



国际放射防护委员会第2号出版物

内照射容许剂量

原子能出版社

国际放射防护委员会第 2 号出版物

内 照 射 容 许 剂 量 (1959)

曾新然 译 果 行 校

原 子 能 出 版 社

内 容 简 介

本书介绍了计算最大容许内照射的基本标准和方法。附表中列出了各种放射性核素的¹最大容许人体负 荷 量 和这些核素在空气中、水中的最大容许浓度等数据。

为了较系统地介绍国际放射防护委员会出版的一些放射防护的标准、规范、技术等资料,故将选译有关的报告,以便供从事放射生物、放射医学、剂量学等专业人员参考。

21170/12

Report of Committee I

on

Permissible Dose for Internal Radiation

(1959)

内照射容许剂量

曾新然 译 果 行 校

原子能出版社出版

机工出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(只限国内发行)

★

开本 850×1168¹/₃₂·印张 8¹⁵/₁₆·字数 236 千字

1975 年 2 月北京第一版·1975 年 4 月 北京第一次印刷

印数 001—3400·定价: 1.25 元

统一书号: 15175·028

目 录

I. 绪言.....	(1)
II. 最大容许内照射的基本标准.....	(4)
III. 职业性照射的最大容许水平.....	(10)
IV. 最大容许照射值的计算.....	(17)
V. 计算最大容许浓度的方程所需要的参数.....	(38)
附录 依据幂函数模型计算放射性核素在空气中和水中的 浓度.....	(47)
参考文献.....	(51)
附表	
表 1 对职业性照射的最大容许人体负荷量和放射性核素在空气中和 水中的最大容许浓度.....	(55)
表 2 在人体中50年内不达到平衡的放射性核素.....	(100)
表 3 对连续职业性照射的未知放射性核素在水中的最大容许 浓度值(MPCU) _w	(101)
表 4 对连续职业性照射的未知放射性核素在空气中的最大容 许浓度值(MPCU) _a	(102)
表 5 有效能量.....	(103)
表5a 衰变链的有效能量.....	(138)
表 6 标准人全身中的元素分布.....	(173)
表 7 标准人各个器官中的元素.....	(174)
表 8 标准人的器官.....	(181)
表 9 标准人的摄入量和排泄量.....	(182)
表10 标准人呼吸道中滞留的微粒.....	(183)
表11 标准人的胃肠道.....	(183)
表12 生物常数和有关的物理常数.....	(184)

I. 绪 言

国际放射防护委员会第 II 专门委员会的任务是推荐各种放射性核素的最大容许人体负荷量(q), 和这些核素在空气和水中(或食品中)的最大容许浓度(MPC)。目前仅对比较重要的放射性核素作出了推荐值, 这些数值主要适用于职业性照射。专门委员会认识到, 要使得它所汇集的材料更好地发挥效用, 就必须定期修订, 引用能够收集到的最好的原始资料, 并且把新的发展和應用所需要的数值随时补充进去。在收集这些资料和修订由 NCRP(1953)^[1] 和 ICRP (1955)^[2] 所发表的内照射剂量报告的过程中, 国际放射防护委员会和若干国家的团体特别是美国国家辐射防护委员会进行了紧密的合作。除了修订和充实过去的建议书以外, 这两个机构的成员都希望, 这次发表的报告将有助于协调和统一国际放射防护委员会和各国辐射防护委员会在作出决议时所遵循的目标和原理。同时也希望, 各个国家的内照射剂量委员会将应用相同的辐射防护的基本原理, 并采用由国际放射防护委员会所推荐的容许照射水平, 或者指出他们作出变更时所根据的条件和考虑。

在最近几年, 国际放射防护委员会修订了《关于辐射照射的基本建议书》^[3], 现在把它附印在这份报告中*。美国的国家辐射防护委员会作了类似的修订^[4]。回顾一下国际放射防护委员会 1958 年的报告, 可以看出同第 II 专门委员会有关的主要变更有以下几点:

