量的关系。它们的使用可补偿体素几何体有限的空间分辨率,以及骨髓腔微观水平的剂量增强或剂量降低。

关键词 外照射 转换系数 有效剂量 骨骼剂量学

代表 ICRP 的作者:

N. PETOUSSI-HENSS, W. E. BOLCH, K. F. ECKERMAN, A. ENDO,  
N. HERTEL, J. HUNT, M. PELLICIONI, H. SCHLATTL, M. ZANKL

## 参考文献

ICRP, 1996. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26(3/4).

ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32(3/4).

ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP

Publication 103. Ann. ICRP 37(2 - 4).  
ICRP, 2009. Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39(2).  
ICRU, 1998. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection Against External Radiation.  
ICRU Report 57. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

## 前言

本报告是国家放射防护委员会 (International Commission on Radiological Protection, ICRP) 和国际辐射单和测量委员会 (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) 联合发布的一份出版物。

本报告由 ICRP 第二委员会剂量计算工作组 (DOCAL) 的一个分组编写的, 这个分组的成员有:

N. Petoussi-Henss (主席)	A. Endo	M. Pelliccioni
W. E. Bolch	N. Hertel	H. Schlattl
K. F. Eckerman	J. Hunt	M. Zankl

本报告的其他贡献人员:

A. A. Bahadori	M. Sutton Ferenci	H. G. Menzel
D. T. Bartlett	M. C. Hough	T. Sato
R. Behrens	P. B. Johnson	G. Simmer
M. B. Bellamy	D. W. Jokisch	K. Veinot
B. Han	R. P. Manger	X. G. Xu
E. Burgett	M. Kraxenberger	

在编写本报告期间, ICRP 第二委员会的 DOCAL 工作组成员为:

2005-2009 年 (全部成员):

W. E. Bolch (2007-2008 年主席)	N. Petoussi-Henss (副主席, 外照射剂量学)	
J. Hunt	K. F. Eckerman (2005-2007 年主席)	V. Berkovski
M. Pelliccioni	D. Nosske (副主席, 内照射剂量学)	E. Blanchardon
A. Phipps (2005-2007)	A. Endo	N. Hertel
		M. Zankl

2005-2009 (相关成员):

L. Bertelli	R. Richardson	A. Ulanovsky
T. Fell	M. G. Stabin	X. G. Xu

2009-2011 年 (所有成员):

W. E. Bolch (主席)	V. Berkovski	N. Hertel
D. Nosske (副主席, 内照射剂量学)	L. Bertelli	J. Hunt
N. Petoussi-Henss (副主席, 外照射剂量学)	K. F. Eckerman	N. Ishigure
A. Endo	M. Pelliccioni	T. Fell
M. Zankl		

2009-2011 (相关成员):

A. Birchall	C. Lee	M. G. Stabin
G. Gualdrini	R. Leggett	R. Tanner
D. Jokisch	H. Schlattl	X. G. Xu

在编写本报告期间, ICRP 第二委员会的成员如下:

2005-2009

H. G. Menzel (2007 - 2009 主席)	G. Dietze	F. Paquet
C. Streffer (2005 - 2007 主席)	K. F. Eckerman	H. G. Paretzke (2005 - 2007)
J. D. Harrison (秘书)	A. S. Pradhan	M. Balonov
N. Ishigure	J. W. Stather (2005 - 2007)	V. Berkovski
P. Jacob (2007 - 2009)	W. E. Bolch	J. L. Lipsztein
Y. Z. Zhou	A. Bouville	

2009-2013

H. G. Menzel (主席)	G. Dietze	J. L. Lipsztein
M. Balonov	K. F. Eckerman	J. Ma
D. T. Bartlett	A. Endo	F. Paquet
V. Berkovski	J. D. Harrison (秘书)	N. Petoussi-Henss
W. E. Bolch	J. N. Ishigure	A. S. Pradhan
R. Cox	R. Leggett	

该出版物的 ICRU 成员是：

H. G. Menzel	H. G. Paretzke
--------------	----------------

在编写本报告期间，ICRU 的成员有：

H. G. Menzel (主席)	R. A. Gahbauer	H. Tatsuzaki
P. Dawson	D. T. L. Jones	A. Wambersie
P. M. DeLuca	B. D. Michael	G. F. Whitmore
K. Doi	H. G. Paretzke	
E. Fantuzzi	S. M. Seltzer	

## 主要观点

- 本报告介绍了各种外照射类型的有效剂量和器官吸收剂量的参考转换系数，这些系数是根据国际辐射防护委员会 2007 年建议书计算的 (ICRP, 2007)。
- 代表参考男性和参考女性的用于计算的模体是 ICRP (2009) 的官方计算模型。这些参考计算模型是基于真实人体的 CT 数据建立的，因此是人体解剖学的数字三维表示。
- 所考虑的辐射是外照射中单能的光子 (10 keV - 10 GeV)、正负电子 (50 keV - 10 GeV)、中子 (0.001 eV - 10 GeV)、质子 (1 MeV - 10 GeV)、正负  $\pi$  介子 (1 MeV - 200 GeV)、正负  $\mu$  子 (1 MeV - 10 GeV) 和氦离子 (1 MeV/u - 100 GeV/u)。这些能量都是动能。
- 与先前在 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 第 57 号报告 (ICRU, 1998) 基于已发表的数据而建立参考值不同，本报告给出的器官剂量转换系数都是由工作组成员专门为本报告计算得到的。出于质量保证的目的，给定辐射和照射几何条件的数据集是由不同的工作组使用相同的参考计算模型生成的，但使用的蒙特卡罗辐射输运程序是不同的，比如 EGSnrc, FLUKA, GEANT 4, MCNPX, 和 PHITS。
- 本报告中列表给出的转换系数代表 ICRP/ICRU 参考值。它们是使用各种原始数据集，并通过平均、平滑和插值技术处理后建立的。
- 在 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 第 57 号报告 (ICRU, 1998) 中考虑的能量范围内，光子、中子和电子的实用量能继续为有效剂量的转换系数提供很好地近似，但它们没有如本出版物将其拓展到更高能量范围。

## 参考文献

ICRP, 1996. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26(3/4).

ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32(3/4).

## 内容提要

(a) 本报告的目的是给出不同类型外照射有效剂量和器官吸收剂量与注量之间的转换系数，这与 ICRP 2007 年中建议书一致 (ICRP, 2007)。为了这个目的，本报告使用了代表参考男性和参考女性 (ICRP, 2002 年) 的 ICRP/ICRU 官方计算模型 (ICRP, 2009 年)，联合采用了模拟射线在人体内输运的蒙特卡罗算法。ICRP/ICRU 参考计算模体在下文中称为“参考模体”。

(b) 纳入考虑的外照射辐射其动能范围分别是：10keV - 10GeV 的单能光子、50keV - 10GeV 的正负电子、0.001eV - 10GeV 的中子、1MeV - 10GeV 的质子、1MeV - 200GeV 的正负  $\pi$  介子、1MeV - 10GeV 的正负  $\mu$  子和 1MeV/u - 100GeV/u 的氦离子。

(c) 为了计算剂量转换系数，使用了已建立的蒙特卡罗 (MC) 程序对参考模体内每个器官的吸收剂量进行了计算模拟，这些 MC 程序包括：EGSnrc (Kawrakow et al. 2009), MCNPX (Waters, 2002; Pelowitz, 2008), PHITS (Iwase et al., 2002; Niita et al., 2006, 2010), FLUKA (Fasso` et al., 2005; Battistoni et al., 2006), 和 GEANT 4 (GEANT 4, 2006a, b)。根据 ICRP 第 103 号出版物 (ICRP, 2007) 中所述程序，根据器官剂量转换系数、辐射加权因数  $W_R$  和组织加权因数  $W_T$  等参数确定了有效剂量与注量之间的转换系数。

(d) 为了模拟，对全身受照几何条件进行了理想化处理。这些几何条件包括沿前后、后前、左侧和右侧以及围绕模体纵轴的 360° 旋转方向上的单向宽平行光束。同时，还考虑了完全各向同性的照射。

(e) 工作组成员为本报告专门计算了器官吸收剂量转换系数。为了保证质量，DOCAL 任务组的不同成员使用相同的参考计算模型 (但不同的蒙特卡罗程序) 生成了给定辐射和辐射几何条件的选定数据集。然后，利用一个包括平均、平滑和必要数据拟合的程序，从个体数据中确定了参考值。这些产生的数据集便是用于辐射防护控制的 ICRP/ICRU 参考值，因此它们按惯例被确定下来，并不具有不确定度。这在下文被称之为“参考值”。

(f) 使用眼睛的样式化模型，开展了一些蒙特卡罗模拟，用于分别确定眼晶状体受照光子、电子和中子的吸收剂量。与 ICRP/ICRU 体素模型受眼睛结构体素分辨率 (ICRP, 2009) 的限制相比，这些模拟对眼睛的描述更加详细。

(g) 工作组的部分工作涉及骨骼剂量测定方法和光子与中子的剂量响应函数 (DRFs) 的确定。DRFs 的使用能对模体体素几何空间分辨率的局限起补偿作用，并有助于解决小梁骨松质确切精细结构的描述，以及光子和中子分别在骨小梁和骨髓腔产生的光电子的剂量增强和反冲质子的剂量降低等问题。然而，为了估算本报告中使用的骨骼组织吸收剂量，采用了一种简单的骨骼剂量测定方法：保守地将活性骨髓和骨内膜的吸收剂量作为单个点骨松质的吸收剂量，将整个骨组织的平均吸收剂量作为局部骨松质吸收剂量的质量加权平均值。为了保持一致，该方法适用于所有粒子。值得注意的是，对于入射带电粒子，没有显著的剂量增强或剂量降低机制，因此本报告中没有提供除光子和中子外的其他外照射粒子的骨骼响应函数。

(h) 将成年男性和女性参考计算模型的转换系数与 ICRP/ICRU 联合工作组的出版物

【ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 第 57 号报告 (ICRU, 1998)】中给出的相应值进行了比较。讨论了这些转换系数数据集之间差异的影响因素, 这些因素包括用于模拟的模型的变化, 以及 ICRP 60 号出版物 (ICRP, 1991) 和 ICRP 103 号出版物 (ICRP, 2007) 建议的辐射权重因数和组织权重因数的变化。工作组阐述了一个问题, 那就是, 目前确定的运行实用量在多大程度上能充分代表辐射防护量, 以及在多大程度上能为大多数外照射辐射防护测量提供令人满意的基础。

(i) 为了阐述上述问题, 在 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 中分别就光子 (10 keV - 10 MeV)、电子 (2 - 10 MeV) 和中子 (0.001 eV - 200 MeV) 绘制了能量与有效剂量与运行实用量之比的曲线。本报告的总结到, 周围剂量当量  $H^*(10)$  能继续为达到带电粒子平衡的光子照射的有效剂量提供合理的评估。对于不超过 10 MeV 电子,  $H^*(10)$  亦能合理评估有效剂量。对于能量不超过 40MeV 中子,  $H^*(10)$  或能合理评估, 或会高估有效剂量。

(j) 第 1 章为引言, 第 2 章按照本报告的定义, 简要介绍了用于外照射的辐射防护量。

(k) 第 3 章介绍了与有关模拟的主要方面。它包括对计算中使用的 ICRP 体素计算模型的简要总结和对所考虑的辐射几何条件的图示。同时, 还简要介绍了各种蒙特卡罗程序的特点。对本报告中采用的骨骼和皮肤剂量测定方法进行了着重介绍。

(l) 第 4 章对所使用的计算参数进行了简要介绍, 对获得的器官剂量和有效剂量之间的转换系数进行了简要分析。对男性和女性转换系数集之间现存的差异做了强调, 并将其与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 中的数据进行了一些比较和讨论。

(m) 第 5 章将有效剂量与  $H^*(10)$  和  $H_p(10)$  进行了比较。此外, 还比较了眼晶状体剂量与个人剂量当量  $H_p(3)$  和定向剂量当量  $H'(3)$  的关系。由于并非所有这些运行实用量都有推荐值, 因此还使用 ICRP 第 74 号出版物之后发表的文献中的数据进行了额外比较。

(n) 附录 A 给出了所有粒子和照射几何条件的有效剂量的参考转换系数。

(o) 附件 B 和 C 分别给出了各类器官光子和中子的注量与吸收剂量之间的参考转换系数, 这些器官都是 ICRP 第 103 号出版物 (ICRP 2007) 指定了组织权重因数的器官 (红骨髓, 结肠, 肺, 胃, 乳腺, 胃壁, 性腺, 膀胱壁, 肝、食道、甲状腺、内胚层、大脑、唾液腺和皮肤), 以及其他组织。对于成年男性和女性模型器官吸收剂量的转换系数是分别给出的。

(p) 对上述所有粒子类型和器官的转换系数, 以及其余 14 种组织 (肾上腺、胸外区、胆囊、心脏、肾脏、淋巴结、肌肉、口腔粘膜、胰腺、前列腺、小肠、脾脏、胸腺和子宫) 的转换系数, 均在本报告随附的光盘中列表给出。

(q) 附件 D 和 E 分别列出了光子和中子的 DRFs。骨髓腔在微观水平不能建立次级带电粒子平衡的情况下, 附件中所列的这些函数通过与参考体素模体中骨松质和骨髓腔中能量相关光子或中子的注量值进行卷积, 能为活性骨髓和骨内膜的剂量提供更精确的估算。附件 D 还提供了红骨髓和骨内膜的质量吸收比值和剂量增强因数值 (见附件 D 第 D.2 节), 这在骨骼剂量三因素测定法时应用需要。

(r) 附件 F 描述了光子、电子和中子的眼晶状体吸收剂量的计算模拟过程, 该模拟使用的是样式化的头部和眼睛模型, 以及一些给定的照射几何条件。

(s) 附件 G 讨论了与随机效应和组织反应相关的皮肤剂量测定的特殊考虑, 并给出了电子和  $\alpha$  粒子的局部皮肤当量剂量的转换系数。

(t) 附件 H 给出了机组人员在近剂量测量的一个额外几何条件 (上半球半各向同性照射) 下的注量与有效剂量转换系数。

(u) 附录 I 简要描述了根据不同的蒙特卡罗程序确定的原始计算数据集, 来确定剂量转换系数的参考数据的方法。

(v) 最后, 附件 J 提供了本报告所附光盘的用户指南。

## 参考文献

- Battistoni, G., Muraro, S., Sala, P.R., et al., 2006. The FLUKA code: description and benchmarking. In: Albrow, M., Raja, R. (Eds.), Hadronic Shower Simulation Workshop, 6 - 8 September 2006, Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab), Batavia, IL, AIP Conference Proceeding 896, pp. 31 - 49. Fasso` , A., Ferrari, A., Ranft, J., et al., 2005. FLUKA: a multi-particle transport code. CERN-2005-10(2005), INFN/TC\_05/11, SLAC-R-773. CERN, Geneva. GEANT 4, 2006a. GEANT 4: Physics Reference Manual. Available at: <http://GEANT4.web.cern.ch/GEANT4/UserDocumentation/UsersGuides/PhysicsReferenceManual/fo/PhysicsReferenceManual.pdf> (last accessed December 2011).
- GEANT 4, 2006b. GEANT 4 User' s Guide for Application Developers. Available at: <http://GEANT4.web.cern.ch/GEANT4/support/userdocuments.shtml> (last accessed December 2011).
- ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1 - 3).
- ICRP, 1996. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26(3/4).
- ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32(3/4).
- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2 - 4).
- ICRP, 2009. Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39(2).
- ICRU, 1998. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection Against External Radiation. ICRU Report 57. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.
- Iwase, H., Niita, K., Nakamura, T., 2002. Development of a general-purpose particle and heavy ion transport Monte Carlo code. J. Nucl. Sci. Technol. 39, 1142 - 1151.
- Kawrakow, I., Mainegra-Hing, E., Rogers, D.W.O., et al., 2009. The EGSnrc Code System: Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport. PIRS Report 701. National Research Council of Canada, Ottawa.
- Niita, K., Sato, T., Iwase, H., et al., 2006. PHITS - a particle and heavy ion transport code system. Radiat. Meas. 41, 1080 - 1090.
- Niita, K., Matsuda, N., Iwamoto, Y., et al., 2010. PHITS - Particle and Heavy Ion Transport Code System, Version 2.23. JAEA-Data/Code 2010-022. Japan Atomic Energy Agency, Tokai-mura.
- Pelowitz, D.B., 2008. MCNPX User' s Manual, Version 2.6.0. LA-CP-07-1473. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM.
- Waters, L.S., 2002. MCNPX User' s Manual, Version 2.3.0. Report LA-UR-02-2607. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM.

## 术语

### 吸收剂量, $D$

吸收剂量定义为:  $D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$ , 式中  $d\bar{\epsilon}$  是电离辐射授予质量  $dm$  物质的平均能量。吸收剂量 SI 的单是每千克焦耳 (J/kg), 它的专用名称为戈瑞 (Gy)。

### 活性骨髓

活性骨髓具有造血活性, 其红色来源于其产生的大量的红细胞。活性骨髓是白血病放射危险的靶组织。

### 周围剂量当量, $H^*(10)$

辐射场中某一点处周围剂量当量是相应的齐向扩展场在 ICRU 球内逆齐向场方向的半径上深度 10mm 处所产生的剂量当量。周围剂量当量的单为每千克焦耳 (J/kg), 它的专用名称为希沃特 (Sv)。

### 骨髓

骨髓是一种细胞高度密集的软组织, 它占据了长骨的圆柱形空腔内以及由轴向和附肢骨骼的骨小梁所限定的腔内。整个骨髓由基质 (海绵体、网状、结缔组织)、髓质组织 (血细胞形成)、脂肪 (脂肪细胞)、少量积聚的淋巴组织以及许多血管和窦构成。骨髓有两种类型: 红骨髓 (活性) 和黄骨髓 (非活性)。见 “活性骨髓”; “非活性骨髓”。

### 骨表面

见 “骨内膜”。

### 带电粒子的平衡

感兴趣体积中带电粒子的平衡意味着带电粒子的能量、数量和方向在整个体积中是恒定的。这相当于说带电粒子在体积内能量辐射分布没有变化。特别是, 进入和离开该体积的带电粒子的能量之和 (不包括剩余能量) 是相等的。

### 截面

靶体的截面, 对于特定类型和能量的入射带电或不带电粒子产生的特定相互作用, 表达式为:  $\sigma = \frac{N}{\phi}$  式中  $N$  是粒子注量为  $\phi$  时, 单一靶实体中发生此类相互作用的平均数。截面的单是  $m^2$ 。截面的专用单是靶恩, 其中 1 靶恩 (b) =  $10^{-28} m^2$ 。此外, 要全面描述一个相互作用过程, 尤其需要了解从相互作用中出射的所有粒子能量与方向的截面分布。这些分布, 有时被称为 “微分截面”, 是通过能量和立体角对  $\sigma$  的微分得到的。

### 确定性效应

见 “组织反应”。

### 定向剂量当量, $H'(d, \Omega)$

辐射场中某一点处定向剂量当量是相应扩展场在 ICRU 球内在特定  $\Omega$  方向的半径上深度  $d$  处产生的剂量当量。定向剂量当量的单是每千克焦耳 (J/kg), 专用名称是希沃特 (Sv)。

### 剂量转换系数

一个将剂量学量和物理量联系起来的系数, 用于内外照射。对于外照射, 物理量选择 “注

量”和“空气比释动能”。在内照射剂量学中，这个术语也被称为“剂量系数”。

### 剂量当量, $H$

组织中某一点的剂量当量用以下公式表示： $H = DQ$ ，其中  $D$  是吸收剂量， $Q$  是该点的品质因数。剂量当量的单位是每千克焦耳 (J/kg)，其专用名称为希沃特 (Sv)。

### 剂量限制

在计划照射情况下，个体受照的有效剂量、器官或组织当量剂量不应超过的一个推荐值。

### 剂量-响应函数 (DRF)

本报告中使用的一种特殊函数，用于表示靶区内单粒子注量在该区域内产生的吸收剂量，该值通过使用靶区的微观结构模型和在该区域产生的次级辐射传输模型计算得到。

### 有效剂量, $E$

人体所有特定器官和组织中等效剂量的组织加权之和，由以下表达式给出：

$E = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R} = \sum_T W_T H_T$ ，式中  $H_T$  为器官或组织  $T$  的当量剂量， $D_{T,R}$  是器官或组织  $T$  接受  $R$  型辐射吸收的平均剂量， $W_T$  是组织权重因数。该总和是在认为对随机效应诱导产生的敏感的器官和组织执行的。它的单位是每千克焦耳 (J/kg)，其专用名称为希沃特 (Sv)。

### 骨内膜 (或内膜层)

覆盖在骨松质骨小梁表面和所有长骨髓腔皮质表面的  $50\mu\text{m}$  厚的一层。它被认为是放射性骨癌的靶组织。这个靶区取代了先前在 ICRP 第 26 和 30 出版物 (ICRP, 1977, 1979) 中介绍的骨表面——它被定义为覆盖骨小梁和皮质 Haversian 表面的厚度为  $10\mu\text{m}$  的单细胞层。

### 当量剂量, $H_T$

一个器官或组织  $T$  的当量剂量由下式表示：

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R}$$

式中  $D_{T,R}$  是  $R$  型辐射授予器官或组织  $T$  的平均吸收剂量， $W_R$  是辐射权重因数。它的单位是每千克焦耳 (J/kg)，其专用名称为希沃特 (Sv)。

### 注量, $\phi$

$dN$  除以  $da$  的商，其中  $dN$  是入射到横截面积  $da$  球体中的粒子数，即  $\phi = \frac{dN}{da}$ ，注量单位是  $\text{m}^{-2}$ 。

### ICRU 4 元素组织

ICRU 4 元素组织的密度为  $1\text{g}/\text{cm}^3$ ，它由质量组分为 76.2% 的氧、11.1% 的碳、10.1% 的氢和 2.6% 的氮组成。ICRU 球体具有这种假定的质量成份。

### 非活性骨髓

与活性骨髓相比，非活性骨髓是不具有造血活性（即不直接提供造血）。它的黄色来自脂肪细胞，脂肪细胞占据了黄色骨髓骨架的大部分空间。

### 比释动能, $K$

不带电粒子的电离量通过  $dE_{tr}$  除以  $dm$  得出，式中  $dE_{tr}$  为不带电粒子入射到质量为  $dm$  的物质中释放的所有带电粒子的初始动能的总和，因此  $K = dE_{tr}/dm$ ，比释动能的单位为每千克焦耳 (J/kg)，其专用名称为戈瑞。

### 比释动能近似值

比释动能有时被用作吸收剂量的近似值。在电子平衡的条件下，比释动能数值近似等于吸收剂量数值，此时辐射损失可忽略不计，不带电粒子的动能大于释放的带电离子的动能。

### 传能线密度/无限制传能线密度，L 或 LET

$dE$ 除以 $dl$ 的商，式中 $dE$ 是带电粒子在穿越距离 $dl$ 时由于电子相互碰撞作用而损失的平均能量，因此写成： $L = dE/dL$ ，传能线密度的单位是焦耳每米，常写成 $keV/\mu m$ 。

### 骨髓细胞网状结构

给定骨骼中具有完全造血功能骨髓的体积分数。ICRP 70 号出版物的表 41 给出了年龄和骨骼位置相关的骨髓细胞网状结构参考值 (ICRP, 1995)。作为一级近似，骨髓细胞网状结构可以认为 1 减去骨髓中脂肪的分数。

### 器官或组织的平均吸收剂量

在特定器官或组织 $T$ 的平均吸收剂量为： $D_T = \frac{1}{M_T} \int_{M_T} D dm$ ，其中 $M_T$ 是器官或组织的质量， $D$ 是质量为 $dm$ 物质中的吸收剂量。它的单位每千克焦耳，它的专用名称是戈瑞 (Gy)。某一个器官的平均吸收剂量有时被称为器官剂量。

### 职业照射

指工作人员因所从事的工作而受到的辐射照射。ICRP 规定只有在工作中受到辐射照射才限定用“职业照射”，而发生的这种情形可被合理地视为是运行管理层负有的责任。

### 运行实用量

为监测和调查涉及外照射和放射性核素内照射而实际应用的量。其的定义是用于测量和评估人体内的剂量。

### 器官吸收剂量

“器官或组织的平均吸收剂量”的缩写。

### 器官当量剂量

“器官或组织的当量剂量”的缩写。

### 个人剂量当量， $H_p(d)$

在人体特定点以下适当深度 $d$ 的软组织中的剂量当量。软组织是 ICRU 4 元素组织。个人剂量当量的单位是每千克焦耳 (J/kg)，它的专用名称是希沃特 (Sv)。特定点通常由个人剂量计的佩戴位置给出。对于有效剂量的评估，建议深度为 10 mm，对于皮肤和眼睛晶状体的当量剂量的评估，建议深度分别为 0.07 mm 和 3 mm。

### 防护量

ICRP 为放射防护而制定的与人体有关的剂量学量，对全身和局部体外照射以及摄入放射性核素内照射对人体危害的定量评估。

### 品质因数 (Q)

组织中某一点的品质因数，由计算公式为 $Q = \frac{1}{D} \int_{L=0}^{\infty} Q(L) D_L dL$ 给出，式中 $D$ 是该点的吸收剂量， $D_L$ 是剂量在感兴趣点无限传能线密度 $L$ 的分布， $Q(L)$ 是品质因数，是 $L$ 的函数。该积分对整个 $D_L$ 的积分值，包括所有电荷粒子，而不包括其次级电子。

### 红骨髓

见“活性骨髓”。

### **辐射权重因数, $W_R$**

一个无量纲因数, 器官或组织吸收剂量乘以该因数, 以反映高 LET 辐射与光子辐射相比的相对生物效应。它用于从器官或组织中的平均吸收剂量得出当量剂量。

### **参考男性或女性(参考个人)**

一种理想化的男性或女性, 其特征由 ICRP 定义, 用于放射防护, 并在 ICRP 第 89 号出版物中定义了其解剖学和生理学特征(ICRP, 2002)。

### **参考人**

一个理想化的人, 其器官和组织中的当量剂量是通过将相应的参考男性和参考女性的平均剂量计算出来的。参考人的当量剂量用于计算有效剂量。

### **参考模体**

利用 ICRP 第 89 号出版物中定义的解剖学和生理学特征(ICRP, 2002), 由 ICRP 第 110 号出版物(ICRP, 2009)中定义的人体计算模体(基于医学影像数据的男性或女性体素模体)。

### **参考值**

ICRP 为剂量学应用或生物动力学模型中的某一个量推荐的值。参考值是固定的, 没有不确定度, 不受建立该值的基础数据包含不确定度这个事实的影响。

### **响应函数**

见“剂量—响应函数”。

### **松质**

术语指骨小梁和于轴向和髌骨区域皮质骨皮质内的骨髓组织(活性和非活性的)的联合组织。松质是 ICRP 第 110 号出版物参考模体(ICRP, 2009)中定义的三个骨区之一, 另外两个是皮质骨和长骨干髓质骨。由于骨小梁、活性骨髓和非活性骨髓的相对比例随骨骼部而不同, 所以松质的均匀元素组成和质量密度不是恒定的, 也是随骨骼部而变化【见 ICRP 第 110 号出版物的附录 B, (ICRP, 2009)】。

### **组织反应**

具有阈值剂量特征的细胞群的损伤和反应的严重程度随着剂量的进一步增加而增加, 也称为“确定性效应”。在某些情况下, 这些效应可以通过照射后包含生物响应调节在内的程序进行改变的。

### **组织权重因数, $W_T$**

对一个器官或组织 T 中当量剂量加权的因数成为组织权重因数, 用以表示该器官或组织对随机效应总辐射危害的相对贡献(ICRP, 1991)。定义为 $\sum_T W_T = 1$ 。

### **体素模体**

基于医学 X 射线断层扫描影像的计算拟人模体, 其解剖结构是由小的三维体积元素(体素)描述的。这些体素的集合被用来确定人体的器官和组织。

### **黄骨髓**

见“非活性骨髓”。

## **参考文献**

1. ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1(3).
2. ICRP, 1979. Limits for intakes of radionuclides by workers. Part 1. ICRP Publication 30. Ann. ICRP 2(3/4).
3. ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3).
4. ICRP, 1995. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: the skeleton. ICRP Publication 70. Ann. ICRP 25(2).
5. ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32(3/4).
6. ICRP, 2009. Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39(2).

## 1. 引言

(1) 剂量学量用于工作人员和公众的放射防护实践，能恰当地量化人类受电离辐射照射的程度，进而可落实剂量限值和辐射防护最优化的基本原则。为了依从并落实法规和准则，ICRP 和 ICRU 开发了一个基于参考数据、模型和模体建立起来的防护和运行剂量学量的系统。

(2) 2007 年，ICRP 修订了之前在 ICRP 第 60 号出版物 (ICRP, 1991) 中提出的关于辐射防护系统的基本建议书。在 ICRP 第 103 号出版物 (ICRP, 2007) 中发布的 2007 年建议书更新、巩固和发展了自 1990 年以来发布的关于控制辐射源暴露的补充指南。他们坚持国际放射防护委员会提出的辐射防护三项基本原则，即正当性、最优化和应用剂量限值，但阐明了它们怎样用于辐射源和受照个体。其他修订还有，2007 年建议书更新了计算“当量剂量”和“有效剂量”的辐射权重因数和组织权重因数的一些值，并根据有关辐射照射的放射生物后果的最新科学信息更新了辐射危害的基本计算方法。

(3) 当量剂量和有效剂量的概念和使用保持不变，但对共用的计算方法作了一些修改。基于对现有不同辐射低剂量相对生物学效应数据的回顾，加上对生物物理方面的考虑，改变了中子和质子的辐射加权重因数  $W_R$ ，其中，中子辐射权重因数以入射或出射中子能量的连续函数的形式给出。同时，新增了带电  $\pi$  介子的  $W_R$  值。光子、电子、 $\mu$  子和  $\alpha$  粒子的辐射权重因数与 ICRP 第 60 号出版物 (ICRP, 1991) 中给出的值相同。此外，也修正了用于表征不同器官和组织对随机健康影响的放射敏感性差异的组织权重因数  $W_T$  也进行了修正。基于暴露人群诱发癌症和遗传效应风险估计的流行病学研究，根据相对辐射危害各自的值选择了一组新的  $W_T$  值。这些值是适用于两性和所有年龄段的人类的平均值，因此与任何特定的个体都不相关。

(4) 另外一个更深层次的重要改变就是，现在对内外照射源照射剂量的计算，均使用 ICRP/ICRU 人体参考计算体模 (ICRP, 2007)。在过去，委员会没有指明特定模体，各种数学模体均使用过，比如雌雄同体的医疗内照射剂量 (MIRD) 型模体 (Snyder 等人, 1969 年)、Kramer 等人 (1982 年) 的特定性别模体，Cristy 和 Eckerman (1987 年) 的特定年龄模体。体素模型是由真实人体的医学图像数据构建而成的，它比之前提供的数学 (或程式化) 模型能更真实地描述人体。因此，ICRP 和 ICRU 决定使用体素模型来定义它们的参考模型，用于计算外照射和内照射在体内的剂量分布。ICRP 第 110 号出版物 (ICRP, 2009) 中描述的代表成年参考男性和参考女性的模型 (或计算模体)，其器官质量与 ICRP 第 89 号出版物 (ICRP, 2002) 中汇编的参考解剖值一致。为计算与 2007 年建议书中的有效剂量概念相对应的辐射防护量专门设计了这些模体 (ICRP, 2007)。ICRP 的 DOCAL 工作组目前正在开发 10 组不同年龄的儿童参考模型——新生儿、1 岁、5 岁、10 岁和 15 岁的男性和女性。

(5) 因此，体素参考模型是参考男性和参考女性的计算模型，可与模拟辐射输运和能量沉积的程序一起，用于评估器官或组织 T 中的平均吸收剂量  $DT$ ，进而依次计算当量剂量和有效剂量。

(6) 一个器官或组织中的当量剂量是先将该器官或组织吸收剂量与所涉及的所有类型辐射的辐射加权因数乘积，然后将所有器官的上述乘积求和计算得来的。有效剂量是将性别平均当量剂量与人体所有器官和组织的组织权重因数乘积，然后相加计算得到的。组织加权

因数基于最新的危险数据，旨在作为近似值应用于男女和所有年龄段的人群。因此，有效剂量的换算系数只能用于参考人有效剂量的计算而不能用于任何特定的个人。

(7) 在放射防护中有两组重要的量：防护量（例如当量剂量和有效剂量）和运行实用量（例如周围剂量当量和个人剂量当量，定义为替代防护量的可测量量）。剂量限值的规定是用防护量表示的，对于外照射是通过对其一个适当的实用量测量显示的。

(8) 三个主要的防护量仍然是器官或组织的平均吸收剂量， $D$ ；器官或组织的当量剂量， $H$ ；和有效剂量， $E$ 。可以通过计算将防护量与发生照射的辐射场建立联系。为了在防护量和辐射场之间建立桥梁，ICRU 开发了用于测量外照射的运行实用量。

(9) 运行实用量包括周围剂量当量， $H^*(d)$ ；定向剂量当量， $H'(d, \Omega)$ ；以及个人剂量当量， $H_p(d)$ 。这些运行实用量以及其他用于辐射防护剂量学的相关量在 ICRU 第 51 号报告 (ICRU, 1993) 和 ICRU 第 66 号报告 (ICRU, 2001) 中均有描述。

(10) 2007 年的建议书 (ICRP, 2007) 要求在人体受内、外照射情况下，对电离辐射源防护中使用的许多基本数据进行回顾。而本报告仅涉及外照射的相关内容。

(11) 本报告的目的是为外照射防护量提供转换系数，并研究它们与本报告使用的运行实用量之间的关系 (ICRU, 1993)。

(12) 最近的辐射流行病学研究表明，白内障的诱发阈值可能远低于先前的假设：对于吸收剂量，目前认为眼晶状体的阈值为 0.5Gy (ICRP, 2012)。眼晶状体的剂量表示整个晶状体的平均剂量，在晶状体内的高剂量梯度情况下，可能不表示导致白内障形成的放射敏感细胞层的剂量。本报告解决了这一问题，并通过蒙特卡罗方法获得了眼晶状体吸收剂量转换系数，该蒙卡方法使用了一个分辨率比 ICRP 参考模型的固定体素结构中的分辨率更高的眼睛样式化模型。

(13) 与物理量（如粒子注量或空气比释动能）有关的剂量转换系数是在理想辐射几何条件、成人参考计算模型接受单能辐射照射，以及使用用于评估眼晶状体剂量的格式化头模等条件下产生的。在此提供这些数据旨在为比较防护量和实用量提供依据，同时也为验证 2007 年建议书 (ICRP, 2007) 对这些量的影响。通过联合工作组对这些数据的回顾为在辐射防护剂量学应用提供了一个权威、稳定的数据集。

## 参考文献

Cristy, M., Eckerman, K.F., 1987. *Specific Absorbed Fractions of Energy at Various Ages from Internal Photon Sources. Vol. 1 - 7. ORNL Report TM-8381/Vol. 1 - 7. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.*

ICRP, 1991. *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3).*

ICRP, 2002. *Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32(3/4).*

ICRP, 2007. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).*

ICRP, 2009. *Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39(2).*

ICRP, 2012. *ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues*

and organs: threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1 - 3).

