

国际放射防护委员会第26号出版物

国际放射防护委员会建议书

(1977)

李 树 德 译

原子能出版社

目 录

一、引言	1
二、辐射防护的目的	3
三、基本概念	5
危害	5
剂量当量	5
集体剂量当量	8
剂量当量负担	9
约定剂量当量	9
四、放射生物学方面的考虑	10
剂量响应关系	10
剂量响应关系的假设所牵涉的若干问题	12
有意义的体积和面积	12
剂量累积速率	13
受到危险的组织	13
性腺	14
红骨髓	15
骨	16
肺	16
肺淋巴组织	16
甲状腺	17
乳腺	17
所有其他组织的癌症危险度	17
全身均匀照射的随机性效应的总危险度	18
眼晶体	18
皮肤	19
儿童和胎儿	19
低敏感性组织	19
其他效应	19
五、剂量限制的制度	20
“合理地做到减低剂量”的判定基础	21

剂量当量极限——通则	22
天然辐射与剂量当量极限	26
病人医疗照射与剂量当量极限	27
非随机性效应所牵涉的问题	28
职业性工作人员的剂量当量极限	28
建议的剂量当量极限	31
事先计划的特殊照射	33
具有生育能力妇女的职业性照射	34
孕妇的职业性照射	34
公众中个人的剂量当量极限	34
群体的照射	37
事故和应急措施	38
六、运行单位辐射防护的一般原则	40
绪论	40
防护标准	41
极限	41
参考水平	42
防护工作的最优化	43
七、在不同类型照射中的应用	46
职业性照射	46
工作条件	46
限制照射的设施	47
照射的监测	48
防护标准在评价监测结果中的应用	49
医学监护	51
异常情况下的干预	51
医疗照射	53
与疾病直接有关的检查或治疗	53
全面的检查	54
就业、法医学或劳动保险方面的检查	54
医学研究	55
照射的最优化	55
专业训练	56
其他照射	56
照射的评价	57

照射的限制	59
放射性物质向环境中的排放	59
工业、医学或科学上使用的辐射源所产生的直接照射	60
在公众中使用的广泛销售的产品	61
使天然本底照射水平增高的实践	61
教学上使用的辐射源	62
照射的监测	62
正常情况下的监测	62
异常情况下的监测	63
干预	63
附录 关于委员会的选举和工作的规则（摘译）	65
ICRP 出版物 目录	66

一、引 言

(1) 国际放射防护委员会(ICRP)是在 1928 年由第二届国际放射学大会设置的,自此以后一直执行着它的任务。它在 1950 年采取了现有的组织形式,以便更有效地包罗迅速扩展着的辐射防护领域。作为国际放射学大会所设置的委员会之一,它同历届的大会继续保持着密切的联系。由于核能领域的迅速发展,辐射源的使用愈益广泛,国际放射防护委员会被指望为对此提供一般指导的合适机构。委员会在总的方面继续同医学放射学和医学专业维持着传统的接触,另外它也认识到对其他专业负有责任,并且对整个辐射防护领域承担着提供指导的义务。委员会的章程、成员的遴选、以及它同其他团体的关系,详见本报告的附录部分。

(2) 委员会最初的建议书是在 1928 年公布的,其后又在 1931, 1934 和 1937 年继续发表了报告。自 1950 年委员会改组以后,它的基本的建议发表于 1951, 1955 和 1959 年。这些建议书和其他报告的目录见本报告的附录。

(3) 1966 年,委员会公布了在 1965 年通过的建议书(第 9 号出版物),1969 和 1971 年又对这些建议作了增补。最近十年来出现了新的资料,促使委员会有必要重新审议它的基本建议。本报告是委员会连同它的专门委员会和工作小组考查了这些新资料之后写成的。本报告中提出的建议取代委员会以往公布的基本建议,但不一定取代它的专门委员会所提出的建议*。虽然本出版物全面地重新审议了它以往所作的建议,但其中也引述了各个专门委员会和工作小组所发表的其他报告。关于某些问题的详细讨论可参阅这些报告。