(1) 用季度剂量限度代替了周剂量限度, 因此, 对于许多实际工作提供了较大的灵活性。

* 此处所说的建议书是指 1958 年的建议书, 在译文中已抽去, 而代以 1962 年修订后的建议书。——译者注

(2) 容许的季度剂量率实质上同以前的容许剂量率相仿, 但是在造血器官和性腺受到照射时规定了累积剂量的限度。国际放射防护委员会的建议书^[3]对于眼晶体也限制了累积剂量, 但是有关的数据极为缺乏, 所以在这个报告中, 没有把眼睛当作参考器官。

(3) 对于若干组非职业性人员给出了明确的建议, 而且对全人口建议了剂量限度。

把目前的报告和以前的相比较, 就会看到在内容上根据新资料 and 估算内照射剂量的新方法, 作了很广泛的修改, 同时在报告中所包括的放射性核素的种类比过去增加了大约两倍。重新审查以前的建议书中所引用的生物学数据和物理数据, 并且对容许的照射限值作了相应的修订。对于胃肠道照射和身体中放射性核素的衰变链采用了比较精细的计算方法, 得到了许多容许限度的新值。在附录中讨论了幂函数模型, 作为估算某些长寿命放射性核素在人体内的负荷量的另一种方法。附表中的数据是根据放射性核素在机体中的滞留和排出的指数模型或单室模型来表示的, 但是列在表中的最大容许浓度和人体负荷量的数值, 是第 II 专门委员会经过仔细考虑后从两种模型所给出的数值中选定的。显然, 在这样一个迅速发展的领域里要完全赶上层出不穷的新文献是不可能的, 但是这次修订也许能反映出直到 1957 年乃至 1958 年初期发表的一些最重要的研究成果。

所有的最大容许浓度值都是对每周工作 40 小时和连续照射即每周 168 小时给出的。以前的内照射剂量报告所列的数值是根据连续照射给出的, 这是因为一方面这些数值乘上一个适当的因子后就可适用于连续的非职业性照射, 另一方面因为每周的实际工作时间是因地而异的。现在列入了每周工作 40 小时的数值, 因为他们可直接适用于很多国家的现有的标准工作条件。

国际放射防护委员会的报告^[3]中所规定的特殊组和广大居民的容许水平, 可以很方便地从连续职业性照射的数值中得到。换算这些组的容许水平时所应用的有关因子将在 II.3 节和 II.4 节中

讨论。因为列入的连续照射的值忽略了几种重要的考虑，特别是儿童和成年人的差别，所以应当强调，即使应用上述的因子来校正时，这些数值也只能当作非职业性照射的暂时应用的数值。本委员会希望：“连续职业性照射值”这一术语的本身就表明这些数值用于其他目的是带有权宜性质的。

虽然最大容许浓度值所依据的资料是很不完备的，并且在某些情况下是难于确定的，但是这些资料体现了数以百计的科学家最新和最好的研究成果，而且可以认为这些最大容许浓度值是目前所能得到的最好的数值。它们可以作为一种指针来指出在实践中应用的操作是否妥善，能否保证沉积在人体内的放射性物质所产生的剂量不超过国际放射防护委员会所规定的相应的容许限度。

对于很多放射性核素，虽然摄入是在相当短的时间内发生的，但辐照时期可以继续几个月，甚至终身受到照射。当放射性污染物沉积在人体内时，要精确估计人体内的全身负荷量或它的分布常常是困难的。在大多数情况下，即使知道了人体内蓄积着大量的放射性核素，但是要从人体中加速排出却是很难办到。按照一种理论，电离辐射的任何剂量，不管它多么小，都可以产生某种程度的遗传损伤或躯体损伤，因此应当避免一切不必要的放射性核素的照射。这也是好几个国家的组织^[5]和国际组织^[6]所一致指出的。但是按照目前的认识，个人在他工作的一生中受到这个报告中所建议的最大容许值的职业性照射时，不致有遭受损伤的明显的危险，或者造成比其他现代工业中一般所接受的更为严重的危害。这个报告中所给的值是用于职业性照射的，若作为其他应用则必须用一个适当的因子修正，而且在一切情形下，所给出的组织剂量都不包括天然本底和医疗照射所产生的剂量。

II. 最大容许内照射的基本标准

1. 照射分类* 对于下列各类人员, 国际放射防护委员会^[3]推荐或建议了电离辐射照射的基本标准:

