放射性輻射的防护

志民选編

中国科学院原子核科学委員会編輯委員会編輯

北京科学教育出版社

內 容 簡 介

本书共分六章。前四章选自“放射性同位素应用知識”（中国科学院原子能研究所編）的第四部份——安全防护，后两章是补充編写的。本书內容包括：射綫对人体的危害及允許剂量标准；对各种射綫的防护；輻射剂量的安全监察以及关于反应堆及加速器防护的概括介紹。

本书可作为高等学校有关原子能专业的試用教材。

目　录

第一章　剂量……（1）

§1-1　剂量单位……（1）

§1-2　最高允許剂量……（6）

§1-3　剂量的探测……（14）

第二章　射綫对人体的影响及其防护……（16）

§2-1　射綫的伤害和防护簡史……（16）

§2-2　射綫对人体的影响……（17）

§2-3　射綫的防护……（28）

§2-4　γ 射綫的防护……（46）

§2-5　对放射性进入人体的預防……（78）

第三章　放射性同位素的安全使用……（95）

§3-1　放射性实驗室……（95）

§3-2　工作人員……（101）

§3-3　安全檢查……（102）

§3-4　安全的控制……（104）

§3-5　实驗室規則……（105）

第四章　放射性沾染的去除……（107）

§4-1　去除沾染的重要性……（107）

§4-2　沾染的情况分类……（107）

§4-3　去除污染的方法……（108）

§4-4　放射性廢物的排除……（112）

§4-5　紧急措施……（116）

第五章　輻射剂量的监察……（119）

§5-1　电离室和計数管在安全监察中的应用……（120）

§5-2　工作地区γ輻射的监察……（124）

§5-3　表面放射性沾污的监察……（131）

§5-4　个人γ剂量的监察……（138）

§5-5 大气和水中放射性濃度的监察……(142)
§5-6 中子剂量的安全监察……(146)
§5-7 剂量的絕对测量……(149)
§5-8 大剂量的测量……(157)
第六章 中子的防护 反应堆及加速器的防护……(161)
§6-1 中子与物质的相互作用……(163)
§6-2 中子的防护及其計算……(167)
§6-3 中子引起的次級輻射……(170)
§6-4 反应堆的防护……(173)
§6-5 关于加速器的輻射防护……(191)
§6-6 屏蔽材料……(197)

第一章

剂量

在估計吸收能量的数值时，需引用剂量这个概念。剂量就是在单位质量被照射物质中所吸收的能量值，如下式所示：

$$D=\frac{E}{M}\text{尔格/克},$$

其中 D 为剂量；E 为全部被照射物质所吸收的能量；M 为物质的质量。在1克被照射的物质中所吸收的能量决定于单位重量物质內电子的数量及电子的結合能。单质原子中所含的电子数及其結合能决定于原子序数 Z；复杂物质的則决定于某一有效序数。空气、水、組織的有效原子序数大体相同，故1克空气、組織与水所吸收的能量亦大約相等。直接測量組織中的电离是很困难的，这是因为一般条件下組織中含有大量电解质的离子，所以即使在很强輻射流的作用下，也不能发觉离子数由此而有小量增加。

因此，要測量輻射所致的电离效应，須选擇在正常情况下沒有电解质离子存在的物质。空气是达到这一目的的最适当物质，根据空气中的电离即可判断組織中所吸收的能量。

§1—1. 剂量单位

1. 剂量单位　剂量的单位是倫（倫琴），而放射性的单位常以居里表示，这是两个截然不同的概念。倫表示进入物质的射綫有多少能量会被物质吸收掉；而居里則表示一个放射源在单位时間內有多少个原子蛻变。剂量有其特有的单位系統。

国际放射学会确定倫为剂量的单位。倫是在0.001293克空气（0°C, 760毫米水銀柱）中生成正負电荷各为1靜电单位的离子的X射綫或 γ 射綫的剂量。每一离子电荷的絕对值等于 4.8×10^{-10} 靜电单

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

位。产生一静电单位电荷需要

$$\frac{1}{4.8\times10^{-10}}=\frac{10^{10}}{4.8}=2.083\times10^{9}\text{对离子},$$

因此，1倫的剂量就是被1厘米^{3}空气（在0°C与760毫米压力的标准状况下，1厘米^{3}空气的质量为0.001293克）吸收时能生成2.083×10^9对离子的輻射量。在空气中电离时所作的功可取作32.5电子伏，故1倫的单位剂量所相当的吸收能量为