ICRU, 1985. Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources. ICRU Report 39. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

ICRU, 1993. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry. ICRU Report 51. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

ICRU, 2001. Determination of Operational Dose Equivalent Quantities for Neutrons. ICRU Report 66. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

Kramer, R., Zankl, M., Williams, G., et al., 1982. The Calculation of Dose from External Photon Exposures Using Reference Human Phantoms and Monte Carlo Methods. Part I: the Male (Adam) and Female (Eva) Adult Mathematical Phantoms. GSF Report S-885. GSF - National Research Centre for Environment and Health, Neuherberg.

Snyder, W.S., Ford, M.R., Warner, G.G., et al., 1969. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. Medical Internal Radiation Dose Committee Pamphlet No. 5. J. Nucl. Med. 10 (Suppl. 3).

## 2. 外照射的辐射防护中使用的量

(14) 对人体受到体电离辐射照射的描述和量化需要定义具体的量和单。ICRU 和 ICRP 建议的定义在其各种出版物和出版物中给出 (ICRU, 1985、1993、2001、2011; ICRP, 2007)。本报告仅给出了与外照射放射防护使用的相关量的定义。

### 2.1 注量和比释动能

(15) 要完整描述一个特定类型的辐射场, 需要给出粒子数目  $N$ , 以及它们的能量分布、方向分布以及时间分布。这些描述需要同时定义其标量和矢量。有关辐射场量的定义详见 ICRU 第 85a 号报告 (ICRU, 2011), 该出版物是 ICRU 第 60 号报告 (ICRU, 1998a) 的修订版。提供方向分布信息的矢量量主要用于辐射输运理论和计算, 在剂量学应用中经常使用标量, 如粒子注量或比释动能。

(16) 辐射场的量可以定义在辐射场中的任何一点。辐射场可以由各种类型的粒子组成, 表述某个辐射场量的粒子数是与特定的粒子类型相关的。从而, 通常将粒子辐射场量的名称上添加粒子的名称 (例如中子注量) 来表示。“注量”的数量是基于计算入射或通过受辐射介质小球体的粒子数量的概念。

(17) 注量  $\phi$ , 是  $dN$  除以  $da$  的商, 式中,  $dN$  是入射在横截面积为  $da$  的球体上的粒子数, 即:

$$\phi = dN/da \quad (2.1)$$

注量的单是  $m^{-2}$ 。

(18) 注量与粒子进入球体的方向分布无关。在辐射输运计算中, 注量通常还可以用粒子轨迹的长度来表示。由下式给出:

$$\phi = \frac{dl}{dV} \quad (2.2)$$

式中  $dl$  是粒子在体积  $dV$  中运动轨迹的总和。

(19) 非带电粒子 (间接电离粒子, 如光子和中子) 转移向到物质中的能量, 是通过次级带电粒子在物质中能量的释放和慢化完成的。这种现象引出了“比释动能 (kerma)”的定义。比释动能,  $K$ , 对于非带电电离粒子, 是  $dE_{tr}$  除以  $dm$  的商, 其中  $dE_{tr}$  是非带电粒子入射在质量  $dm$  的物质中释放出的所有带电粒子的初始动能的平均和。公式是:

$$K=dE_{tr}/dm \quad (2.3)$$

比释动能的单是焦耳每千克 (J/kg), 专用名称为戈瑞 (Gy)。

### 2.2. 用于放射防护的剂量的量

(20) 50 多年来, 国际放射防护委员会一直致力于建立一个以概念、量和基本建议为基础的放射防护系统。ICRP 第 103 出版物 (ICRP, 2007) 中建议的最新防护量包括器官或组织中的平均吸收剂量 (也称为“器官吸收剂量”或“器官剂量”),  $D_T$ ; 器官或组织中的当量剂量 (也称为“器官当量剂量”),  $H_T$ ; 以及有效剂量,  $E$ 。当量剂量和有效剂量是不可测量的, 但如果照射条件已知, 则可以计算得到。它们用于规定职业照射和公众照射中的辐射防护限值 (见 2.2.4)。

### 2.2.1 吸收剂量

(21) 在放射防护、放射生物学和临床放射学中，吸收剂量  $D$  是一个基本物理剂测量。它适用于所有电离辐射类型和任何照射几何条件。

(22) 吸收剂量  $D$  被定义为  $d\bar{\varepsilon}$  除以  $dm$  的商，其中  $d\bar{\varepsilon}$  是电离辐射质量授予  $dm$  物质的平均能量，即：

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm} \quad (2.4)$$

吸收剂量的单位为焦耳每千克 (J/kg)，专用名称为戈瑞 (Gy)。

(23) 尽管比释动能的值仅取决于与质量元  $dm$  物质的相互作用，但非带电粒子的吸收剂量的值还取决于在质量元  $dm$  周围释放后进入该质量元的次级带电粒子。吸收剂量反映的是授予能量  $\varepsilon$  的随机量的平均值，并不反映组织中相互作用事件的随机波动。尽管它可被定义在物质的任何一点上，它的值却是在  $dm$  上获得的平均值，因此是物质中许多原子或分子上能量沉积的平均值。一般来说，吸收剂量是一个可测量的量，因此已存在一个通过测量确定其数值的基本标准。

(24) 在放射防护量的定义中，并未尝试在微观层次上确定物理过程的随机分布。往往采用一种实用和经验的方法，即考虑辐射质的差异，而不是明确地考虑这些分布函数。辐射权重因数是无量纲因数，它与器官或组织吸收剂量的乘积用于反映高传能线密度 (LET) 辐射与低 LET 辐射相比有更高的生物效应。根据基于放射生物学实验和流行病学研究的结果的判断，为了考虑到微观区域能量分布的差异，选择了这些数值。这种权重因数与入射辐射的粒子类型相关，或者对于内照射源，与源发射的粒子相关。

### 2.2.2 平均吸收剂量

(25) “吸收剂量”被定义为在物质的任何一点上给出一个特定的值。然而，在实际应用中，吸收剂量通常是在较大的组织体积上求平均。一般有这样的假设，在低剂量情况下，为了辐射防护的目的，某一特定器官或组织中吸收剂量的平均值与该器官或组织所有部分随机效应造成的辐射危害之间具有足够准确的关系。

(26) 在一个器官或组织  $T$  区域内的平均吸收剂量定义为：

$$D_T = \frac{1}{M_T} \int D dm \quad (2.5)$$

式中  $M_T$  是组织或器官的质量， $D$  是在质量元  $dm$  中的吸收剂量。平均吸收剂量， $D_T$ ，等于授予器官或组织的平均能量  $\bar{\varepsilon}_T$  与器官或组织的质量  $M_T$  的比值，定义为：

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R} \quad (2.6)$$

平均吸收剂量的单位为焦耳每千克 (J/kg)，专用名称为戈瑞 (Gy)。一个器官的平均吸收剂量有时被称为器官剂量。

### 2.2.3 剂量当量和辐射权重因数

(27) 防护量的定义是由  $R$  类型辐射在指定的器官组织  $T$  内的沉积的平均吸收剂量  $D_{T,R}$  为基础的，给定辐射类型和能量的辐射  $R$  是由入射到身体上辐射或者是由体内滞留的放射性核素发出的。某一个器官或组织  $T$  中的防护量“剂量当量”， $H_T$ ，定义如下：

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R} \quad (2.7)$$

式中， $W_R$ 是辐射 R（在外照射的情况下入射到身体上的）的辐射权重因数。求和是对涉及的所有辐射类型进行的。当量剂量单位为每千克焦耳（J/kg），专有名称为希沃特（Sv）。

（28）ICRP 第 103 号出版物（ICRP，2007）在表 2.1 给出的中子和质子的  $W_R$  值与 ICRP 第 60 号出版物（ICRP，1991）中给出的值不同，表 2.1 也给出了带电  $\pi$  介子的  $W_R$  值。

### 光子、电子和 $\mu$ 子

（29）电子、 $\mu$  子和由光子产生的次级粒子通常是 LET 值小于 10keV/ $\mu$ m 的一些辐射。这些辐射的辐射权重因数总是被赋予 1。这种简化仅对当量剂量和有效剂量的应用有效（例如，剂量限值和评估，以及低剂量范围内的剂量控制）。在需要进行个体回顾性危险评估的情况下，只要得到相关数据，则需要考虑辐射场的更详细信息和适当的相对生物效应值。细胞内辐射剂量的不均匀性，如氚或俄歇电子与 DNA 结合时可能出现的情况，也需要进行专门分析。当量剂量和有效剂量不适合用于此类评估[见 ICRP 第 103 号出版物，（ICRP，2007）]。

表 2.1 辐射权重因数,  $w_R$ .

辐射类型*	辐射权重因数, $w_R$
光子	1
电子和 $\mu$ 子	1
质子和带电 $\pi$ 介子	2
$\alpha$ , 裂变碎片, 重离子	20
中子	是中子能量的连续函数[见图 2.1 和公式 2.8]

来源:ICRP(2007).The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).

\*所有的值都是与入射到身体上的辐射或自体内源发射的辐射相关的。

### 中子

（30）中子对人体的生物效应很大程度上取决于中子能量。因此，中子的辐射权重因数被定义为能量的函数（图 2.1. ICRP，2007）。与 ICRP 第 60 号出版物（ICRP，1991）中的数据相比，最显著的变化是，在低能范围和中子动能大于 100MeV 以上， $W_R$  均减小（进一步解释见 ICRP 第 103 号出版物中附件 B）。中子辐射权重因数与其能量  $E_n$  之间的关系如下：

$$f(x) = \begin{cases} 2.5 + 18.2e^{-\frac{[\ln E_n]^2}{6}}, & E_n < 1MeV \\ 7.0 + 17.0e^{-\frac{[\ln 2 E_n]^2}{6}}, & 1MeV \leq E_n \leq 50MeV \\ 2.5 + 3.25e^{-\frac{[\ln 0.04 E_n]^2}{6}}, & x > 50MeV \end{cases}$$

(2.8)

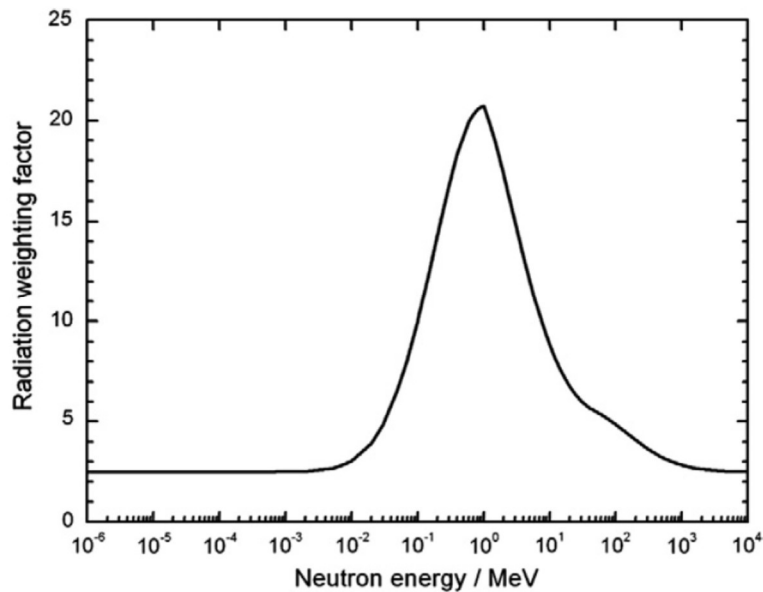


图 2.1 相对于中子动能的中子辐射权重因子,  $w_R$

### 质子和 $\pi$ 介子

(31) 为了放射防护的目的, 对所有能量的质子采用了单一的  $w_R$  值为 2, 主要是基于 10MeV 以上高能质子的放射生物学数据。这取代了 ICRP 60 号出版物 (ICRP, 1991) 中建议值 5。

(32)  $\pi$  介子是由原始宇宙射线与高空原子核相互作用产生, 并存在于辐射场中可带正负电荷或电中性的粒子。这些粒子是宇航人员暴露的主要来源, 是高能粒子加速器屏蔽后复杂辐射场的一部分。对于所有能量的带电  $\pi$  介子, 建议单一  $w_R$  值为 2。

### $\alpha$ 粒子

(33) 1990 年的建议书 (ICRP, 1991) 中建议的  $\alpha$  粒子的辐射权重因数为 20, 2007 年的建议书 (ICRP, 2007 年) 中没有改变。人类可能接受到来自体内发射体  $\alpha$  粒子的照射 (例如, 从吸入的氡子体, 或食入的  $\alpha$  放射性核素, 例如钚、钋、镭、钷和铀的放射性同素)。对于外照射, 因为  $\alpha$  粒子在组织中的作用距离较短, 故而其受照并不重要。

### 裂变碎片和重离子

(34) 裂变碎片的剂量贡献, 在内照射剂量学领域的放射防护中非常重要。对于外照射, 与  $\alpha$  粒子的情形类似, 自 1990 年建议以来, 国际放射防护委员会一直建议其辐射权重因数为 20 (ICRP, 1991 年)。在太空应用中, 重带电粒子对人体总剂量具有显著贡献, 应采用不同的方法来评估重离子的放射生物效能。

## 2.2.4 有效剂量和组织权重因数

(35) ICRP 第 60 号出版物 (ICRP, 1991) 中引入的有效剂量  $E$  被定义为组织当量剂量的加权和: 
$$E = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R} = \sum_T W_T H_T \quad (2.9)$$

式中  $W_T$  为器官或组织  $T$  的权重因数,  $\sum W_R=1$ 。求和是对人体中被认为对诱发随机效应非常敏感的所有器官和组织进行的。选择这些  $w_R$  值是代表单个器官和组织随机效应对造成

的总体辐射危害的贡献。有效剂量的单位为每千克焦耳 (J/kg)，专有名称是 (Sv)。当量剂量和有效剂量以及一些运行实用量的单位是相同的 (见 2.3)。

(36) 根据 2007 年建议书 (ICRP, 2007 年) 选定的器官和组织对应的的  $W_T$  值在表 2.2 中给出。

(37)  $W_T$  值代表了男女两性和所有年龄段的平均值，因此与任何特定个体的特征无关 (ICRP, 2007)。其余组织的  $W_T$  值 (0.12) 适用于男女两性各自的 13 个器官和组织的算术平均剂量，这些器官在表 2.2 的脚注中给出。

### 有效剂量的确定

(38) 确定有效剂量的程序如图 2.2 所示。首先，分别估算参考男性和参考女性的吸收剂量和当量剂量，然后将特定性别的当量剂量取平均值，得出参考人的当量剂量，然后用表 2.2 中给出的所有器官和组织的组织权重因数对性别平均的参考人的当量剂量进行加权求和。整个过程也可以用于儿童参考人。

(39) “当量剂量”和“有效剂量”不可测量的量。对于外辐射源照射，有效剂量通过使用运行实用量的辐射监测给出，或通过应用将辐射场量与器官当量或有效剂量相联系的转换系数来确定的。为了计算外照射的转换系数，将计算模型用于各种辐射场的剂量估算 (见第 3 章)。

表 2-2 组织权重因数

组织	$W_R$	$\Sigma w_t$
红骨髓、结肠、肺、胃、乳腺、其余组织	0.12	0.72
性腺	0.08	0.08
膀胱、食道、肝、甲状腺	0.04	0.16
骨膜 (骨表面)，脑，唾液腺，皮肤	0.01	0.04
总计		1

来自 ICRP (2007)。2007 年国际放射防护委员会的建议。ICRP 第 103 号出版物。Ann. ICRP 37 (2 - 4)。

其余组织：肾上腺、胸外区、胆囊、心脏、肾、淋巴结，肌肉、口腔粘膜、胰腺、前列腺 (男性)、小肠、脾、胸腺和子宫/宫颈 (女性)。

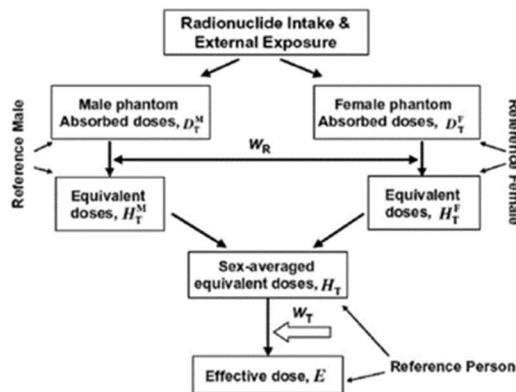


图 2.2 使用特定性别参考模型计算有效剂量的示意图

### 参考模体

(40)对参考男性和参考女性的当量剂量以及参考人的有效剂量的估算基于计算模体或模型的使用。在过去, ICRP 没有指定某种特定的模体, 使用各种数学模体, 例如雌雄同体医学内照射剂量 (MIRD) 型模体 (Snyder 等人, 1969 年)、Kramer 等人 (1982 年) 的特定性别模体和 Cristy、Eckerman (1987 年) 的特定年龄模体均被使用过。现在 ICRP 使用成年男性和成年女性参考计算模体计算器官和组织的当量剂量。该模体数据源于医学断层图像 (ICRP, 2009)。由小的三维体积元素 (体素) 组成。在 ICRP 第 89 号出版物 (ICRP, 2002) 中, 对器官体积进行了调整, 同时, 为了与分配给参考男性和参考女性的参考器官质量近似, 还给出了组织的密度。

(41) 这些模型是对参考男性和参考女性数值计算模型的表述, 用于计算外照射辐射场中以及内照射放射性核素衰变造成的身体内的某一个器官或组织的受照平均吸收剂量  $D_T$ 。

### 有效剂量的性别平均

(42) 为了放射防护的目的, 需要一个对男女都适用的有效剂量值。表 2.2 中的组织权重因数是所有器官和组织有关性别和年龄的平均值包括男性和女性乳腺以及两性性腺在内。这种平均意味着这种方法的应用仅限于确定放射防护中的有效剂量, 不能用于评估个体危险。由此, 有效剂量是分别由参考男性和参考女性的器官或组织 T 的当量剂量  $H_T^M$  和  $H_T^F$  计算得来的, 计算公式如下:

$$E = \sum w_T \left[ \frac{H_T^M + H_T^F}{2} \right] \quad (2-10)$$

(43) 与其他器官和组织类似, 对于参考男性和参考女性的其余组织的当量剂量可以分开确定, 这些值由公式 (2-10) 得到 (见图 2.2)。对其余组织的当量剂量计算是从表 2.2 脚注中列出的每类性别的 13 种组织当量剂量的算术平均值。参考男性其余组织的当量剂量为  $H_{rem}^M$ , 参考女性的为  $H_{rem}^F$ , 算术平均值公式分别为:

$$H_{rem}^M = \frac{1}{13} \sum_T^{13} H_T^M \quad \text{和} \quad H_{rem}^F = \frac{1}{13} \sum_T^{13} H_T^F \quad (2-11)$$

其中 T 是表 2.2 脚注中给出的其余组织。

表 2-3 计划照射情况下推荐的剂量限值

限制类型	年剂量限制	
	工作人员	公众
有效剂量	20mSv, 平均 5 年年剂量*	1
年剂量当量		
晶体	20mSv, 平均 5 年年剂量**	15
皮肤	500mSv	20
手和足	500mSv	—

来源 ICRP (2007)。2007 年国际辐射防护委员会的建议。ICRP 第 103 号出版物, Ann. ICRP 37 (2-4)。

\*: 有效剂量限值是指在规定的时段内, 来自外照射的相关有效剂量与同期放射性核素摄入量的有效剂量之和。

\*\* : 该年剂量限值是国际放射防护委员会于 2011 年 4 月将从 150mSv 下调而来的, 并进一步规定, 在任何一年内剂量不得超过

50mSv。

有效剂量的限制为皮肤发生随机效应提供了充分地保护。

平均超过 1 平方厘米的皮肤面积，不考虑照射面积。

\*除了进一步规定，任何一年的有效剂量不得超过 50mSv。对于孕妇的职业接触还提供了额外限制。

\*在特殊情况下，如果 5 年以上的平均值不超过 1 毫西弗/年，则可在一年内允许更高的有效剂量值。

\*其中 T 是表 2.2 脚注中给出的其余组织。

(44) 用于防护目的的有效剂量是基于人体器官或组织中的平均吸收剂量为基础的。是在参考人中定义和估计的（见图 2.2）。该量提供的值，考虑了个体的特定照射条件，但不考虑其个体特性。特别是，组织权重因数代表的是许多男女个体的平均值。

### 2.2.5 剂量限值

(45) 剂量限值仅适用于计划照射情况，但不包括患者的医疗照射。ICRP 第 103 号出版物（ICRP，2007 年）认为，继续采用 ICRP 第 60 号出版物（ICRP，1991 年）中推荐的剂量限值仍然能够提供适当的防护。ICRP 第 103 号出版物中规定的工作人员和公众的标称危害系数与 ICRP 第 60 号出版物中保持一致，仅是数值略低于 ICRP 第 60 号出版物，这些细微差别没有实际意义（见 ICRP 103 附件 A）。在职业或公众照射各自的类别内，剂量限值适用于正当性实践相关源的受照总和。表 2.3 汇总了推荐的剂量限值。

## 2.3 运行实用量

(46) 防护量“当量剂量”和“有效剂量”是不可测量的，不能直接用作辐射量监测。因此，利用运行实用量来评估有效剂量或组织（器官）中的当量剂量，以显示是否符合职业照射管理要求、可合理达到的尽可能低水平的应用原则，同时考虑经济和社会因素。基于这些不同名称剂量当量（见第 2.3.1 节）由 ICRU 定义用于外部辐射场测量的运行实用量是**周围剂量当量**、**定向剂量当量**（见第 2.3.2 节）和个人剂量当量（见第 2.3.3 节）。**前两个量用于场所监测，最后一个量用于个人监测。**

(47) 运行实用量旨在对大多数照射条件下与人员暴露或潜在暴露相关的防护量的值提供一个合理的估计值，通常是保守的。它们通常用于实际的法规或准则。为了监测外辐射照射，由 ICRU（1985、1998b）定义的运行实用量被许多国家引入放射防护实践中。

(48) 重要的是要确定运行实用量能否合理估计新规定的有效剂量和其他一些防护量。这个问题将在第五章讨论。

### 2.3.1 剂量当量

(49) 剂量当量 H 是组织中某一点 Q 和 D 的乘积，其中 D 是吸收剂量，Q 是该点的品质因数：即

$$H=Q \times D. \quad (2.12)$$

(50) 电离辐射的生物学效能与带电粒子在组织中沿径迹的能量沉积特性密切相关，特别是与电离密度密切相关。对于放射防护的应用，此类径迹的复杂结构由一个单一参数表征，即非限定传能密度（LET） $L_{\infty}$ 。然后，品质因子 Q 被定义为在水中带电粒子非限定传能线密度的函数 Q(L)。

(51) 品质因子函数  $Q(L)$  在 ICRP 第 60 号出版物 (ICRP, 1991) 中的定义如下:

$$Q(L) = \begin{cases} 1 & L < 10 \text{ keV}/\mu\text{m} \\ 0.32L - 2.2 & 10 \leq L < 100 \text{ keV}/\mu\text{m} \\ 300/\sqrt{L} & L > 100 \text{ keV}/\mu\text{m} \end{cases} \quad (2.13)$$

(52) 上述函数是基于细胞和分子系统以及动物实验的放射生物学研究结果作出的判断。评估这一函数的放射生物学数据库自 1990 年以来基本上没有变化 (见 ICRP, 2003 年)。

(53) 组织中某一点的品质因子  $Q$  由下式决定:

$$Q = \frac{1}{D} \int_{L=0}^{\infty} Q(L) D_L dL \quad (2.14)$$

其中  $D$  是该点的吸收剂量,  $D_L$  是  $D$  关于传能线密度  $L$  的分布,  $Q(L)$  是感兴趣点的相应品质因子。 $Q$  是所有带电粒子 (不包括它们的二次电子) 都在  $L$  上的积分。该函数对 neutron 特别重要, 因为 neutron 在组织中相互作用产生各种类型的次级带电粒子。

表 2.4. 监测外照射的运行实用量

任务	操作剂量	
	场所监测	个人监测
有效剂量控制	周围剂量当量 $H^*(10)$	个人剂量当量 $H^*(10, \Omega)$
皮肤、手、手腕和足的剂量控制	定向剂量当量 $H^*(0.07, \Omega)$	个人剂量当量 $H^*(0.07, \Omega)$
眼晶状体剂量的控制	定向剂量当量 $H^*(3, \Omega)$	个人剂量当量 $H^*(3, \Omega)$

如果监测装置的设计不能使用  $H^*(3, \Omega)$  或  $H_p(3)$  进行测量, 则应使用  $H^*(0.07, \Omega)$  和  $H_p(0.07)$ 。

(54) 对于外部照射不同监测任务: 场所监测和个人监测, 表 2.4 描述了不同运行实用量的应用情形。

(55) 在有些情况下不使用个人剂量测定法, 而使用场所监测来评估个人受照情况。这些情况包括机组人员剂量评估, 前瞻性剂量估算, 以及工作场所和自然环境中剂量的评估。

### 2.3.2 场所监测运行实用量

(56) 对于所有类型的外辐射, 用于场所监测的运行实用量是基于在 ICRU 球体中某点存在的剂量当量, 该球体为组织等效材料 (直径为 30 厘米, 密度为  $1\text{g}/\text{cm}^3$  的 ICRU 4 元组织, 由质量组分为 76.2%氧, 11.1%碳、10.1%氢和 2.6%氮组成)。在大多数情况下, 这个模体充分地考虑了人体对辐射场的散射和衰减的性质。

(57) ICRU 球定义的场所监测运行实用量应保持其点量和可加的性质。这是通过在每个量的定义中使用固定深度来实现的。

(58) 扩展辐射场被定义为一个假想场, 在这个假想场中, 注量及其方向和能量分布在整个感兴趣的体积中与在参考点的实际场中具有相同的值。辐射场的扩展确保了整个 ICRU 球暴露在一个均匀的辐射场中, 其注量、能量分布和方向分布与实际辐射场的感兴趣点相同。

(59) 如果在扩展辐射场中所有辐射是齐向的, 使其在 ICRU 球体中与指定的逆半径矢量成  $\Omega$  的方向, 则获得齐向扩展的辐射场。在这个假设的辐射场中, ICRU 球是从一个方向受照的, 场的注量是实际辐射场中感兴趣点注量方向分布的积分。在齐向扩展辐射场中, ICRU 球中任意点处的剂量当量值与实际辐射场中可能存在的辐射方向分布无关。在模型外假设存

在真空的情况下，利用齐向扩展场模式以及 ICRU 球体模型计算了实际辐射场中感兴趣点处粒子的辐射场量与场所监测运行实用量之间的转换系数。

周围剂量当量， $H^*(10)$

(60) 对于场所监测，评估有效剂量的运行实用量是由 ICRU (2001) 定义的周围剂量当量  $H^*(10)$ 。

(61) 辐射场中某一点的周围剂量当量  $H^*(10)$  是由相应齐向扩展场在 ICRU 球体中逆齐向场方向的半径上深度 10mm 处产生的剂量当量。

定向剂量当量， $H'(d, \Omega)$

(62) 对于场所监测，评估皮肤和四肢（手、手腕和足）的剂量以及眼睛晶状体的剂量是定向剂量当量  $H'(d, \Omega)$ ，定义如下：辐射场中某一点的定向剂量当量  $H'(d, \Omega)$  是相应的扩展场在 ICRU 球内指定方向  $\Omega$  的半径上深度  $d$  处产生的剂量当量。

(63) 为了评估对皮肤和四肢的剂量，使用  $d=0.07$  mm，然后将  $H'(d, \Omega)$  写为  $H'(0.07, \Omega)$ 。

(64) 在监测眼睛晶状体剂量的情况下，建议 ICRU 使用  $d=3$  mm 的运行实用量  $H'(d, \Omega)$ 。然而，如果监测装位置不是设计用于测量  $H'(3, \Omega)$ ， $H'(0.07, \Omega)$  可以用作替代物。

### 2.2.3 个人监测的运行实用量

(65) 外照射的个人监测通常是在身体上佩戴个人剂量计的情况下进行的，考虑了这种情况对这种应用定义了运行实用量。对于个人监测，运行实用量是个人剂量当量  $H_p(d)$ 。

(66) 个人剂量当量  $H_p(d)$  是指 ICRU 软组织在人体特定点以下适当深度  $d$  的剂量当量。为此目的，软组织被定义为 ICRU 4 元素组织 (ICRU, 1985) (见词汇表)。人体上用于评估个人剂量当量的指定点由佩戴个人剂量计的任务决定。

(67) 为评估辐射防护量“有效剂量”，选择深度  $d=10$  mm，为评估皮肤、手、手腕和足的当量剂量，建议深度  $d=0.07$  mm。在监测眼睛晶状体剂量的特殊情况下，建议深度  $d=3$  mm 是最合适的。

### 3. ICRP/ICRU 参考模体的器官吸收剂量的确定

#### 3.1 ICRP/ICRU 参考计算模体

(68) 为了计算器官吸收剂量,本报告使用成年男性和成年女性参考计算模型,分别代表参考男人和参考女人(ICRP, 2007)。ICRP 和 ICRU 采用这些模体作为计算 ICRP/ICRU 参考转换系数的模体,并在 ICRP 第 110 号出版物(ICRP, 2009)中进行了详尽地描述。参考计算模体基于真实人体的计算机断层摄影数据,是对人体解剖的数字三维表示。它们与 ICRP 89 出版物中关于成人男性和女性参考解剖参数的信息一致。参考计算模体或模型是通过修改与参考人体身高和质量相近的两个人的体素模型(Golem 和 Laura)(Zankl 和 Wittmann, 2001; Zankl 等人, 2005)构建的。两个模型的器官质量都被高精度地调整到 ICRP 参考男性和参考女性的数据上,而没有明显改变它们的实际解剖结构。这些模体包含以放射防护为目的用于评价人体受电离辐射照射的所有靶区域(即,对“有效剂量”产生贡献的所有器官和组织)(ICRP, 2007)。

(69) 每个模体都表示为一个三维立方体体素数组,按列、行和层排列。数组中的每个条目标识与体素所属的器官组织一一对应。男性参考计算模体包括 195 万个组织体素(不包括代表周围真空的体素),每个体素的层厚(对应于体素高度)为 8.0 mm,平面内分辨率(即体素宽度和深度)为 2.137 mm,对应于体素体积为 36.54 mm<sup>3</sup>。总层数 220 层组成的身体高为 1.76 米。男性体模的体重为 73 公斤。女性参考计算模体由 389 万个组织体素组成,每个体素的层厚为 4.84mm,平面内分辨率为 1.775mm,对应体素体积为 15.25mm<sup>3</sup>。总层数为 346 层,身高 1.63m,体重 60kg。每个体模中单独分割的结构数目为 136,并分配了 53 种不同的组织成分。各种组织成分既包括组织实质的元素成分(ICRU, 1992),也包括每个器官的血液成分(ICRP, 2002)。图 3.1 显示了男性(左)和女性(右)计算模型的正面(冠状)视图。

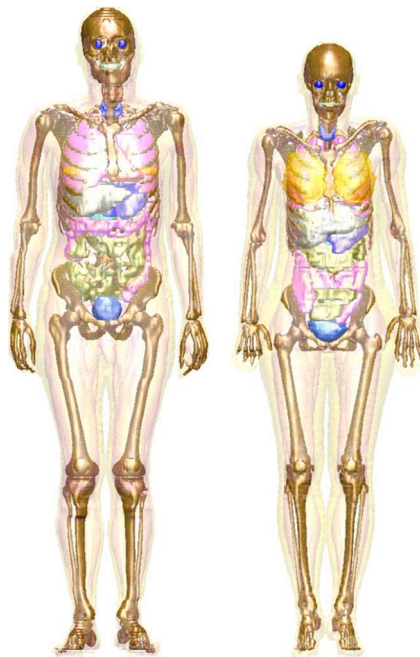


图 3.1 计算模型的男性(左)和女性(右)图。

用不同的表面颜色区分以下器官: 乳腺、骨骼、结肠、眼睛、肺、肝脏、胰腺、小肠、胃、牙齿、甲状腺、膀胱。肌肉和脂肪组织显示为透明色。出于显示目的,体素化的表面做了平滑处理。

(70) 由于这些模型所基于的计算机断层摄影数据的分辨率有限, 以及一些源和靶区的尺寸非常小, 所以并非所有的组织都能被明确地表示出来。例如, 在骨骼中, 感兴趣的靶组织是骨松质髓腔中的红骨髓以及衬在这些骨髓腔中的内膜层 (目前假定厚度为  $50\ \mu\text{m}$ )。由于这两种靶组织的尺寸较小, 在参考模型中它们必须作为构成骨松质的均匀成分。对低能光子和中子, 在一定的能量范围内, 次级带电粒子平衡在这些组织区域内不能完全建立。第 3.4 节和附件 D 和 E 中讨论在骨骼剂量测定中解释这些影响的更精细技术。

(71) 同样, 眼睛晶状体的精细结构在参考模型中也不能用体素几何来描述。因此, 在有限数量的粒子和照射的几何条件眼晶状体的辐射防护中采用了样式化的眼睛模型 (见附件 F)。此外, 表皮的基底细胞作为辐射致风险的皮肤组织, 在参考模型中不能用体素几何条件来表示。因此, 利用组织当量板已经导出了电子和  $\alpha$  粒子的单注量局部皮肤剂量。这个导出剂量是  $50\text{--}100\ \mu\text{m}$  深度组织的平均剂量, 这个厚度是皮肤最敏感层所在的深度 (见第 3.5 节和附录 G)。

### 3.2. 考虑的照射几何条件

(72) 为了获得本报告的换算系数, 假设对人体模型位于真空中由定向宽束全身照射进行计算。以下段落描述了一些典型的照射几何条件。这些几何条件框图如图 3.2 所示。

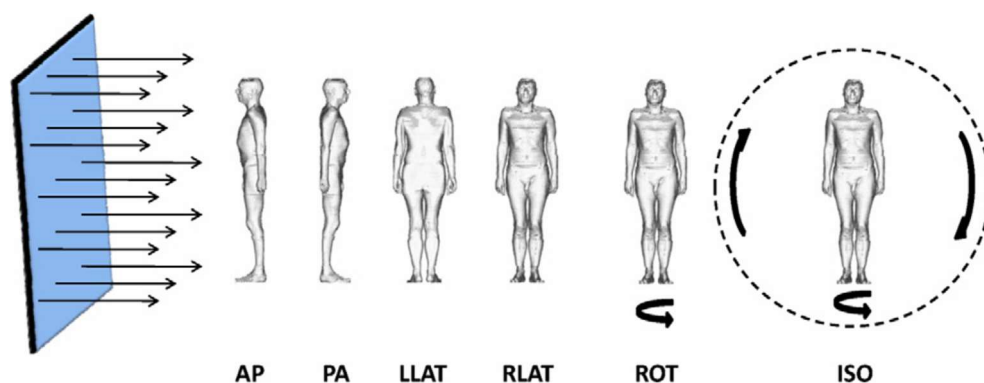


图 3.2 所考虑的人体模型理想化几何条件的示意图。

AP: 前后; PA: 后前; LLAT: 左侧; RLAT: 右侧; ROT: 旋转; ISO: 各向同性

#### 3.2.1. 前后和后前照射几何条件

(73) 在前后 (AP) 位中, 电离辐射在其长轴垂直的方向上入射到身体的前部。在后前 (PA) 中, 电离辐射在与它的长轴垂直的方向上入射到身体的后部。

#### 3.2.2 侧照射几何条件

(74) 在侧 (LAT) 位中, 电离辐射从身体的任一侧面在与身体长轴垂直的方向上入射。LLAT 和 RLAT 几何条件分别表示身体左侧或右侧方向的照射。

#### 3.2.3 旋转照射几何条件

(75) 在旋转 (ROT) 上, 平行辐射束在垂直于长轴方向上围绕长轴均速旋转照射身体。或者, ROT 可以被定义为围绕其长轴均速旋转的身体, 受到与身体长轴垂直入射的固定源的平行射线束照射。