A. 职业性照射。

B. 特殊组的照射:

(a) 在管理区 (见《国际放射防护委员会建议书》^[3] 的 71 和 72 节) 的附近工作, 但本身不从事于辐射工作的成年人。

(b) 偶然进入管理区内执行任务, 但不属于辐射工作者的成年人。

(c) 居住在管理区附近的居民。

C. 广大居民所受的照射。

原则上, 个人所受的和全人口平均所受的照射都应该考虑, 但是关于个人所受的照射仅对组(A)和(B)给出了建议。而且国际放射防护委员会认为: 天然本底辐射或医疗和牙科照射所造成的剂量不包括在这个报告中所建议的最大容许剂量之内。

2. 职业性照射 (A 类照射, 见《国际放射防护委员会建议书》^[3] 46—52 节) 对于沉积在人体内的放射性核素的职业性照射, 基本的规则如下:

(a) 性腺的或全身的剂量, 在任何相连 13 周期间不得超过 3 雷姆。如果职业性照射在 18 岁以后开始, 则在年龄为 N 岁时, 性腺或全身的剂量不得超过 $5(N-18)$ 。如果职业性照射开始在 18 岁之前, 那么在 18 岁前的年剂量不得超过 5 雷姆, 并且到 30 岁时

* 照射分类已在 1962 年加以修改: 职业性照射为一类, B(a)和B(b)合并为一类, B(c)和广大居民中的个人合并为一类; 对以上三类规定了个人的剂量限度。另外一类为全体居民, 对此规定了按全人口平均计算的剂量限度。

——译者注

的累积剂量不得超过 60 雷姆。

(b) 在任何的 13 周期间, 从内照射或外照射对骨所产生的有效相对生物效应剂量*, 对整个骨骼平均不得超过由于 0.1 微居里 Ra^{226} 的人体负荷量而对骨骼所产生的平均相对生物效应剂量。在 Ra^{226} 的情况下, 这相应于剂量率 0.56 雷姆/周(从剂量率 0.06 拉德/周, 相对生物效应系数为 10 和 $n=1$ 推导出来的)。在计算骨的有效相对生物效应剂量时, 所有的吸收能量应该用相对危害因子 n 作为权数。对于外部辐射产生的吸收能量, 以及对于进入体内的元素是镭的同位素时的体内放射体, 相对危害因子 n 都取作 1。如果进入体内的同位素不是镭的同位素, 对于 X 辐射或 γ 辐射的吸收能量, 相对危害因子 n 取作 1, 对于一切其他能量成分, n 取作 5, 不管这些能量来自母体还是来自它在人体内产生的子体。有效能量列在表 5 中用 $\sum EF(\text{RBE})n$ 表示。比较详细地讨论和举例见 IV.2 节和 V.1 节。

(c) 除性腺、骨、皮肤和甲状腺外, 人体的任何单个器官所受的剂量, 在任何 13 周期间不得超过 4 雷姆或者一年内不超过 15 雷姆。皮肤和甲状腺的剂量, 在任何 13 周不得超过 8 雷姆, 或者一年内不超过 30 雷姆。

国际放射防护委员会 (1956)^[7] 规定平均外部职业性照射为 5 雷姆/年 (相当于 0.1 雷姆/周) 的这一决定, 不适用于内照射剂量的计算, 除非放射性核素相当均匀地分布于全身或者集中在性腺。限制全身的平均周剂量 (0.1 雷姆) 为以前的最大周剂量 (0.3 雷姆) 的三分之一, 其目的是要减少可能发生的某些类型的躯体损伤, 例如由辐射诱发的白血病和寿命缩短, 这些损伤被认为主要是由于全身照射而造成的。很显然, 降低性腺剂量是为了减少有害的基因突变, 这种突变将在后裔身上引起遗传效应。