$2.083\times10^9\times32.5=0.68\times10^{11}$电子伏/厘米^{3}或$6.77\times10^4$兆电子伏/厘米^3。

因为1电子伏$=1.60\times10^{-12}$尔格，故

1倫$=0.68\times10^{11}\times1.60\times10^{-12}=0.11$尔格/厘米^3。

因此，1倫$=0.11$尔格/厘米^{3}或0.11尔格/0.001293克。

当剂量为1倫时，1克空气所吸收的能量为

$$E=\frac{0.11\text{尔格/厘米}^3}{0.001293\text{克/厘米}^3}\approx85\text{尔格}。$$

因为組織和空气的Z相近，故1克組織与1克空气吸收的能量大約相等。但是应該注意，上述情况只是对能量大于300千电子伏的輻射而言的（即未考虑光电效应）。事实上，当空气中的剂量为1倫时，在骨組織和肌肉組織中吸收之能量相差甚多。

如以軟組織的密度为1克/厘米^3，則剂量1倫时，1厘米^{3}組織所吸收的能量应为85尔格。因組織的密度为空气密度的770倍，所以，1厘米^{3}組織所吸收的能量約为空气的770倍。

物理当量倫（物理当量倫琴）。对X射綫及γ射綫等以外的粒子也用倫表示是不很适当的。因此就提出以相当于倫的物理当量倫来表示。所謂物理当量倫是任何一种电离輻射所产生的剂量，在这样的輻射作用下，1克物质所吸收的能量等于剂量为1倫的X射綫或γ射綫在1克空气中消耗于电离的能量。也可以用物理当量倫来表示X射綫和γ射綫的剂量，不过这时，用倫表示的物理剂量和用物理当量倫表示的剂量相等。

X射綫或γ射綫的1倫在1克的空气里有85尔格能量被吸收。

但是，同样的1倫在組織內被吸收的能量，則因組織的組成而異，一般約在60—100尔格的范圍中。經过各方面考虑之后，它被认为是93尔格。

生物当量倫（生物当量倫琴）。尽管生物組織得到的能量相同，但不同的射綫对生物組織的作用效果則不同，同时生物組織对不同的放射性元素又有紧要和不紧要器官之分。故引入相对生物效应的概念和生物当量倫琴这一单位。下面表示出各类輻射的相对生物效应：

輻射的类型	相对生物效应
γ和倫琴射綫	1
β射綫	1
α粒子	20
质子	10
热能中子	5
快中子(20兆电子伏以下)	10
快中子(大于20兆电子伏)	20

因此，生物当量倫的定义应該是：生物組織吸收某种輻射的那部分能量所引起的生物作用相当于得到1倫剂量X射綫或γ射綫时所引起的生物作用。

1953年在哥本哈根第七次国际放射学家会議上，提出过一个新单位rad其定义为：任何物质凡吸收射綫的能量数为100尔格时的剂量叫做1 rad。但迄今未被广泛采用。1 rad＝1.19物理当量倫琴，1物理当量倫琴＝0.84 rad。

单位时間內所受的剂量叫剂量率，它的单位常用倫/小时、倫/分或倫/秒来表示。記住下面的例子对于以后的剂量計算是有利的：1毫克与蛻变产物处于平衡状态的鐳的点源，当經过0.5毫米的鉑片初步过滤以后，在空气中距离1厘米远处，所产生的剂量率为8.4倫琴/小时（不加滤片为9.7倫/小时）。

2. 剂量和放射性強度的关系。在沒有談到他們的关系之前，先提一下克鐳当量的概念（其他的放射性强度单位在原子核物理学部分均已讲过，这里不再重复）。

克鐳当量是用以表示γ放射性的。其定义为：凡放出γ射綫的物质和1克鐳（与其蛻变的子体成平衡，并且被置于0.5毫米厚的鉑管内）在同样的条件下所引起的电离作用相等时，則其放射性就叫做1克鐳当量。除克鐳当量外也有用毫克鐳当量表示的，1毫克鐳当量即为1克鐳当量的千分之一。

在实际工作中，所使用的大多数剂量测量仪器是测量剂量率或剂量的。因此，知道剂量率与放射性强度之間的关系是很重要的。下面举出的三个剂量率和放射性强度关系公式是日常工作中常常要碰到的。