* 在本报告的附录中对各个专门委员会的报告的现有地位作出了说明。

(4) 如同以往的建议书一样,本报告只涉及电离辐射。虽然委员会认识到应当对若干种非电离辐射源实行适当的控制,但是它仍然认为这是在它工作范围以外的课题。

(5) 委员会愿意重申,它的方针是考虑合适的防护措施所依据的基本原则。由于各个国家的情况不同,对于引用委员会的建议时所需的详细指导,不论是法规还是实践准则,应当由熟悉最适合于本身需要的情况的那些国际组织或国家机构作出详细的阐述。委员会认识到,负责实施辐射防护的各专家所需要的指导应当具有充分的灵活性,以适应国家的、地域的、或其他方面的差别;鉴于这一原因,委员会企图使它的建议能提供适当程度的灵活性。所以,这些建议所采用的措词形式作为直接纳入法规或实践准则之用是不一定适宜的,有时甚至是不恰当的。关于引用委员会建议事项的一般指导,将在第六节和第七节说明。

二、辐射防护的目的

(6) 辐射防护所关心的是,既要保护个人、他们的后代、以及全体人类,又要允许进行那些可能产生辐射照射的必要的活动。需要防御的有害效应称为**躯体效应**和**遗传效应**;辐射效应显现在受照射者本人身上的叫做“**躯体效应**”,影响他的后裔的叫做“**遗传效应**”。

(7) **随机性效应** (stochastic effects) 是指发生几率(而非其严重程度)与剂量的大小有关的效应。对于这种效应不存在剂量的阈值。**非随机性效应** (non-stochastic effects) 是指严重程度随剂量而变化的效应,对于这种效应可能存在着剂量的阈值。在辐射防护所涉及的剂量范围内,遗传效应视为随机性效应。某些躯体效应也是随机性的;其中癌的发生是在低剂量下主要的躯体性照射危险,因而也成为辐射防护的主要问题。

(8) 某些非随机性躯体效应是特殊的组织所独有的,例如眼晶体的白内障,皮肤的良性损伤,骨髓内的细胞的减少而引起造血障碍,性细胞的损伤引起生育力的损害。另有一些非随机性效应发生于血管和结缔组织的组成成分,它们是身体内大多数器官所共有的,因此,作为一种预防措施,需要制定一个适用于所有身体组织的剂量极限,以确保任何一个这样的组织不致发生非随机性效应。对于所有这一类变化,效应的严重程度取决于所受剂量的大小,并且可能存在着一个明确的阈剂量,在这剂量以下不会见到有害效应。

(9) 辐射防护的目的在于防止有害的非随机性效应,并限制随机性效应的发生率,使之达到被认为可以接受的水平。另一附加的目的是保证伴有辐射照射的各种实践都是具有正当理由的(参阅第12段及第五节和第六节)。

(10) 为了防止非随机性效应,就需要制定足够低的剂量当

量极限，以保证即使在终身或全部工龄期间受到照射也不会达到
阈剂量。实现限制随机性效应的办法是使一切具有正当理由的照
射保持在可以合理做到的最低水平，这里要考虑经济和社会因
素，还要始终受到不得超过相应的剂量当量极限这一限界条件的
限制（参阅第 103—128 段）。

（11）人类活动的抉择，大多数是以一种隐含着的代价与利
益之间的权衡为依据，然后推断所选定的行动是“值得”进
行的。在某些场合下，虽然不那么普遍，人们还认识到应当调节所
选择的实践使得个人或社会所获取的利益达到最大。在辐射防护
中，逐渐变得有可能在形式上表达出这些广泛的制定决策的程
序，虽然未必能使之定量化。这些程序将在第五节中给予较为详
细的讨论。然而，应用这些程序不一定能对个人提供足够的防
护。所以，就从这一理由来说，当利益和危害不是群体中同一部
分成员所接受时，也有必要建立剂量当量极限。