累积剂量的限制主要应用于全身和性腺剂量, 所以当单个器官^[8] 例如肝脏、脾脏、骨骼、胃肠道和肾脏, 作为人体的紧要器官

* 从 1962 年起, “相对生物效应剂量” 改称为 “剂量当量”, “相对生物效应系数” (RBE) 改称为 “品质因数”。——译者注

时,容许的相对生物效应剂量率没有基本的变化,其理由已在ICRP 报告的第14节^[3]中给出。应该注意:在此建议的限度是最大值。在实际工作中,个人所受的平均职业性照射剂量将远低于此值。

直接估计人体负荷量或估计单个器官或全身所受的剂量一般说来是困难的,同时,在很多情况下减少人体负荷量的措施是缺乏效果并且难于实行的,所以作为职业人员的一般防护措施,唯一切实可行的办法是限制各种放射性核素在人们所摄入的水、食物或空气中的浓度。因此建议:

(1) 如果没有职业性的外照射,放射性核素或其混合物在工厂的工作人员每周工作40小时期间所要消耗的空气和水中的浓度保持在不超过这个报告中给定的最大容许浓度值的水平。如果有职业性外照射存在,那么最大容许浓度值必须降低,以使总的相对生物效应剂量保持在由基本规则所规定的限度内。例如,假定单个器官根据基本规则容许的季度剂量是 D 雷姆,而外照射给出的剂量每季度为 E 雷姆,则以这个器官为对象的最大容许浓度必须乘上因子 $\frac{(D-E)}{D}$ 使其降低。对于放射性核素混合物的容许水平的计算在IV.8节中讨论。

(2) 在13周时间内,各个放射性核素在空气和水中的浓度可以容许变化,只要在任何13周期间的总摄入量不超过在上述(1)中指出的恒定水平的照射下所容许的总摄入量。应该了解:虽然这个方法是和基本建议一致的,但在应用时却是不方便的,花钱的,并且一般是困难的,因为这需要对工作区进行精确的和连续的监测,并详细地记录每一个人的照射历史。因此,它的应用仅适合于例外的情况。

要保持II.2节中的基本限度(a)、(b)和(c),最安全、最简单的方法是使管理区内工作人员所消耗的空气、水或者食物中的污染保持在最大容许浓度值的水平或者更低。这里给出了对于40小时/周和168小时/周照射时间的最大容许浓度值。如果某一

员分配到的工作是每周仅有 8 小时花费在照射区内, 那么对他来说, 最大容许浓度值将为表 1 中所列出的每周工作 40 小时的最大容许浓度值的 5 倍。可是这需要适当的注意以确保他在工作周的其余时间内没有受到照射。如果他每周花费 48 小时在照射区内, 那么适用于他的最大容许浓度值是表 1 中所列出的每周工作 40 小时的最大容许浓度值的六分之五。当这些最大容许浓度值应用于食物时, 应当考虑到食入量作出类似的调整。这问题将在 IV.9 节中作进一步地讨论。

虽然, 公式 $5(N-18)$ 所容许的全身和性腺的平均年剂量仅为 5 雷姆, 但是根据 ICRP 的规定只要在任何相连的 13 周中接受的剂量不大于 3 雷姆, 那么在任何的时间间隔内 (1 分、1 天、1 周等) 可以容许接受直到 3 雷姆。因此, 只要剂量不超过由公式 $5(N-18)$ 所规定的限度, 年岁较大的人, 一年中可以接受直到 12 雷姆。虽然内照射在原则上也容许灵活性, 但实际上如果把最大容许浓度值增加到过多地超过对长期照射规定的数值, 那么这样的做法是危险的, 而且也往往是行不通的。尽管如此, 容许水平依赖于照射时间 (例如, 如果职业性照射每周仅有 1 小时, 就可以把根据 40 小时/周而制定的最大容许浓度值增加到 40 倍), 但如果同时有外照射存在, 则最大容许浓度必须减小, 以使任一器官的总剂量不超过最大容许限度。在特殊的个别情况下, 如果采取了充分的监测措施 (即外部监测计、体液分析、空气测量等), 而且在此以前的 13 周内没有受过照射, 同时也没有超过公式 $5(N-18)$ 所规定的限制, 那么这个人可以在这样浓度的地方工作 1 小时, 在那里, 以全身作为紧要器官的同位素在空气中的浓度为 $40 \times 13 \times 12/5 = 1200 \times$ (每周工作 40 小时的空气中最大容许浓度值), 但是在这种情况下在今后 13 周中不允许进一步受到照射。由于不能及时地, 精确地估计人体负荷量和体内放射性物质对某一器官所产生的剂量, 上面所说的那种情况应当尽量避免。万一不得已而必须暴露于此种程度的污染空气, 那么戴上适当而配称的面罩, 可以显著地降低剂量。