#### 3.2.4 各向同性照射几何条件

(76) 各向同性 (ISO) 是通过辐射场定义的, 该辐射场中每单位立体角的粒子注量与辐射方向和所在位置无关。

(77) 虽然上面定义的几何条件是理想化的, 但它们可以被视为实际照射条件的近似。例如, AP、PA 和 LAT 等几何条件被认为是对由单个源在较远距离和特定身体取向产生的辐射场, 因此它们近似真实的职业照射几何条件。ROT 几何条件被看作是来自广泛分散平面源的照射的近似 (例如, 很可能来自环境污染)。这种照射是对辐射场中垂直照射站立或行走的人的长轴的近似, 也是对辐射场中垂直照射随机走动的人的长轴的近似。ISO 是对人体浸没在辐射场中受照的一种近似, 比如, 如人体浸没在大范围的放射性气体云中或处在高度散射的辐射场中。这种几何条件通常假定为在飞行器中或外太空空间中人员的暴露, 或者由室内或环境中自然产生的放射性核素的人员照射, 或大气中释放到环境中的放射性核素 (即半球云) 的人员照射。

(78) 对于上述受照情况, 是为模拟职业辐射照射的, 假设将身体位置于真空中, 因此, 没有考虑人体周围空气散射和吸收的影响。

### 3.3. 模拟辐射运输的蒙特卡罗程序的概述

(79) DOCAL 工作组成员专门为本报告计算了器官剂量转换系数。为了质量保证的目的, 工作组的不同成员使用相同的参考计算模型但不同的辐射运输程序生成了若干数据集。

(80) 对用于计算拟人体模型中吸收剂量分布和剂量相关量详细方法的描述超出了本报告的范围。这里只简要回顾一下用于产生所提出的器官吸收剂量的辐射运输程序的主要特点。

(81) 正如在本建议书中使用的辐射运输计算的蒙特卡罗方法, 首先模拟特定能量粒子的随机发射及由辐射几何条件确定的发射方向, 按照适当的概率分布随机选择粒子或光子的能量、方向和路径长度的值, 来模拟模型中辐射的相互作用及其随后的路径。概率分布由粒子或光子在通过物质时所经历的相互作用的物理性质决定。粒子或光子历经各种相互作用在介质中穿行, 因此它们的经历是连续的, 历经的相互作用包括产生次级粒子和光子, 并以粒子或光子被吸收、离开感兴趣区或不再具有足够的感兴趣的动能等形式为终点。

(82) 剂量转换系数的准确性受制于以下物理输入参数不确定性的限制: 如相互作用截面, 以及粒子运输模拟与实际曝光情况的偏差。器官吸收剂量转换系数的相对统计不确定性取决于几个参数: 如器官大小、在人体中的位置、粒子能量和照射几何条件。

#### 3.3.1. EGSnrc 程序

(83) 对于本报告提出的计算, 使用了电子伽马簇射程序系统 EGSnrc 版本 v4-2-3-0 (Kawrakow 等人, 2009)。本程序是 EGS4 (Nelson 等人, 1985) 的扩展和改进版本, 由加拿大国家研究委员会 (NRC) 维护, 可以模拟动能从几 keV 到几百 GeV 的光子、电子和正电子的粒子运输。然而, 这些粒子的能量低于 1GeV 对物理学才有一些应用价值。

(84) 对于光子运输, 所有能量都考虑了 K、L 和 M 壳层的康普顿散射和光电子。在这两种情况下, 都会伴随产生荧光或俄歇和科斯特克朗电子。Seuntjens 等人 (2002) 更新了光子横截面的输入数据。他们使用 XCOM 数据库 (Berger 和 Hubbell, 1987) 改进光电效应、瑞利散射和电子对产生的横截面。在 1 GeV 能量以下, 应用了基于 Brown 和 Feynman 方程

(1952)的单循环近似的辐射康普顿修正。然而,由于包含双康普顿事件,对大的散射角减少反应截面的效应被部分地抵消了。对于电子对产生的截面,使用了极端相对玻恩近似,但光子能量低于 85MeV 除外,在这个能量段,由 NRC 采用 Øverbø (1973 年)等人的技术计算了更复杂的横截面。因为光子核反应对器官剂量的贡献被认为小于 0.1%,故可以不考虑。在本报告中,当光子能量低于 2keV 时,就认为光子输运过程终止了。

(85) 电子和正电子输运计算是通过 II 类凝聚历史技术 (Berger, 1963) 进行的,该技术输运产生次级粒子是在某一选定能量以上。动能 1GeV 以下的韧致辐射截面与美国国家标准与技术研究所 (NIST) 数据库 (Seltzer 和 Berger, 1985、1986) 中的数据一致,后者构成了 ICRU(1984)推荐的辐射阻止本领的基础。在动能 1GeV 以上,遵循 Koch 和 Motz(1959)使用库仑修正的相对截面。低于 1GeV,电子碰撞电离是使用默认横截面建模的 (Kawrakow, 2002)。对于更高的能量或当采样不会导致电离时,应用经典的 Møller 或 Bhabha 截面。对于弹性散射,应考虑自旋效应。模拟电子对产生的输运与 EGS4 版本一样 (Nelson 等人, 1985)。对所有粒子均忽略了三重态产生过程。在本报告中,当电子的动能降到 20keV 以下时,电子的输运过程通常终止。也有例外情况,当电子的初始动能低于 50keV 时,其输运历史可追溯到 2keV。在外照射中,动能低于 500keV 的电子很少到达内脏器官,故对内脏器官的剂量贡献很低,这些内脏器官剂量也主要是由参考模体皮肤体素中产生的韧致辐射所致。可采用一种称为“韧致辐射分裂”的方差减少技术来减少内脏器官剂量转换系数的相对统计不确定性 (Kawrakow 等人, 2009)。

### 3.3.2. FLUKA 程序

(86) FLUKA 程序是计算物质中粒子和光子输运的通用蒙特卡罗程序 (Fasso` 等人., 2005; Battistoni 等人., 2006)。该程序可以模拟 60 种不同粒子的辐射传输,包括光子和电子 (1 keV - 1PeV)、中微子、 $\mu$  子 (1 keV - 1 PeV)、能量高达 20 TeV 的强子[通过将 FLUKA 程序与对 Dual Parton 模型和 JET (DPMJET) 程序相结合,可扩展到 10 PeV]、所有对应的反粒子和中子最低能量可到热能,重离子则高达 10 PeV/u。放射性核盘的时间演化和不稳定残核辐射的跟踪可以直接进行。本报告采用的程序是 FLUKA 2008。

(87) 根据初始粒子的能量,采用不同的物理模型来模拟强子相互作用。FLUKA 强子-核子相互作用模型是建立在发射能量低于几个 GeV 时共振的产生和衰减基础上的。对于更高的能量,采用 Dual Parton 模型。强子-核相互作用中使用了另外两个模型。PEANUT 压缩包在 3-5GeV/u 以下使用,包括非常详细的广义核内级联 (GINC) 和预平衡阶段。在更高的能量下, Gribov-Glauber 多重碰撞机制包含在一个不太精确的 GINC 版本中。PEANUT 模型被设置为所有能量的默认值。上述两个强子-核相互作用模型都遵循一个平衡阶段,其中剩余的激发通过蒸发、裂变、费米分裂和伽马去激发耗散。FLUKA 程序还可以模拟光核相互作用 (用矢量介子优势、 $\delta$  共振、准氦核和巨偶极子共振模型描述)。离子产生的核相互作用通过与外部事件发生器的接口进行处理,但在低能区 (小于 150meV/u) 除外,供使用的最近完成的基于 Boltzmann 主方程模型。在 100MeV/u 至 5GeV/u 能量范围内,使用相对论量子分子动力学 (RQMD) 发生器,当能量超过 5GeV/u 时,则使用 DPMJET 程序。

(88) 带电粒子的输运用基于莫里埃库仑散射理论的多重散射算法进行描述。能量损失

是根据 Bethe-Bloch 理论确定，主要来自韧致辐射和电子对产生。

(89) 对于动能低于 20 MeV 的中子，FLUKA 程序采用多组输运算法，该算法基于为 FLUKA 程序准备的中子横截面库，它将中子能量范围细分为 260 组。横截面库包含 200 多种不同的材料，并来源于最近评估的数据。对于氢核以外的原子核，用比释动能系数来计算能量沉积。

(90) FLUKA 程序可以使用熟知的改进版组合几何条件包来处理非常复杂的几何条件。也可以处理重复结构（晶格）和体素几何条件。

### 3.3.3. PHITS 程序

(91) PHITS（粒子和重离子输运程序系统）程序是一个多用途蒙特卡罗程序，模拟任意三维几何结构中强子、轻子和重离子的输运和相互作用（Iwase 等人，2002；Niita 等人，2006、2010）。本报告中使用了 PHITS 2.14 版本。

(92) 在 PHITS 程序中，对 20 MeV 以下至  $10^{-5}$  eV 的中子输运，基于已评估的核数据库，使用与 MCNP4C 程序中类似的方式进行模拟（Briesmeister, 2000）。对于 20 MeV 以上的中子和 200 GeV 以下的质子、介子和其他强子，PHITS 程序采用 Jet AA 微观输运（JAM）模型（Nara 等人，1999）。JAM 是一个强子级联模型，它能处理所有已建立的强子态，包括具有显式自旋和同旋的共振以及它们的反粒子。原子核与原子核的碰撞由 JAERI 量子分子动力学（JQMD）模拟模型（Niita et al., 1995）描述，适用的能量范围为 10 MeV/u 到 100 GeV/u。广义蒸发模型（GEM）（Furihata, 2000）用于激发态残核的汽化和裂变过程，这些过程用 JAM 和 JQMD 计算创建。在目前的计算中，核子诱导反应采用 JQMD 模型。对带电粒子和原子核的能量损失的计算要考虑材料的电荷密度和粒子的动量，同时还要考虑能量损失和角偏差的波动。对 1keV 到 1GeV 的光子和电子输运，基于已评估的核数据库，使用与 MCNP4C 程序中类似的方式进行模拟。

(93) PHITS 程序能够：（1）使用 JAM 和 JQMD 模型能有效估计核子-核碰撞和核-核碰撞产生的次级粒子谱；（2）使用事件发生器模型而不是比释动能近似，来确定低能中子诱发核反应产生的带电粒子的能量（Iwamoto 等人，2008；NITA 等人，2008）；和（3）用 LET 或线能来估计吸收剂量的概率密度（Sato 等人，2009）。

(94) PHITS 程序根据组合几何条件和一般几何条件定义计算模型的几何条件。此外，具备描述重复结构和晶格几何条件的能力用于定义三维体素模型。PHITS 程序能使用 ANGEL 图形包绘制计算几何条件和计算结果的二维和三维图形（Niita 等人，2010）。

### 3.3.4. MCNPX 程序

(95) 洛斯阿拉莫斯蒙特卡罗辐射传输程序 MCNPX (Monte Carlo N-Particle eXtended) (Waters, 2002; Pelowitz, 2008) 能够在几乎所有能量下跟踪 34 种粒子类型（核子和轻离子）和 2000 多种重离子 ( $Z > 2$ )。它使用标准评估数据库给出中子、光子、电子、质子和光核反应的表格数据，而表格数据没有的其他粒子类型和能量则使用物理模型。对所有的核素的  $10^{-11}$  - 20 MeV 的中子、1 keV - 1 GeV 的电子、1 keV - 100 GeV 的光子均有可用的列表截面数据。LA150 截面库（Chadwick 等人，1999 年）根据实验数据和使用 GNASH 模型程序进行的核模型计算（Young 等人，1996 年），为 42 种同位素（包括 H、C、N 和 O）提供了高达 150 MeV（质子为 250 MeV）的中子、质子和光核截面。本报告使用的是 MCNPX 版本 2.6.0。

(96) 该程序中的光子、电子和正电子的输运与 MCNP4C3 程序中的相同。MCNPX 程序中的电子物理特性是基于 Sandia 国家实验室的 Integrated Tiger Series of codes (ITS3.0) 描述 (Halbleib 等人, 1992 年)。电子物理特性也适用于对正电子输运。

(97) 现行的物理模块包括取自 LAHET 程序系统的 Bertini 和 Isabel 模型 (Kirk, 2010)、CEM03 和 INCL4。最新版本的程序包含了几个需要的物理模型 (尽管有一些限制), 如以传输中子弹性和非弹性相互作用中产生的所有次级带电粒子。重离子物理模型纳入使反冲核的输运成为可能。因此, 除了质子、氘核、氚、氦离子和  $\alpha$  粒子等较轻的离子外, 组织中的重反冲核 (C、N 和 O) 现在也可以被传输。重离子模型自动传输从任何物理模型中产生的所有残核, 即使源粒子并不是重离子。目前重离子的阻止本领已经以一种特定方式进行了调整 (Pelowitz, 2008), 以便得到更准确的离子在物质中阻止和射程 (SRIM) 的结果 (Ziegler 等人, 2003)。当带电粒子被减速到 5MeV 的动能下限时, 认为它们的剩余能量沉积在这个点上。

### 3.3.5 GEANT 4 程序

(98) GEANT 4 程序是一个通用蒙特卡罗程序, 与它的前身一样, 是为欧洲核子研究组织 (CERN) 加速器的高能物理和应用的需要而开发的。国际 GEANT 4 合作组织 (<http://GEANT4.web.cern.ch/GEANT4>) 对其进行改进和维护 (Agostinelli 等人, 2003)。GEANT 4 程序可以模拟中子、质子、 $\mu$  子和  $\pi$  介子从 250eV 到 1TeV 的能量传输, 并将低能中子的传输范围扩展到 MeV。

(99) 本报告采用 GEANT 4 的 8.2 版进行计算。一个名为“G4 模体参数化”的函数用于将几何体体素化 (GEANT 4 2006b)。

(100) GEANT 4 程序模拟了不稳定粒子的输运过程和衰变过程 (G4Decay) 的物理特性。有关所有 GEANT 4 物理过程和模型的详细信息, 请参见其程序物理指南 (GEANT 42006a)。GEANT 4 程序提供的标准电磁物理清单是用于电磁物理的, 包括光子、电子、正电子以及  $\mu$  子和反  $\mu$  子的相互作用过程。电子和正电子产生的默认截止值设位置为介质内 1 毫米范围。在每种材料中, 这个范围与一个能量相对应, 在这个能量下进行连续慢化近似。

(101) 对于强子物理, 横截面数据有三个可能的来源。首先, 对低、高粒子能量的数据, 是利用 GEANT3-GHEISHA 包的参数化模型 (Fesefeldt, 1985) 计算得到的; 模型包括诱导裂变、俘获、弹性散射以及非弹性最终态产生等物理过程。其次, 采用来自基于实验数据或评估数据 (ENDF/B-VI 等) 为基础的数据驱动模型。第三, 根据能量范围, 采用不同方法的理论模型。对于 3GeV 以下的中子和质子, 采用包含 G4CascadeInterface 函数的理论模型, 这包括带激子的 Bertini 核内级联模型、预平衡模型、核爆炸模型、裂变模型和蒸发模型 (GEANT 4 2006a)。

## 3.4. 评估骨骼组织剂量的特殊考虑

(102) 为了放射防护的目的, 委员会定义了与随机生物效应相关的两个剂量测量感兴趣的骨骼细胞群: (1) 与放射性白血病危险相关的造血干细胞, 和 (2) 与放射性骨癌危险相关的骨祖细胞。虽然有新的证据表明造血干细胞主要位于骨松质内骨小梁表面附近 (Watchman 等人, 2007 年; Bourke 等人, 2009 年), 本报告放射防护的模型假设这些细胞

均匀分布在造血活跃的骨髓腔中。对于骨祖细胞，委员会先前将它们的位置定义为小梁和皮质骨内的单个细胞层，层厚度为 10 μm，分别沿骨小梁和 Haversian 管的表面分布（ICRP，1977）。在 ICRP 第 110 号出版物（ICRP，2009）中，骨祖细胞的替代靶组织被重新定义为沿骨松质内骨小梁表面和沿所有长骨轴的髓腔内表面的一层，厚度为 50 μm。因此，骨皮质及其哈弗氏管内的细胞不再被视为剂量评估的靶组织。在本报告中，修正后的替代骨祖细胞的 50 μm 靶组织并定义为“骨内膜”，用符号  $TM_{50}$ （骨表面 50 μm 厚度内的总骨髓）表示。术语“骨表面”不再用于描述与放射性骨癌相关的靶细胞层。

(103) 这些有放射危险的骨骼靶组织在 ICRP 参考体模的体素结构中都无法用几何表示。如上所述，男性和女性参考计算模型中的骨骼由定义为皮质骨、骨髓或小梁松质的体素来描述。后者是其微观组织成分（骨小梁、活性骨髓和非活性骨髓）的均匀混合物，在每个参考模型中的不同骨骼，其基本组分和质量密度都会有所差异。因此，必须应用计算算法，将骨松质和髓样骨髓的吸收剂量与活性骨髓或内膜的吸收剂量联系起来。小梁松质组成组织的基本组分见表 3.1。还应注意的是，骨内膜（ $TM_{50}$ ）的基本组分与特定骨骼部位的活性骨髓/非活性骨髓混合物的基本组分一样，由其 ICRP 第 70 号出版物（ICRP，1995）参考骨髓细胞结构确定。

表 3.1 ICRP 参考成年男性和参考成年女性的活性骨髓、非活性骨髓和骨小梁的基本组分，包括其血液含量。

组织/ 模体	基本组分（质量百分比）											
	H	C	N	O	Na	Mg	P	S	cl	K	Ca	Fe
活性骨髓												
男	10.44	35.58	3.38	49.76	0.02		0.10	0.20	0.22	0.20		0.10
女	10.45	35.86	3.38	49.47	0.02		0.10	0.20	0.22	0.20		0.10
非活性骨髓												
男	11.48	63.63	0.74	23.85	0.10		0.00	0.10	0.10	0.00		0.00
女	11.48	63.65	0.74	23.83	0.10		0.00	0.10	0.10	0.00		0.00
骨小梁												
男	3.91	15.69	4.14	46.33	0.29	0.19	8.92	0.29	0.02	0.01	20.18	0.01
女	3.91	15.69	4.14	46.35	0.29	0.19	8.92	0.29	0.02	0.01	20.18	0.01

资料来源：ICRP，2009。成人参考计算模体。ICRP 第 110 号出版物。Ann. ICRP 39（2）第 5.3 节。

(104) 考虑到本报告中涉及的粒子类型及其能量范围广泛，任务组一致选择将下列吸收剂量的近似值应用于活性骨髓和骨内膜（ $TM_{50}$ ）：

$$D_{skel}(AM) = \sum \frac{m(AM, x)}{m(AM)} D(SP, x) \quad (3.1)$$

和 
$$D_{skel}(TM_{50}) = \sum_x \frac{m(TM_{50}, x)}{m(TM_{50})} D(SP, x) + \sum_x \frac{m(TM_{50}, x)}{m(TM_{50})} D(MM, x) \quad (3.2)$$

其中， $D_{skel}(AM)$  和  $D_{skel}(TM_{50})$  分别是活性骨髓和骨内膜的骨平均吸收剂量； $m(AM, x)$  和  $m(TM_{50}, x)$  分别是位置  $x$  处这两种组织的质量； $m(AM)$  和  $m(TM_{50})$  分别是整个骨骼上两种靶组织的质量总和； $D(SP, x)$  和  $D(MM, x)$  分别是在计算模型骨位置  $x$  处骨松质和骨髓的吸收剂量。表 3.2 给出了男性的和女性的参考计算模型的活性骨髓和内膜骨的质量。

(105) 对于较高能量的直接致电离辐射，方程式 (3.1) 和 (3.2) 是用于放射防护的合理近似值。对于间接致电离辐射，如光子和中子，在一定的能量区域，骨髓腔内可能不能形成次级带电粒子平衡。由于不同但又互补的原因，这种缺乏带电粒子平衡的情况在骨松质的光子和中子受射时也会出现。在能量低于 $\sim 200\text{keV}$ 的光子照射时，骨小梁中发生的光电子数量事件要比骨髓组织中的多。这就会导致在骨小梁中出现光电子并在相邻骨髓组织中沉积能量时，会增加活性骨髓和骨内膜的吸收剂量 (Johnson 等人, 2011)。由于骨内膜具有  $50\ \mu\text{m}$  的较小厚度及其在骨骼中位置更接近骨小梁的表面，使得由于上述原因导致的剂量增加对骨内膜而言要比活性骨髓更显著。相比之下，能量低于  $150\text{MeV}$  的中子在骨松质内产生的弹性碰撞和非弹性碰撞，由于骨髓组织比骨小梁含氢量高，从而上述相互作用会在前者中产生更多数量的质子，而且在许多情况下，这些反冲质子会穿过骨髓腔，其剩余能量损失在周边骨小梁上。与对比释动能近似预测的结果相比，对许多能量范围内中子辐射剂量的预测结果对骨髓组织吸收剂量而言是低估的 (Kerr 和 Eckerman, 1985; Bahadori 等人, 2011)。

(106) 本报告附件 D 和 E 分别提供了用于评估光子照射 ( $10\ \text{keV} - 10\ \text{MeV}$ ) 和中子照射 ( $10^{-3}\text{eV} - 150\ \text{MeV}$ ) 下骨骼组织吸收剂量的另外一些计算方法。在每个附件中，给出了骨骼剂量-响应函数的表格数据，定义为每单位注量的吸收剂量。此外，两个附件讨论了使用等式 (3.1) 和 (3.2) 方法与使用剂量响应方法得出的骨骼组织剂量的相对差异。

### 3.5 皮肤剂量

(107) 对于皮肤，随机效应和组织反应（即确定性效应）在外照射中都会涉及。随机效应包括电离辐射照射诱发皮肤癌。组织反应包括皮肤的急性损伤，包括皮肤红斑、水疱和潮湿脱皮。

#### 3.5.1 随机性效应

(108) 为了考虑随机危险，皮肤被纳入了计算有效剂量的组织中，并被分配了一个组织权重因数  $W_T=0.01$ ，如表 2.2 所示。构成有效剂量的皮肤剂量是皮肤的当量剂量  $H_{\text{skin}}$ ，它是整个皮肤组织的平均值。因此，本报告中给出的皮肤剂量转换系数也与  $H_{\text{skin}}$  有关。对这些系数的评估基于参考男性和参考女性计算模型所有皮肤体素的平均吸收剂量 (ICRP, 2009)。

(109) 对于在皮肤中沉积所有能量的弱穿透粒子，皮肤厚度是决定吸收剂量大小的关键参数。如 ICRP 第 110 号出版物 (ICRP, 2009) 所述，男性和女性模体的体素厚度（分别为  $2.137\ \text{mm}$  和  $1.775\ \text{mm}$ ）均大于参考皮肤厚度（参考男生和参考女性分别为  $1.6\ \text{mm}$  和  $1.3\ \text{mm}$ ）。因此，对于连续慢化近似 (CSDA) 射程短于上述体素厚度的粒子，本报告中给出的皮肤剂量转换系数可以较实际值偏低达 35%。

#### 3.5.2 确定性效应

(110) ICRP 第 103 号出版物 (ICRP, 2007) 指出：“有效剂量用于限制随机效应（癌症和遗传效应）的发生，它不适用于评估组织反应的概率。在剂量远低于年有效剂量限值的剂量范围内，组织反应不应发生。使用年有效剂量限值不足以避免组织反应，只有在少数情况下（组织权重因数较低的单个器官例如皮肤的急性局部照射）发生。在这种情况下，还需要对局部组织剂量进行评估。”出版物进一步说明，推荐的皮肤特定年剂量限值（职业照射为  $500\ \text{mSv}$ ，公众照射为  $50\ \text{mSv}$ ）适用于皮肤主要受照区域在  $1\ \text{平方厘米}$  面积内进行平均的

剂量。电子从 10 keV 到 10 MeV 和  $\alpha$  粒子从 6.5 MeV 到 10 MeV 的局部皮肤当量剂量的转换系数见附录 G。

表 3.2 ICRP 参考成年男性和参考成年女性计算模型中的骨组织的质量

器官	位置	参考成年男性				参考成年女性			
		活性骨髓		骨内膜		活性骨髓		骨内膜	
		质量 (克)	质量分数 (%)	质量 (克)	质量分数 (%)	质量 (克)	质量分数 (%)	质量 (克)	质量分数 (%)
14	肱骨上半—松质	26.9	2.3	9.41	1.7	20.7		7.16	1.8
15	肱骨上半—髓腔			0.19	0.0			0.14	0.0
17	肱骨下半—松质			11.25	2.1			8.32	2.0
18	肱骨下半—髓腔			0.25	0.0			0.19	0.0
20	下臂骨—松质			16.31	3.0			12.03	3.0
21	下臂骨—髓腔			0.09	0.0			0.07	0.0
23	手腕和手—松质			12.50	2.3			7.10	1.7
25	锁骨—松质	9.3	0.8	2.50	0.5	7.2	0.8	1.90	0.5
27	颅骨—松质	88.9	7.6	83.40	15.3	68.4	7.6	64.20	15.8
29	股骨头—松质	78.4	6.7	43.34	8.0	60.3	6.7	33.53	8.2
30	股骨头—髓腔			0.86	0.2			0.67	0.2
32	股骨头—松质			47.83	8.8			23.67	5.8
33	股骨头—髓腔			0.67	0.1			0.33	0.1
35	小腿骨头—松质			87.38	16.1			79.91	19.6
36	小腿骨头—松质			5.02	0.9			4.59	1.1
38	脚踝和足—松质			42.20	7.8			24.40	6.0
40	下颌骨—松质	9.4	0.8	2.00	0.4	7.2	0.8	1.60	0.4
42	盆骨—松质	205.2	17.5	51.70	9.5	157.5	17.5	39.70	9.7
44	肋骨—松质	188.8	16.1	29.80	5.5	144.9	16.1	22.90	5.6
46	肩胛骨—松质	32.8	2.8	9.80	1.8	25.2	2.8	7.60	1.9
48	颈椎—松质	45.6	3.9	11.50	2.1	35.1	3.9	8.80	2.2
50	胸椎—松质	188.8	16.1	26.90	4.9	144.9	16.1	20.60	5.1
52	腰椎—松质	143.9	12.3	23.40	4.3	110.7	12.3	18.00	4.4
54	骶骨—松质	115.9	9.9	20.60	3.8	89.1	9.9	15.80	3.9
56	胸骨—松质	36.3	3.1	5.50	1.0	27.9	3.1	4.30	1.1
	总计	1170.2	100	544.4	100	899.1	100	407.50	100

## 参考文献

- Agostinelli, S., Allison, J., Amako, K., et al., 2003. GEANT 4 - a simulation toolkit. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* 506, 250 - 303.
- Bahadori, A.A., Johnson, P.B., Jokisch, D.W., et al., 2011. Response functions for computing absorbed dose to skeletal tissues from neutron irradiation. *Phys. Med. Biol.* 56, 6873 - 6897.
- Battistoni, G., Muraro, S., Sala, P.R., et al., 2006. The FLUKA code: description and benchmarking. In: Albrow, M., Raja, R. (Eds.), *Hadronic Shower Simulation Workshop, 6 - 8 September 2006*, Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab), Batavia, IL, AIP Conference Proceeding 896, pp. 31 - 49.
- Berger, M.J., 1963. Monte Carlo calculation of the penetration and diffusion of fast charged particles. In: Alder, B., Fernbach, S., Rotenberg, M. (Eds.), *Methods in Computational Physics*. Academic Press, New York, pp. 135 - 215.
- Berger, M.J., Hubbell, J.H., 1987. XCOM: photon cross sections on a personal computer. NBSIR 87-3597. National Bureau of Standards (former name of NIST), Gaithersburg, MD.
- Bourke, V.A., Watchman, C.J., Reith, J.D., et al., 2009. Spatial gradients of blood vessels and hematopoietic stem and progenitor cells within the marrow cavities of the human skeleton. *Blood* 114, 4077 - 4080.
- Briesmeister, J.F., 2000. MCNP - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C. Report LA-13709-M. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM.
- Brown, L., Feynman, R., 1952. Radiative corrections to Compton scattering. *Phys. Rev.* 85, 231 - 244.
- Chadwick, M.B., Young, P.G., Chiba, S., et al., 1999. Cross section evaluations to 150 MeV for accelerator-driven systems and implementation in MCNPX. *Nucl. Sci. Eng.* 131, 293 - 328.
- Fasso, A., Ferrari, A., Ranft, J., et al., 2005. FLUKA: a Multi-particle Transport Code. ERN-2005-10 (2005), INFN/TC\_05/11, SLAC-R-773. CERN, Geneva.
- Fesefeldt, H.C., 1985. Simulation of Hadronic Showers, Physics and Application. Technical Report PITHA 85-02, Physikalisches Institut, Technische Hochschule Aachen, Aachen.
- Furihata, S., 2000. Statistical analysis of light fragment production from medium energy proton-induced reactions. *Nucl. Instrum. Methods B* 171, 251 - 258.
- GEANT 4, 2006a. GEANT 4: Physics Reference Manual. Available at: <http://GEANT4.web.cern.ch/GEANT4/UserDocumentation/UsersGuides/PhysicsReferenceManual/fo/PhysicsReferenceManual.pdf> (last accessed December 2011).
- GEANT 4, 2006b. GEANT 4 User's Guide for Application Developers. Available at: <http://GEANT4.web.cern.ch/GEANT4/support/userdocuments.shtml>.
- Halbleib, J.A., Kensek, R.P., Valdez, G.D., et al., 1992. TS Version 3.0: the Integrated TIGER Series of Coupled Electron/Photon Monte Carlo Transport Codes SAND91-1634. Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico 87185 and Livermore, California 94550, US.
- ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. *Ann. ICRP* 1(3).
- ICRP, 1995. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: the skeleton. ICRP Publication 70. *Ann. ICRP* 25(2).
- ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. ICRP Publication 89. *Ann. ICRP* 32(3/4).
- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37(2 - 4).

ICRP, 2009. Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39(2). ICRU, 1984. Stopping Powers for Electrons and Positrons. ICRU Report 37. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

ICRU, 1992. Photon, Electron, Proton and Neutron Interaction Data for Body Tissues. ICRU Report 46. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

Iwamoto, Y., Niita, K., Sakamoto, Y., 2008. Validation of the event generator mode in the PHITS code and its application. In: Bersillon, O., Gunging, F., Bauge, E., Jacqmin, R., Leray, S. (Eds.), Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, April 2007, Nice, EDP Sciences, pp. 945 - 948.

Iwase, H., Niita, K., Nakamura, T., 2002. Development of a general-purpose particle and heavy ion transport Monte Carlo code. J. Nucl. Sci. Technol. 39, 1142 - 1151.

Johnson, J.B., Bahadori, A.A., Eckerman, K.F., et al., 2011. Response functions for computing absorbed dose to skeletal tissues from photon irradiation - an update. Phys. Med. Biol. 56, 2347 - 2365.

Kawrakow, I., 2002. Electron impact ionization cross sections for EGSnrc. Med. Phys. 29, 1230.

Kawrakow, I., Mainegra-Hing, E., Rogers, D.W.O., et al., 2009. The EGSnrc Code System: Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport. PIRS Report 701. National Research Council of Canada, Ottawa.

Kerr, G.D., Eckerman, K.F., 1985. Neutron and photon fluence-to-dose conversion factors for active marrow of the skeleton. In: Schraube, H., Burger, G., Booz, J. (Eds.), Fifth Symposium on Neutron Dosimetry, 17 - 21 September 1984, Munich, Germany, pp. 133 - 145.

Kirk, B.L., 2010. Overview of Monte Carlo radiation transport codes. Radiat. Meas. 45, 1318 - 1322.

Koch, H.W., Motz, J.W., 1959. Bremsstrahlung cross-section formulas and related data. Rev. Mod. Phys. 31, 920 - 955.

Nara, Y., Otuka, N., Ohnishi, A., et al., 1999. Relativistic nuclear collisions at 10 A GeV energies from p+Be to Au+Au with the hadronic cascade model. Phys. Rev. C 61, 024901.

Nelson, W.R., Hirayama, H., Rogers, D.W.O., 1985. The EGS4 Code System. SLAC Report 265. Stanford Linear Accelerator Center, Stanford, CA.

Niita, K., Chiba, S., Maruyama, T., et al., 1995. Analysis of the (N, xN') reactions by quantum molecular dynamics plus statistical decay model. Phys. Rev. C 52, 2620 - 2635.

Niita, K., Sato, T., Iwase, H., et al., 2006. PHITS - a particle and heavy ion transport code system. Radiat. Meas. 41, 1080 - 1090.

Niita, K., Iwamoto, Y., Sato, T., 2008. A new treatment of radiation behaviour beyond one-body observables. In: Bersillon, O., Gunging, F., Bauge, E., Jacqmin, R., Leray, S. (Eds.), Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, April 2007, Nice, EDP Sciences, pp. 1167 - 1169.

Niita, K., Matsuda, N., Iwamoto, Y., et al., 2010. PHITS - Particle and Heavy Ion Transport Code System, Version 2.23. JAEA-Data/Code 2010-022. Japan Atomic Energy Agency, Tokai-mura, I., Mork, K.J., Olsen, A., 1973. Pair production by photons: exact calculations for unscreened atomic fields. Phys. Rev. A 8, 668-684.

Pelowitz, D.B., 2008. MCNPX User's Manual, Version 2.6.0. LA-CP-07-1473. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM.

Sato, T., Kase, Y., Watanabe, R., et al., 2009. Biological dose estimation for charged-particle therapy using

an improved PHITS code coupled with a microdosimetric kinetic model. *Radiat. Res.* 171, 107-117.

Seltzer, S.M., Berger, M.J., 1985. Bremsstrahlung spectra from electron interactions with screened atomic nuclei and orbital electrons. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B* 12, 95-134.

Seltzer, S.M., Berger, M.J., 1986. Bremsstrahlung energy spectra from electrons with kinetic energy from 1 keV to 10 GeV incident on screened nuclei and orbital electrons of neutral atoms with  $Z = 1-100$ . *Atom. Data Nucl. Data Tables* 35, 345-418.

Seuntjens, J.P., Kawrakow, I., Borg, J., et al., 2002. Calculated and measured air-kerma response of ionization chambers in low and medium energy photon beams. In: Seuntjens, J.P., Mobit, P. (Eds.), *Recent Developments in Accurate Radiation Dosimetry, Proceedings of an International Workshop, Montreal, July 14-18, 2002. Symposium Proceedings* 13, Medical Physics Publishing, Madison, USA. pp. 69-84.

Watchman, C.J., Bourke, V.A., Lyon, J.R., et al., 2007. Spatial distribution of blood vessels and CD34+ hematopoietic stem and progenitor cells within the marrow cavities of human cancellous bone. *J. Nucl. Med.* 48, 645-654.