（12）基于上述这些理由，委员会建议了一套限制剂量的制
度，其主要之点是：（a）若引进的某种实践不能带来超过代价
的纯利益，则不应采取此种实践；（b）在考虑到经济和社会因
素之后，一切照射应当保持在可以合理做到的最低水平；（c）个
人所受的剂量当量不得超过委员会对相应的情况所建议的极
限。

（13）应用这些建议时，必须认识到有许多现在所进行的实
践将在未来的岁月里给出剂量当量。应当把这些剂量当量负担
（参阅第 25 段）考虑进去，使得现有或今后的实践方面的必然发
展不致对公众中的任何成员造成过量的照射。

（14）虽然辐射防护的主要目的是为那些使人类受其照射的
活动建立和维持适当的安全条件，但是为保护人类所需要的安全
水平大概也足以对其他种生物（虽然不一定是其中所有的个体）
提供足够的防护。因此，委员会相信，只要人类得到充分保护，
那么其他生物大概也可以得到足够的保护。

三、基本概念

危害 (Detriment)

(15) 暴露于辐射而受到的有害影响可以分成许多种。在健康方面受到的影响，有受照射者本人身上出现的随机性效应和非随机性效应，以及在后代出现的随机性效应。除此以外，还有与健康无关的有害影响，例如限制使用某些地区或某些产品。

(16) 委员会引进了危害这一概念来表明所有这些有害影响，而且如有可能，给以定量的表示。普遍地说，群体所遭受的危害可以定义为辐射照射所致损害的数学“期望值”，这里不仅要考虑每一种有害效应的发生几率，而且要考虑效应的严重程度。这些有害效应包括对健康的影响和其他影响。在某些场合下，单独考虑对于健康的现实影响或潜在影响，较为方便。这时，这些影响就用对健康的危害来表征。就健康方面的效应来说，如果遭受效应 i 的几率 p_i 不大，而效应的严重程度用权重因子 g_i 表示，

$$G = P \sum_i p_i g_i$$

对于由 P 名人员组成的一个组的健康危害 G ，用上式表示。

剂量当量

(17) 吸收剂量 D 本身在未加说明的情况下不能用来预示照射所产生的健康方面的有害效应，无论是效应的严重程度还是它的发生几率。在辐射防护中引进了另一个量，便于更好地联系辐射所引起的较为重要的有害效应，特别是晚发的随机性效应。这个量称为剂量当量，它是用第 18—20 段给出的修正因数 Q 和 N 加权了的。

(18) 组织中某一点的剂量当量 H 由下列方程给出：

$$H = DQN$$

其中 D 是吸收剂量， Q 是品质因数， N 是由本委员会规定的所有

其他修正因数的乘积。这些因数可以照顾到诸如吸收剂量率和剂量的分次给予等。目前，委员会指定 $N = 1$ 。剂量当量单位的专门名称是西弗特 (sievert, 记作Sv)¹⁾：

1 西弗特(Sv) = 1 焦耳·千克⁻¹ (= 100 雷姆)。

(19) 品质因数 Q 是用来计及吸收剂量的微观分布对危害的影响。它是在所关心的一点上的水中碰撞阻止本领 (L_{∞}) 的函数。作为 L_{∞} 的一个函数， Q 的内插值可以从图 1 求出，这个图是根据下表中的数值绘成的。对于具有谱分布的辐射，可以计算出在所关心的一点上的 Q 的有效值 $\bar{Q}^*$ 。