3. 特殊组的照射 (B类照射, 见《国际放射防护委员会建议书》^[3]53—57节) 属于B(a)或B(b)组的个人性腺或造血器官的剂量不得超过1.5雷姆/年, 对于B(c)组个人的相应限度是0.5雷姆/年。如果管理区内的操作不产生外照射, 则B(a)和B(b)组的相应的最大容许浓度值是每周工作40小时的职业性照射值的3/10, 对于B(c)组是连续照射(即每周168小时)的职业性照射值的1/10。如果在管理区内有外照射存在, 并且这个外照射的剂量是 E 雷姆/年, 那么最大容许浓度值应该乘上因子 $\frac{(D-E)}{D}$ 来减小, 式中对于B(a)和B(b)组, $D=1.5$, 对于B(c)组 $D=0.5$ 。混合物的最大容许浓度的计算在IV.8节中讨论。

如果辐射场(外部和内部)对性腺和造血器官不产生显著的照射, 属于B(c)组个人的最大容许浓度是连续职业性照射的最大容许浓度值的1/10。由于B(a)或B(b)组的个人所受的照射是直接和他在管理区内或者管理区附近的工作有关, 对于这种人的最大容许浓度是具有每周相同的工作时间的个人的职业性照射的最大容许浓度的1/10。例如, 设工作时间是40小时/周, 那么B(a)和B(b)组个人的最大容许浓度是每周工作40小时的最大容许浓度的1/10。

4. 居民的照射 (C类照射, 见《国际放射防护委员会建议书》^[3]58—68节)

(a) 遗传剂量和全身剂量 在最近的报告^[3]中, 国际放射防护委员会建议了居民的平均遗传剂量的限度。这些建议的限度不是作为决定性的建议, 而是为原子能工业企业的规划提供指导。到30岁为止从人工辐射(除去医疗照射)接受的平均遗传剂量暂时规定为2雷姆, 其中1.5雷姆建议作为此种辐射源对性腺产生的内照射剂量的限度, 而0.5雷姆作为外照射剂量的限度。因为连续职业性水平(168小时/周)容许在30年内对性腺产生的剂量为5雷姆/年 $\times 30$ 年=150雷姆, 所以必须把连续职业性最大容许浓度值乘上因子0.01, 以给出相当于上述内照射剂量的恒定的照射水

平。当全身是紧要器官时，国际放射防护委员会也建议了相同的剂量限度(1.5 雷姆/30 年)，和相同的换算因子(0.01)。除了少数情况外，缺乏充分的资料以估计性腺所受的剂量。在缺乏以性腺作为对象的最大容许浓度值时，建议应用以全身作为对象的最大容许浓度的 0.01。关于这些核素对性腺剂量的贡献，本委员会正在研究中。

(b) 躯体剂量 对于不是以全身或性腺作为紧要器官的放射性核素或放射性核素混合物，建议把广大居民的平均容许水平规定为按照上述 II.2 节中的基本规则(b)和(c)计算出来的连续职业性照射值 (168 小时/周)的 1/30。国际放射防护委员会的内照射剂量专门委员会和若干国家组织正在研究低水平照射对广大居民的长期效应问题，包括受照射者个人的躯体损伤、他的子女的遗传损伤、生态系的损害等。