Waters, L.S., 2002. MCNPX User's Manual, Version 2.3.0. Report LA-UR-02-2607. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM.

Young, P.G., Arthur, E.D., Chadwick, M.B., 1996. Comprehensive nuclear model calculations: theory and use of the GNASH code. In: Reffo, G.A. (Ed.), *IAEA Workshop on Nuclear Reaction Data and Nuclear Reactors—Physics Design, and Safety, Trieste, 15 April-17 May*, pp. 227-404.

Zankl, M., Wittmann, A., 2001. The adult male voxel model 'Golem' segmented from whole body CT patient data. *Radiat. Environ. Biophys.* 40, 153-162.

Zankl, M., Becker, J., Fill, U., et al., 2005. GSF male and female adult voxel models representing ICRP Reference Man – the present status. In: *The Monte Carlo Method: Versatility Unbounded in a Dynamic Computing World*. Chattanooga, TN.

Ziegler, J.F., Biersack, J.P., Ziegler, M., et al., 2003. SRIM - the Stopping and Range of Ions in Matter. American Nuclear Society, La Grange Park, USA. Available at: [www.srim.org](http://www.srim.org) (last accessed December 2011).

#### 4. 外照射转换系数

(111) 防护量“当量剂量”和“有效剂量”是不可测量的，因此它们的数值是根据它们与辐射物理场量的关系确定的，如粒子注量 $\Phi$ 、或空气比释动能， $K_a$ 。对参考人定义的转换系数为辐射防护量与物理场量提供了数值联系。因此，重要的是，ICRP/ICRU 参考转换系数能作为职业照射放射防护实践的通用系数使用。

(112) 根据 ICRP/ICRU 联合工作组的工作，委员会曾经发布了关于“外照射放射防护中使用的转换系数”的出版物(ICRP, 1996; ICRU, 1998)。这些出版物推荐了单能光子、中子和电子辐射在特定外照射全身受照条件下辐射防护量与运行实用量之间转换系数的数据集。此外，ICRP 第 74 号出版物(ICRP, 1996)探讨了特定理想照射几何条件中防护量‘有效剂量’与运行实用量之间的关系。大部分用于评估的防护量数据都是根据特定人体解剖学模型计算得到的。

(113) 对所有感兴趣的辐射类型和照射几何条件，代表参考男性和参考女性的 ICRP 体素参考模型(ICRP, 2002 年)需要新的计算转换系数，以取代现有的 ICRP/ICRU 数据集(ICRP, 1996)。有效剂量的转换系数取决于 WR 和 WT 值，这些加权因数变化以及使用基于体素的参考模型对转换系数值（特别是对于光子和中子的转换系数值）的影响在本报告中进行了研究。

(114) 本报告中提出的所有数据集都是基于 DOCAL 任务组使用男性和女性参考计算模型所做的计算 (ICRP, 2009 年)。如第 3.3 节所述，为模拟辐射输运使用了多种蒙特卡罗程序。为了质量保证的目的，数据集是由蒙特卡罗初级计算器组和确认组(次级计算器)计算得到的。在大多数情况下，还会由第三组或第四组进行额外的验证计算。初级计算器包括所有的能量和几何特性，次级计算器包括大部分这些参数，第三或第四组计算器对选定的几何条件和粒子能量进行计算。一般情况下，不同程序计算的结果有很好的 consistency；在大多数情况下，偏差小于相对的统计不确定度。然而，对于某些粒子和能量范围，输运模型的差异是显著的，在此情况下，会对这些差异进行更广泛地研究。通过综合运用数据平均、数据平滑和数据拟合等方法得到参考值（见附件 I）。对有效剂量转换系数的计算如 2.2.4 节所述。

(115) 本报告所考虑的粒子类型和能量的范围比 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 给定的范围宽。表 4.1 显示了在本报告中考虑的粒子类型、能量范围和照射几何条件。表 4.1 中也列出了用于这些计算的蒙特卡罗程序。为了简化辐射输运语言，用术语“能量”来代表“动能”，这也将在该出版物的附图和表格以及所附的 CD 中使用。

(116) 如 3.4 节所述，每个骨部位用骨松质的吸收剂量来估计活性骨髓和骨内膜的剂量。然后，将这些组织的骨骼平均吸收剂量作为质量加权的局部骨松质剂量。为了一致起见，该方法应用于所有的粒子和计算。就本报告的目的而言，工作组认定这一办法是足够的。用 EGSnrc 光子程序进行的试验计算表明，包含剂量响应函数(DRF)并不显著影响有效剂量值，如图 4.1 所示证实这点。

表 4.1 用于确定器官和有效剂量转换系数的计算汇总

粒子	能量	几何	初级计算	次级计算	验证计算
光子	10 keV - 10 GkeV 包含能量 0.511, 0.662, 1.170, 1.330 6.129 MeV	AP, PA, LLAT, RLAT, ISO, ROT	EGSnrc HMGU (Schlattl)	MCNPX 2.6-CEM GaTech (Hertel)*	GEANT 4 HMGU (Simmer)
中子	0.001 eV - 10 GeV	AP, PA, LLAT, RLAT, ISO, ROT	PHITS JAEA (Sato)	FLUKA INFN (Pelliccioni)	MCNPX 2.5 RPI (Xu) GEANT 4 HMGU (Simmer)
电子	50 keV - 10 GeV	AP, PA, ISO	MCNPX 2.6-CEM MCNPX2.6Bertini (below 1MeV) GaTech (Hertel)*	EGSnrc HMGU (Schlattl)	GEANT 4 HMGU (Simmer)
正电子	50 keV - 10 GeV	AP, PA, ISO	MCNPX 2.6-CEM GaTech (Hertel)*	EGSnrc HMGU (Schlattl)	GEANT 4 HMGU (Simmer)
质子	1 MeV - 10 GeV	AP, PA, LLAT, RLAT, ISO, ROT	PHITS JAEA (Sato)	FLUKA INFN (Pelliccioni)	MCNPX 2.6 JAEA (Endo) GEANT 4 HMGU (Simmer)
负介子	1 MeV - 200 GeV	AP, PA, ISO	FLUKA JAEA (Endo) PHITS JAEA (Sato)		
正介子	1 MeV - 200 GeV	AP, PA, ISO	FLUKA JAEA (Endo) PHITS JAEA (Sato)		
负 $\mu$ 子	-1 MeV - 10 GeV	AP, PA, ISO	FLUKA JAEA (Endo)	MCNPX 2.6-CEM GaTech (Hertel)*	GEANT 4 HMGU (Simmer) FLUKA INFN (Pelliccioni) MCNPX2.6-Bertini JAEA (Endo)
正 $\mu$ 子	1 MeV - 10 GeV	AP, PA, ISO	FLUKA JAEA (Endo)	MCNPX2.6-CEM GaTech (Hertel)*	GEANT 4 HMGU (Simmer) FLUKA INFN (Pelliccioni)
氦离子	1MeV/u - 100GeV/u	AP, PA, ISO	PHITS JAEA (Sato)	FLUKA JAEA (Endo)	

AP: 前后; PA: 后前; LLAT: 左侧; RLAT: 右侧; ROT: 旋转; ISO各向同性; HMGU, 德国 Helmholtz Zentrum M $\ddot{u}$  nchen 环境和健康研究中心; JAEA: 日本原子能机构; GaTech: 乔治亚理工学院; INFN: 国家核聚变研究所; RPI, 伦斯勒理工学院

\* Nolan Hertel with Eric Burgett, Idaho State University; Michele Sutton Ferenci, Penn State University Medical Center; Ken Veinot, Y-12 National Security Complex, Oak Ridge, TN

(117) 附件 A 列出了所有粒子、能量和照射几何条件的有效剂量的参考转换系数。针对 ICRP 第 103 号出版物(ICRP, 2007 年)规定的对有效剂量有贡献的器官(即红(活性)骨髓、结肠、肺、胃、乳腺、卵巢、睾丸、膀胱壁、食道、肝脏、甲状腺、骨内膜、脑、唾液腺和皮肤)以及其余组织, 附件 B 和 C 分别列出了光子和中子的吸收剂量换算系数。数据是对男性和女性模体及每种所考虑的特定照射几何条件分别给出的。附件 F 显示了光子、电子和中子的眼晶状体剂量转换系数。在本报告所附的 CD 中, 给出了完整的器官剂量转换系数, 包括对其余组织类别中的每个器官。这些附加器官包括肾上腺、胸外区域、胆囊、心脏、肾脏、淋巴结、肌肉、口腔粘膜、胰腺、前列腺、小肠、脾脏、胸腺和子宫/宫颈。在 CD 中也可以找到用于眼晶状体和所有粒子的剂量转换系数。表 4.2 列出了所有靶组织的简写, 摘自 ICRP 第 110 号出版物附件 D(ICRP, 2009 年)。对于靶组织组成的有关器官识别编号, 请参阅 ICRP 第 103 号出版物的表 A.1。器官吸收剂量以与入射粒子注量  $\phi$  的比值的形式给出, 单位为  $\text{pGycm}^2$ 。此外, 对于能量高达 10 MeV 的光子, 也以单空气比释动能器官当量剂量 (Sv/Gy) 的形式列表给出了转换系数。在所有情况下, 都假定模体是在真空中受照的。

(118) 当需要在本报告中提出的换算系数之间进行精确插值时, 建议采用类似于 ICRP 第 74 号出版物(ICRP, 1996)所使用的方法。对于单注量吸收剂量和有效剂量的插值, 建议采用四点(立方)拉格朗日插值公式, 用对数刻度图更合适。光子的单位空气比释动能吸收剂量和有效剂量的插值也采用四点(立方)拉格朗日插值公式, 但使用线性对数刻度图更为合适。

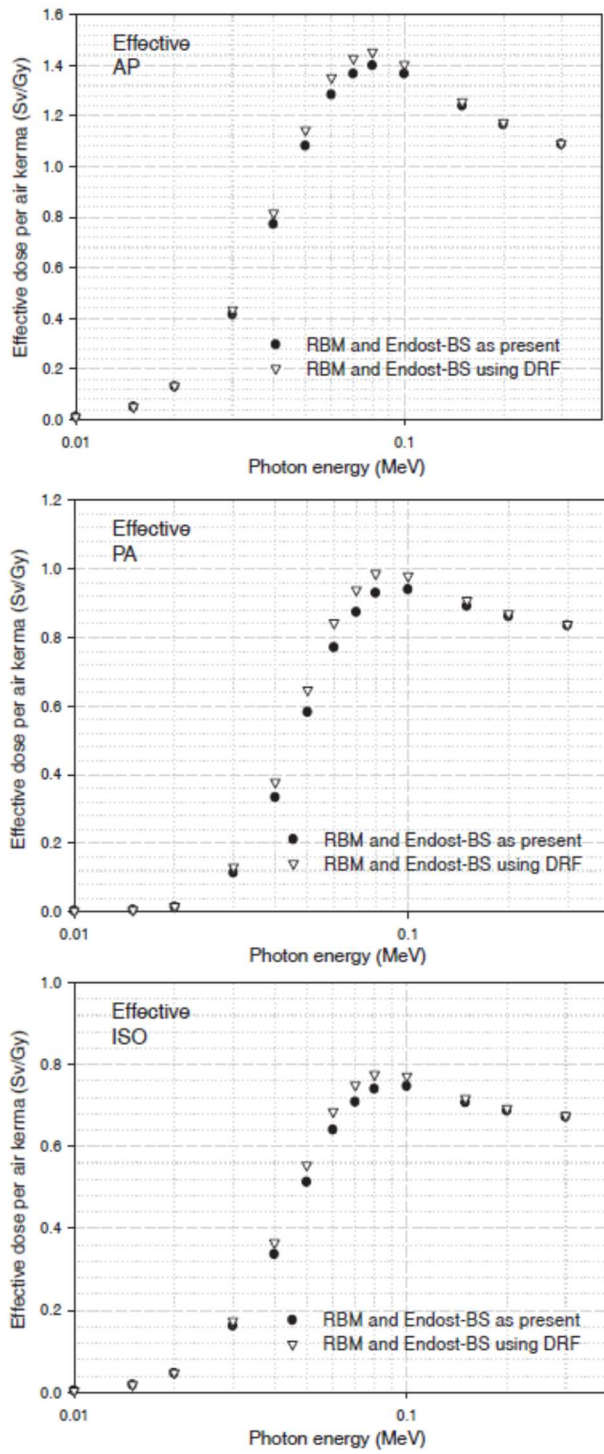


图 4.1 在前后(AP)、后前(PA)和各向同性(ISO)照射几何条件中,利用活性骨髓(RBM)和骨内膜(EndST-BS)剂量使用本报告中的方法计算得到的每单位空气比释动能的有效剂量和使用剂量-响应函数(DRF)计算的每单位空气比释动能的有效剂量的比较。

表 4.2 ICRP 第 110 号出版物体模中的目标区域列表及其首字母简称。

Target region	Acronym
Active (red) marrow	R-marrow
Colon	Colon
RLung + LLung	Lungs
Stomach wall	St-wall
Breast-a + Breast-g	Breast
ROvary + LOvary	Ovaries
Testes	Testes
Urinary bladder wall	UB-wall
Oesophagus (wall)	Oesophagus
Liver	Liver
Thyroid	Thyroid
50- $\mu$ m endosteal region	Endost-BS
Brain	Brain
Salivary gland	S-glands
Skin	Skin
RAdrenal + LAdrenal	Adrenals
Extrathoracic region	ET
Gall bladder wall	GB-wall
Heart wall	Ht-wall
RKidney + LKidney	Kidneys
Lymph nodes, except LN-ET and LN-Th	Lymph
Muscle	Muscle
Oral mucosa	O-mucosa
Pancreas	Pancreas
Prostate	Prostate
Small intestine wall	SI-wall
Spleen	Spleen
Thymus	Thymus
Uterus/cervix	Uterus
Tongue	Tongue
Tonsils	Tonsils
Right colon wall (ascending + right transverse)	RC
Left colon wall (left transverse + descending)	LC
Sigmoid colon wall + rectum wall	RSig
Basal cells of anterior nasal passages	ET1-bas
Basal cells of posterior nasal passages + pharynx	ET2-bas
Lymph nodes of extrathoracic (ET) region	LN-ET
Basal cells of bronchi	Bronchi-bas
Secretory cells of bronchi	Bronchi-sec
Secretory cells of bronchioles	Brciol-sec
Alveolar-interstitium	AI
Lymph nodes in thoracic region	LN-Th
Right lung lobe	RLung
Left lung lobe	LLung
Right adrenal gland	RAdrenal
Left adrenal gland	LAdrenal
Inactive (yellow) marrow	Y-marrow
Right breast adipose	RBreast-a
Right breast glandular	RBreast-g
Left breast adipose	LBreast-a
Left breast glandular	LBreast-g

Target region	Acronym
RBreast-a + RBreast-g	RBreast
LBreast-a + LBreast-g	LBreast
RBreast-a + LBreast-a	Breast-a
RBreast-g + LBreast-g	Breast-g
Lens of eye	Eye-lens
Right kidney cortex	RKidney-C
Right kidney medulla	RKidney-M
Right kidney pelvis	RKidney-P
Right kidney C + M + P	RKidney
Left kidney cortex	LKidney-C
Left kidney medulla	LKidney-M
Left kidney pelvis	LKidney-P
Left kidney C + M + P	LKidney
Right ovary	ROvary
Left ovary	LOvary
Pituitary gland	P-gland
Spinal cord	Sp-cord
Ureters	Ureters
Adipose/residual tissue	Adipose

资料来源 ICRP, 2009. Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39(2).

## 4.1 光子

### 4.1.1 光子在人体中的能量沉积特性

(119)光子在人体中通过三种主要的相互作用将能量传递给电子或正电子：光电效应、康普顿散射和电子对(和三重电子)产生。能量在人体内的沉积是由电子和正电子沿其路径传递并丢失的能量造成的。电子和正电子可以产生次级光子，如韧致辐射、电离后发射的和正电子湮没产生的特征 X 射线。

(120)在软组织中，30 keV 以下的光子能量沉积以光电效应为主，而在 30 keV~25 MeV 能量范围内，光子能量通过康普顿散射传递给电子。对于 25 MeV 以上的能量，电子对产生是主要的相互作用。

### 4.1.2 光子的计算条件

(121)使用 EGSnrcV4-2-3-0 版本对外照射光子进行初级计算(Kawrakow 等, 2009)。读者要了解更多关于所使用程序的详细信息，可参考第 3.3.1 节和 Schlattl 等(2007)的文章。对于一些大器官(如肺或肝)的剂量转换系数可在所有几何条件中确定，相对统计不确定度达到 0.5%。即使在最小的一些器官中，要使相对统计不确定度达到小于 2%，需要采用大样本采样。到达胆囊、前列腺、睾丸、卵巢、胸腺和甲状腺的粒子数量是人为地增加了五倍，而乳腺腺体组织区域内和肾上腺区域内的光子数量比这些区域以外器官的组织高 10 倍。一般情况下，低能光子的统计不确定度较小。然而，在所考虑的最低能量(10 至 20keV)范围，诸如胆囊这样的小器官的相对统计不确定性高达 10%，因为只有少数光子能够到达这些器官。

(122)外照射光子的次级计算使用 MCNPX2.6 版本开展的。为了将可能的光子相互作用考虑在内，选择了 CEM 03 物理模型进行光子输运计算。将得到的吸收剂量与在相同能量下计算的剂量样本进行比较，选择 Bertini 模型模拟光核相互作用。在这个能量范围内，光核相互作用对吸收剂量的贡献很小，因此模型导致的差异是可以忽略的。在所有几何条件和能量中测定了一些大器官(如肺和肝脏)的剂量转换系数，统计不确定度小于 0.5%。小器官，即使在最小的器官，相关的统计不确定性被限定在不到 2%，但对非常高的能量，接近 5%。一般情况下，当光子能量较低时，不确定度较小。然而，在所考虑的最低能量(10-20 keV)下，小器官(如胆囊)的相对统计不确定性高达 10%，因为能够到达这些器官的光子相对较少。

(123)用 GEANT 4 程序对 AP 照射几何条件进行验证计算。能量大于 30 keV 的光子的相对统计不确定度对较大器官最多为 3%和对较小的器官为 10%。在 30 keV 以下，当较少的能量沉积事件发生在模体较深的区域时，较小器官(如肾上腺)的相对统计不确定度会超过 10%。

(124)理想外照射的剂量转换系数用单位注量吸收剂量进行评估，单位为 pGy cm<sup>2</sup>。此外，对于高达 10MeV 的能量，已将该转换系数以每单位空气比释动能的器官当量剂量(单为 Sv/Gy)的形式列于表中。为了上述变换，应用了每单位注量的空气比释动能的转换系数表示(Seltzer, 1993)。

(125)如 3.4 节所述，估计活性骨髓和骨内膜剂量采用每个骨部位中的骨松质的吸收剂量。取骨组织对这两种靶组织的平均吸收剂量作为质量加权平均的局部骨松质和髓腔剂量

(126) 有效剂量的计算如第 2.2.4 节所述。

#### 4.1.3 光子的蒙特卡罗程序计算结果间的差异

(127) 从 EGSNRC、MCNPX2.6 和 GEANT 4 程序生成的数据集显示出很好的一致性。如图 14.2 对比了三种输运程序在前后照射几何条件下，对女性模体内的结肠靶和男性模体内的甲状腺靶计算产生的剂量转换系数。

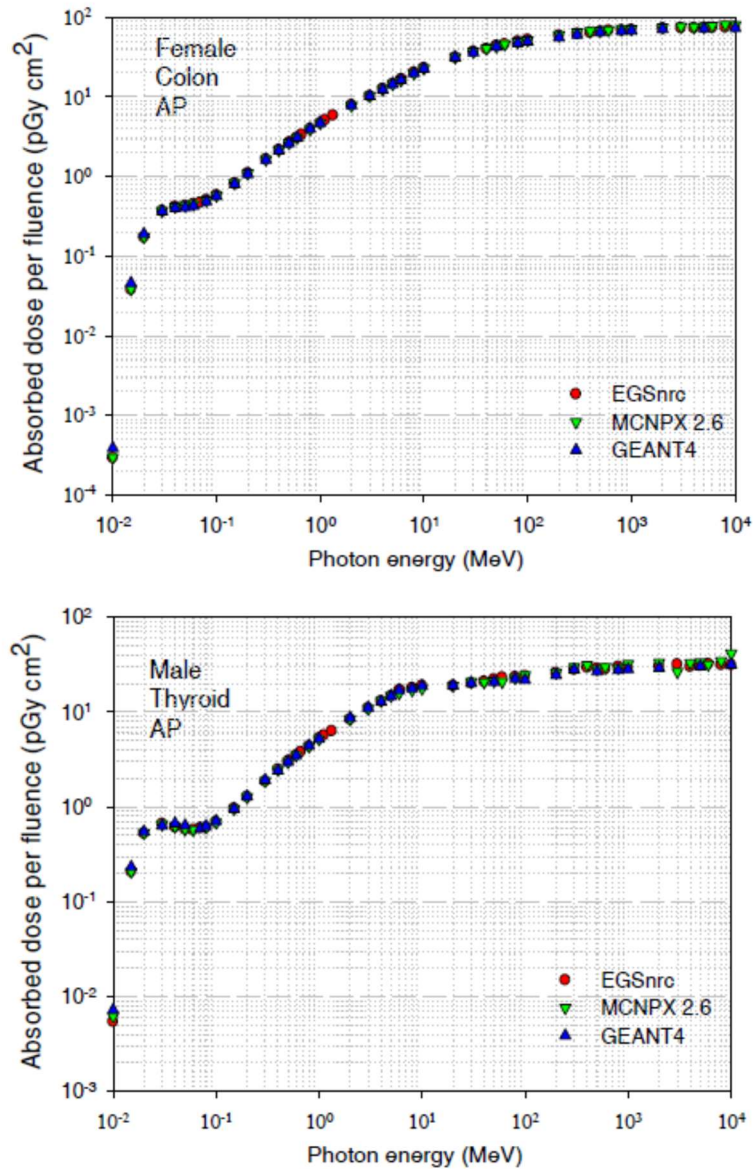


图 4.2 三个蒙特卡罗程序计算得到的前后 (AP) 照射几何条件下结肠 (女性) 和甲状腺 (男性) 的剂量转换系数的比较。

(128) 所有计算器的数据应用数据平均、平滑和拟合技术后，来评估参考吸收剂量的转换系数。参考有效剂量转换系数在附录 A 中给出，并以图形方式显示在图 4.4 中。附录 B 列表给出了对计算有效剂量有贡献的所有器官和其余组织的光子的参考器官吸收剂量系数。在附录 F 中可查找眼晶状体的转换系数。

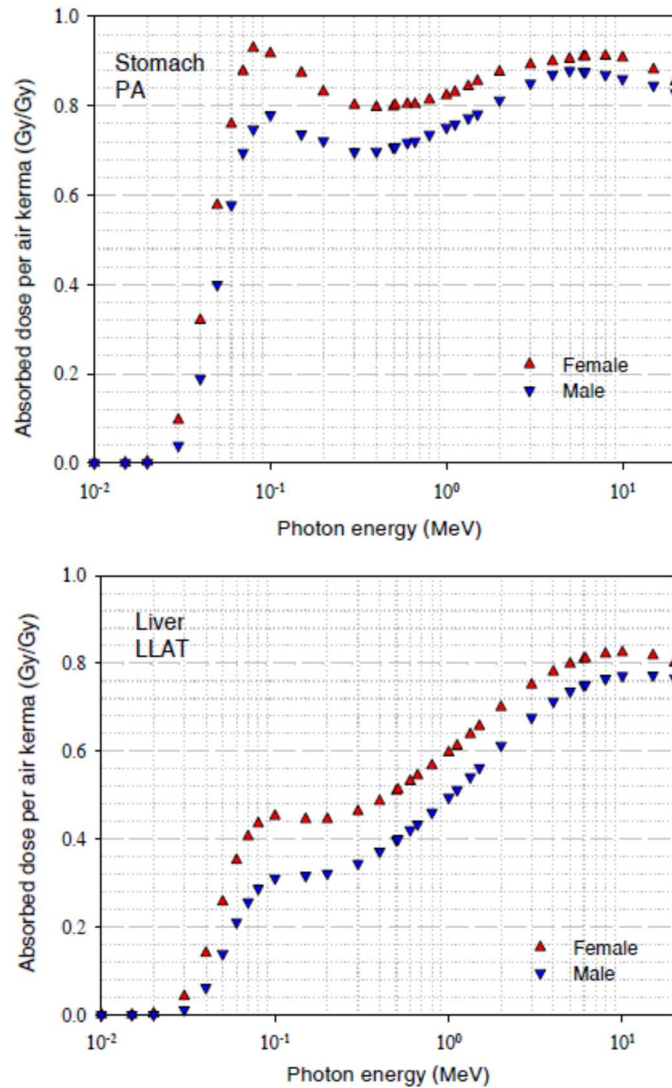


图 4.3 男性与女性参考模体中胃后前(PA)和肝左侧(LLAT)光子照射器官剂量转换系数的比较。

#### 4.1.4 光子的器官剂量转换系数的分析

(129) 在不同性别模体之间的器官吸收剂量转换系数表现出明显的差异(Schlattl 等人, 2007 年)。与参考男性相比, 参考女性的身材较小, 其几个器官的剂量转换系数值较高(30-50%或更高)。相反, 在低光子能量 AP 照射情况下, 由于女性乳腺的遮挡, 会使上半身的几个器官的转换系数比男性的低。在 40~80 keV 的光子能量范围内, 男性和女性参考模体的器官剂量转换系数差异最大。单向照射(AP、PA、LLAT 和 RLAT)的相对偏差最大, 可接近 50%。在大多数情况下, 这些差异随着光子能量的减少而增大。随着光子能量的降低, 器官在人体内的深度成为一个越来越重要的参数, 严重影响器官剂量转换系数的取值。这将导致光子能量在 20-30 keV 及以下时的转换系数相对偏差高达 100%或更大。

(130) 图 4.3 分别显示了胃后前和肝左侧照射几个条件的剂量转换系数。对于旋转和各向同性光子源, 男性和女性模体的器官剂量转换系数几乎相同。

#### 4.1.5 光子的有效剂量转换系数分析

(131)图 4.4 显示了理想几何条件下光子照射的每单位注量有效剂量。当能量达到 4 MeV 时，后前照射几何条件有效剂量值最高。而在 30 MeV 以上，后前位的值最低。

#### 4.1.6 与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996 年) 中光子数据的比较

(132) ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996 年) 的光子数据是用数学模型 Adam 和 Eva (Kramer 等人, 1982 年) 计算出来的, 这两个数学模型来源于医学内照射剂量 (MIRD) 委员会模型 (Snyder 等人, 1969 年, 1978 年)。使用了 GSF 程序 (Kramer 等人, 1982 年; Veit 等人, 1989 年), 这是橡树岭国家实验室开发的 ALGAM 程序 (Warner 和 Craig, 1968) 的继承者。所使用的截面是 DLC 99/HUGO 数据库中的数据 (Roussin 等人, 1983 年)。

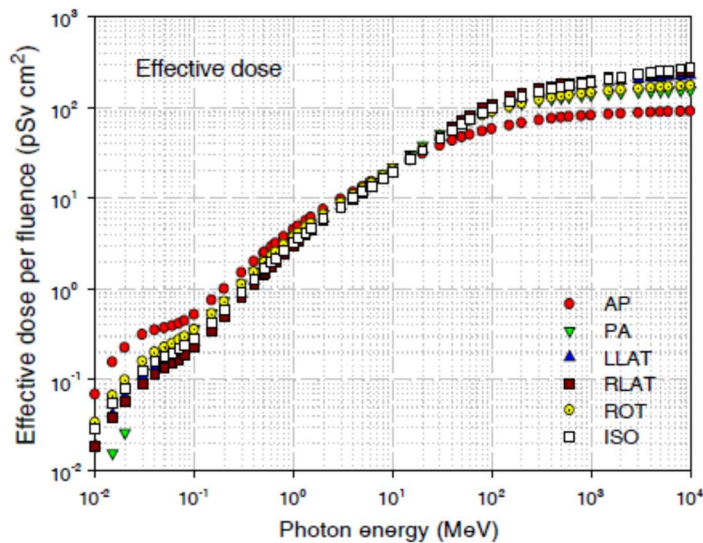


图 4.4 不同几何条件光子照射的每单位注量的有效剂量。AP, 前后; PA, 后前部; LLAT, 左侧; RLAT, 右侧; ROT, 旋转; ISO, 各向同性。

(133)在 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 中, 光子在 A 点相互作用转移的能量被认为沉积在了该点 (即没有次级电子产生)。这种简化被称为 “kerma 近似”。只要在感兴趣体积中存在近似的次级粒子平衡, 并且体内所有点都采取这种假设, 则 kerma 近似是有效的。然而, 对于表浅器官 (例如皮肤、乳腺和睾丸), 在 10MeV 的光子能量下 kerma 近似会导致吸收剂量被高估高达 2 倍。对于表浅器官, kerma 近似仅在 1MeV 以下有效。在本报告中, 无论入射的光子能量如何, 都会产生次级电子。应当注意的是, 在光子的外照射中, 光子照射总是伴随着由其产生的次级电子 (和正电子) 的照射, 在估计吸收剂量时二者的转换系数需均考虑进来。

(134)在 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 中, 对 ADAM 和 EVA 格式模体采取了假定的简化组分。在本报告中, 使用了 ICRP 第 110 号出版物中所述地更全面的组织组分清单 (ICRP, 2009 年)。

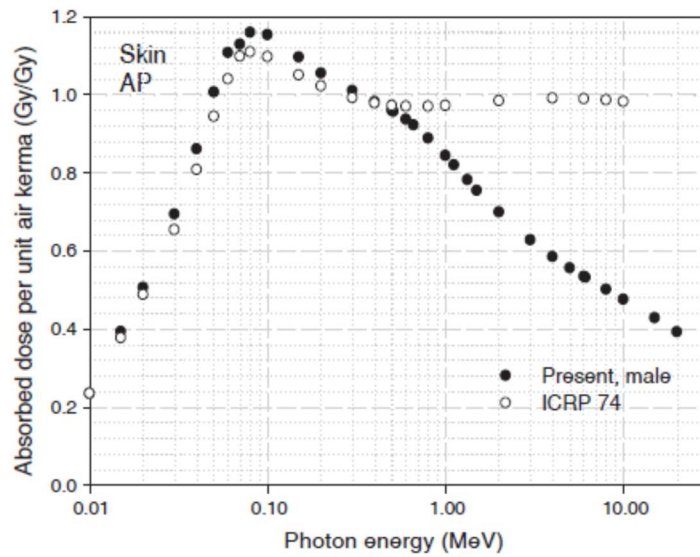


图 4.5 本报告与 ICRP 出版物 74 (ICRP, 1996) 计算的正后男性模体皮肤吸收剂量转换系数的比较。

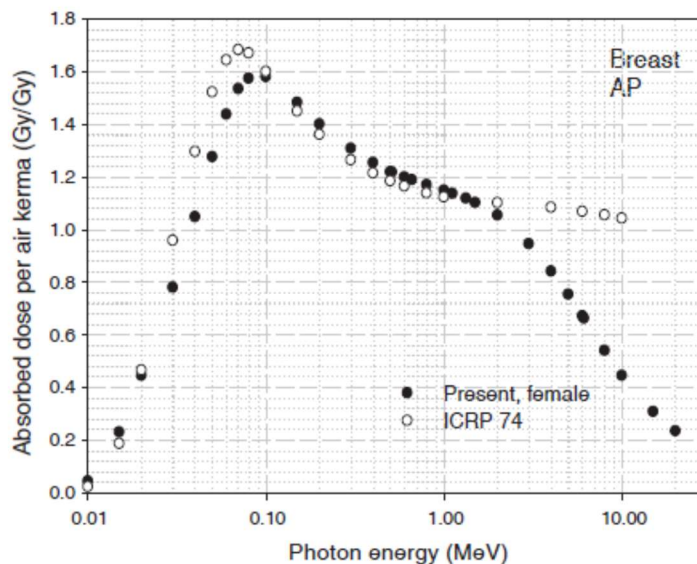


图 4.6 根据本报告和 ICRP 出版物 74 计算的前后女性模体的乳腺吸收剂量转换系数的比较 (ICRP, 1996 年)

### 器官吸收剂量

(135) 本报告与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 之间在器官剂量转换系数方面最大的区别在于证明了早期其他作者的发现 (Jones, 1997; Chao et al., 2001; Zankl et al., 2002; Ferrari and Gualdrini, 2005; Kramer et al., 2005; Schlattl et al., 2007), 并使用了不同的模体模型; 与 ICRP 第 74 号出版物相比, 早期作者使用了他们自己的体素模型。所观察到的剂量转换系数的一些差异可由格式化胸部数学模型的形状来解释, 该胸部模型由嵌入臂骨的椭圆球体组成。这种形状与人体真实解剖有些不同, 人体解剖中胸部的横截面更接近矩形。

(136) 其二, 本报告与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 之间的一个重要区别是, 在本报告的计算中考虑了次级电子的输运, 而不是使用 Kerma 近似认为次级电子在局部沉积。这影响了入射光子能量分别超过 400 keV 和 1 MeV 时, 这将影响表浅器官 (如皮肤和乳腺) 的吸收剂量转换系数 (图 4.5 和 4.6)。对于这些能量, 被鸟高飞所有电子在表浅组织中释放, 对于较薄的器官只局部吸收能量, 导致与 kerma 近似计算得出值相比, 输运得出的剂量转换系数要低一些。

(137) 再者, Schlattl 等人 (2007) 得出的结论是, 在 40 keV 以下, 运输程序、截面和器官组成的变化会影响剂量转换系数的值, 相对差异高达 20%。由于数学模型和体素模型之间的不同, 在参考计算模型中, 特别是对结肠、胰腺和胃, 观察到右侧照射几何条件的剂量转换系数较高。活性骨髓和甲状腺的剂量转换系数较低。此外, 在计算模型中胸腔壁对肺和胸腺有较好的屏蔽作用, 使得吸收剂量转换系数比格式化数学模型中的吸收剂量转换系数小。例如, 100 keV 时肺的吸收剂量转换系数比 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996 年) 中的相应数值少 30%。正如 Lee 等人 (2006 年) 所指出的, 在格式化模体中, 手臂位置的某些简化也导致侧照射时肺剂量被高估。除胰腺外, 左侧照射也有同样趋势, 胰腺的剂量转换系数在数学模型和体素模型上是相似的。与数学模型相比, 由于参考计算模型中对肝脏的屏蔽较少, 使得左侧照射时肝脏的转换系数较高。前后照射时, 胃和胸腺在参考体素模型中接受的吸收剂量较低, 而 ICRP 第 74 号 (ICRP, 1996) 出版物中给出的活性骨髓, 尤其是食管的剂量转换系数数值都是被低估的。与实际人体结构相比, ADAM 和 EVA 的格式化数学模型中的食道更靠近身体的后部, 这就解释了此类模体中食道在后前位照射的转换系数较大。

(138) 与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 相比, 后前位照射胸腺和甲状腺的剂量转换系数更高。在格式化数学模型中, 这些器官被更多的脊椎骨所屏蔽。相反, 对于活跃骨髓、小肠和大肠、肾脏和胰腺, 则获得了较低的转换系数。这表示在格式化数学模体中, 肠道、肾脏和胰腺到后背的距离被低估了, 且/或器官更多地位于模体的前部。