(1) 剂量率和光子流量的关系式：

$$P_\gamma=\frac{N_\gamma\times h\nu\times\gamma\times1.6\times10^{-6}}{0.11}\text{倫/秒}=14.5N_\gamma h\nu\gamma\text{微倫/秒},\quad(1-1)$$

这里P_γ——物理剂量率；N_γ——1秒內在1厘米^{2}的面积上通过的γ光子流（即强度）；$h\nu$——γ光子的能量（以兆电子伏表示）；γ——γ射綫在空气中的綫性电子轉換系数；1.6×10^{-6}——1兆电子伏所相当的尔格数；0.11——空气中相当于1倫的尔格数。

(2) 剂量率和毫克鐳当量的关系式：

$$P_\gamma=\frac{m\times8.4\times10^6}{R^2\times3600}=2300\frac{m}{R^2}\text{微倫/秒},\quad(1-2)$$

这里m——毫克鐳当量；R——到点源的距离（以厘米表示）；8.4——在离外面包有厚0.5毫米鉑管的1毫克的鐳源1厘米处的γ射綫的剂量率（以倫/小时表示）；10^6——是将倫化为微倫的系数；3600——是将小时化为秒的系数。

(3) 剂量率和毫居里的关系式：

$$P_\gamma=\frac{MK_\gamma\times10^6}{R^2\times3600}=280\frac{MK_\gamma}{R^2}\text{微倫/秒},\quad(1-3)$$

这里M——以毫居里表示的放射性；K_γ——γ常数（以倫/小时。毫居里·厘米表示）；R，10^6和3600同前。

順便談談放射性样品的重量与强度的关系。我們已經知道，放射性的蛻变系关式为

$$-\frac{dN}{dt}=\lambda N。 \qquad (1—4)$$

如果放射性以居里（$=3.71\times10^{10}$次蛻变/秒）表示，居里数为x，該元素的重量为Q（无載体的重量），原子量为A，且其半衰期为T，則放射性样品的重量与强度的关系可写成

$$x\times3.71\times10^{10}=\frac{0.693}{T}\times\frac{Q}{A}\times6\times10^{23},$$

其中6×10^{23}为亚佛加德罗常数，单位为原子/克原子量。經化簡后，

$$\begin{aligned}Q&=2.8\times10^{-6}ATx(T\text{ 以年为单位})\\&=7.7\times10^{-9}ATx(T\text{ 以天为单位})\\&=3.2\times10^{-10}ATx(T\text{ 以小时为单位})\\&=5.3\times10^{-12}ATx(T\text{ 以分为单位})\\&=8.9\times10^{-14}ATx(T\text{ 以秒为单位})。\end{aligned} \qquad (1—5)$$

这样，在用某一元素来制得所需要的同位素至期望的放射性强度时，其用量可直接由上面一些式子計算出来。

用同样方法可以算出相应于T以年、天、小时、分、秒来表示时的一定重量該元素的居里数：

$$\begin{aligned}x&=\frac{3.57\times10^{5}Q}{AT}(T\text{ 以年为单位})\\&=\frac{1.30\times10^{8}}{AT}Q(T\text{ 以天为单位})\\&=\frac{3.10\times10^{9}}{AT}Q(T\text{ 以小时为单位})\\&=\frac{1.88\times10^{11}}{AT}Q(T\text{ 以分为单位})\\&=\frac{1.13\times10^{13}}{AT}Q(T\text{ 以秒为单位})。\end{aligned} \qquad (1—6)$$

在計算中，我們常注意到放射性随时間而变化的特征以及子体增长的因素等等，故对于前面的式子应作

$$x_t=x_0e^{-\lambda t}=x_0e^{-\frac{0.693t}{T}} \qquad (1—7)$$

以及 $x_2=x_1\frac{\lambda_2}{\lambda_2-\lambda_1}(e^{-\lambda_1t}-e^{-\lambda_2t})$等等的变化，以便应用于更广泛的

情况。式中 x_2 和 x_1 分别为子体在 t 时内的放射性的增长数和母体的原有放射性。x_0 和 x_t 各为 $t=0$ 时的該种同位素的放射性和經过 t 时因蜕变而剩下的放射性。