III. 职业性照射的最大容许水平

1. 制定表 1 中的最大容许照射值时所作的假定和所受的限制 个人的最大容许负荷量(q)和最大容许浓度值将取决于很多因素,例如,他的年龄,健康状况,饮食习惯和卫生标准。它们也取决于放射性物质的物理、化学性质和摄入的途径:食入,吸入,通过伤口或通过皮肤吸收。关于这些因素所造成的影响还缺乏足够的资料,所以不能对这一问题作出详细的处理。为了适当控制这次修订的工作量和范围,同时又能满足科学上和工业上应用同位素的基本要求,有必要严格限制所考虑的因素。因此,最大容许浓度值仅列出了相对地不易溶解和比较普通的可溶化合物,这些化合物仅根据可溶的程度而不是根据化学结构列出的。除去少数情况(即最大的危害是人体沉浸在放射性气体中受到照射的情况),只考虑食入和吸入这两种摄入方式。所有的计算都是以“标准人”为基础,因此没有考虑个人的差异。这个“标准人”在表 6—11 中详细的说明了,它是由乔克河(Chalk River)会议^[9](1949 年 9 月)定义的标准人稍加修改而制定的。这个标准人可以代表受到职业性照射的典型的或平均的成年人。

最理想的方法是,根据对人体的研究资料来制定最大容许体内负荷量 q 和最大容许浓度 MPC,这些被研究的人受到照射和摄入放射性核素的工作条件和持续时间近似于具有代表性的平均职业性照射的实际情况。然而,人的资料是很缺乏的,仅在镭的情况下,积累了长达 50 年的人的经验,而要确定人体慢性照射的数据至少需要这样长的时间。最近,使用全身计数器和局部人体计数器进行研究,以确定人体中某些放射性核素的微量的吸收、分布和排出。在少数情况下,某些放射性核素是医学治疗上给予人体的,在另一些情况下,因发生了事故而使放射性核素进入人体中。这些

人体照射的资料已经详细加以研究。在可能范围内，在这个报告中引用了这些资料以代替以前根据动物得来的资料。对于大多数放射性核素，缺乏人的资料，因此必须把从动物实验得来的资料外推到人。有时，甚至连动物资料也没有，只能和化学性质类似的元素相比较而作出估计。最近有人研究了微量的少数稳定元素在人体中的分布，这些研究资料对我们的修订工作特别有帮助。可以假定，正常的稳定元素在人体各个器官中的分布，足以代表人体长时期暴露于这些相同元素的放射性核素时在体内形成的分布，而且化学形式也是相似的。同样，研究微量的少数元素在食物、水、人的尿和粪便中的代谢平衡，提供了直接的证据来确定这些元素的放射性核素的最大容许浓度值。因为在这个报告中应用这些数据时作了很多假定和近似，所以一般来说，没有必要再在计算方法上详述其精确程度。

在表 1 中建议了大约 240 种放射性核素的最大容许全身负荷量 q ，空气中的最大容许浓度 (MPC)_a 和水中的最大容许浓度 (MPC)_w 值。计算水中最大容许浓度时所依据的水的每日摄入量包括食物中水的成份，因此只有在放射性核素在食物加工过程中浓集在食物中或从其他来源进入到食物中去的情形下，才需要考虑食物中放射性核素的摄入量。在这种情况下，可以应用表 1 中的水中最大容许浓度值转换成每克的微居里数，并根据每日摄入量加以校正，也就是考虑到全部食物中放射性核素的总摄入量加以校正。这次的报告除了包括以前的美国国家辐射防护委员会^[1] (1953年)和国际放射防护委员会^[2] (1955年)报告中所列出的全部放射性核素以外，又根据需要对掌握的生物学数据增加了其他许多放射性核素。除去少数的例外（即某些子体放射性核素和同质异能态），表 1 中没有考虑放射性半衰期小于 1 小时的放射性核素。下列几点是进行计算时所依据的主要假设和条件：

(a) 在所有的场合下，列出了可溶性和不溶性化合物的数值（一个例外是某些惰性气体，在这情形下只给出了根据人体沉浸在惰性气体中计算出来的数值）。对于可溶和不溶形式的同位素，所

得到的空气中最大容许浓度和水中最大容许浓度的最低值用黑体字表示。这些最低值所依据的器官称为紧要器官，并在表 1 中印刷成黑体字。

(b) 在一切情况下，所给出的数值是对职业性照射计算的，即根据连续工作 50 年，每年 50 周，每周工作 40 小时计算，另外还给出了连续的（即每周 168 小时）照射 50 年的数值。