(139) 总之, 对于大多数器官来说, 新的剂量转换系数与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996 年) 中给出的参考值偏差高达 20%。然而, 对于一些器官, 包括许多对有效剂量贡献巨大的器官, 在一定的照射几何条件下, 相对差异达到 30% 甚至更高。总体而言, ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 与本报告中器官剂量转换系数之间的主要差异在于 ICRP 第 110 号出版物 (ICRP, 2009) 中的参考模型与真实的解剖结构更接近。

## 有效剂量

(140) 图 4.7 显示了本报告与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 第 57 号报告 (ICRU, 1998) 中给出的光子在前后、后前和各向同性的几何条件照射时每单位空气比释动能有效剂量转换系数的比值。对于前后和各向同性几何条件照射, 在 0.1~6 MeV 的入射光子能量范围内, 单空气比释动能有效剂量转换系数与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 中给出的非常相似。对于前后几何条件的 6~10 MeV 光子照射, 由于根据 Kerma 近似得到的乳腺剂量被高估了, 导致目前的每单位空气比释动能有效剂量的值较之前的低。最大的差异出现在后前和侧照射, 虽然在光子能量在 0.1 MeV 以上, 但转换系数组的差值最大为百分之几个

Sv/Gy。在这些情况下，最大的影响来源于 ICRP 第 103 号出版物(ICRP, 2007)中对组织权重因数的修改对系数的改变。后前照射较低的有效剂量转换系数主要是由于权重因数较大的器官(如活性骨髓、肺和大肠)的转换系数较小所致。对于侧照射，某些器官(肺、活跃骨髓、食道和甲状腺)的器官剂量转换系数低于 ICRP 第 74 号出版物(ICRP, 1996 年)中给出的值，而其他器官(结肠和胃)则较高。这些相互竞争的差异被平均化，导致侧照射的有效剂量转换系数适度增加。然而，由于 ICRP 第 103 号出版物(ICRP, 2007)中，乳腺和其余组织的组织权重因数增加，性腺的组织权重因数降低，这导致侧照射有效剂量转换系数略高于之前 ICRP 第 74 号出版物(ICRP, 1996)中给出的值。总之，有效剂量转换系数的相对变化很小(低于 20%)。因此，由新模体带来的剂量测量程序的变化和 ICRP 第 103 号出版物(ICRP, 2007)修订的加权因数对外部光子照射的影响是轻微的。

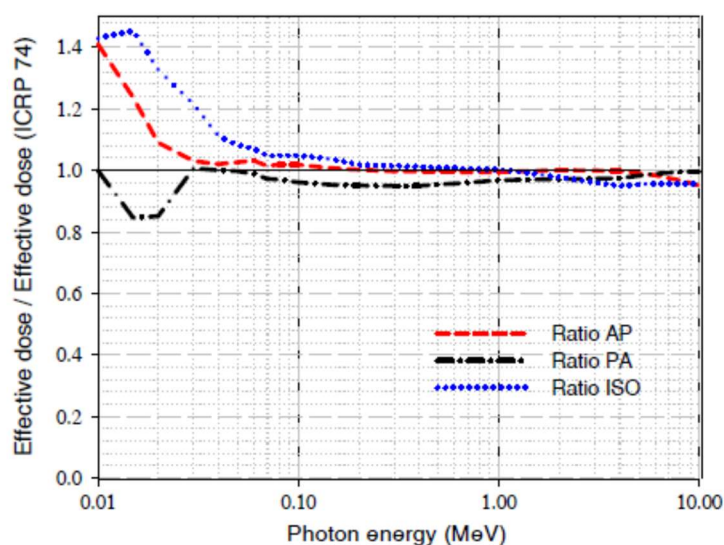


图 4.7 本报告与 ICRP 第 74 号出版物(ICRP, 1996)中光子的每单位空气比释动能有效剂量转换系数的比值。AP:前后，PA:后前，ISO: 各向同性。

## 4.2 电子与正电子

### 4.2.1 人体中电子和正电子的能量沉积特征

(141) 电子和正电子运输的模拟比光子更复杂，主要是因为电子在单个相互作用中的损失平均能量很小(几十个 eV 量级)。因此，高能电子在被介质有效地吸收之前，会发生大量地相互作用。在常规的辐射输运程序中，这些相互作用通常不是明确建模的，粒子能量损失是通过多重散射理论来处理的。

(142) 电子和正电子沿着它们在人体内的路径经历无数的散射事件，有时粒子会失去能量产生次级电子( $\delta$ 射线)。在散射过程中可以产生韧致辐射光子。在能量低于 $\sim 100$  MeV 时，电子在软组织中的初级能量损失过程是由于组成原子的电离和激发，对于更高能量，韧致辐射的产生是主要过程。

(143) 在软组织中, 能量低于 $\sim 300$  keV 的电子和正电子射程小于 1mm, 因此它们只能穿透体素模体的皮肤。对于正电子来说, 湮灭光子也会在更深的器官中产生吸收剂量。对于电子, 只有通过韧致辐射过程释放出的光子才能穿过皮肤。对于软组织中的低能电子和正电子, 只有一小部分能量被转移给韧致辐射的光子; 因此, 这些低能粒子授予较深器官的吸收剂量很少。

(144) 电子-电子(Miller 散射)和正电子-电子(Bhabha 散射)相互作用的截面非常相似, 因此它们在人体中的穿透深度几乎相等。然而, 组织中正电子还会与电子湮灭, 产生两个 511 keV 的光子, 这些光子可以贡献很大一部分的剂量, 特别是在正电子能量低于几个 MeV 以下时。

#### 4.2.2 电子和正电子的计算条件

(145) 初级计算使用的是 MCNPX 版本 2.6.0(Pelowitz, 2008 年)。有关使用的程序的更多详细信息, 请参见第 3.3.4 节。使用 CEM 03 物理模块以确保包括光核反应, 尽管光核反应对总吸收剂量的贡献很小。电子和正电子器官剂量转换系数的不确定度随平行束的能量和取向变化很大, 因此本讨论没有对它们的变化量值作完整的描述。除皮肤外, 大多数 150 keV 以下粒子的计算器官剂量具有极高的统计不确定度。这是可以预期到的, 因为粒子在低能段射程较短, 且身体表面和大多数内脏之间存在一些中介组织。对于电子/正电子具有充分穿透能量时, 器官剂量相对不确定度低于 2% 以下。穿透能量较低电子/正电子, 内脏器官剂量的相对不确定度高达 10%。对极短程电子和正电子的最坏情况下, 小器官的不确定度接近 70%-100%, 尽管几乎所有这些高不确定性的能量都是 150 keV 以下。当能量大于 100 keV 时, 所有有效剂量相对不确定度均小于 2%。低能入射粒子照射体模深部器官产生的吸收剂量相对不确定大的原因是, 在浅层组织深度产生的少数韧致辐射光子在深部器官中能量沉积的结果。应该指出的是, MCNP 程序除了考虑电子/正电子在湮灭、电荷沉积和磁场跟踪等方面的显著问题外, 传统上忽略了电子和正电子在粒子输运中的差异。

(146) 对电子外照射的次级计算使用的是 EGSnrc 程序。对于 200 keV 以下的电子能量, 一种称为“韧致辐射分裂”的减方差技术(Rogers and Bielajew, 1990; Rogers 等人, 1995) 已被用于降低超出外照射入射电子射程的内脏器官吸收剂量的相对统计不确定性。

(147) 用 GEANT 4 程序对前后照射进行了验证计算。对于电子和正电子输运, GEANT 4 程序包含了韧致辐射、电离/激发、 $\delta$  射线产生和正电子湮灭等过程。对于电子, 当入射能量为 600keV 时, 对于较大的器官其相对统计不确定度低于 4%, 较小器官的为 10%。由于湮灭事件, 对于所有内脏器官, 10keV 正电子的相对统计不确定度低于 2%。

(148) 前后、后前和各向同性受照的剂量转换系数都是按每单粒子注量吸收剂量计算的。有效剂量的计算如 2.2.4 节所述。

#### 4.2.3 电子和正电子蒙特卡罗程序之间的差异

(149) 用 MCNPX. 6, EGSnrc 以及 GEANT 4 程序计算的转换系数显示出非常好的一致性。作为一个示例, 图 4.8 显示了外照射电子照射前后几何条件的参考女性甲状腺每单注量吸收剂量。MCNPX 计算得到的几个 MeV 的正电子能量的每单位注量吸收剂量数值是例外, 如图中所示 4.9 所示, 图中显示了入射正电子后前照射男性结肠的每单位注量吸收剂量。这些差异

归因于以下事实：与 EGSNRC 和 GEANT 4 程序相反，MCNPX 程序使用电子物理模型来运输正电子 (H. GradyHughes, 洛斯阿拉莫斯国立研究所, 个人通信)。因此, 在本报告中忽略了正电子能量为 1-20MeV 之间的 MCNPX 结果, 没有用于建立参考转换系数。

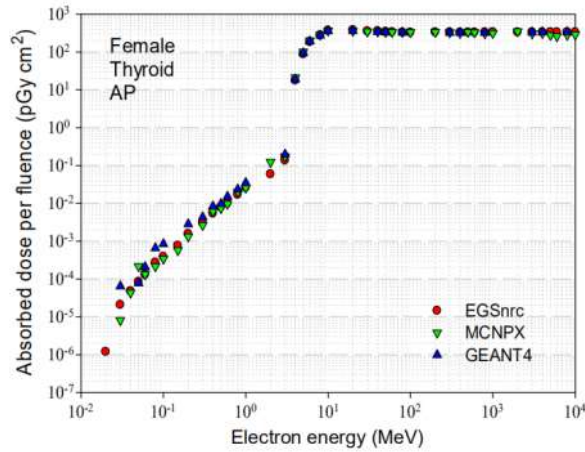


图 4.8 不同蒙特卡罗程序计算前后几何条件照射的甲状腺(女性)剂量转换系数的比较。

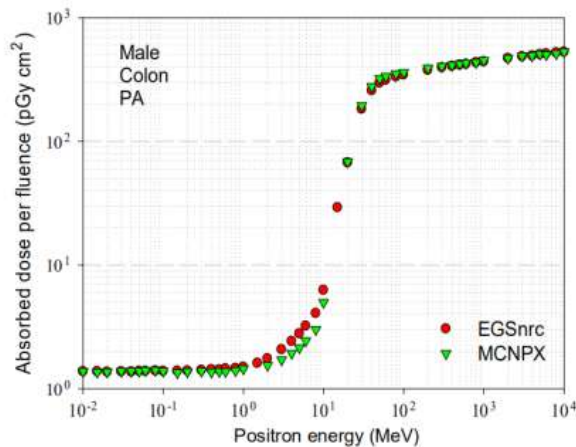


图 4.9 不同蒙特卡罗程序计算后前几何条件照射结肠(男性)剂量转换系数的比较。

#### 4.2.4 对电子和正电子的器官剂量转换系数分析

(150) 根据应用了数据平均、平滑和拟合方法的所有计算器的计算数据对参考吸收剂量转换系数进行了评估。可在随附本报告的 CD 中找到所有对计算有效剂量有贡献的器官、其余组织和眼晶状体受电子和正电子照射的参考器官吸收剂量转换系数列表。

(151) 如第 3.4 节所述, 在计算骨松质吸收剂量时, 活性骨髓和骨内膜分别作为单独的骨部进行了吸收剂量估算。然后取这两个靶组织所在骨骼的平均吸收剂量作为其相应区域骨松质吸收剂量的质量加权平均值。

(152) 对于粒子能量在 100MeV 以上时, 因为电子和正电子的相互作用截面相似, 它们的剂量转换系数也非常相似。图 4.10 显示了外照射电子和正电子对男性模体内胰腺照射的转换系数。

(153) 在能量较低的情况下, 电子和正电子不能穿透身体到达较深的器官; 因此, 这些较深器官的吸收剂量只是由次级光子引起的。如果是电子, 只通过韧致辐射过程发射光子,

其中光子产额和平均光子能量都随着电子能量的增加而增加。这导致在 10 keV 以下时，剂量转换系数为  $10^{-6}$  数量级的  $\text{pGy cm}^2$  或更少。在 10 keV 以上，剂量转换系数的增加几乎是入射电子能量的二次函数。低能正电子在皮肤内湮灭，产生两个 511 keV 的湮灭光子，它们能够到达更深的器官。湮灭光子对深部器官造成的吸收剂量远高于外照射电子产生的韧致辐射光子所致结果。因此，对于许多器官和正电子能量在 10 keV 和 1 MeV 之间时，正电子的器官剂量转换系数是相当恒定的。

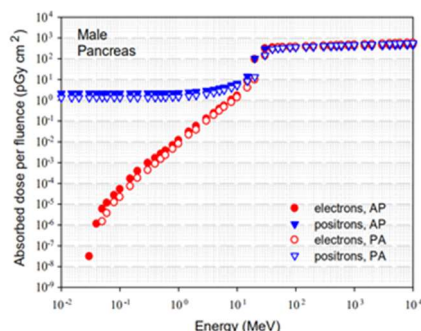


图 4.10 前后和后电子和正电子每单位注量的胰腺(男性)剂量的比较。

(154) 能量在 1 至 10MeV 之间的正电子和电子能直接到达更深的器官，在该能量间隔中剂量转换系数上升会超过 3 个数量级。这一上升的开始在很大程度上取决于器官的有效深度，而该深度又取决于照射的方向和模体性别。对于某些器官(如卵巢)，这会引起在这个能量范围内的剂量转换系数曲线的形状和相对位置以及相应的值存在明显的差异(见图 4.11)。对于较大的器官(如肺)，照射几何条件和模体性别引起的差异并不明显。

(155) 图 4.12 能看出，对于位置较深的器官，外照射电子和正电子照射到女性体模上的转换系数几乎都大于男性体模的转换系数(见图 4.12)。性腺除外，男性性腺的剂量转换系数大于女性的，如图 4.13 所示，这是男性睾丸和女性卵巢在深度和位置上的差异造成的。

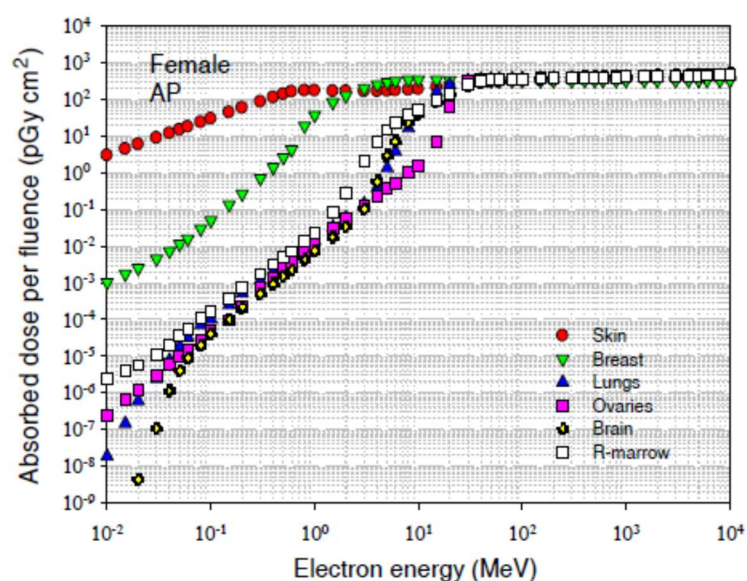


图 4.11 前后几何条件照射女性模体中 R-骨髓、红骨髓的电子每单位注量的器官剂量转换系数

(156) 皮肤总是直接暴露于初始粒子。男、女模体的皮肤厚度分别为 2.1mm 和 1.8mm。能量在 600 keV 以下的电子的连续减速近似(CSDA)射程在皮肤中为 2.1mm。因此,对于 600 keV 以下的能量,几乎所有的能量都沉积在这两种模体的皮肤中。对于 600 keV 以上的能量,电子和正电子可以穿过皮肤体素,因此,此时剂量转换系数的值不仅仅由粒子的能量和皮肤自身的质量决定。入射能量 60 MeV 以上时,电子和正电子可以穿过整个胸腔,随这个能量上升,剂量转换系数几乎与电子或正电子能量上升呈线性增加。图 4.14 显示了男性和女性模体电子和正电子照射的每单注量皮肤剂量。男女之间转换系数的差异主要在于它们的皮肤质量不同(另见 3.5.1 节)

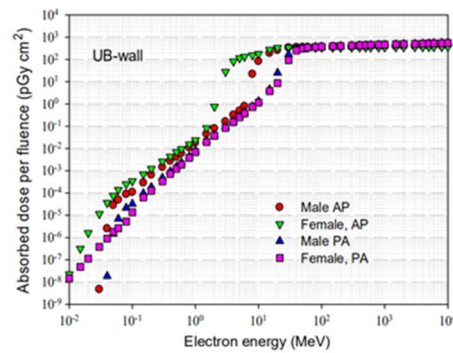


图 4.12 男性和女性膀胱壁剂量在前后和后前受照几何条件时每单电子注量的吸收剂量的比较。

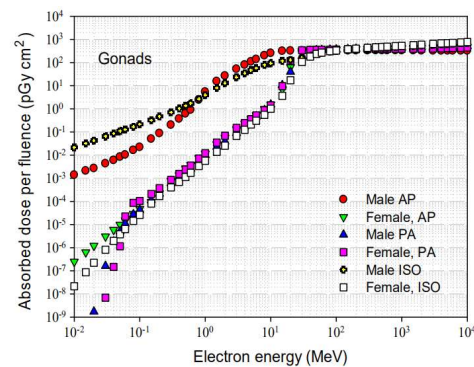


图 4.13 前后、后前和各向同性受照几何条件时性腺单每电子注量的吸收剂量的比较。

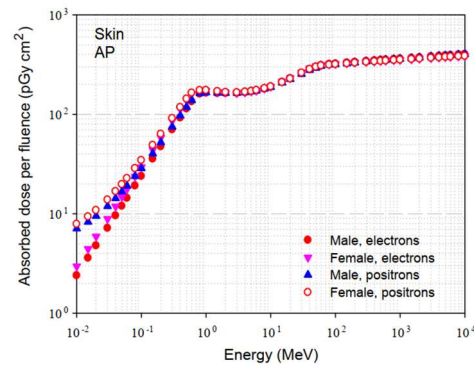


图 4.14 男性和女性模体前后几何条件受照时电子和正电子的每单位注量皮肤剂量。

#### 4.2.5 对电子和正电子的有效剂量转换系数的分析

(157) 图 4.15 显示了对于所考虑的理想化几何条件, 给出与电子和正电子的能量具有函数关系的每单位注量的有效剂量转换系数数值。可以看出, 当入射粒子逐渐到达更深的器官时, 这两种粒子的有效剂量值随着能量的增加而增加。当能量达到 1MeV 时, 对皮肤造成的吸收剂量是有效剂量的最大贡献者。参考有效剂量转换系数以表格形式列于附件 A 和本报告所附的 CD 中。

#### 4.2.6 对电子和正电子本报告与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 的比较。

(158) 图 4.16 显示了本报告每单注量的有效剂量参考值与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996 年) 中提出该数值的比较。ICRP 第 74 号出版物计算的能量范围为 100 keV~10 MeV。在 600 keV 以下, 几乎所有入射粒子能量都沉积在皮肤内。在 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 中用于电子计算的格式化模体的皮肤包括一个 70  $\mu\text{m}$  的不敏感层, 目前的体素模体中不包括这一层。在最低能量 100 keV 时, 这种不敏感层导致每单位注量有效剂量值的较低。在 400 keV 时, 一致性很好; 但是, 从 1 到 4 MeV, ICRP 第 74 号出版物的值低于本报告中建议的结果。这些差异是由于乳腺和性腺(睾丸和卵巢)模型的相应差异造成的, 正如 ICRP 第 74 号出版物的格式化模型 (ICRP, 1996) 和 ICRP 第 110 号出版物 (ICRP, 2009) 的体素模型中所见到的。在 4 MeV 以上, ICRP 第 74 号出版物中的剂量转换系数与本报告的推荐值非常一致。

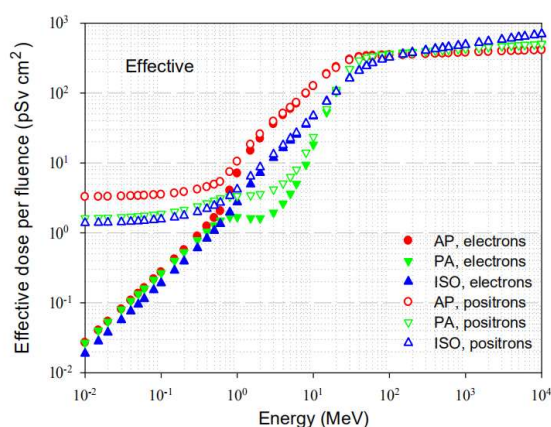


图 4.15 电子和正电子在前后、后向和各向同性几何条件的每单注量的有效剂量。

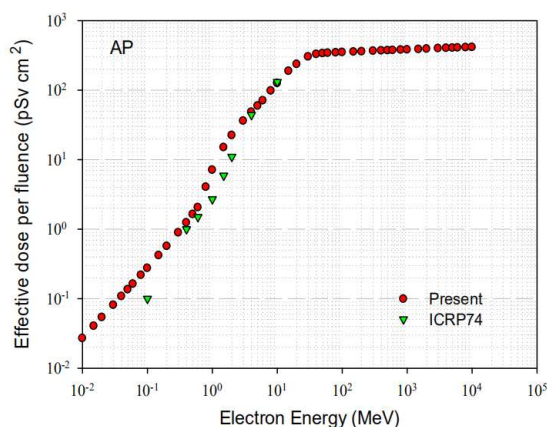


图 4.16 本报告与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 给出的前后几何条件每单位电子注量有效剂量的比较。

## 4.3 中子

### 4.3.1 在人体中中子的能量沉积特征

(159) 在人体中中子经历许多相互作用，会产生了许多不同类型的次级粒子。能量的沉积是一个复杂的过程，通常注量和吸收之间的转换系数与能量密切相关。

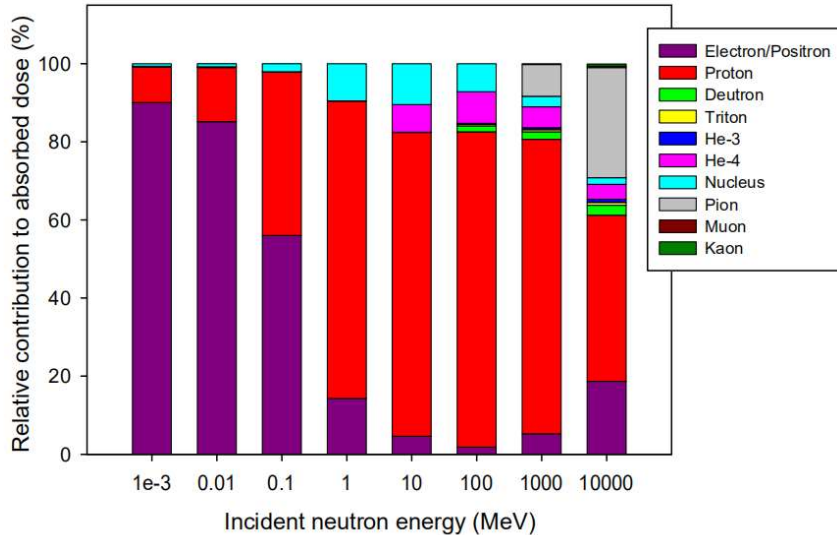


图 4.17 计算出的由中子诱导反应或弹性散射所产生的各种次级带电粒子的相对吸收剂量的贡献。

(160) 图 4.17 显示了作为入射中子能量函数的中子相对吸收剂量的贡献，该贡献是中子各向同性几何条件照射男性体素模体释放的次级带电粒子对全身造成的。对于入射能量达 10keV 的中子，次级光子贡献了体内深部吸收剂量的绝大部分，吸收剂量的 90% 贡献是来自于中子被氢捕获释放出的 2.2MeV 光子。由于光子通过电子和正电子沉积能量，光子贡献在图中按“电子/正电子”这一类表示。其余吸收剂量 (~10%) 来源于  $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$  反应；质子和  $^{14}\text{C}$  反冲核沉积其能量，并分别按“质子”和“核子”分类表示。热中子和超热中子照射时吸收剂量中由产生光子的贡献占 90%；在中子能量超过 10keV 时，光子的吸收剂量贡献急剧下降，在 1MeV 时其小于 20%。在超过 1keV 的能量时，由来源于弹性散射的反冲质子和氢沉积的能量贡献增加，而在超过几个 MeV 的能量时，通过核反应产生的带电粒子成为入射中子沉积能量越来越重要的过程。随着中子入射能量的增加，在非弹性核反应中发射的各种次级粒子在对内脏器官的吸收剂量分布中起着重要作用。

(161) 为了用蒙特卡罗方法计算器官吸收剂量，对每个次级带电粒子进行了跟踪，并对每个器官中产生的能量沉积进行了累加。然而，在中子能量低于 20 MeV 时，通常采用 Kerma 近似的方法计算吸收剂量。事实上，与大多数器官尺寸相比，次带电粒子的射程很小[在组织中，20 MeV 质子的射程约为 4mm] (ICRU, 1993)，因此，许多器官中基本能实现带电粒子平衡。对于给定的中子能量，器官吸收剂量简单地由该器官中的中子注量乘以适当的 Kerma 系数来确定。中子在 20 MeV 以上，人体器官和组织很少可以达到带电粒子平衡，因此必须对次级带电粒子进行详细地运输计算。

### 4.3.2 中子的计算条件

(162) 计算本报告的数据使用了四种不同的程序(表 4.1)。能量范围为 0.001eV~10 GeV, 模拟的几何方位为前后、后前、左侧、右侧、旋转和各向同性。

(163) 初级计算是通过 PHITS 程序获得的。中子能量 20MeV 以下时, 该程序采用了 kerma 近似, 并使用了已评估的核数据文件 FILESEND/B-VI。用 JQMD 模型模拟了从 20MeV 到 3.5GeV 的中子引起的核反应, 而由更高能量粒子诱导的反应则使用 JAM 模型处理。对于 PHITS 模拟, 多数器官转换系数的相对标准偏差通常较小, 低于 5%, 但是对于体积较小的器官(例如甲状腺)其转换系数的相对标准偏差高达 15%。在 Sato 等人(2009)的文章中可以找到关于这些模拟的更多细节。

(164) 用 FLUKA 程序进行了次级计算。在 20 MeV 以下, 器官的吸收剂量是借助由 260 组构成的中子截面数据库计算了使用 Kerma 近似计算得到的。对于 20 MeV 和 5 GeV 之间的能量范围, 用包含广义核内级联模型和预平衡模型的 PEANUT 程序包模拟了强子-核子和强子-核的相互作用。对于 5 GeV 以上的能量, 采用了对偶部分子(Dual Parton)模型。根据中子能量不同, 较大器官的相对统计不确定度范围主要在 0.8%和 3%之间。然而, 对于较小的器官(如甲状腺), 相对统计不确定性的范围在 0.8%和 8%之间。

(165) 使用 MCNPX2.5.0 版本和 GEANT 4 程序进行了验证计算。在 MCNPX 计算中, 每个器官的吸收剂量使用 KERMA 近似和 ENDF/B-VI 和 LA-150 数据库进行了计算。对于可从 LA-150 数据库中获得核素的, 使用的列表横截面高达 150MeV。对于不包括在 LA-150 数据库中的核素, 使用 ENDF/B-VI 数据, 能量可达 20MeV。在没有列表数据的情况下, 采用 Bertini 核内级联模型, 能量达到 3.5GeV, 以及能量在大于 3.5GeV 时使用 Fluka89 (Aarnio 等, 1990) 高能发生器。

(166) 对前后几何条件进行了 GEANT 4 程序验证计算。对于 20 MeV 以下的中子, 用 Kerma 近似和 endf/B-VI 库计算了每个器官的吸收剂量。从 20 MeV 到 3 GeV, 采用 Bertini 核内级联模型(GEANT 4, 2006)对过程进行了模拟。在 3 GeV 以上, 使用了低能参数化(LEP)模型和高能参数化(HEP)模型(GEANT 4, 2006 年), 这是 GEANTA 3 著名 GEISHA 软件包(Fesefeldt, 1985)的升级版。在整个能量范围内, 所有器官的相对统计不确定度均在 5%以下。

(167) 由于核反应产生的次级粒子在高能照射的能量沉积过程中起主导作用, 对模拟高能核反应的程序中所使用的核反应模型的可靠性进行了调研。PHITS 采用了 JQMD 模型和通用蒸发模型(GEM)相结合的方法, 对 20 MeV 和 3.5GeV 之间的能量进行了计算, 对能量大于 3.5GeV 的采用了 JAM 模型。FLUKA 程序使用 PEANUT(级联预平衡模型)使模拟能量达到 5 GeV, 在 5 GeV 以上使用了对偶分子(Dual Parton)模型。MCNPX 程序在低于 3.5GeV 时使用 Bertini 核内级联模型, 3.5 GeV 以上切换到 FLUKA 89(Aaron nio 等人, 1990 年)高能发生器模型。GEANT 4 程序在 3GeV 以下采用 Bertini 内核级联模型, 3 GeV 以上至 20 GeV 采用 LEP 模型。

#### 4.3.3 中子蒙特卡罗程序之间的差异

(168) 对不同程序间产生的器官吸收剂量数据的比较表明, 几乎在所有情况下, 结果之间的差异都比估计的相对统计不确定度小得多。用一种三次曲线函数对所有计算结果进行

平均和平滑,得到了参考剂量转换系数(De Boor, 1978)。程序之间的一致性很好,如图 4.18 所示的女性体模的性腺吸收剂量转换系数和男性体模的肺吸收剂量转换系数。从每一种程序中获得的数据点与最终的参考值一起在图中进行了显示。

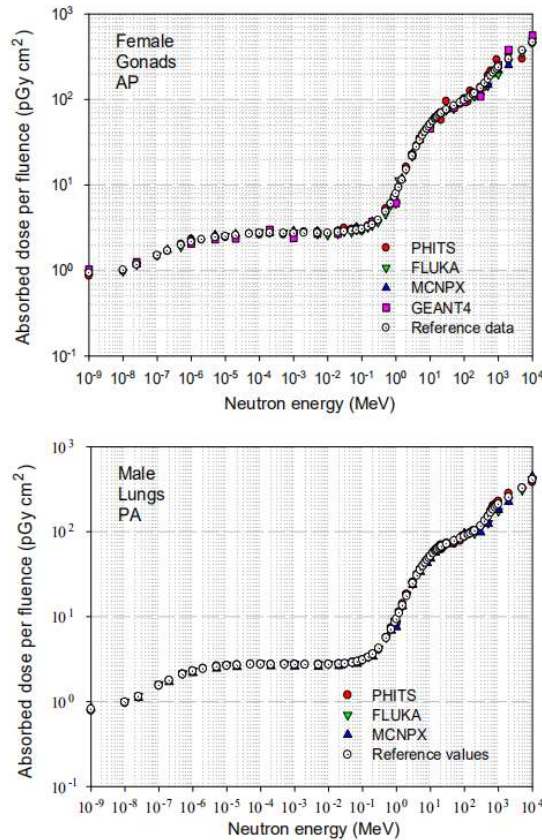


图 4.18 性腺(女性)和肺(男性)前后几何条件中子受照吸收剂量的参考值和原始数据示意图。

#### 4.3.4 器官剂量转换系数的分析

(169) 附录 C 中的表 C.1-C.30 列出了 ICRP 建议了组织权重因数的这些特定器官(即红(活性)骨髓、结肠、肺、胃、乳腺、卵巢、睾丸、膀胱壁,食管、肝、甲状腺、骨内膜、脑、唾腺和皮肤)以及其余组织的计算转换系数。眼晶状体的转换系数在附录 F 中可见。对于男性和女性体模,以及考虑的所有照射的几何条件(前后、后前、左侧、右侧、旋转和各向同性)均单独给出了数据。在本报告所附的 CD 中,还显示了用于其余组织(即肾上腺、外胸、胆囊、心脏、肾、淋巴结、肌肉,口腔粘膜,胰腺,前列腺,小肠,脾,胸腺,子宫/宫颈的剂量持续函数),以及前面提到的器官的特定剂量转换系数。

(170) 作为计算参考器官剂量转换系数的例子,图 4.19 显示了考虑了所有受照几何条件的参考男性模型的甲状腺和胃的吸收剂量转换系数。可以看出,对前后几何条件照射分别给出了低能中子和高能中子剂量转换系数的最高值和最低值,而对于靠近模体前表面的器官(例如甲状腺和胃)来说,这一趋势是成立的。这一趋势在后前几何条件照射接近背部的器官(例如,活性骨髓在脊柱和骨盆)时也能观察到。左侧和右侧几何条件照射的转换系数通常具有相似的值,但位置不对称的器官除外,例如于身体左侧的胃(Sato 等人,2009 年)。

这些结果表明，器官剂量转换系数严重依赖于器官与照射表面的距离，当入射能量小于 20 MeV 时，接近照射表面的器官的转换系数大于其它器官的转换系数，而对高能情况则相反。这些结果可以由以下事实加以解释：在低能中子照射的能量沉积过程中初级粒子起主导作用，而在高能中子照射能量累积过程中次级粒子起主导作用。初级粒子的注量随距照射表面距离的增加而减小，而次级粒子的注量随距照射表面距离的增加而增大。请注意的是高能中子可以通过在人体内诱发复杂的核反应而触发次级粒子级联(Sato 等人，2009)。

(171) 除性腺外，器官剂量转换系数的性别依赖性不显著。而性腺的差异可以通过睾丸和卵巢与照射表面之间的距离的显著差异来解释。

#### 4.3.5 中子有效剂量

(172) 不同照射的几何条件中的中子有效剂量转换系数与入射中子能量之间的函数关系见附录 A 和图 4.20。因为在确定有效剂量的值时发挥重要作用的几个器官(即具有高组织权重因数的那些器官)位于身体前侧，所以对于照射几何条件的有效剂量的能量依赖性在 10MeV 以上，对于后前、侧、旋转和各向同性照射几何条件，有效剂量会随中子能量而增加，但是对于前后照射，有效剂量实际上显示有略微减小。

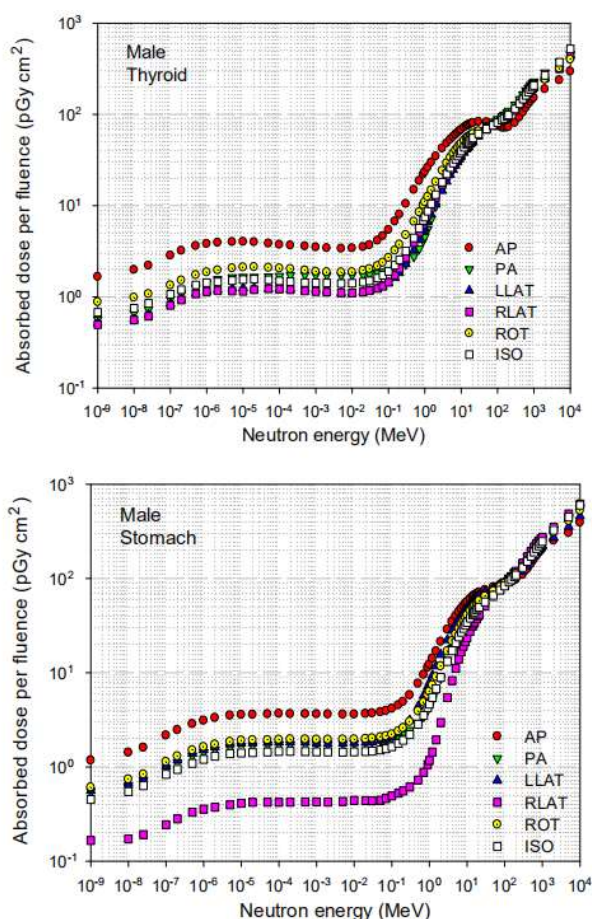


图 4.19 男性参考模型甲状腺和胃壁每单位中子注量的参考吸收剂量。图中照射几何条件为：AP, 前后；PA, 后前；LLAT, 左侧；RLAT, 右侧；ROT, 旋转；ISO, 各向同性。

