

- [4] 魏启慧、贺先运, 原子能科学技术, 1, 23(1978).
 [5] G. A. Nagy, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **26**, 659 (1964).
 [6] J. K. Foreman, *Analyst*, **94**, 425 (1969).
 [7] K. Beg et al., *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, **14**, 137 (1963).
 [8] K. D. Moffett et al., *Anal. Chem.*, **28**, 1385, (1956).
 [9] L. H. Bowen et al., *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **28**, 1985(1966).
 [10] F. Adamas and R. Dams, *Applied Gamma-Ray Spectrometry*, Oxford, 1970, p.330.

$^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 源和 $^{226}\text{Ra}-\text{Be}$ 源的中子注量-剂量换算系数

冷瑞平 陈常茂

在中子剂量仪表刻度和中子剂量计算中经常遇到单位注量中子与比释动能、吸收剂量、剂量当量之间的换算关系。它们之间的数值关系通常称为中子注量-剂量换算系数。在《放射防护规定》^[1]中规定职业放射性工作人员最大容许剂量当量为每年5雷姆。同时又对2.5毫雷姆/小时对应的中子通量(中子/厘米²·秒)进行了规定(见附表1第7栏)。国际辐射防护委员会(ICRP)于1973年发表的第21号出版物^[2], 根据最新资料给出了单能中子注量-剂量换算系数和有效线质系数的最新建议值, 本文已摘要列于附表1, 同时列入文献[1, 3, 4]给出的数值, 以利比较。为便于应用, 将ICRP第21号出版物图14示于附图1。

计算中子注量-剂量换算系数时常用的几个量如下:

Φ : 中子注量, 进入单位截面积球体内的中子数, 单位为中子/厘米²。

$d_{K,D,H}$: 单能中子注量-剂量换算系数。脚标 K, D, H 分别表示比释动能(拉德), 最大吸收剂量(拉德)和剂量当量(雷姆)。即 $d_K = K/\Phi$; $d_D = D/\Phi$; $d_H = H/\Phi$ 。

$\bar{d}_{K,D,H}$: 具有谱分布的中子的平均注量-剂量换算系数, 其定义为:

$$\bar{d}_{K,D,H} = \frac{\int \frac{d\phi(E)}{dE} d_{K,D,H} dE}{\int \frac{d\phi(E)}{dE} dE} \quad (1)$$

\bar{E} : 平均能量, 其定义为:

$$\bar{E} = \frac{\int \frac{d\phi(E)}{dE} E dE}{\int \frac{d\phi(E)}{dE} dE} \quad (2)$$

单能中子的 d_K 可以从文献[5]给出的表和曲线得到; 单能中子的 d_H 可从附表1和附图1得到。根据这些数据及公式(1)(2), 我们对近期发表的, 在测量方法上具有典型性的 $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 中子源和 $^{226}\text{Ra}-\text{Be}$ 中子源的能谱, 进行了 \bar{d}_K , \bar{d}_H 及 \bar{E} 的计算。结果列于表1。表2给出平均值。

计算步骤为, 首先将已知中子源的能谱分成很多能量间隔, 如每间隔 $\Delta E = 100$ 千电子伏, 并找出此间隔内 $d\phi(E)/dE$ 的数值。根据文献[5]给出的质能转移系数与能量乘积

表 1 $^{241}\text{Am-Be}$ 中子源、 $^{226}\text{Ra-Be}$ 中子源 \bar{E} , \bar{d}_K , \bar{d}_H 值

源	\bar{E} , 兆电子伏	\bar{d}_K , $\times 10^{-9}$ 拉 德 中子/厘米 ²	\bar{d}_H , $\times 10^{-8}$ 雷 姆 中子/厘米 ²	能谱依据	测谱方法
$^{241}\text{Am-Be}$	4.43	3.92	3.90	[6] (1971)	有机闪烁体谱仪
	4.72	4.02	4.12	[6] (1971)	计算
	3.82	3.60	3.64	[7] (1973)	反冲质子望远镜
	4.57	4.28	4.30	[8] (1965)	带脉冲形状甄别的茈晶 体
	3.82	3.85	3.95	[9] (1968)	乳胶
	4.44	4.10	3.94	[10] (1964)	反冲质子谱仪
	4.54	3.90	3.78	[11] (1975)	计算
$^{226}\text{Ra-Be}$	4.20	3.89	3.97	[12] (1963)	乳胶
	2.79	2.83	2.98	[7] (1973)	反冲质子望远镜
	3.97	3.57	3.55	[11] (1975)	计算