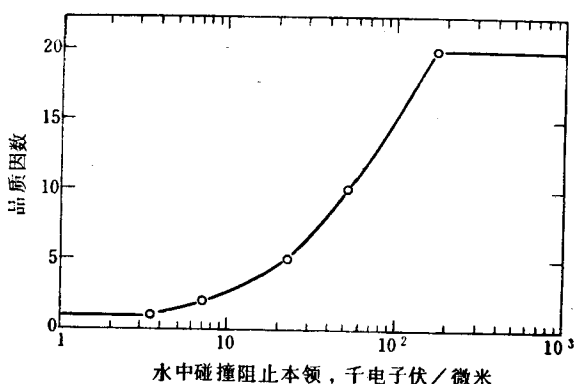


图 1 品质因数与水中碰撞阻止本领的关系

- 1) 国际辐射单位和测量委员会 (ICRU) 建议在今后若干年内废除放射性强度、吸收剂量和剂量当量的专用单位“居里”、“拉德”和“雷姆”，而分别改用“贝柯勒尔” (becquerel, Bq)， “戈瑞” (gray, Gy) 和“西弗特” (sievert, Sv)：

1 贝柯勒尔 = 1 秒⁻¹ ($\approx 2.703 \times 10^{-11}$ 居里)，

1 戈瑞 = 1 焦耳·千克⁻¹ (= 100 拉德)，

1 西弗特 = 1 焦耳·千克⁻¹ (= 100 雷姆)

在后面的译文中将用“西弗”作为“西弗特”的简称。——译者注

* International Commission on Radiation Units and Measurements, Dose Equivalent, *Supplement to ICRU Report 19, 1973.*

L_{∞} 与 Q 的关系

水中的 L_{∞} (千电子伏/微米)	Q
3.5 及以下	1
7	2
23	5
53	10
175及以上	20

(20) 如果在所关心的体积内, 辐射按 L_{∞} 的分布不是在所有各点上都能知道, 那么可以按照初级辐射的类型使用 $\bar{Q}$ 的近似值。为此目的, 委员会建议对于外照射和内照射都可使用下列的 $\bar{Q}$ 值:

X射线, γ 射线和电子	1
能量未知的中子、质子和静止质量大于1原子质量单位的单电荷粒子	10
能量未知的 α 粒子和多电荷粒子 (以及电荷数未知的粒子)	20

在热能中子的情形下, L_{∞} 的数值是唯一地确定的, 从表示 $\bar{Q}$ 与中子能量间的函数关系的一些图表中可以求出 $\bar{Q}$ 值 (ICRP 第21号出版物, 图15, 对热能中子给出 $\bar{Q} = 2.3$)。

(21) 所建议的 Q 和 $\bar{Q}$ 值只供辐射防护之用, 而且只是用于把实际的受照水平同剂量当量极限相比较, 或者用于评价在制定这些极限时所考虑到的危害成分。 Q 和 $\bar{Q}$ 值是根据有关的相对生物效应系数选定的, 但是它们也考虑到如下的事实: 由于只有在较高的吸收剂量水平下, 才能对人体的效应直接加以评价, 所以剂量当量极限 (参阅第103—104段) 是根据较高的吸收剂量外推出来的。因此, 这些 Q 值对于其他能够观察到的效应不一定能代表相对生物效应系数, 例如在低水平吸收剂量下的动物的随机性效应, 或者在高水平吸收剂量下的人体的非随机性效应。特别重要的是, 剂量当量不应当用来评价严重事故性照射所引起的、人体早期效应。

集体剂量当量 (Collective dose equivalent)

(22) 在危害与受照射群体中的剂量当量分布之间, 并不存在着简单的关系, 而且没有单独一个量能够合适地表示出分布, 以供评价危害之用。然而, 在许多情形下, 使用所谓集体剂量当量这个量是有裨益的。群体中的集体剂量当量 S 由下式定义:

$$S = \sum_i H_i P_i$$

其中 H_i 是受照射群体中某一组 (i) 内 P_i 名成员平均每人在全身或任一特定器官或组织内的剂量当量。这一概念的应用在第219, 221 和 232¹⁾ 段加以讨论。

(23) 由某一种实践或辐射源 (k) 而产生的集体剂量当量 S_k 由下式定义:

$$S_k = \int_0^{\infty} H P(H) dH$$

其中 $P(H)dH$ 是全身或任一特定器官或组织所受的剂量当量在 H 至 $H + dH$ 范围内的人数。有许多时候没有必要准确估算数值较小的 H 所给出的贡献, 如果以其上限值来估算它们不会对总的积分值有显著增加的话。在通常情况下, 积分的上限受到有关的剂量当量极限的限制。包含着高剂量贡献的集体剂量当量不宜用来评价第 24 段所述的情况。