有載体的，应先知道其載体的量或放射性比度，才能用以上的式子进行計算。

§1—2. 最高允許剂量 一提到射綫和剂量，有些人就联想到射綫对人的危害作用。似乎射綫对人很陌生，以前从未遇到过似的；也似乎射綫就是和危害連在一起似的。其实不然。人們是經常地处在射綫的照射之下的。自然界存在着的碳（含有天然放射性同位素 C^{14}）、鉀（含天然放射性同位素 K^{40}）和天然放射性鐳（Ra^{226}），实际上不断新陈代謝地在人体內微量存在着，并不断地放射出射綫照射着人体。此外，如果你去检查身体透視肺部等等，都要受到射綫的照射。但对于这些，健康的人都能自然地适应，而毫不影响健康，当然人們对它們也是毫无感觉的。

在日常生活中，人們所受到的各种时綫照射的剂量，如表 1—1 所示。

表 1—1 人們日常生活中所受各种照射的剂量

照射种类	剂量
天然放射性物质及宇宙射綫的外部照射	0.0002 生物当量倫/天
鐳及其蜕变产物的內部照射	0.00005—0.00125 生物当量倫/天
K^{40} 的內部照射	0.00015 生物当量倫/天
本底照射的总剂量	0.0004—0.0016 生物当量倫/天
普通胸部透視	0.1—2 倫
牙齿的倫琴射綫照相（局部照射）	1.5—15 倫
治疗恶性肿瘤（局部剂量）	3000—7000 倫（一次疗程）
夜光表（手腕）	~0.001 倫/小时

射綫在工农业、医学和科学研究等方面，显出了非凡的功能，这一点已被愈来愈多的事实所证明。然而，随着科学的发展和加速器、反应堆等的出現，放射性水平在急剧的提高，人們（特别是从事于原子能事业及其有关的人員）和放射性物质打交道的机会又愈来愈多，

愈来愈經常。这就不是一般人在日常生活中所受到的那种水平的剂量所能比拟，而是亿万倍地超过于它。起初由于有些人不注意防护，因而曾发生过一些不幸的事故。患射綫病或甚至伤亡。有鉴于此，国际上先后提出和确定最高允許剂量的問題，以确保人身安全。

最高允許剂量的确定是电离輻射防护上的重大問題，因为最高允許剂量的大小关系着工作者的健康和能否发生长期影响的問題。最高允許剂量是先輩慘痛的經历所換得的結果，我們必須十分重視它。

所謂最高允許剂量，是現代的知識水平认为这样多的电离輻射的剂量，在人的一生的任何时候都不应引起对人体的显著損伤。"人体的显著損伤"定义为"权威医学专家认为是对人的健康及安全有害的一切損伤或影响"。显然可以看出，在允許剂量下工作对人体不会产生显著損害。但工作者应該时刻注意，即使在最高允許剂量以下，仍应爭取将照射的强度减至可能低的程度。最高允許剂量也不是一成不变的，这一点将在后面提到。

1. 外部照射的最高允許剂量。

(1) 1950 年 7 月国际倫琴射綫会議提出以下几点規定：

(i) X 射綫和 γ 射綫（能量<3 兆电子伏）在身体外表面不定期照射时，每周最高允許剂量为 0.5 倫（这个輻射量相当于空气中測量的每周 0.3 倫，也相当于对重要器官每周 0.3 倫的照射）。

(ii) β 射綫和 X 射綫或 γ 射綫相同。

(iii) X，γ 或 β 射綫对手和前臂的剂量为 1.5 倫/周（比全身的最高允許剂量大 5 倍，其他部分不能用此数值）。

(iv) 质子、高能中子的最大允許剂量（生物当量倫）只能为 γ 射綫的十分之一，α 的为二十分之一，热中子的为五分之一。

此外，还規定每周的平均剂量为 0.3 倫，若以每日八小时工作計，則每小时应为 6.25 毫倫。在三个月之內不能超过 $13\times0.3=3.9$ 倫。

1956 年 4 月在日內瓦召开的国际度量单位委員会和国际放射性防护委員会代表大会又討論了最大允許剂量。除了仍保留每周 0.3 倫这一标准外，并建議 30 岁以下的人所受剂量的总和不得超过 50 倫，