表 2 $^{241}\text{Am-Be}$ 中子源、 $^{226}\text{Ra-Be}$ 中子源的 \bar{E} , \bar{d}_K , \bar{d}_H 计算平均值

源	文 献	\bar{E} , 兆电子伏	\bar{d}_K , $\times 10^{-9}$ 拉 德 中子/厘米 ²	\bar{d}_H , $\times 10^{-8}$ 雷 姆 中子/厘米 ²
$^{241}\text{Am-Be}$	[13]	4.3	3.77	3.49
	本工作	4.33	3.96	3.95
$^{226}\text{Ra-Be}$	[13]	4.5	3.82	3.52
	本工作	3.64	3.43	3.45

$[(\mu_K/\rho)E]$ 表找出在 $E_i \sim E_i + \Delta E_i$ 所对应的 $(\mu_K/\rho)E_i$ 值。然后根据公式(1)可求出 \bar{d}_K 值。同理可求出 \bar{d}_H 和 \bar{E} 。

文献[13]给出了6种共35个 (α, n) 中子源的注量-剂量换算系数的计算结果(见附表2)。表2列出了文献[13]给出的2个 $^{241}\text{Am-Be}$ 源和6个 $^{226}\text{Ra-Be}$ 源的平均值,以便与本工作计算的平均值进行比较。

对大多数 (α, n) 中子来说,其中子谱的形状应该非常相近,因为 ^{210}Po 、 ^{226}Ra 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am 等放射性核素的主 α 粒子的能量很相近。但因为 α 发射体颗粒大小的不同,分布状态、源包装等的不同可能使能谱产生较大的差异。再者,现在具有的测量能谱的技术完全可以把放射性中子源较高能量的部分(如1兆电子伏或1.5兆电子伏以上)的中子谱测得很准确。但是,对较低能量部分的能谱,特别是中能部分测量的准确度就不够高,而这部分在整个能谱中会占相当大的百分数(可达15%~40%,详见文献[5,14])。这些都是表1和表2中所列结果差异较大的原因。