(173) 在图 4.20 中, 在 50 MeV 以下中子照射的所有几何条件中以前后几何条件照射的有效剂量转换系数数值最高。对于从 50 MeV 到 2 GeV 中子, 后前照射的有效剂量转换系数最高, 各向同性照射几何条件在 2 GeV 能量以上的有效剂量持续函数最高。

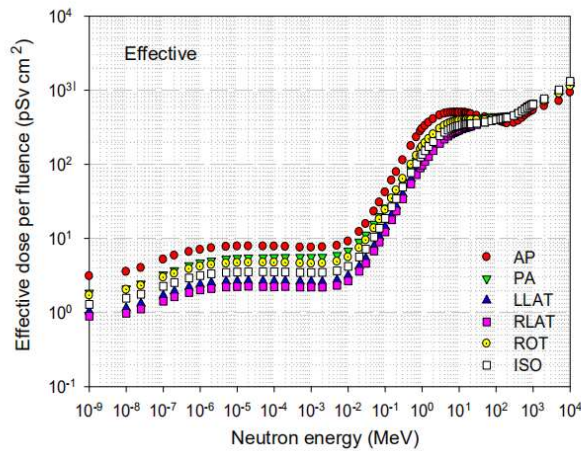


图 4.20 每单位中子注量的有效剂量。图中照射几何条件为: AP, 前后; PA, 后前; LLAT, 左侧; RLAT, 右侧; ROT, 旋转; ISO, 各向同性。

#### 4.3.6 本报告与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996 年)关于中子的比较

(174) 图 4.21 显示了本报告所计算的有效剂量与 ICRP 第 74 号出版物(ICRP, 1996)所给值的比值。结果表明, 当中子能量在 400 keV 以下和 50 MeV 以上时, 本报告有效剂量值低于 ICRP 第 74 号出版物数值, 而在中间能量段有较好的一致性。产生差异的主要原因是本报告使用了 ICRP 第 103 号出版物所建议的新  $W_R$  值(ICRP, 2007)。图 4.21 还显示了 ICRP 第 103 号出版物(ICRP, 2007)与 ICRP 第 60 号出版物 (ICRP, 1991) 所给  $W_R$  值的比值。请注意, ICRP 第 103 号出版物(ICRP, 2007 年)将低能中子和中能中子的  $W_R$  值从 5 降至 2.5。在  $W_R$  比值小于 1 的能量范围 ( $E_n < 1\text{MeV}$ ) 内, 仅根据  $W_R$  值的比值, 有效剂量的下降幅度小于预期。这主要归因于格式化体模与参考体素体模之间的解剖学差异。在  $W_R$  比值等于 1 ( $1\text{MeV} < E_n < 100\text{MeV}$ ) 的能量范围内, 除后前几何条件照射外, 本报告的有效剂量往往高于 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 中的有效剂量。这是由于从格式化体模向体素体模转变以及对乳腺推荐的  $W_T$  值更高 (0.12 代替 0.05) 的综合影响的结果; 图 4.22 显示了中子前后照射对各器官有效剂量的贡献的  $W_T$ , 其值与中子能量具有函数关系。

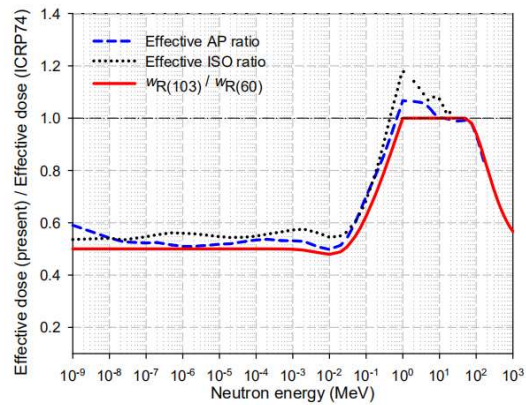


图 4.21 本报告与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 中, 中子注量与有效剂量的转换系数之间的比值, 照射几何条件分别为前后和各向同性。还显示了 ICRP 第 103 号出版物 (ICRP, 2007) 与 ICRP 第 60 号出版物中  $w_R$  值的比值 (ICRP, 1991)。

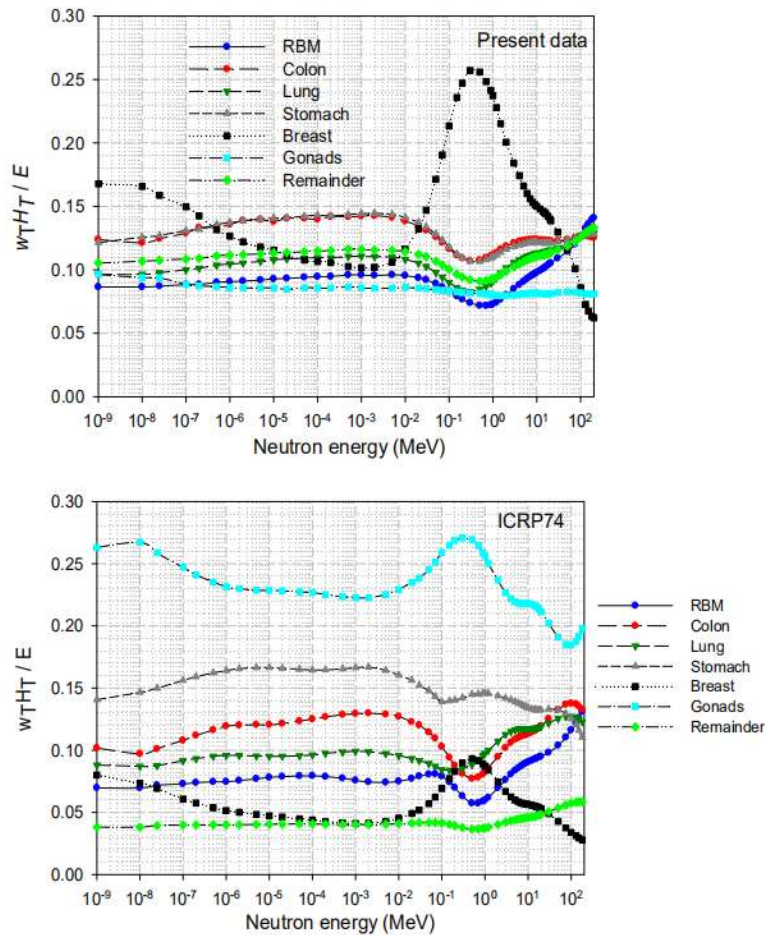


图 4.22 中子前后方向入射对有效剂量贡献最大的一些器官。上半图显示了本报告计算的结果, 下半图显示了 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 计算的结果。RBM, 红骨髓。

## 4.4 质子

### 4.4.1 质子在人体中能量沉积的特征

(175) 质子通过多次散射事件主要以库仑相互作用丧失其能量。在一定能量以上, 质子也会在软组织中发生非弹性核反应, 产生各种次级粒子和光子。质子所沉积的能量是穿行

距离的函数，在射程末端显示一个特征最大值被称为“布拉格峰”。低水平的韧致辐射是由电子次级粒子产生的。低能质子在软组织中的射程很短。例如，当能量低于 10 MeV 时，对任何照射的几何条件，质子会将几乎所有的能量沉积在皮肤中。对于乳腺前后方向照射，质子在 20~100 MeV 之间能量范围，几乎全部能量沉积在这个器官中。因此，低能质子的器官剂量转换系数在很大程度上取决于模体的形态结构(另见第 4.4.5 节)。相反，高能质子诱导强子级联，产生各种次级粒子，包括中子和光子。这些次级粒子的注量随距照射表面的深度增加而增大，而且它们在高能质子入射的能量沉积过程中起主导作用。

#### 4.4.2 质子的计算条件

(176) 与中子计算条件类似，使用了四种不同的程序来计算成年男性和成年女性参考计算模型质子外照射的器官剂量和有效剂量转换系数(见表 4.1)。3.3 节讨论了用于计算的运输程序的一般特点。考虑了从 1 MeV 到 10 GeV 的能量，模拟了前后、后前、左侧、右侧、旋转和各向同性等几何条件。

(177) 利用 PHITS 程序获得主数据集。能量从 10MeV 到 3.5GeV 的质子诱导的核反应使用 JQMD 模型，而高能粒子诱导的反应则采用 JAM 模型。对于 PHITS 模拟，一般器官转换系数的相对标准偏差一般较小，小于 5%，但较小器官(如甲状腺)的相对标准偏差接近 15%。在 Sato 等人(2009)发表的文章中可以找到使用 PHITS 程序开展这些模拟的更多细节。

(178) 用 FLUKA 程序对前后和各向同性几何条件照射进行了次级计算。所采用的模型见第 3.3 节。

(179) 用 GEANT 4 程序对 AP 照射进行了次级计算。用几种模型模拟了非弹性碰撞过程。在 3GeV 以下，利用了 Bertini 核内级联模型，结合激子、预平衡、核爆炸、裂变和蒸发模型。在 3GeV 以上，应用了基于 Geant3-Gheisha(Feefeldt, 1985)软件包的 LEP 模型(GEANT 4, 2006)，适用能量可达 20 GeV。20 MeV 以上各器官的相对不确定度均小于 4%，能量低于 20 MeV 时的相对不确定度最高可达 11%。

(180) 验证计算使用了 MCNPX 2.6.0 版本(Pelowitz, 2008)。对 AP、PA 和 ISO 照射几何条件和一些选定的能量进行了 MCNPX 模拟。Bertini 核内级联模型用于高达 3.5GeV 的质子能量，对于高于 3.5GeV 的能量，采用 Fluka89(Aarnio 等, 1990)，该模型是 Fluka 的较早版本，直接来自 LAHET 程序(PRAEL 和 Lichtenstein, 1989)。使用为所有粒子沉积能量进行评分的碰撞加热计算器对器官吸收剂量进行了符合性评估。

#### 4.4.3 质子的蒙特卡罗程序之间的差异

(181) 对不同程序之间产生的器官吸收剂量数据的进行了比较，结果显示几乎所有模拟程序的变化都比估计的统计不确定度低很多。所有计算结果通过平均和平滑处理后分别得到了男性和女性模体的参考剂量转换系数，根据曲线形状(deBoor, 1978; Hewitt 和 Yip, 1992)，平均和平滑处理过程联合使用了三次曲线、最小二乘 B 曲线和非均匀有理 B 曲线等方法。在 10MeV 以上，程序之间的一致性非常好，从图 4.23 中可以看出。该图显示了女性模体肺组织的吸收剂量转换系数和男性模体性腺的吸收剂量转换系数。从每个程序获得的数据点连同参考数据一起显示在该图中。

(182) 可以看出, 10MeV 质子前后照射的 FLUKA/MCNPX 程序和 PHITS/GEANT 4 程序之间, 男性模体性腺吸收剂量转换系数不同。这些差异是由各程序使用了不同质子传输模型造成的: 在 FLUKA 和 MCNPX 程序中考虑了弹性散射角偏转, 而 PHITS 和 GEANT 4 程序没有将其考虑进去。在 AP 照射中, 初级质子垂直入射在皮肤体素上; 一些皮肤体素与性腺体素毗邻, 一些质子入射到这些体素的边界上, 低能质子会通过角分散进入性腺体素。需要特别考虑对低能质子的处理, 这将在第 4.4.5 节中讨论。

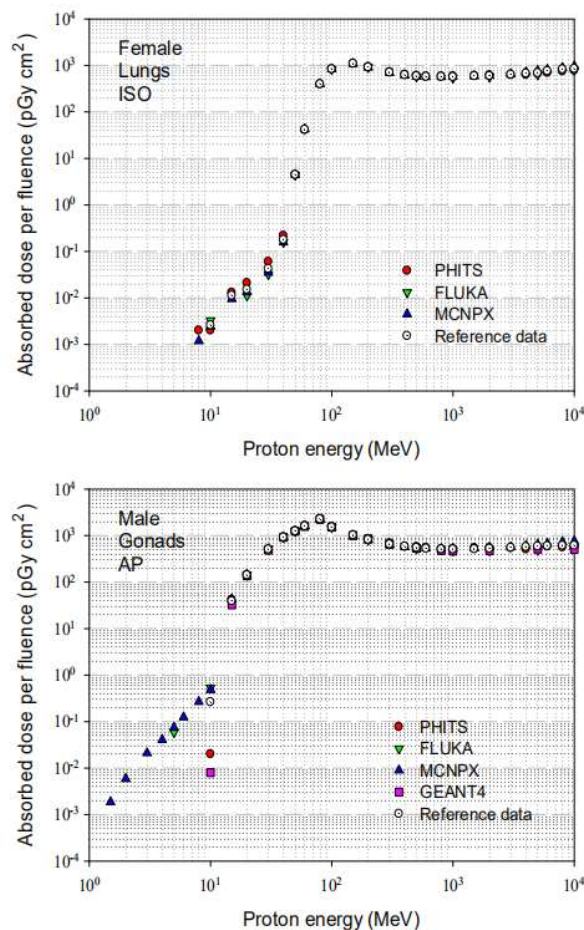


图 4.23 对各向同性 (ISO) 几何条件的女性肺和前后 (AP) 几何条件的男性性腺由不同程序计算的每单位质子注量吸收剂量数据和估计参考数据。

#### 4.4.4 质子的器官剂量转换系数分析

(183) 作为器官吸收剂量计算的例子, 图 4.24 显示了不同照射几何条件下与质子能量有函数关系的红骨髓、结肠 (男性)、乳腺和皮肤 (女性) 的器官剂量转换系数的比较。

(184) 对于质子, 除性腺外, 器官剂量转换系数的性别依赖性并不显著。性腺的差异同样可以通过皮肤表面到睾丸和卵巢的距离的差异来解释: 睾丸的位置比卵巢离皮肤更近。

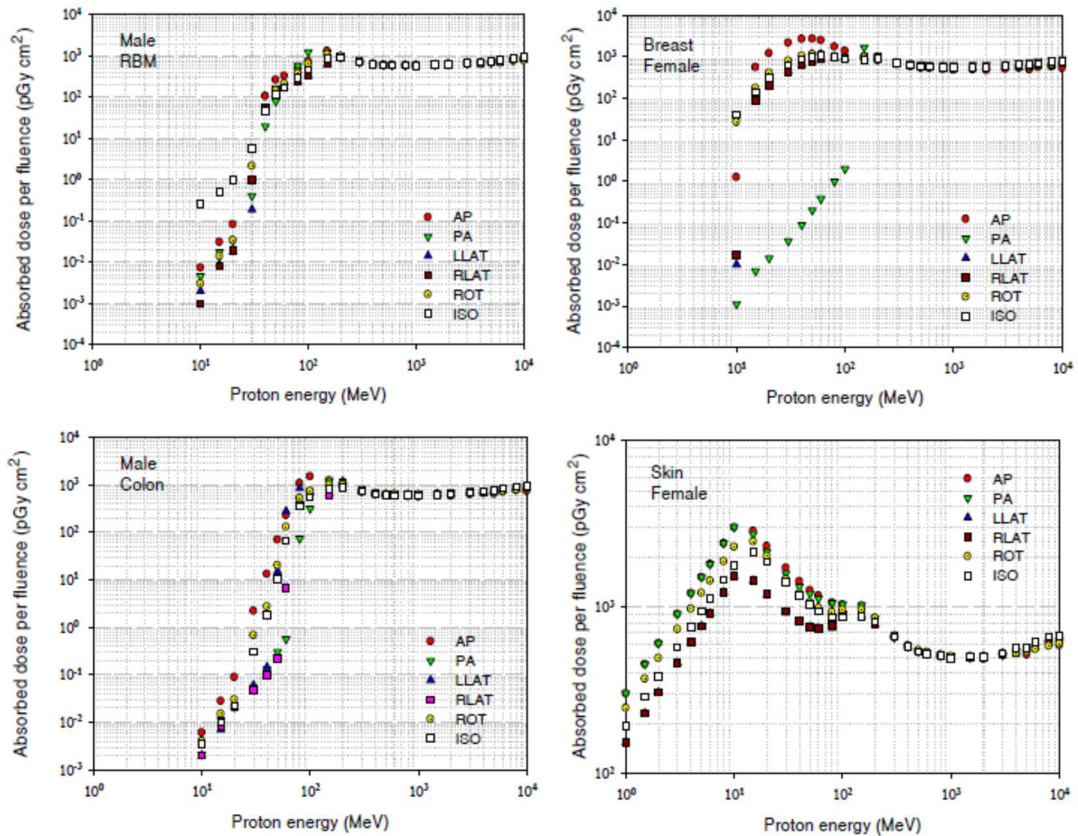


图 4.24 不同照射几何条件时男性参考模体[红色骨髓(RBM)、结肠]和女性参考模体(乳腺、皮肤)的每单位质子注量的器官剂量随能量的变化。几何条件包括: AP, 前后; PA, 后前; LLAT, 左侧; RLAT, 右侧; ROT, 旋转; ISO, 各向同性。

#### 4.4.5 低能质子的特殊考虑

(185) 肌肉中 10 MeV 质子的射程为 0.12cm, 能量小于 10 MeV 的质子不能穿透 ICRP 参考体素模体中所描述的皮肤, 因为在男性和女性模体中的体素分辨率分别为 0.2137 cm 和 0.1775 cm。如图 4.25 所示, 对于低能质子(小于 10 MeV), 观察到乳腺在前后和各向同性照射几何条件受照的吸收剂量差异显著, 尽管该能量的初级质子射线不能直接到达乳腺。

(186) 男性乳腺在前后和各向同性几何条件照射中的吸收剂量的差异是由于参考体素模体的几何尺寸的局限所致。参考体素模体的皮肤位模体外表面的单位厚度体素层。然而, 一些内脏器官或组织在各向同性几何条件的几个位置可以直接受到初级射线照射。图 4.26 显示了通过乳腺层面的参考男性模体的剖面图(矢状面), 并显示其中一个乳腺组织体素与外部区域(真空)体素直接接触。在前后照射时, 低能质子垂直入射到皮肤体素上, 并被它们吸收。在各向同性照射时, 一些初级质子直接入射到乳腺体素上, 这些体素暴露在体模体素阵列的外部区域。因此, 即使是 1 MeV 质子, 对乳腺会有相当大的剂量。然而, 这是一种人工模拟的计算模型, 并不是一个人体的真实结构, 因为人体被皮肤均匀覆盖, 而质子能量小于 10 MeV 不能穿透皮肤组织层。

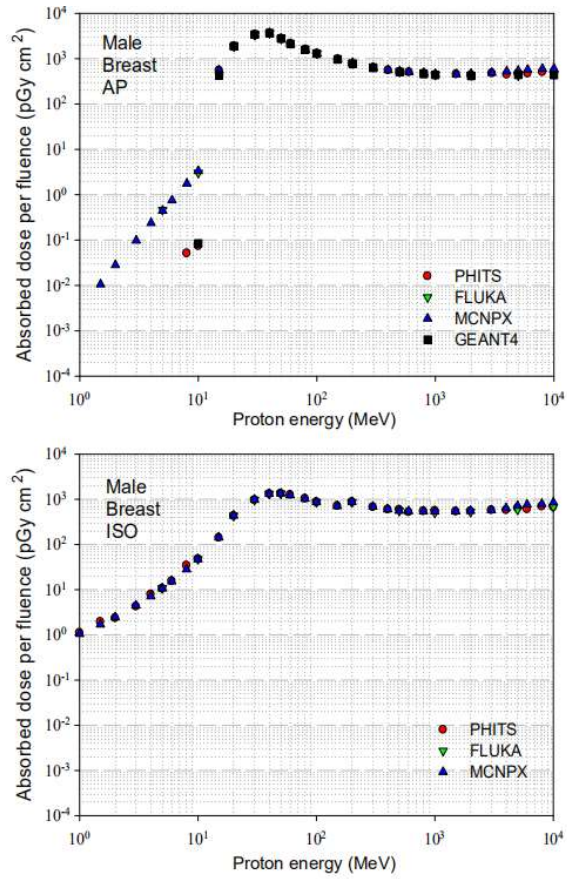


图 4.25 前后 (AP) 和各向同性 (ISO) 照射时男性模体的乳腺剂量。

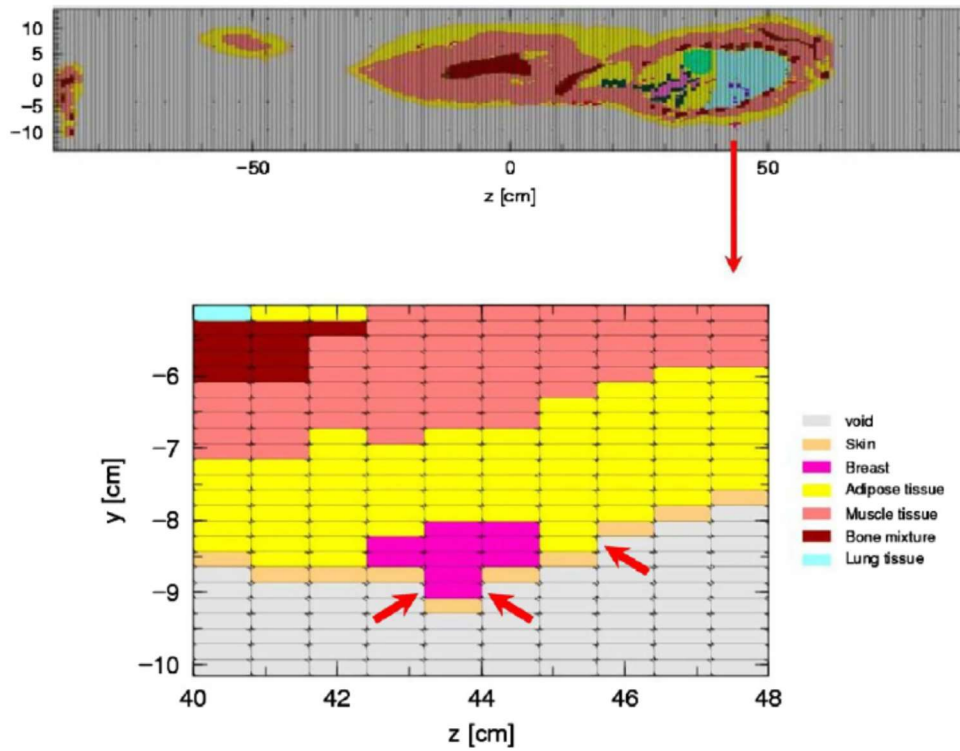


图 4.26 男性模体乳腺周围的剖面图

(187) 这些观察到的人为假象与实际放射防护关系的相关性是很差的。对于有效剂量，在前后照射时乳腺的贡献达到 1%。对于各向同性几何条件照射，乳腺剂量的贡献稍高，但仍仅占有有效剂量的 2%。除了质子的局部应用(例如对眼睛照射)，低能质子的照射不太可能发生，因为不能透过皮肤的粒子实际上也会被衣服遮蔽，因此，这个问题的实际相关性是有限的。

(188) 总之，能量小于 10 MeV 的质子不能透过皮肤。内部器官的能量沉积是次级粒子引起的，与皮肤剂量相比非常小。此外，低于这一能量，蒙特卡罗计算的相对统计不确定性非常大。因此，除皮肤外，小于 10 MeV 能量的入射质子造成的所有器官的吸收剂量都被设定为零。这一论点也适用于氦离子，如第 4.7.4 节所述。

#### 4.4.6 质子的有效剂量

(189) 作为质子能量的函数，附录 A 和图 4.27 显示了几种标准照射几何条件的质子有效剂量转换系数。从图 4.27 可以明显看出，质子入射能量低于 100MeV 时，前后照射的有效剂量转换系数值最高。在质子能量 3 GeV 以上，各向同性照射的有效剂量转换系数的值最高。在这两种能量之间，不同的照射几何条件的有效剂量转换系数非常相似。

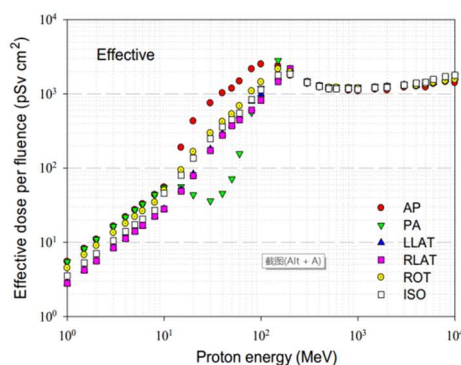


图 4.27 显示几种标准照射几何条件的每单位质子注量有效剂量。AP，前后；PA，后前；LLA，左侧；RLAT，右侧；ROT，旋转；ISO，各向同性。

## 4.5 正负 $\mu$ 子

### 4.5.1 $\mu$ 子在人体内的能量沉积特性

(190) 在感兴趣的能量范围内（即 1 MeV - 10 GeV），在人体中  $\mu$  子的能量损失主要是电离（和激发）。其他的能量损失机制，如电子对产生、韧致辐射和光核相互作用，在 10GeV 以下并不重要（Groom 等人，2001）。此外，在计算剂量转换系数时，应考虑  $\mu$  子的短寿命。

(191)  $\mu$  子是不稳定的粒子，衰变为一个电子和两个中微子 ( $\mu \pm \rightarrow e \pm + \nu e + \nu \mu$ )，静态寿命为  $2.2 \times 10^{-6}$ s。衰变过程中产生的电子和正电子能量相对较高，在人体内产生电子-光子级联反应。在几百兆电子伏以上， $\delta$  射线的产生开始显著。随着  $\mu$  子能量的增加，产生的  $\delta$  射线的截面和能量也随之增加，因此应该考虑  $\delta$  射线的运输。

(192) 当负  $\mu$  子在物质中静止时，它被原子核的库仑场所俘获，形成  $\mu$  原子。被俘获

的 $\mu$ 子通过发射俄歇电子和 $\mu$ 子特征x射线退激到1s态。 $\mu$ 子进一步衰变为一个电子和两个中微子，或者被原子核俘获；俘获产生中子和中微子。

#### 4.5.2 $\mu$ 子的计算条件

(193) 计算了正、负外照射 $\mu$ 子的剂量转换系数。使用FLUKA程序对前后、后前和各向同性几何条件、从1 MeV到10 GeV能量范围的照射进行了初级计算。在大多数器官中，确定吸收剂量的相对统计不确定度小于0.5%。对于小器官（如肾上腺和卵巢），统计不确定度小于1%。

(194) 使用MCNPX 2.6.0版本程序对前后、后前和各向同性几何条件在某些选定能量的正负 $\mu$ 子使用CEM模型进行了次级计算。在大多数器官中，确定吸收剂量的相对统计不确定度小于2%。

(195) 用GEANT 4程序对前后几何条件中对正负 $\mu$ 子进行了验证计算；用FLUKA程序对各向同性的几何条件的正负 $\mu$ 子进行了验证计算；用MCNPX 2.6.0程序对前后、后前和各向同性几何条件对入射的负 $\mu$ 子使用Bertini模型进行了验证计算。

#### 4.5.3 $\mu$ 子的不同蒙特卡罗程序之间的差异

(196)图4.28显示了用四个蒙特卡罗程序计算的器官剂量数据之间差异的例子。FLUKA和GEANT 4程序包括所有被认为对人体能量沉积非常重要的 $\mu$ 子能量沉积过程，并且在整个能量范围内显示出极好的一致性。MCNPX程序使用了两个物理模型，CEM和Bertini，在高达1GeV的能量范围内，与FLUKA和GEANT 4程序具有良好的一致性。然而，在1GeV能量以上，MCNPX程序比FLUKA程序和GEANT 4程序计算的值更高，这种差异随着入射 $\mu$ 子能量的增加而增加。

(197) 如第4.5.1节所述， $\mu$ 子在1GeV能量以上时， $\delta$ 射线的产额变得显著，并且 $\delta$ 射线的能量随着入射 $\mu$ 子能量的增加而增加。高能 $\delta$ 射线的射程比参考体素模型中的器官尺寸大，因此它们往往会从产生它们的器官逃逸。MCNPX程序没有考虑 $\mu$ 子产生 $\delta$ 射线及其输运，这种忽略导致在入射 $\mu$ 子能量大于1GeV时会高估器官剂量。在所有器官中，正负 $\mu$ 子具有相同的趋势。因此，为了计算 $\mu$ 子的参考器官剂量数据集，在大于1GeV能量时决定不再使用MCNPX程序来计算器官剂量。

#### 4.5.4 $\mu$ 子的器官剂量转换系数的分析

(198)图4.29显示了距身体前表面不同深度的选定器官在前后照射时每单位注量器官吸收剂量转换系数。根据器官深度不同，其吸收剂量会在5和60 MeV能量之间达到各自的最大值，而当入射 $\mu$ 子能量高于200 MeV时，吸收剂量会减小到趋向一个常数，即不随能量和器官位置的变化而变化。

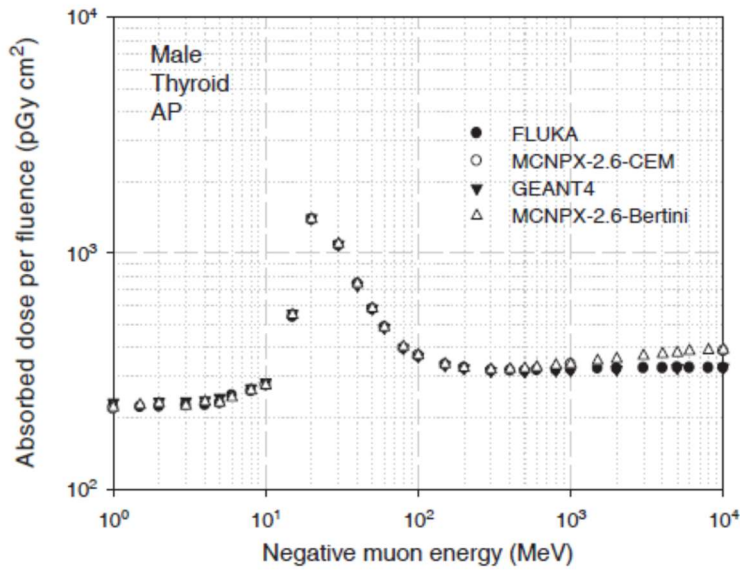


图 4.28 使用不同的蒙特卡罗程序计算得到的男性模体在前后几何条件受负  $\mu$  子照射时甲状腺的每单位注量的吸收剂量。

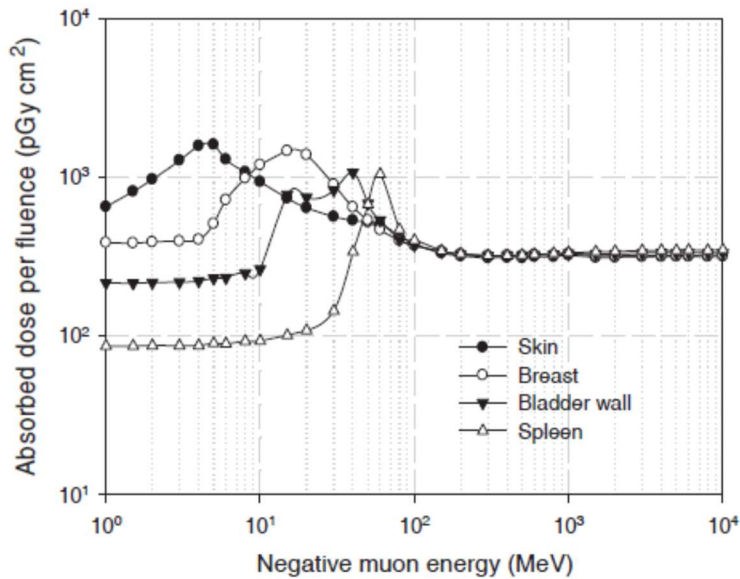


图 4.29 女性模体在前后位负  $\mu$  子照射的每单位注量的器官吸收剂量转换系数。

(199) 在能量为 5、10 和 100 MeV 时，软组织中  $\mu$  子的连续慢化近似 (CSDA) 射程分别为 0.193、0.695 和 31.1g/cm<sup>2</sup> (Groom 等人, 2001)。给定器官的器官剂量随能量逐步增加并达到他们的最大值，即形成许多布拉格峰。例如，膀胱壁的吸收剂量会在 15 和 40MeV 能量左右有两个峰值。女性模体从身体前表面到勾画的膀胱壁体素的深度一般在 0.8 到 8.4 厘米之间，深度分布在 1.3 和 5.8 厘米处有两个峰值 (ICRP, 2009)。这两个距离分别相当于 14 和 34MeV  $\mu$  子的 CSDA 射程。因此，膀胱壁和其他器官吸收剂量的能量依赖性可以用器官位置和入射  $\mu$  子射程之间的关系来解释。

(200) 能量超过 200 MeV， $\mu$  子在前、后和各向同性照射时能完全穿透人体。从 300 MeV 到 500 GeV 之间， $\mu$  子在软组织中的阻止本领随  $\mu$  子能量的增加而略有增加 (Groom

等人，2001），然而，高能  $\delta$  射线从人体中逸出以抵消这些增加并使吸收剂量几乎恒定。

#### 4.5.5. $\mu$ 子的有效剂量转换系数分析

(201) 图 4.30 显示了前后、后前和各向同性照射的有效剂量转换系数，该系数是负  $\mu$  子能量的函数。有效剂量随着  $\mu$  子能量的增加而增加，前后几何条件中有效剂量达到最大值的  $\mu$  子能量为 50 MeV，后前几何条件中为 60 MeV，各向同性几何条件中为 80 MeV。如第 4.5.4 节所述，峰值能量差异是器官深度、照射方向和  $\mu$  子射程的函数。在 200 MeV 能量以上， $\mu$  子完全穿透人体，高能  $\delta$  射线从人体逃逸。因此，在这些较高的入射能量下，有效剂量对入射方向的依赖性变小，且与入射  $\mu$  子能量无关。

#### 4.5.6. 对 $\mu$ 子电荷的依赖性

(202) 图 4.31 显示了各向同性照射时，正负  $\mu$  子之间有效剂量转换系数的比较。大于 100MeV 能量的剂量转换系数实际上是相同的，而在较低能量时，给出的正  $\mu$  子的值略高于负  $\mu$  子的值。这一区别是因为由正  $\mu$  子衰变产生的正电子提供的剂量比由负  $\mu$  子衰变产生的电子提供的剂量更高一些。对能量沉积事件的分析表明，在 10MeV 能量时，负  $\mu$  子俘获产生的核反冲造成的能量沉积的相对贡献小于初始能量的 0.1%。