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

40 岁以下的人所受剂量的总和不得超过 100 倫，60 岁以下的人不得超过 200 倫。这一要求相当于每周为 0.1 倫的平均允許剂量。

(2) 最大允許剂量是根据射綫对于人体伤害的資料和对动物进行实驗的結果，作了既全面而又深刻的分析来确定的。如根据很多 X 射綫工作者手臂上的皮肤以及全身照射的皮肤并不发生任何变異的剂量情况，来考虑分别采用每周不应超过 1.5 倫和 0.3 倫。又如根据对动物所作的大量实驗和长期对人的造血器官、眼睛的水晶体和生殖器官等紧要器官在每周受到 0.3 倫的照射下观察的結果来肯定，每日全身照射小于 0.05 倫剂量时，对人无任何不利，当然也不影响寿命（如每日 0.10 倫长期全身照射才发現有縮短寿命的現象）。也就是根据前面这些主要之点，国际倫琴射綫会議才有把握地提出前面所述的建議。

2. 內部照射的最高允許剂量　內部照射是由于放射性物质被吸入，吃进或从伤口等处进入人体所引起的。內部照射的最高允許剂量系根据前面所提到的最大允許剂量的标准、并考虑到下列的因素来計算的：

(1) 分布的均匀性[1]，例如鈉和氯能很快的分布全身；而碘則集中于甲状腺；鋦、鐳和鈣等則沉积于骨胳組織里；

(2) 进入人体的速度和排出的时間。例如 Sr^{90}, Y^{90}, Sm^{151}, Pu^{239}, Ra^{220} 和 Th^{232} 等具有很大的半排出期，而鈉、氯等的半排出期則很短；

(3) 溶解度；

(4) 放射物质的状态（气体，液体，固体）；

(5) 进入人体后放射性物质所能保留的百分率大小等等。虽然作了以上这些問題的考虑，可是要确定人体究竟可以无害地承受多少放射性物质，是很复杂而且也是很困难的。故我們所作的計算也仅是近似值。

消化系統对各种不同的元素有所謂灵敏区，如胃是 F^{18}, K^{42}, Rh^{190m}, Pr^{144}, At^{211}, Pb^{207}, Bi^{214}, Po^{210}, Pb^{214}, Po^{210}, Pb^{211}, Bi^{212}, U^{238}

1) 关于放射性元素的分布，莫斯卡列夫(Ю. И. Москалев)也曾提出这样的說法：一价阳离子在体內是均匀地分布的，两价的阳离子則分布于骨中，三价和四价的积聚于肝脏，五价、六价及七价的則主要积聚于腎脏里。

和 U^{235} 的灵敏区；小肠是 Na^{24}，I^{131} 和 Cs^{137} 的灵敏区；上部大肠是 Mn^{56}，Ac^{228}，和 Bi^{212} 的灵敏区；而下部大肠是其余八十多种放射性同位素的灵敏区。危險性决定于停留的时間，停留的时間愈长，則危險就愈大。通常表上所列出各种放射性同位素在体內的最大允許剂量就是沿胃腸道取很多点用电子計算机来計算的。

对于所謂有累积性的（即半排出期很大的）放射性同位素（如 Sr^{90}，Y^{90}，Sm^{151}，Pu^{239}，Ra^{226} 和 Th^{232}）在人体內的量有特殊要求，即在今后 70 年中（一生中）所获的总剂量不应超过 150 生物等效倫。

內部照射的危險性从某种意义上来說，要比外部照射大的多。因为人們可以設法使外部照射減低到安全水平以下，同时还可尽量地不停留在可能遭受放射性的地点。然而这一些对內部照射来說都是办不到的。对于內部照射說来，从伤口进入比吸入危險，而吸入又比吞咽危險。虽然如此，但就防护观点来讲，应該根本不让放射性物质通过任何方式进入人体。