(c) 最大容许浓度决定于剂量率。在一切情况下，计算剂量率时，考虑到放射性核素在人体中或紧要器官中的实际留存量而不是假定的平衡态。以某一紧要器官为对象的最大容许浓度值是根据下面的要求决定的：即经过职业性照射 50 年后该器官所受的剂量率（雷姆/周）不得超过 II. 2 节(a)、(b)和(c)中规定的数值。在 50 年照射期间，绝大多数的放射性核素都达到了平衡态，因为它们的有效半衰期比这个工作时间短[即在方程式(7)和(8)中的项 $e^{-0.693t/T}$ ，对 $t = 50 \times 365$ 天时，近似地等于零]。这个规则的例外情况列于表 2 中。表 2 中的第 5 栏给出有效半衰期，第 6 栏给出职业性照射时间持续 50 年后人体负荷量所达到的平衡值的百分数。这些例外的大多数是 5f 型的稀土元素，它们的生物半排出期假定为 200 年。其中有 10 种放射性核素代表着最极端的情况，经过 50 年职业性照射后它们在人体中仅达到平衡值的 16%。

(d) 在一个放射性核素发生衰变而形成子体的情况下，在计算时假定仅有母体放射性核素进入人体，但是估算出来的剂量率包括在人体中形成的子体所释放的全部能量在内。两个例外的情形是 Rn^{220} 和 Rn^{222} ，假定它们处于在平常空气中所达到的典型的平衡态。这些情况在下面将作进一步的讨论。在所有其他情况中，假定仅有母体元素进入人体。因为各个子体元素一般具有不同的有效半衰期，所以衰变链中的各元素所达到的平衡的百分比一般也是各不相同的。同样，有效能量，即每次蜕变中被吸收的加权能量，对于衰变链中的不同元素是不相同的，所以，经过 50 年照射后的剂量率一般说来不同于表 2 中表示的人体负荷量的平衡值的百分数所造成的剂量率。因此，对于本身能衰变成放射性子体

的放射性核素说来,这些百分数仅粗略地表示在 50 年末所达到的平衡剂量率的百分数。

(e)所有的假定和公式是以“单室模型”(Compartment model)为根据的,即对每一个器官假定了一个生物半排出期,并假定积聚在器官中的放射性核素是以恒定的单位时间内的比率排出的。一般说来,这是把情况过度简单化了,因为器官的滞留作用在数学上常常需要用若干个指数项或者用幂函数来表示。遗憾的是,现有的生物学资料不能给出器官滞留量的详细数据,特别是在这里感兴趣的照射条件和照射时间的情况下。在选择最大容许浓度和人体负荷量的数值时,只要能找到合适的资料,本委员会同时考虑了器官滞留的多项指数模型和幂函数模型,并且在有些情况中,最后选定的数值是从根据这些模型计算出来的数值中选取的。由于在许多情况下不确定的因素很多,为了表示方式的一致和简便,表中的生物学数据都是根据以每个器官作为单室模型而给出的,并且对每一器官给出了一个生物半排出期。这些数值是这样选定的,在 50 年恒定水平的照射中,它们所给出的滞留量和由比较详细的模型所给出的滞留量相同,因此这些数值不能正确代表短期照射的情况。幂函数模型的讨论,以及应用这一模型时所需要的参数在附录中给出。

(f) 如果职业性照射超过了 50 年,对于表 2 中所列的放射性核素说来,因为它们在所假定的条件下没有达到平衡态,所以剂量率将继续升高,但是对于不列在表 2 中的放射性核素说来,不会超过最大容许剂量率。由于职业性照射的时期大概不会过多地超过 50 年,而且最大容许人体负荷量 q 只有在表 1 中给出的最大容许浓度下经过 50 年的职业性照射后才达到,所以即使对表 2 中的同位素说来,在个人一生的工作时期内所接受的平均剂量率要比最大容许剂量率低得多。这一点是值得指出的,但是也不能忽视下列事实,即最终的剂量率和 II.2 节(a)、(b)和(c)中采用的标准相抵触,虽然累积剂量无疑地要比不列在表 2 中的许多放射性核素的容许剂量小得多。在以前的报告中^[1,2]是根据 70 年照射计算的。