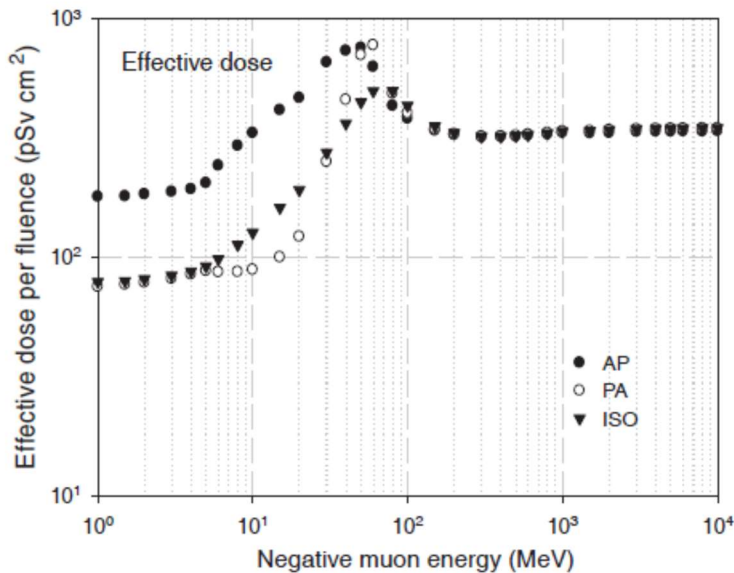


图 4.30 在不同几何条件照射时负  $\mu$  子能量的每单位位注量的有效剂量转换系数，照射几何条件包括：AP，前后；PA，后前；ISO，各向同性。

#### 4.5.7. 本报告与以前使用格式化模体对 $\mu$ 子进行的计算的比较

(203) Ferrari 等人 (1997) 使用 FLUKA 程序和 MIRD 模型计算了正负  $\mu$  子的器官剂量和有效剂量转换系数。有效剂量的计算使用的是 ICRP 第 60 号出版物 (ICRP, 1991) 规定的  $w_T$  和  $w_R$  ( $\mu$  子的  $w_R=1$ )。

(204) 图 4.32 对负  $\mu$  子比较了本报告的数据和 Ferrari 等人的结果。可以看出，在整个能量范围内，这些值之间普遍存在良好的一致性。在 10-20MeV 的能量范围内观察到的相对差异为 10-20%。这些差异是由于所用模型的解剖结构不同，特别是乳腺等器官的位置和形状的差异。此外，ICRP 第 60 号出版物 (ICRP, 1991) 中的一些器官  $w_T$  值在 ICRP 第 103 号出版物 (ICRP, 2007) 中也发生了重大变化。

(205) 200MeV 能量以上的  $\mu$  子完全穿透人体，所有器官受到均匀照射。因此，有效剂量对人体模型的解剖差异不太敏感，因此两个模型给出的值是相似的，如图 4.32 所示。

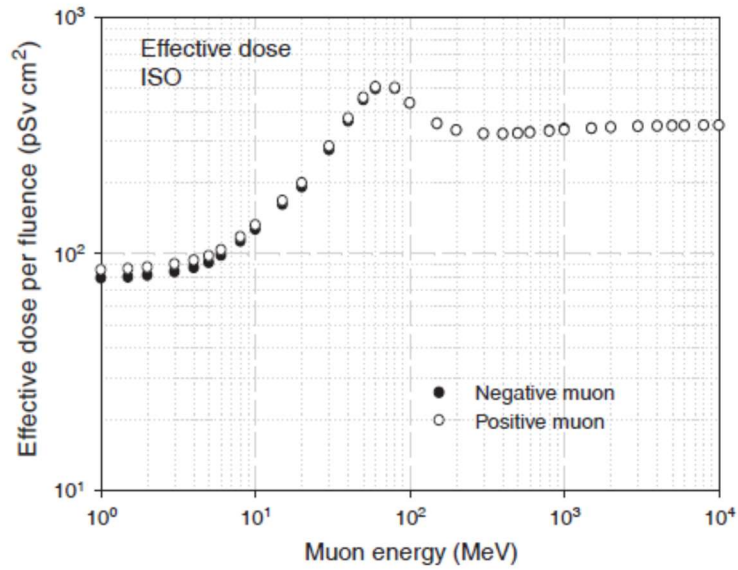


图 4.31 各向同性几何条件照射的正负  $\mu$  子每单位位注量的有效剂量转换系数的比较

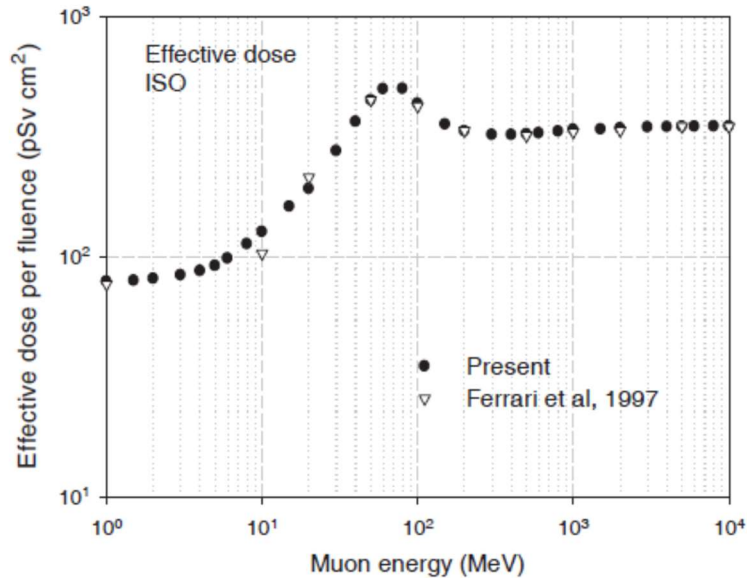


图 4.32 本报告的数据与 Ferrari et al (1997) 等人的有效剂量转换系数数据的比较，各向同性照射

## 4.6 正负 $\pi$ 介子

### 4.6.1. $\pi$ 介子在人体内的能量沉积特性

(206) 带电  $\pi$  介子主要通过库仑相互作用损失能量。在较高能量时，强子-核子和强子-核相互作用产生各种次级粒子，导致人体能量沉积。此外，带电  $\pi$  介子的以下特性对计算剂量转换系数也很重要。带电  $\pi$  介子是不稳定粒子，平均寿命为  $2.6 \times 10^{-8} \text{s}$  衰变为  $\mu$  子和  $\mu$  中微子 ( $\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu}$ )。衰变过程中产生的  $\mu$  子与人体相互作用如第 4.5.1 节所述。当一个负  $\pi$  介子在人体中趋于静止时，它通常被一个原子核捕获，然后原子核解体，发射出各种高 LET 粒子（所谓的“恒星碎片”）。

### 4.6.2 $\pi$ 介子的计算条件

(207) 计算了正、负  $\pi$  介子的剂量转换系数。由于中性  $\pi$  介子的平均寿命较短

( $8.7 \times 10^{-17} \text{s}$ )，因此计算时不包括在内。使用 FLUKA 和 PHITS 两种蒙特卡罗程序，是对前后、后前和各向同性几何条件照射在 1 MeV–200 GeV 的能量范围内进行计算的。

(208) 在使用 FLUKA 程序计算时，大多数器官的吸收剂量的相对统计不确定度小于 0.5%。对于小器官（如肾上腺和卵巢），相对统计不确定度小于 1%。在使用 PHITS 程序的计算中，大多数器官的吸收剂量的相对统计不确定度小于 5%。对于小器官和低入射能量，统计不确定度高达 10%。

#### 4.6.3. 对 $\pi$ 介子采用不同蒙特卡罗程序之间的差异

(209) 图 4.33 显示了使用 FLUKA 和 PHITS 程序确定的数据计算器官吸收剂量的差异举例。在入射能量 3 GeV 和 100 GeV 之间的  $\pi$  介子，发现相对差异最大达到 20%。如第 3.3.2 节所述，FLUKA 程序使用 PEANUT 包，其中包括通用核内级联模型和高达 5GeV 的预平衡模型，以及 5GeV 以上的 Dual Parton 模型。PHITS 程序使用 JQMD 模型计算 2.5GeV 以下的强子-核子和强子-核相互作用，在 2.5GeV 以上使用 JAM 模型。分别在 5 和 3GeV 能量点发现了 FLUKA 程序和 PHITS 程序计算结果有小的不连续，这是由于各自程序使用的相互作用模型切换造成的。3GeV 以上的差异来自 FLUKA 和 PHITS 程序采用了不同核反应模型。因此，本报告决定对 FLUKA 和 PHITS 两者的结果进行平均，然后再进行数据平滑来计算参考数据。

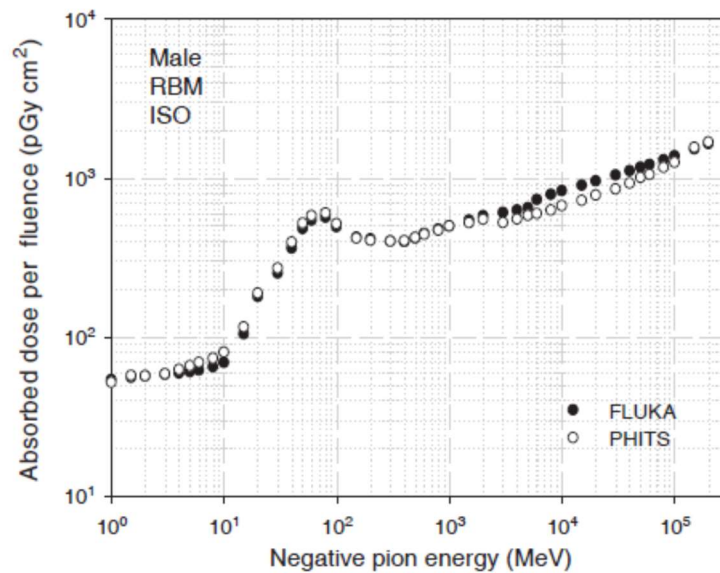


图 4.33. 用不同蒙特卡罗程序计算的各向同性照射男性模体红骨髓的吸收剂量，作为负  $\pi$  介子能量的函数

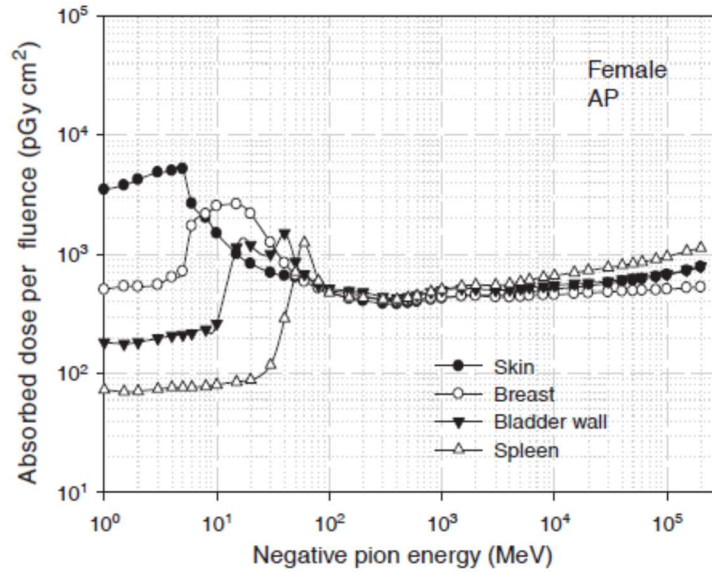


图 4.34. 女性体模负  $\pi$  介子前后照射的每单位注量的器官剂量转换系数

#### 4.6.4 对 $\pi$ 介子的器官剂量转换系数分析

(210) 图 4.34 显示了距离身体前表面不同深度选定几种器官前后照射时负  $\pi$  介子的吸收剂量转换系数。一般情况下，器官吸收剂量随入射  $\pi$  介子能量的增加而增加，在达到最大值后下降。超过 500MeV 能量时，器官吸收剂量再次增加。低于 100MeV 能量时，器官吸收剂量的能量依赖性与  $\mu$  子相似，见图 4.29 所示，这种能量依赖性会受器官深度、入射  $\pi$  介子能量和在组织中的相应射程等多种因素的影响。

(211) 如图 4.34 所示，500 MeV 能量以上器官吸收剂量的增加以脾脏最为明显。高能  $\pi$  介子通过复杂的核反应产生强子的次级粒子级联。这些次级粒子在身体深处的器官中沉积更多的能量。

#### 4.6.5 $\pi$ 介子的有效剂量转换系数分析

(212) 图 4.35 显示了有效剂量转换系数，它是前后、后前和各向同性几何条件照射时负  $\pi$  介子能量的函数。在 100MeV 能量以下，有效剂量转换系数的能量依赖性可以由器官的相对深度、粒子入射方向、 $\pi$  介子能量和在组织中的相应射程来解释。

(213) 高达 50MeV 能量时，前后照射的有效剂量转换系数高于后前和各向同性几何条件照射，因为前后入射  $\pi$  介子到达的器官对有效剂量贡献很大（例如乳房）。另一方面，在后前几何条件，在高达 5MeV 能量范围内，皮肤剂量是有效剂量的主要贡献者。在 5MeV 能量以上，入射的  $\pi$  介子穿透皮肤但不能到达一些敏感器官，有效剂量随之降低。随着入射  $\pi$  介子能量的进一步增加，这些粒子能够到达其他一些内脏器官，有效剂量会再次增加。在 高能区，如第 4.6.1 节所述，由于通过强子级联产生了次级粒子，导致各向同性几何条件比前后和后前几何条件照射的转换系数更高。这是带电粒子的普遍现象，质子（图 4.27）和氦离子（图 4.40）也存在类似的能量依赖性。

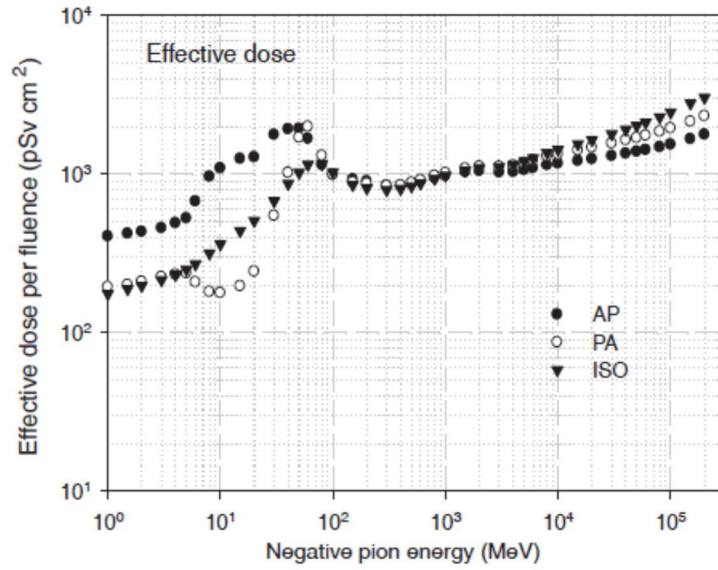


图 4.35 不同几何条件照射下  $\pi$  介子每单位注量的有效剂量转换系数，照射几何条件包括：AP，前后；PA，后前；ISO，各向同性

#### 4.6.6. 对 $\pi$ 介子电荷的依赖性

(214) 图 4.36 显示出了各向同性几何条件入射人体的正负  $\pi$  介子的有效剂量转换系数的比较。当负、正  $\pi$  子静止下来时，前者通常被原子核捕获，原子核分裂后释放出各种次级粒子，而后者则通常衰变为  $\mu$  子和中微子。由能量低于 80MeV 的负  $\pi$  介子产生的高 LET 次级粒子所沉积的能量远大于相应能量相同注量的正  $\pi$  介子所沉积的能量，如图 4.36 所示。另一方面，在约 200MeV 时，由于这个能量段  $\delta$  共振造成的组织反应截面不同，正  $\pi$  介子的剂量转换系数高于负  $\pi$  介子的剂量转换系数。

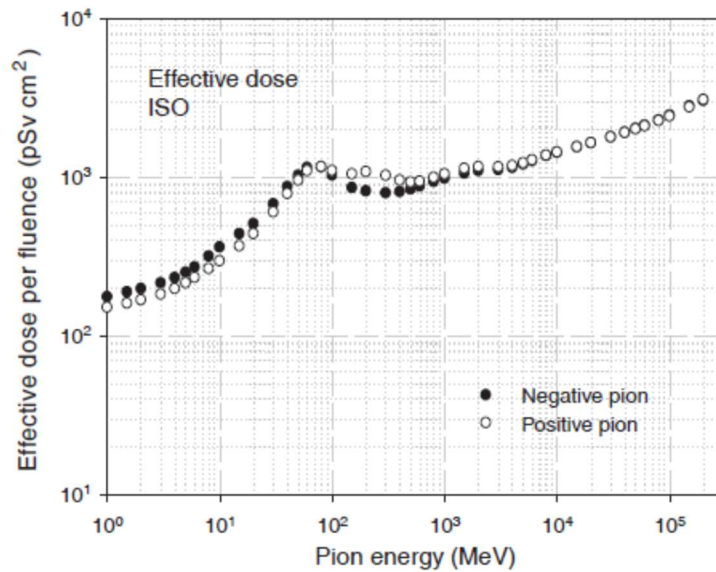


图 4.36. 正负  $\pi$  介子之间有效剂量转换系数与  $\pi$  介子能量函数的比较

#### 4.6.7 本报告与以往 $\pi$ 介子研究的比较

(215) Ferrari 等人 (1998) 根据 ICRP 第 60 号出版物 (ICRP, 1991) 中的定义, 使用 FLUKA 程序和格式化 MIRD 模型计算了正负  $\pi$  介子的器官剂量转换系数。由于 ICRP 第 60 号出版物没有给出  $\pi$  介子的  $w_R$  值, Ferrari 等人 (1998) 计算了 ICRU 球内 10 毫米深度处的有效品质因数, 并以能量为函数估算了负  $\pi$  介子和正  $\pi$  介子的  $w_R$ 。基于这些计算, 根据  $\pi$  介子的能量和电荷导出了以下  $w_R$  值: 对于正  $\pi$  介子, 能量 < 100 MeV 时,  $w_R=1$ ; 能量  $\geq 100$  MeV 时,  $w_R=2$ ; 对于负  $\pi$  介子, 能量 < 50 MeV 时,  $w_R=5$ ; 能量  $\geq 50$  MeV,  $w_R=2$ 。

(216) 图 4.37 比较了本报告数据和 Ferrari 等人 (1998 年) 计算的数据之间的正  $\pi$  介子的有效剂量转换系数。在 100MeV 能量以下观察到显著差异, 因为对于  $\pi$  介子, Ferrari 等人的计算中使用了不同的  $w_R$  值, 而本报告计算中在整个能量范围均使用  $w_R=2$ 。为了比较这两组数据, 使用  $w_R=2$  对 Ferrari 等人 (1998) 计算的低于 100MeV 的数据进行了重新拟合。因此, 在图 4.37 中看到, 本报告数据和重新拟合的数据之间的差异变小。这些结果表明, 模体间的解剖结构差异和  $w_T$  的更新对入射带电  $\pi$  介子的剂量转换系数影响不大。

## 4.7 氦离子

### 4.7.1 氦离子在人体内的能量沉积特征

(217) 对于能量大于 1MeV/u 的氦离子, 在人体内能量损失的主要过程是组织原子的电子激发和电离。在较高能量下, 氦离子的核反应会导致能量损失。在达到很高的能量范围内, 辐射过程 (即韧致辐射) 的能量损失是可以忽略的。

(218) 一些蒙特卡洛程序 (如 PHITS 程序和 FLUKA 程序) 的最新发展, 已使得利用描述高能碎裂反应的复杂模型来分析重离子复杂相互作用的各个方面成为可能。

### 4.7.2 氦离子的计算条件

(219) 氦离子的吸收剂量转换系数的初级计算是用 PHITS 程序进行的, 使用前后、后前和各向同性的几何条件照射, 能量为 1 MeV/u - 100 GeV/u 范围内 (Sato 等人, 2010)。对大多数器官确定的吸收剂量转换系数的相对统计偏差通常小于 5%, 但对于较小的器官 (如甲状腺), 其值达到 15%。

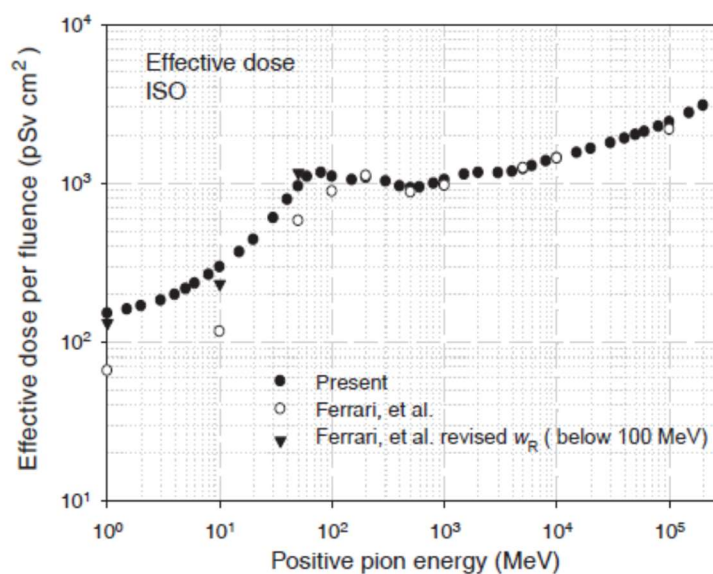


图 4.37 本报告数据与 Ferrari 等人 (1998) 数据之间对正  $\pi$  介子有效剂量转换系数的比较,

对于各向同性几何条件照射。

(220) 用 FLUKA 程序对前后、后前和各向同性的几何条件的照射进行了次级计算。因为 FLUKA 程序处理的重离子的最低能量是 10 MeV /u，所以这些计算是从 10 MeV /u 到 100GeV/u 进行的。在大多数器官中，吸收剂量的统计不确定度小于 5%。

#### 4.7.3 氦离子的输运程序之间的差异

(221) 图 4.38 显示了计算出的器官剂量转换系数的差异的示例。PHITS 程序和 FLUKA 程序在整个能量范围内给出了令人满意的一致性。在使用 PHITS 程序的计算中，由 3.5GeV/u 以下的粒子引起的核反应由 JQMD 模型模拟，而由高能粒子引起的核反应则由 JAM 模型处理质子和中子，以及将 JQMD 和 JAM 模型相结合处理重离子的。FLUKA 程序使用 RQMD 模型处理高达 5 GeV /u 的核相互作用，高于此能量以上，则使用 DPMJET 模型。尽管在 5 GeV /u 能量以上，PHITS 和 FLUKA 程序使用了不同的核反应模型，但两个程序的结果显示出很好的一致性。为了计算参考数据，工作组决定将由 PHITS 和 FLUKA 程序计算的器官吸收剂量进行平均，并做数据平滑技术处理。

#### 4.7.4 对氦离子的器官剂量转换系数的分析

(222) 图 4.39 所示为所选几个器官在氦离子前后照射时的吸收剂量转换系数，所选几个器官位于女性参考模内，与身体前表面距离不同。由图可见，在能量小于 100 MeV /u 的情况下，不同器官的器官吸收剂量表现出较大的变化，而在这个能量之上，器官吸收剂量的一致性相当好。在较低的入射能量下，氦离子具有很短的射程，主要将能量沉积在其路径末端的特征布拉格峰上。氦离子的能量及其射程是决定内脏器官和组织吸收剂量分布的主要因素。例如，当氦离子能量低于 10mev/u 时，几乎所有的能量都授予了皮肤。吸收剂量转换系数的能量依赖性随不同器官峰值能量的增大而增大。每个器官的氦离子峰能量对应的射程与从皮肤到相关器官的平均深度一致。例如，50 MeV/U 的能量对应的组织中几厘米的射程，共相当于女性乳腺的平均深度。对于骨髓，峰值约为~100—150 MeV/U，相当于 8~16 厘米的近似深度。

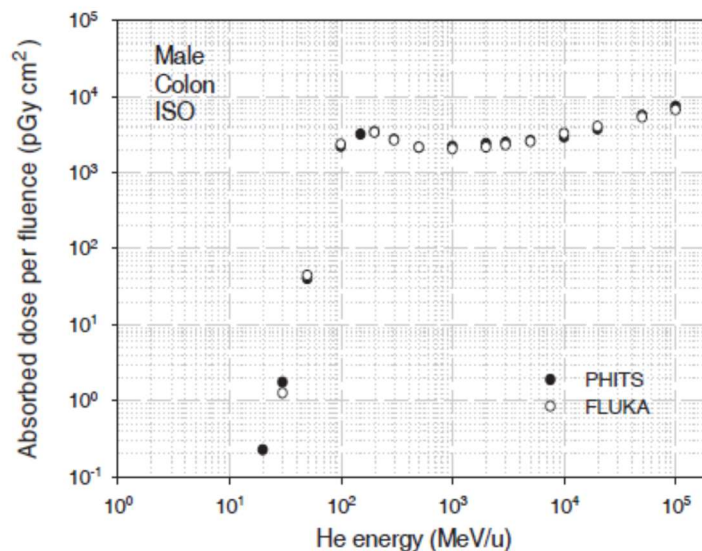


图 4.38 用不同蒙特卡罗程序计算各向同性几何条件照射男性模体结肠的每单位位注量吸收剂量

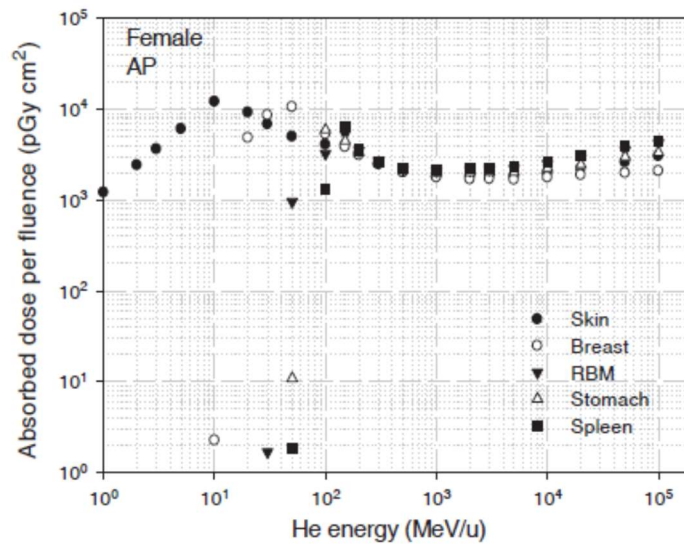


图 4.39 氦离子前后照射女性模体中选定几个器官的每单位位注量器官吸收剂量。RBM，红骨髓。

(223) 另一方面，在高入射能量时，氦离子具有可以完全穿过人体的射程从而不产生布拉格峰。因此，吸收剂量在人体内分布更均匀。然而，即使在高能区，转换系数的器官深度依赖性仍然可以观察到。与位于身体表浅的器官（例如皮肤和乳腺）相比，位于身体深部的器官（例如胃和脾）的转换系数随着入射能量的增加而迅速上升。这种趋势是由于高能氦离子可以通过复杂的核反应触发次级粒子级联，而这些次级粒子在人体更深的位置沉积更多的能量。

(224) 如第 4.4.5 节对低能质子的描述，低于 10MeV/u 的氦离子不能穿透皮肤（肌肉中 10MeV/u 氦离子的射程为 0.13cm）。因此，低于 10 MeV /u 时除了皮肤以外其他器官剂量可忽略。

#### 4.7.5 对氦离子有效剂量转换系数分析

(225) 图 4.40 显示了在标准前后、后前和各向同性照射时作为氦离子能量函数的有效剂量转换系数。能量高达 20 MeV /u 时，有效剂量主要由皮肤剂量决定，前后、后前几何条件的吸收剂量转换系数略高于各向同性的几何条件。在中等能量段（20~100 MeV /u），前后、后前照射的有效剂量转换系数分别比各向同性的高很多和低很多。这一趋势是由于在前后几何条件照射时入射粒子通常停在放射生物敏感器官中（如乳腺），而在后前几何条件照射时入射粒子不能到达这些器官。在 20 GeV/u 以上，由于高能氦离子产生的次级粒子级联将能量沉积在较深的器官中，各向同性的几何条件比前后和后前几何条件照射具有更高的有效剂量转换系数。

#### 4.7.6 本报告与以往氦离子研究的比较

(226) 图 4.41 将 ICRP 第 60 号出版物（ICRP, 1991）中使用 PHITS 程序和 MIRD 模型（Sato 等人, 2003）计算的有效剂量转换系数与基于本报告计算的相应的数值进行了比较，本报告的计算数值如图 4.40 所示。注意，在以前的研究中，计算有效剂量转换系数的最大氦离子能量局限在 3 GeV/u 以下。

(227) 从图 4.41 可以明显看出，除了中间能量段（从 20 MeV/u 到 100 MeV/u），根据不同 ICRP 出版物中给出的概念计算的有效剂量转换系数非常相似。这种一致性表明 ICRP 第 103 号出版物（ICRP，2007）对氦离子照射的有效剂量转换系数没有影响，相反如第 4.3.6 节所述，对于中子的这个系数值影响显著。这是因为 ICRP 第 103 号出版物（ICRP，2007）没有修改重离子的  $w_R$  值，而修改了中子的  $w_R$  值。中等入射能量的差异主要归因于分配给乳腺的  $w_T$  的修订，其值在 ICRP 第 103 号出版物（ICRP，2007）中从 0.05 增加到了 0.12。如图 4.39 所示，在中等入射能量段，由于入射粒子的射程接近从皮肤表面到感兴趣器官（即几厘米）的平均深度，因此乳腺的吸收剂量转换系数大于其他器官的吸收剂量转换系数。因此，该能量段的有效剂量在很大程度上取决于具有相对较大  $w_T$  值的乳腺组织中的吸收剂量。

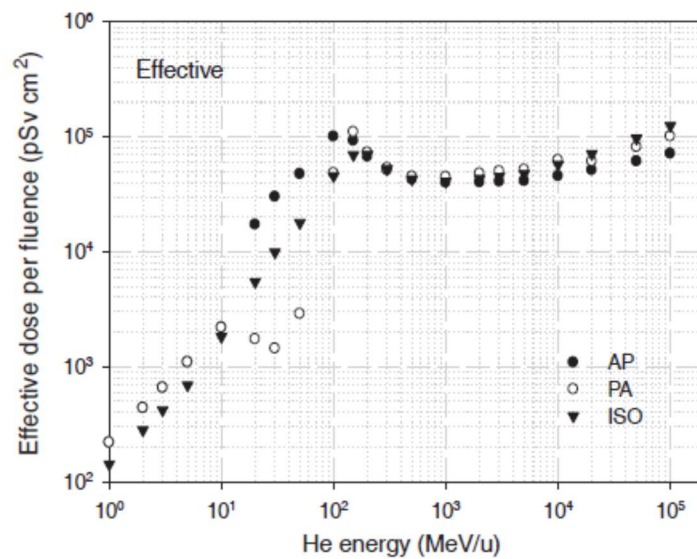


图 4.40 在各种几何条件照射下作为氦离子能量函数的有效剂量转换系数，包括：AP，前后；PA，后前；ISO，各向同性。

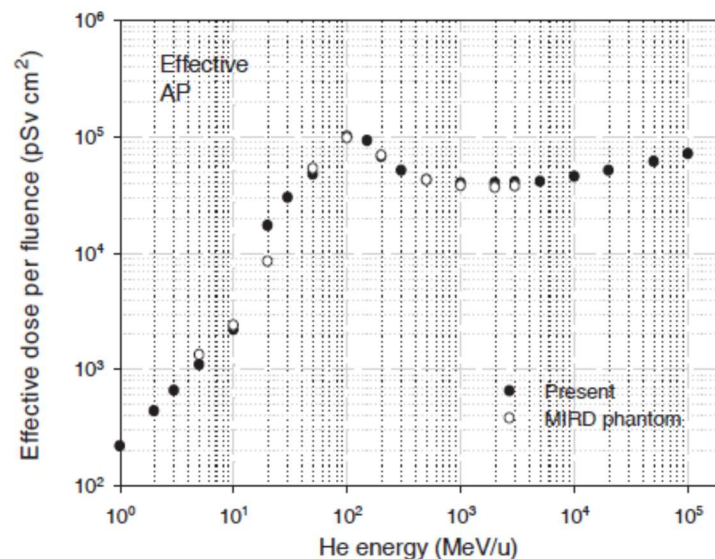


图 4.41 对前后几何条件照射下，本报告每单位注量的有效剂量数据与以前使用 MIRD 体模（Sato 等人，2003）计算的相应数值之间的比较

## 4.8 参考文献

- Aarnio, P.A., Miihring, H.J., Ranft, J., et al., 1990. FLUKA89. Conseil Europe' en pour la Recherche Nucle' aire informal report, Geneva.
- Chao, T.C., Bozkurt, A., Xu, X.G., 2001. Conversion coefficients based on the VIP-Man anatomical model and EGS4-VLSI code for external monoenergetic photons from 10 keV to 10 MeV. *Health Phys.* 81, 163 - 183.
- de Boor, C., 1978. *A Practical Guide to Splines*. Springer Verlag, New York.
- Ferrari, A., Pelliccioni, M., Pillon, M., 1997. Fluence to effective dose conversion coefficients for muons. *Radiat. Prot. Dosim.* 74, 227 - 233.
- Ferrari, A., Pelliccioni, M., Pillon, M., 1998. Fluence to effective dose conversion coefficients for negatively and positively charged pions. *Radiat. Prot. Dosim.* 80, 361 - 370.
- Ferrari, P., Gualdrini, G., 2005. An improved MCNP version of the NORMAN voxel phantom for dosimetry studies. *Phys. Med. Biol.* 50, 4299 - 4316.
- Fesefeldt, H.C., 1985. *Simulation of Hadronic Showers, Physics and Application*. Technical Report PITHA 85-02.
- GEANT 4, 2006. *GEANT 4: Physics Reference Manual*. Available at: <http://GEANT4.web.cern.ch/GEANT4/UserDocumentation/UsersGuides/PhysicsReferenceManual/fo/PhysicsReferenceManual.pdf>.
- Groom, D.E., Mokhov, N.V., Striganov, S.I., 2001. Muon stopping power and range tables 10 MeV - 100 TeV. *Atom Data Nucl. Data Tables* 78, 183 - 356.
- Hewitt, W.T., Yip, D., 1992. *The NURBS Procedure Library*. Technical Report CGU76. Manchester Computing Centre, Manchester.
- ICRP, 1991. *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60. *Ann. ICRP* 21(1 - 3).
- ICRP, 1996. *Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation*. ICRP Publication 74. *Ann. ICRP* 26(3/4).
- ICRP, 2002. *Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values*. ICRP Publication 89. *Ann. ICRP* 32(3/4).
- ICRP, 2007. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37(2 - 4).
- ICRP, 2009. *Adult reference computational phantoms*. ICRP Publication 110. *Ann. ICRP* 39(2).
- ICRU, 1993. *Stopping Power and Ranges for Protons and Alpha Particles*. ICRU Report 49. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.
- ICRU, 1998. *Conversion Coefficients for use in Radiological Protection Against External Radiation*. ICRU Report 57. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.
- Jones, D.G., 1997. A realistic anthropomorphic phantom for calculating organ doses arising from external photon irradiation. *Radiat. Prot. Dosim.* 72, 21 - 29.
- Kawrakow, I., Mainegra-Hing, E., Rogers, D.W.O., et al., 2009. *The EGSnrc Code System: Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport*. PIRS Report 701. National Research Council of Canada, Ottawa.
- Kramer, R., Zankl, M., Williams, G., et al., 1982. *The Calculation of Dose from External Photon Exposures Using Reference Human Phantoms and Monte Carlo Methods, Part I: the Male (Adam) and Female (Eva) Adult Mathematical Phantoms*. GSF Report S-885. GSF - National Research

Centre for Environment and Health, Neuherberg.