关于人体中放射性物质的最大允許含量将在§2—5 节中举例計算，这里只列出下表供参考。

如果将不同射綫的最大允許剂量整理一下，內部照射的最大允許

表 1—2　倫敦輻射学会建議的最大允許濃度

元　素	最大允許濃度（居里/升）		全身所允許的放射性（微居里）	有效半衰期有效（天）	从腸胃中重新吸附系数	留在肺中的系数
	水　中	空气中				
Ra^{226}	4×10^{-11}	8×10^{-15}	0.1	10^4	0.1	0.06
Pu^{239}	1.5×10^{-11}	2×10^{-15}	0.04	10^4	0.001	0.1
Sr^{89}	—	—	2	—	—	—
$Sr^{90}\rightarrow Y^{90}$	8×10^{-10}	2×10^{-13}	1	5.10^3	0.1	0.06
Po^{219}	—	—	0.005	—	—	—
H^3	4×10^{-4}	5×10^{-8}	10^4	10	1.0	1.0
C^{14}	—	1×10^{-9}	—	—	—	—
Na^{24}	8×10^{-6}	—	15	0.8	1.0	—
P^{32}	2×10^{-7}	3.6×10^{-11}	10	20	1.0	—
Co^{60}	1×10^{-3}	—	1	20	1.0	—
I^{131}	3×10^{-8}	3×10^{-12}	0.3(0.18 甲状腺)	8	0.2	—

剂量如下表所示。

周圍环境如水和空气中的最大允許濃度如下表所示。

3. 最高允許剂量随客观条件的改变　最高允許剂量不是一成不变的，我們应該根据科学成果和其他的条件来确定和采用新的标准。这种新标准的允許量水平，可能减少也可能增加。1956年4月2日至11日在日內瓦召开的国际度量单位委員会及国际放射性防护委員会代表大会通过了最高允許剂量的新标准。

表 1—3　根据莫尔高和弗尔得的意見，放射性物质侵入体內时的最大允許濃度

元　素	紧要器官	水中最大允許濃度（居里/升）	空气中最大允許濃度（居里/升）	排泄物中的最大允許量		
				一次吸入（微居里）	一次吃入（微居里）	經常吃入（微居里/天）
1	2	3	4	5	6	7
H^3	全　身	5×10^{-3}	6×10^{-8}	迹　量	迹　量	400
Be^7	骨　胳	2×10^{-5}	9×10^{-9}	100	200	4
$C^{14}(CO_2)$	脂肪，骨胳	6×10^{-5}	6×10^{-9}	4	300	0.7
F^{18}	骨　胳	1×10^{-3}	1×10^{-3}	迹　量	迹　量	2
Na^{24}	全　身	8×10^{-6}	2×10^{-10}	0.6	6	0.8
P^{32}	全　身	8×10^{-7}	5×10^{-10}	2	40(?)	0.5
S^{35}	皮　肤	6×10^{-6}	6×10^{-9}	40	40	0.6
C	骨　胳	1×10^{-6}	1×10^{-9}	8	9	5
K^{42}	肌　肉	3×10^{-6}	4×10^{-10}	2	5	0.2
Ca^{45}	骨　胳	2×10^{-5}	3×10^{-9}	5	30	3×10^{-3}
Sc^{46}	肝，脾	4×10^{-7}	7×10^{-11}	3	6	0.1
Sc^{47}	同　上	4×10^{-7}	7×10^{-11}	8	6	6×10^{-2}
Sc^{48}	肝，脾	9×10^{-7}	2×10^{-10}	40	10	0.2
V^{48}	骨　胳	3×10^{-7}	5×10^{-11}	3	5	0.3
Cr^{51}	腎	2×10^{-5}	4×10^{-9}	400	300	20
Mn^{53}	腎，肝	3×10^{-6}	5×10^{-10}	90	40	7×10^{-2}
Fe^{55}	血	1×10^{-4}	2×10^{-8}	100	200	7
Fe^{59}	血	3×10^{-6}	4×10^{-10}	1	2	7×10^{-2}
Co^{60}	肝，脾	4×10^{-7}	8×10^{-11}	2	5	0.1
Ni^{59}	肝	4×10^{-6}	7×10^{-10}	70	50	2
Cu^{64}	肝	5×10^{-6}	9×10^{-10}	100	60	0.1
Zn^{65}	骨　胳	2×10^{-6}	4×10^{-10}	10	30	2
Ga^{72}	同　上	5×10^{-7}	1×10^{-10}	20	8	0.6