中子注量-剂量换算系数还有其它计算方法^[15],此处不再重述。

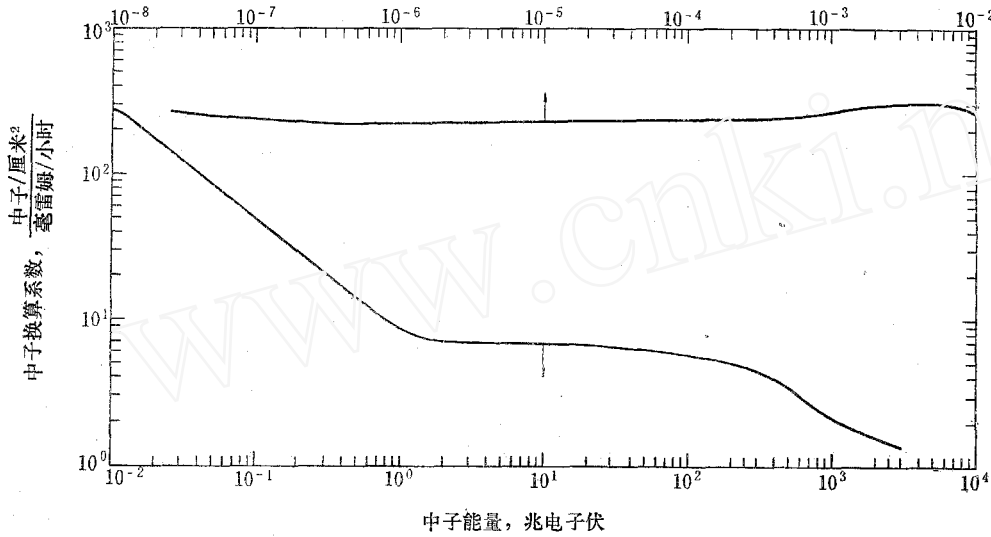
附表 1 中子换算系数及有效线质系数

中子能量, 兆电子伏	有效线质系数 $\bar{Q}^{(1)}$				换算系数 (I) ²⁾ , 中子/厘米 ² ·秒 毫雷姆/小时			倒换算系数 (II) ³⁾ , $\times 10^{-9}$ 雷姆 中子/厘米 ²			倒换算系数 (II) ⁴⁾ , $\times 10^6$ 中子/厘米 ² 雷姆				中子通量密度 ⁴⁾ , 中子/厘米 ² ·秒					
	[2]	[3]	[4]	[5]	[2]	[3]	[4]	[5]	[2]	[3]	[4]	[5]	[2]	[3]	[4]	[5]	[2]	[3]	[4]	[5]
2.5 × 10 ⁻⁸	2.3	3	2	268	260	272	268	3.846	1.068	936	650	670	670	670	670					
1 × 10 ⁻⁷	2	3	2	272	240	272	272	4.167	1.157	864	600	680	680	680	680					
1 × 10 ⁻⁶	2	3	2	224	220	224	224	4.545	1.263	792	550	560	560	560	560					
1 × 10 ⁻⁵	2	3	2	224	230	224	224	4.348	1.208	828	575	560	560	560	560					
1 × 10 ⁻⁴	2	3	2	200	240	232	200	4.167	1.157	864	600	580	500	580	580					
1 × 10 ⁻³	2	3	2	272	270	272	272	3.704	1.029	972	675	680	680	680	680					
1 × 10 ⁻²	2	3	2.5	280	280	280	280	3.571	0.992	1008	700	700	700	700	700					
1 × 10 ⁻¹	7.4	8	7.5	46	48	46	32	20.83	5.797	172.8	120	115	80	115	80					
5 × 10 ⁻¹	11	10	11	10.8	14	10.8	12	71.43	19.34	50.4	35.0	27	30	27	30					
1	10.6	10.5	11	7.6	8.5	7.6	7.2	117.65	32.63	30.6	21.25	19	18	19	18					
2	9.3	7	8	6.4	7.0	6.4	7.2	142.86	39.68	25.2	17.5	16	18	16	18					
5	7.8	6.5	7	6.8	6.8	6.8	6.8	147.06	40.85	24.48	17.0	16	18	16	18					
10	6.8	6.5	6.5	6.8	6.8	6.8	6.8	147.06	40.85	24.48	17.0	17	17	17	17					
20	6.0	8	8	4.4	6.5	4.4	4.0	153.85	42.74	23.40	16.25	11	10	11	10					
50	5.0			6.1	6.1	6.1		163.93	45.54	21.96	15.25	6	6	6	6					

1) 最大剂量当量除此处的吸收剂量; 2) 在深度-剂量当量曲线最大值处算得; 3) 换算系数 (II) = 1/[换算系数 (I) × 3.6 × 10⁵]; 4) 2.5 毫雷姆/小时对应的中子通量密度, 即换算系数 (I) × 2.5.

附表 2 几种 (α, n) 中子源的平均能量, 注量-剂量换算系数, 有效线质系数^[13]

源	\bar{E} , 兆电子伏	\bar{d}_K , $\times 10^{-9}$ 拉德 中子/厘米 ²	\bar{d}_D , $\times 10^{-9}$ 拉德 中子/厘米 ²	\bar{d}_H , $\times 10^{-8}$ 雷姆 中子/厘米 ²	Q	注
Po-B	2.8	3.30	4.12	3.31	8.0	5个谱平均
模拟裂变谱	1.6	2.77	3.68	3.31	9.0	4个谱平均
Po-Be	4.0	2.78	4.77	3.55	7.5	13个谱平均
Am-Be	4.3	3.77	4.73	3.49	7.4	2个谱平均
Ra-Be	4.5	3.82	4.79	3.52	7.3	6个谱平均
Pu-Be	4.1	3.73	4.70	3.52	7.5	5个谱平均



附图 1 中子注量-剂量当量换算系数曲线^[2]

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国家标准, 放射防护规定, GBJ 8-74, 北京, 1974年。
- [2] ICRP Publication No. 21, (1973).
- [3] NBS Handbook 63 (1957).
- [4] NCRP Rep. No. 38 (1971).
- [5] 国际辐射单位与测量委员会, 中子流量、中子谱和比释动能(第13号出版物), 原子能出版社, 1975年。
- [6] IAEA, Advances in Physical and Biological Radiation Detectors, Vienna, IAEA, 1971, p. 467.
- [7] IAEA, Neutron Monitoring of Radiation Protection Purposes, vol.1, Vienna, IAEA, 1973, p. 13.
- [8] M. N. Thompson et al., Nucl. Instrum. Methods, 37, 305 (1965).
- [9] H. B. Greiss, Nukleonik, 10, 286 (1963).
- [10] K. W. Geiger et al., Nucl. Phys., 53, 204(1964).
- [11] K. W. Geiger et al., Nucl. Instrum. Methods, 131, 315 (1957).
- [12] 门德维茨基, 原子能, 4, 321 (1963).
- [13] D. Nachtigall, Health Phys., 13, 213 (1967).
- [14] H. Pavw et al., Health Phys., 22, 511 (1972).
- [15] IAEA, Neutron Monitoring, Vienna, IAEA, 1966, p. 633.