Kramer, R., Khoury, H.J., Vieira, J.W., 2005. Comparison between effective doses for voxel-based and stylized exposure models from photon and electron irradiation. *Phys. Med. Biol.* 50, 5105 - 5126.

Lee, C., Lee, C., Lee, J.-K., 2006. On the need to revise the arm structure in stylized anthropomorphic phantoms in lateral photon irradiation geometry. *Phys. Med. Biol.* 51, N393 - N402.

Pelowitz, D.B., 2008. MCNPX User's Manual, Version 2.6.0. LA-CP-07-1473. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM.

Prael, R.E., Lichtenstein, H., 1989. User Guide to LCS: the LAHET Code System LA-UR-89-3014 (1989),

Los Alamos National Laboratory Los Alamos, NM, USA.

Rogers, D.W.O., Bielajew, A.F., 1990. Monte Carlo Techniques of Electron and Photon Transport for Radiation Dosimetry. In: Kase, K.R., Bjärngård, B.E., Attix, F.H. (Eds.), *The Dosimetry of Ionizing Radiation*. Vol. 3. Academic Press, San Diego, CA, pp. 427 - 539.

Rogers, D.W.O., Faddegon, B.A., Ding, G.X., et al., 1995. BEAM: a Monte Carlo code to simulate radiotherapy treatment units. *Med. Phys.* 22, 503 - 524.

Roussin, R.W., Knight, J.R., Hubbell, J.H., et al., 1983. Description of the DLC-99/HUGO Package of Photon Interaction Data in ENDF/B-V Format. ORNL Report RSIC-46 (ENDF-335). Radiation Shielding Information Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.

Sato, T., Tsuda, S., Sakamoto, Y., et al., 2003. Conversion coefficients from fluence to effective dose for heavy ions with energies up to 3 GeV/A. *Radiat. Prot. Dosim.* 106, 137 - 144.

Sato, T., Endo, A., Zankl, M., et al., 2009. Fluence-to-dose conversion coefficients for neutrons and protons calculated using the PHITS code and ICRP/ICRU adult reference computational phantoms. *Phys. Med. Biol.* 54, 1997 - 2014.

Sato, T., Endo, A., Niita, K., 2010. Fluence-to-dose conversion coefficients for heavy ions calculated using the PHITS code and the ICRP/ICRU adult reference computational phantoms. *Phys. Med. Biol.* 55, 2235 - 2246.

Schlattl, H., Zankl, M., Petoussi-Henss, N., 2007. Organ dose conversion coefficients for voxel models of the reference male and female from idealized photon exposures. *Phys. Med. Biol.* 52, 2123 - 2145.

Seltzer, S.M., 1993. Calculation of photon mass energy-transfer and mass energy-absorption coefficients. *Radiat. Res.* 136, 147 - 170.

Snyder, W.S., Ford, M.R., Warner, G.G., et al., 1969. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. *Medical Internal Radiation Dose Committee Pamphlet No. 5*. *J. Nucl. Med.* 10 (Suppl. 3).

Snyder, W.S., Ford, M.R., Warner, G.G., 1978. *Estimates of Specific Absorbed Fractions for Monoenergetic Photon Sources Uniformly Distributed in Various Organs of a Heterogeneous Phantom*. Medical Internal Radiation Dose Committee Pamphlet 5 Revised. Society of Nuclear Medicine, New York, NY.

Veit, R., Zankl, M., Petoussi, N., et al., 1989. Tomographic Anthropomorphic Models. Part I: Construction Technique and Description of Models of an 8 Week Old Baby and a 7 Year Old Child. GSF Report 3/89. GSF - National Research Center for Environment and Health, Neuherberg.

Warner, G.G., Craig, A.M., 1968. ALGAM, a Computer Program for Estimating Internal Dose from Gamma-ray Sources in a Man Phantom. ORNL Report TM-2250. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.

Zankl, M., Fill, U., Petoussi-Henss, N., et al., 2002. Organ dose conversion coefficients for external

*photon irradiation of male and female voxel models. Phys. Med. Biol. 47, 2367 - 2385.*

## 5.对运行实用量和防护量的剂量转换系数之间的关系

(228) 本节对 2007 年建议书 (ICRP, 2007) 中与 ICRU 运行实用量对应的防护量的变化的影响进行审查。

(229) ICRU 在第 39 号出版物 (ICRU, 1985) 中定义了一组外照射的运行实用量, 用于在辐射防护测量中估计 ICRP 辐射防护量。这一组运行实用量在 ICRU 第 51 号报告 (ICRU, 1993) 中得到了进一步发展。ICRU 就这些量的实际应用发表了三份报告: 分别为第 43 号、47 号和 66 号报告 (ICRP, 1988、1992、2001)。在 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 第 57 号报告 (ICRU, 1998) 中, 报告了在有限粒子能量范围内光子、中子和电子的运行实用量转换系数的参考值, 并给出了防护量和运行实用量转换系数的比较。

(230) 防护量定义为粒子入射到人体或模体介质中; 而运行实用量定义为模体所处的那一点。ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 第 57 号报告 (ICRU, 1998) 中推荐的光子防护量和运行实用量的转换系数值, 是使用比释动能近似计算得到的。在某些情况下, 这种近似在一定条件下可以为吸收剂量提供较好的合理估计。比释动能近似假定从入射粒子传递而来的所有能量在相互作用中都沉积在相互作用发生的位置。只有在带电粒子平衡时, 比释动能的数值接近吸收剂量, 此时辐射损失可以忽略不计, 并且不带电粒子的动能大于被释放的带电粒子的结合能。

(231) 在 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 第 57 号报告 (ICRU, 1998) 中, 使用比释动能近似, 计算了入射到各种模体能量高达 20 MeV 中子的防护量和运行实用量。对于 20MeV 以上的入射中子, 跟踪了产生的次级带电粒子 ( $A \leq 4$ ), 计算了他们的能量沉积进行了。一旦入射中子能量慢化到 20MeV, 则在它们的下一次相互作用时就会应用比释动能近似。

(232) 将本报告为光子和中子在真空中参考模体计算的防护量结果, 与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 57 号报告 (ICRU, 1998) 中给出的光子和中子的防护量计算结果进行了比较, 观察到的光子防护量比值的差异主要是由于所使用的模体与所使用的组织权重因数的值之间的差异造成的 (见第 4.1.6 节)。中子的差异主要是由于辐射权重因数的变化 (见第 4.3.6 节)。

(233) 在计算运行实用量的转换系数时, 比释动能近似并不是在所有能量都是适用的。对于光子, ICRU 在准备 39 号出版物时采用了模体外空气中注量的信息 (Dimbylow and Francis, 1979, 1983, 1984; ICRU, 1985)。然而, 到目前为止, 为空气介质的辐射防护校准和测量中使用比释动能近似对光子运行实用量的转换系数推荐的值被认为是对广义粒子能量和方向广泛分布的防护量的可接受的近似, 同时也在所考虑辐射场的粒子能量范围内, 也适用于大多数辐射防护实践的实际应用。

(234) 一般来说, 对于仪器测量和校准而言, 需要进一步考虑运行实用量的定义和相应运行实用量计算的一些因素。目前, ICRU 正在回顾这项工作。

(235) 对运行实用量参考转换系数值的比较 (ICRP, 1996; ICRU, 1998) 表明, 在所考虑的辐射场中粒子能量范围内, 这些值用作大多数广义粒子能量和定向分布的辐射防护应用的防护量的转换系数是非常合适的。

### 5.1 防护量的变化

(236) 在本节中, 将本报告中推荐的防护量的剂量转换系数与先前推荐的运行实用量的转换系数进行了比较。在一些情况下, 还将它们与自 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 57 报告 (ICRU, 1998) 发布以来的报告的运行实用量值进行了比较, 主要是为了将这种比较扩展到本报告中所考虑的更高能量。当一些不是从 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 报告 57 (ICRU, 1998) 中提取的运行实用量的值被用于比较时, 它们的使用并不是

推荐这些值被认可，因为从现有的参考文献中选择它们时并未对这些值开展广泛的评价。

(237) 值得注意的是在本节中用于计算比值的所有光子运行实用量的推荐转换系数，即 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 第 57 号报告 (ICRU, 1998) 中的值，是基于吸收剂量的比释动能近似的，而在本报告推荐的防护量的计算中并没有采用此种近似处理。计算运行实用量的转换系数时所使用比释动能近似并不严格符合这些防护量的定义 (Ferrari 和 Pelliccioni, 1994; Bartlett and Dietze, 2010)，但是，为了与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996) 和 ICRU 第 57 号报告 (ICRU, 1998) 中光子运行实用量的参考值保持一致，这里保留了这种方法。

## 5.2 光子

(238) 图 5.1 对比了光子的有效剂量转换系数和  $H^*(10)$  转换系数 (ICRP, 1996; ICRU, 1998)。二者的比值表明，在高达 10 MeV 的所有能量范围内，根据比释动能近似计算得到的周围剂量当量  $H^*(10)$  保守地高估了有效剂量。为了评估能量高于 10 MeV 时的有效剂量转换系数，在图 5.2 中，将周围剂量当量值 (Ferrari 和 Pelliccioni, 1994a; Pelliccioni, 2000) 与能量高达 10 GeV 的有效剂量进行了比较。这两个量都是用处于真空中的身体和球体来计算的，并且在本报告中都跟踪了次级电子的吸收剂量。在 3 MeV 以上，周围剂量当量对有效剂量呈低估的趋势，如图 5.1 所示，使用比释动能近似时并未发现这种趋势。在图 5.2 的上图中数据仅绘制到 10MeV，其中在 3MeV 时有效剂量的偏离被放大，周围剂量当量对有效剂量呈高估的趋势。对个人剂量当量进行了类似的计算 (Veinot 和 Hertel, 2010)，得出的结果基本相同。

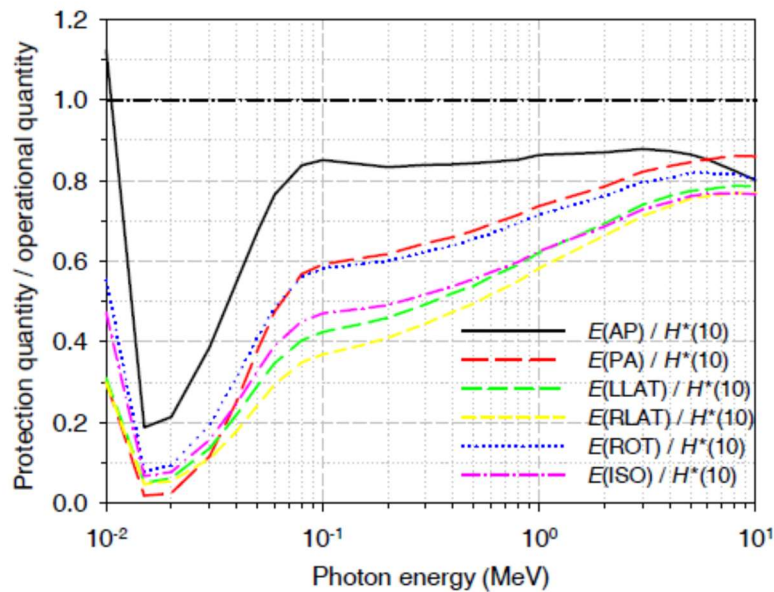


图 5.1 单能光子在带电粒子平衡条件下光子有效剂量 (本报告) 与周围剂量当量值 (ICRP, 1996) 之比。照射几何条件包括: AP, 前后; PA, 后前; LLAT, 左侧; RLAT, 右侧; ROT, 旋转; ISO, 各向同性。

## 5.3 电子

(239) 图 5.3 将本报告电子的有效剂量转换系数与周围剂量当量转换系数 (ICRP, 1996; ICRU, 1998) 进行了比较。(ICRP 第 74 号出版物和 ICRU 57 号报告中未具体说明周围剂量当量, 但说明了定向剂量当量  $H'(10,0)$ 。当使用 ICRU 球体作模体时, 这两个量在数值上是相等的)。由图可见, 在能量高达 10MeV 范围内, 周围剂量当量高估了有效剂量。在图 5.4 中, 对更高能量的有效剂量转换系数与周围剂量当量转换系数进行了比较 (Ferrari 和 Pelliccioni, 1994)。注意到, 在 100 MeV 能量以上, 所有的比值都大于 1, 这表明剂量当量不能提供对

有效剂量的保守估计。

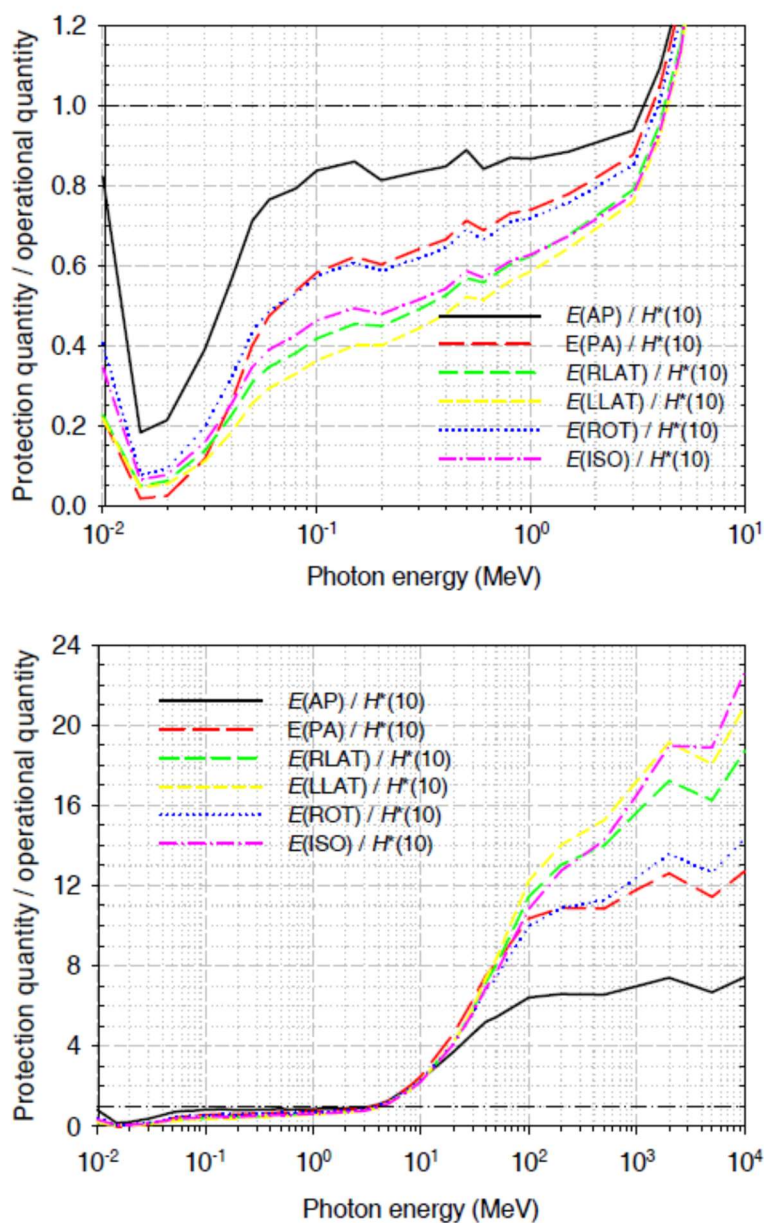


图 5.2.单能光子有效剂量（本报告）与周围剂量当量（Ferrari and Pelliccioni, 1994a; Pelliccioni, 2000）之比值。应该注意的是，计算周围剂量当量时记录了次级粒子（即没有使用比释动能近似）。为了便于与图 5.1 比较，上图中显示了能量 10MeV 以内的值。AP，前后；PA，后前；LLAT，左侧；RLAT，右侧；ROT，旋转；ISO，各向同性。

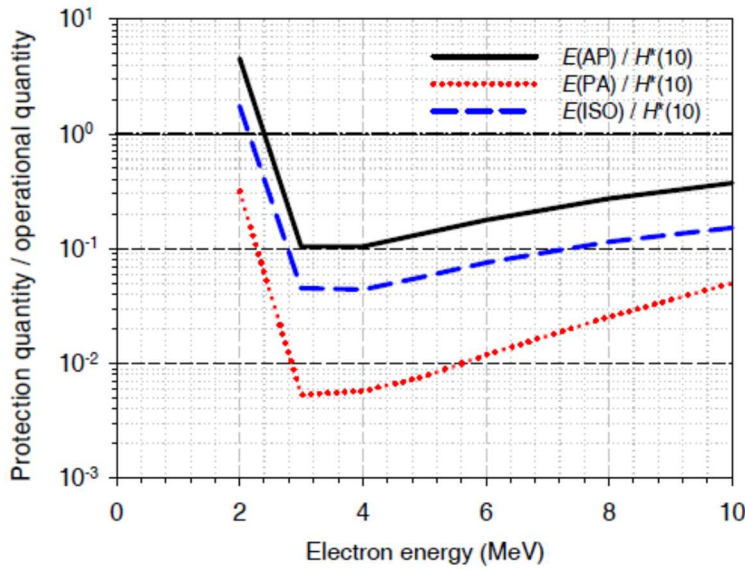


图 5.3. 单能电子有效剂量（本报告）与周围剂量当量  $H^*(10)$ （来自 ICRP 第 74 号出版物（ICRP, 1996））的比值。AP, 前后; PA, 后前; ISO, 各向同性。

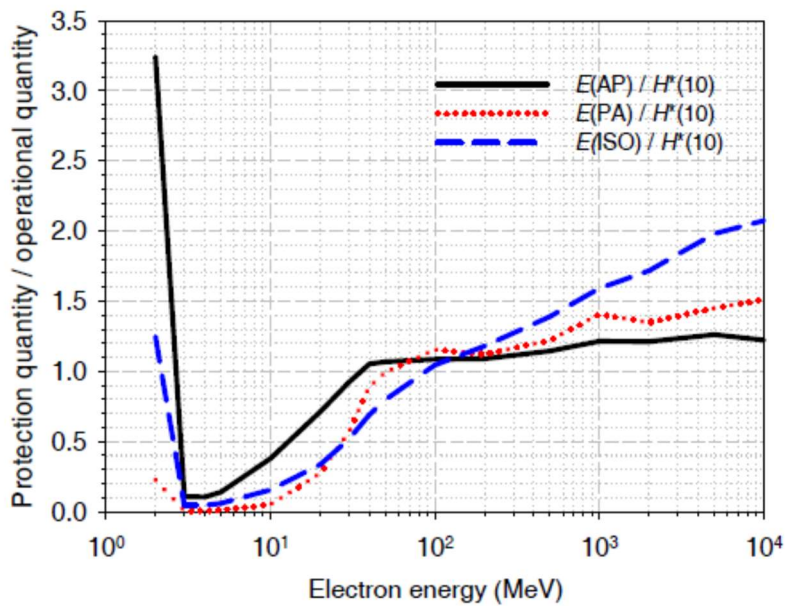


图 5.4 单能电子有效剂（本报告）与周围剂量当量  $H^*(10)$ （来自 Ferrari 和 Pelliccioni（1994b））的比值。AP, 前后; PA, 后前; ISO, 各向同性。

#### 5.4 中子

(240) 在图 5.5 中, 对中子的有效剂量转换系数与  $H^*(10)$  的值进行了比较 (ICRP, 1996; ICRU, 1998), 使用中子能量高达 200MeV, 照射几何条件包括前后、后前、左侧、右侧、旋转和各向同性。对能量高达 3MeV 的所有照射几何条件, 运行实用量的转换系数保守地高估了有效剂量的。但在 3-12MeV 能量之间的前后几何条件照射, 则略微低估了有效剂量的。在 50MeV 能量时, 前后和后前照射, 有效剂量转换系数被  $H^*(10)$  转换系数低估了, 在 75MeV 以上, 对所有照射几何条件,  $H^*(10)$  转换系数对有效剂量转换系数都是低估的。在 75~200MeV 的能量范围内, 最大的低估因数在 1.5~1.8 之间, 但当能量超过 200MeV 时, 低估的程度降低。

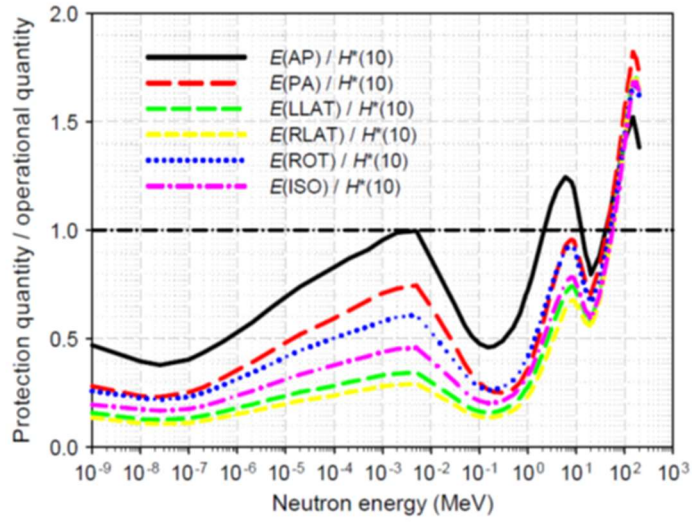


图 5.5 单能中子的中子有效剂量（本报告）与周围剂量当量（ICRP,1996）比值。

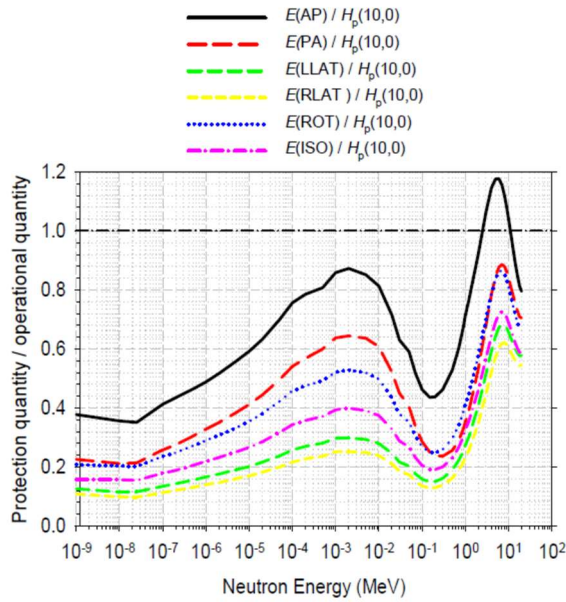
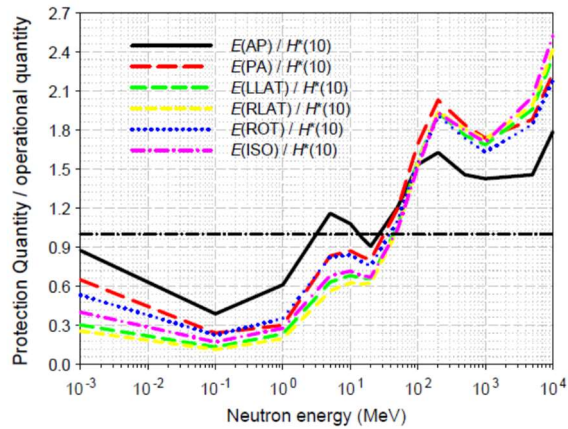


图 5.6 单能中子的中子有效剂量（本报告）与周围剂量当量（ICRP,1996）比值。



(239) 图 5.7 单能中子的中子有效剂量（本报告）与周围剂量当量（Ferrari and Pelliccioni, 1998）比值。

(241) 在图 5.6 中, 对前后、后前、左侧、右侧、旋转和各向同性照射的中子的有效剂量转换系数与个人剂量当量转换系数  $H_p(10,0)$  的参考值进行了比较 (ICRP, 1996; ICRU, 1998)。由图可以看出, 在 4 到 12MeV 的前后照射时, 有效剂量被稍微低估了。

(242) 还将高能中子的有效剂量转换系数与 Ferrari 和 Pelliccioni (1998) 计算的周围剂量当量转换系数进行了比较。图 5.7 显示了推荐的防护量与这些周围剂量当量  $H^*(10)$  值的比值。在 200MeV 以上, 周围剂量当量  $H^*(10)$  对有效剂量的低估程度减小, 然后在 1GeV 以上则持续增加, 在 10GeV 时, 各向同性和前后照射的高估因数分别接近 2.5 和 1.8。

### 5.5 眼晶状体剂量与运行实用量的比较

(243) 对眼晶状体的当量剂量与运行实用量的比较, 有正当的理由来讨论使用哪种运行实用量来评估这个特定放射敏感组织的当量剂量是最适合的。然而, 这一讨论超出了本报告的范围。在准备工作时, 一些研究正在进行中涉及对现有运行实用量的适用性、用于监测和评价运行实用量的剂量计的适当校准程序和校准模体。

(244) 由于眼晶状体于头部前部, 其器官剂量很大程度上取决于辐射入射的方向, 特别是对于低能量或中等能量的辐射, 而对于非常高的辐射能量, 与在穿过眼晶状体之前的物质中的辐射积累相比, 头部对射线的吸收就显得不再那么重要。在低辐射能量下, 前向照射 (AP) 入射最值得关注。一般来说, 对于前后照射, 场所和个人监测的量值  $H^*(3)$  和  $H_p(3)$  近似相等, 但对于其他照射入射方向, 情况并非如此。对于非前后照射, 使用  $H_p(3)$  和  $H_p(0.07)$  可能更为合适。然而, 对于  $H_p(3)$  和  $H_p(0.07)$  数据目前没有可使用的合适校准模体。

(245) 在图 5.8 中, 将光子能量高达 10 MeV 的眼晶状体当量剂量与  $H^*(3)$  进行了比较,  $H^*(3)$  使用 ICRP 第 51 号出版物 (ICRP, 1987) 中的数据。应注意的是, 对于光子和电子, 当量剂量 (Sv) 在数值上与吸收剂量 (Gy) 相同。尽管在 ICRP 第 51 号出版物 (ICRP, 1987) 中没有明确地指出周围剂量当量  $H^*(3)$ , 但在主轴上 3mm 深度处平行束照射的剂量相当于周围剂量当量  $H^*(3)$ 。还应该注意的, 周围剂量当量  $H^*(3)$  数据是使用比释动能近似计算的。可以看出, 在图中能量范围内各方向照射入射头部时, 周围剂量当量  $H^*(3)$  都是眼晶状体当量剂量的保守近似。

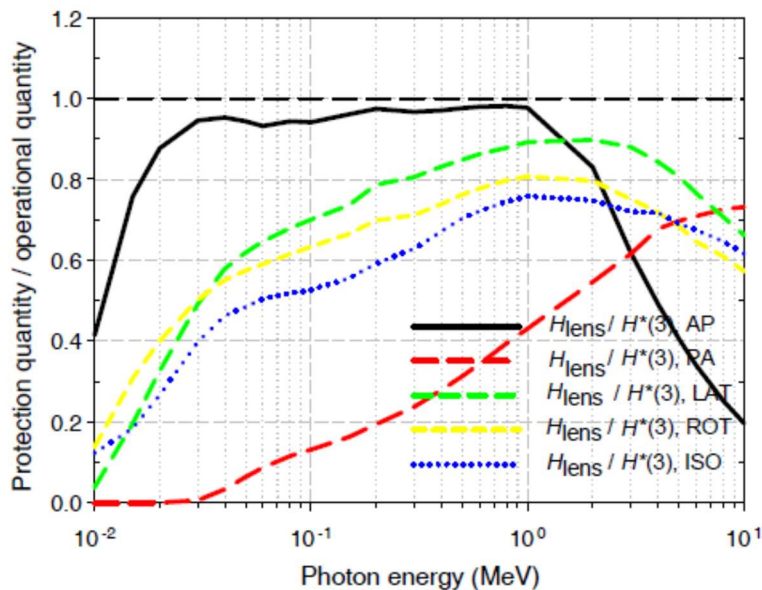


图 5.8 光子照射眼晶状体当量剂量 (本报告) 与  $H^*(3)$  的比值, 周围剂量当量  $H^*(3)$  使用 ICRP 第 51 号出版物 (ICRP, 1987) 中的数据。照射几何条件包括: AP, 前后; PA, 后前; LLAT, 左侧; RLAT, 右

侧；ROT，旋转；ISO，各向同性。

(246) 图 5.9 比较了能量高达 10 GeV 电子的眼晶状体当量剂量与 ICRP 第 74 号出版物 (ICRP, 1996; ICRU, 1998) 中的定向剂量当量  $H'(3)$ 。不过，对于模体的前后照射，定向剂量当量  $H'(3)$  始终等于周围剂量当量  $H^*(3)$ 。此外，还将眼晶状体剂量与来自 Ferrari 和 Pelliccioni (1994) 的周围剂量当量  $H^*(3)$  进行了比较，因为 Ferrari 和 Pelliccioni (1994) 用于较高能量的计算。由图可以看出，对于前后照射以及能量高于 0.7 MeV 的电子照射，周围剂量当量  $H^*(3)$  可以作为眼晶状体剂量的保守估计。在 70 MeV 以上，周围剂量当量  $H^*(3)$  低估了后前和各向同性照射的眼晶状体当量剂量，因为与后前和各向同性照射时眼睛在头部的位置相比，剂量建成效应更接近 ICRU 球的表面。因此， $H^*(3)$  只能为前后几何条件照射的眼晶状体当量剂量提供有效地评估。然而，目前尚没有头部模体的个人剂量当量  $H_p(3)$  的精确数据。

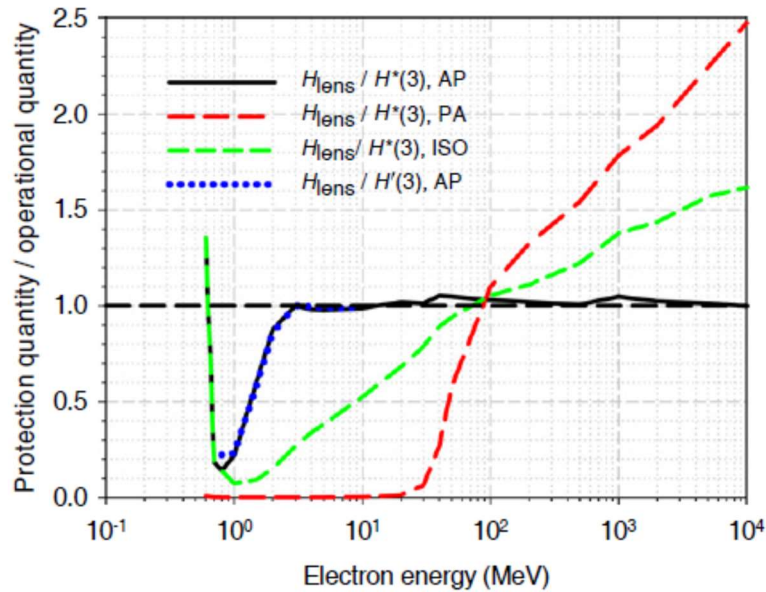


图 5.9 电子照射眼晶状体当量剂量 (本报告) 与定向剂量当量  $H'(3)$  和周围剂量当量  $H^*(3)$  的比值，电子的定向剂量当量  $H'(3)$  出自 ICRP 第 74 号出版物，周围剂量当量  $H^*(3)$  是基于 Ferrari 和 Pelliccioni (1994b) (ICRP, 1987) 中的数据，照射几何条件包括：AP，前后；PA，后前；LLAT，左侧；RLAT，右侧；ROT，旋转；ISO，各向同性。

### 5.6 结论

(247) 在本节中，将根据 ICRP 第 103 号出版物 (ICRP, 2007) 计算的有效剂量转换系数与运行实用量的转换系数 (ICRP, 1996; ICRU, 1998) 进行了比较。从这些比较中可以推断出光子、中子和电子 (ICRP, 1996; ICRU, 1998) 的运行实用量能继续为广谱粒子能量和定向照射提供良好的近似，在所考虑的辐射场粒子能量范围 (ICRP, 1996; ICRU, 1998) 的大多数辐射防护实践中依旧具有实际的应用价值，但是不适用于本报告中考虑的更高能量范围。

(248) 对用于更高能量的运行实用量，将其与 1996 年以来发布的小样本数据进行了比较，比较结果表明，对高能段的运行实用量和防护量之间的关系还需进一步研究。2010 年，ICRU 承担了重新评估运行实用量定义的任务。

### 5.7 参考文献

Bartlett, D.T., Dietze, G., 2010. ICRU operational quantities. *Radiat. Prot. Dosim.* 139, 475 - 476.

Dimbylow, P.J., Francis, T.M., 1979. A Calculation of the Photon Depth-Dose Distributions in the ICRU Sphere for a Broad Parallel Beam, a Point Source and an Isotropic Field. National Radiological Protection Board-R92. NRPB, London..

Dimbylow, P.J., Francis, T.M., 1983. The effect of photon scatter and consequent electron build-up in air on the calculation of dose equivalent quantities in the ICRU sphere for photon energies from 0.662 to 10 MeV. *Phys. Med. Biol.* 28, 817 - 828.

Dimbylow, P.J., Francis, T.M., 1984. The calculation of dose equivalent quantities in the ICRU sphere for photon energies from 0.01 to 10 MeV. *Radiat. Prot. Dosim.* 9, 49 - 53.

Ferrari, A., Pelliccioni, M., 1994a. On ambient dose equivalent. *J. Radiol. Prot.* 14, 331 - 335.

Ferrari, A., Pelliccioni, M., 1994b. Dose equivalents for monoenergetic electrons incident on the ICRU sphere. *Radiat. Prot. Dosim.* 55, 207 - 210.

Ferrari, A., Pelliccioni, M., 1998. Fluence to effective dose conversion data and effective quality factors of high energy neutrons. *Radiat. Prot. Dosim.* 76, 215 - 224.

ICRP, 1987. Data for use in protection against external radiation. ICRP Publication 51. *Ann. ICRP* 17(2/3).

ICRP, 1996. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP Publication 74. *Ann. ICRP* 26(3/4).

ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37(2 - 4).

ICRU, 1985. Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources. ICRU Report 39. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

ICRU, 1988. Measurement of Dose Equivalents from External Radiation Sources. Part 2. ICRU Report 43. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

ICRU, 1992. Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations. ICRU Report 47. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

ICRU, 1993. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry. ICRU Report 51. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

ICRU, 1998. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection Against External Radiation. ICRU Report 57. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

ICRU, 2001. Determination of Operational Dose Equivalent Quantities for Neutrons. ICRU Report 66. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

Pelliccioni, M., 2000. Overview of fluence-to-effective dose and fluence-to-ambient dose equivalent conversion coefficients for high energy radiation calculated using the FLUKA code. *Radiat. Prot. Dosim.* 88, 279 - 297.

Veinot, K., Hertel, N., 2010. Personal dose equivalent conversion coefficients for photons to 1 GeV. *Radiat. Prot. Dosim.* 145, 28 - 35.