表1—3 （續）

元　素	紧要器官	水中最大允許濃度（居里/升）	空气中最大允許濃度（居里/升）	排泄物中的最大允許量		
				一次吸入（微居里）	一次吃入（微居里）	經常吃入（微里居/天）
1	2	3	4	5	6	7
Ge^{71}	腎	2×10^{-5}	3×10^{-9}	500	200	20
As^{76}	腎	2×10^{-7}	4×10^{-11}	10	4	2×10^{-2}
Rb^{86}	肌　肉	4×10^{-5}	5×10^{-10}	跡　量	跡　量	3
Sr^{89}	骨　胳	7×10^{-7}	1×10^{-10}	3	4	7×10^{-3}
$Sr^{90}\rightarrow Y^{90}$	同　上	4×10^{-7}	7×10^{-11}	2	2	4×10^{-3}
Y^{91}	同　上	3×10^{-7}	5×10^{-11}	8	4	2×10^{-2}
Nb^{95}	同　上	2×10^{-6}	3×10^{-10}	5	20	0.8
Mo^{99}	同　上	3×10^{-6}	5×10^{-10}	5	10	0.1
Te^{95}	腎	1×10^{-6}	2×10^{-10}	2	7	3
$Ru^{106}\rightarrow Rh^{106}$	腎	1×10^{-7}	2×10^{-11}	3	2	3×10^{-3}
Rh^{105}	腎	1×10^{-6}	2×10^{-10}	20	10	0.3
$Ru^{103}\rightarrow Rh^{103}$	腎	5×10^{-6}	9×10^{-10}	50	60	0.8
Ag^{105}	肝	4×10^{-7}	7×10^{-11}	3	6	5
$Ag^{110,111}$	肝	5×10^{-7}	8×10^{-11}	20	7	10
$Cd^{109}+Cd^{109m}$	肝	7×10^{-4}	5×10^{-9}	0.5	80	0.1
Sn^{113}	骨　胳	2×10^{-3}	3×10^{-10}	10	30	0.8
Te^{127}	腎	7×10^{-7}	1×10^{-10}	10	8	0.1
I^{131}	甲狀腺	2×10^{-7}	3×10^{-11}	跡　量	跡　量	10^{-3}
Te^{129}	腎	2×10^{-7}	4×10^{-11}	2	3	4×10^{-2}
$Cs^{137}+Ba^{137m}$	肌　肉	4×10^{-5}	6×10^{-10}	跡　量	跡　量	2
$Ba^{140}\rightarrow La^{140}$	骨　胳	2×10^{-7}	3×10^{-11}	2	2	3×10^{-2}
La^{140}	同　上	3×10^{-7}	5×10^{-11}	9	5	0.6
$Ce^{144}\rightarrow Pr^{141}$	同　上	1×10^{-7}	2×10^{-11}	3	2	10^{-2}
Pr^{143}	同　上	5×10^{-7}	9×10^{-11}	20	8	5×10^{-2}
Pm^{147}	同　上	2×10^{-6}	4×10^{-10}	60	40	2
Sm^{151}	骨　胳	8×10^{-6}	1×10^{-9}	200	100	50
Eu^{154}	同　上	4×10^{-7}	8×10^{-11}	5	7	4×10^{-2}
Ho^{166}	同　上	5×10^{-7}	8×10^{-11}	20	6	0.3
Tu^{170}	同　上	5×10^{-7}	8×10^{-11}	10	7	4×10^{-2}
Lu^{177}	同　上	1×10^{-6}	2×10^{-11}	40	20	8
Ta^{182}	肝	5×10^{-7}	9×10^{-11}	5	8	3×10^{-2}
W^{181}	骨　胳	7×10^{-7}	1×10^{-10}	4	9	3

表 1—3 （續）

元素	緊要器官	水中最大允許濃度（居里升/）	空气中最大允許濃度（居里升/）	排泄物中的最大允許量		
				一次吸入（微居里）	一次吃入（微居里）	經常吃入（微居里/天）
1	2	3	4	5	6	7
Re^{188}	甲状腺，皮肤	2×10^{-6}	4×10^{-10}	3	20	3
Ir^{190}	腎，肺	3×15^{-6}	6×10^{-10}	20	40	1
Ir^{192}	同上	5×10^{-7}	9×10^{-11}	4	6	0.2
Pt^{191}	腎	7×10^{-7}	1×10^{-10}	6	10	5×10^{-3}
Pt^{193}	腎	9×10^{-7}	2×10^{-10}	6	10	8×10^{-3}
Au^{196}	肝，腎	2×10^{-6}	4×10^{-10}	20	30	0.4
Au^{198}	同上	6×10^{-7}	1×10^{-10}	10	8	0.5
Au^{199}	同上	2×10^{-6}	3×10^{-10}	30	20	1
Tl^{200}	肌肉	1×10^{-6}	2×10^{-10}	8	10	0.6
Tl^{201}	同上	9×10^{-3}	2×10^{-6}	30	80	5
Tl^{202}	同上	5×10^{-6}	9×10^{-10}	10	40	4
Tl^{204}	同上	1×10^{-6}	2×10^{-10}	9	9	4
Pb^{203}	骨胳	2×10^{-6}	4×10^{-10}	20	30	5×10^{-2}
Pb^{210}	同上	3×10^{-9}	6×10^{-13}	6×10^{-2}	4×10^{-2}	5×10^{-5}
Po^{210}	脾	3×10^{-9}	5×10^{-13}	8×10^{-7}	4×10^{-2}	$1\times10^{-}$
At^{211}	甲状腺	4×10^{-9}	6×10^{-10}	跡量	跡量	6×10^{-6}
$Ra^{226}+55\%dr$	骨胳	1×10^{-9}	2×10^{-13}	10^{-2}	10^{-2}	4×10^{-3}
$Ac^{}+dr$	同上	5×10^{-10}	8×10^{-14}	10^{-2}	7×10^{-3}	10^{-5}
Th^{232}	同上	4×10^{-10}	7×10^{-14}	10^{-2}	6×10^{-3}	8×10^{-6}
$Th^{234}+Pa^{234}$	同上	2×10^{-7}	3×10^{-11}	5	3	0.4
U^{238}	同上	3×10^{-9}	5×10^{-13}	9×10^{-2}	5×10^{-2}	9×10^{-5}
Unat	骨胳，腎	2×10^{-9}	3×10^{-13}	5×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-5}
Pu^{239}	骨胳	3×10^{-9}	5×10^{-13}	8×10^{-2}	4×10^{-2}	6×10^{-7}
Am^{241}	同上	3×10^{-9}	5×10^{-13}	8×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-5}
Cm^{242}	同上	2×10^{-9}	4×10^{-13}	7×10^{-2}	4×10^{-2}	8×10^{-5}

由于研究工作的深入，对于不同的放射性同位素的最高允許濃度或含量也是有很大改变的。如 Pu^{239}，以前认为它在腸胃中被吸收的分数为 0.10%，故在水中的最大允許濃度訂得較現在为低。但 1955 年日內瓦和平利用原子能会議上，則根据了科学的证明，其吸收分数不是 0.10%而約是 0.01%（考虑到安全系数为 10），建議 Pu^{239} 在水中的

表 1—4

射線种类	每天的剂量				24小时内連續照射的粒子流量（近似值）
	γ		γep	γem	
X或γ射線	0.050	1	0.050	0.050	1100个能量为1兆电子伏的光子/厘米²·秒
β射線		1	0.050	0.050	15个能量为1兆电子伏的β粒子/厘米²·秒
α射線		20	0.0025	0.050	0.001个能量为4兆电子伏的α粒子/厘米²·秒
热中子（~0.025电子伏）		5	0.010	0.050	300个能量为0.02电子伏的中子/厘米²·秒
快中子（~20兆电子伏）		10	0.005	0.050	17个能量为2兆电子伏的中子/厘米²·秒
快中子（>20兆电子伏）		20	0.0025	0.050	6个能量为20兆电子伏的快中子/厘米²·秒
质子		10	0.005	0.050	10个，能量为2兆电子伏的质子/厘米²·秒

最大允許濃度可以比旧标准所規定的量增加10倍。又如鉴于Ru^{106}的紧要器官是骨胳而不是腎臟，同时它对于骨胳更加灵敏，于是建議将Ru^{106}在水中的最大允許濃度值减少100倍。

以前所規定的I^{131}在空气的最大允許含量虽然对人是无害的，但为了防止I^{131}在植物中的濃度会对牧場上的牛羊等有害，故又建議将

表 1—5

放射源	放射性濃度（微居里/厘米²）	
	空气	水
β或γ放射性	10^{-9}	10^{-7}
α放射体	5×10^{-12}	10^{-7}

I^{131}在空气中的濃度降低四个数量級。同样怕P^{32}可能随魚类进入人体，建議将P^{32}在水中的最大允許濃度由2×10^{-7}居里/升降低至3×10^{-10}居里/升。为了維护大魚的安全，又将水中Na^{24}的濃度由8×10^{-6}居里/升降低至2×10^{-9}居里/升。

仔細研究起来，对于不同的对象，实际的允許剂量也是不相同

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com