(24) 在健康危害的定义(第 16 段)中, 如果 H 与 p_i 成正比(参阅第 27—30 段), 而且 g_i 与 H 无关, 则健康危害 G 正比于集体剂量当量 S_k 。危害与集体剂量当量间成正比关系的正确性, 依赖于危险与剂量当量间的线性无阈关系这一假设的正确性。委员会已经强调指出, 这是一种慎重的假设, 但它的可靠性尚未得到确实证明。可以设想比例因子, 即危险度 (单位剂量当量的危险), 可能随着以前已经积累的剂量当量而变化。然而对于所产生的剂量当量超过天然本底不大的那些实践来说, 由于某一实践 (k) 而

1) 原文232似为231之误。——译者注

增加的健康危害 ΔG 应当是非常接近地正比于 S_k , 尽管这个比例常数也许是不知道的。此外, 如果所有的个人剂量当量落在剂量响应关系的大致呈线性的区段之内, 这个近似的正比关系也能成立。

剂量当量负担 (Dose-equivalent commitment)¹⁾

(25) 对于在时间上持续进行的照射, 还需要另外一些量。由于某种决策或实践而产生的剂量当量负担 H_c , 是对特定的群体平均每人的某一器官或组织所受的剂量当量率 $\bar{H}(t)$ 在无限长时间内的积分:

$$H_c = \int_0^{\infty} \bar{H}(t) dt$$

受照射群体中的人数不一定保持恒定。另外, 只要将集体剂量当量率施行积分, 还可以定义出一个集体剂量当量负担。

约定剂量当量 (Committed dose equivalent)

(26) 在本报告中使用的另一个量是由于人体内单次摄入放射性物质而对某一器官或组织造成的“约定剂量当量” H_{50} 。这个量可以看做剂量当量负担的一个特例, 它是在摄入之后终身工作时期 50 年内将要累积的剂量当量:

$$H_{50} = \int_{t_0}^{t_0 + 50 \text{年}} \dot{H}(t) dt$$

其中 $\dot{H}(t)$ 是有关的剂量当量率, 而 t_0 是摄入时刻。

1) 在本报告中所称的“剂量当量负担”采用联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) 早年提出的定义, 当时主要用来评价核爆炸试验的落下灰对全世界人口产生的平均剂量。ICRP 在它早先的出版物 (例如第 9 号、第 10 号出版物) 中所称的“剂量当量负担”是指个人单次摄入的放射性物质在此后 50 年内将要产生的累积剂量当量, 在本报告中这个量改称为“约定剂量当量”。

四、放射生物学方面的考虑

剂量响应关系

(27) 个人所接受的剂量与辐射所诱发的任一种生物效应之间的关系，是一个复杂问题，对它还需要做更多的研究工作。为了辐射防护的目的，有必要作出某些简化的假设。委员会的建议所依据的一个基本假设是，就随机性效应来说，在辐射工作通常所遇到的照射条件的范围内，在剂量与某一种效应的发生率之间存在着线性无阈的关系。把一个器官或组织所受到的若干次剂量简单地相加在一起作为总危险的量度，以及计算集体剂量当量（参阅第 22 和 23 节）作为对某一群体的总危害的一种指数，都是只有在这一假设以及各种效应的严重程度与剂量无关这个假设的基础上，才是正确的。

(28) 由于给定的剂量增加量而增加的危险，取决于剂量响应关系曲线的斜率。如果随机性效应的剂量响应关系曲线事实上具有高度弯曲的 S 形，那么，从高剂量得到的数据作出线性外推时，会偏高地估计低剂量所产生的危险。根据现有的放射生物学资料可以假设：对于传能线密度(LET)较低的辐射，剂量响应曲线的斜率在直到几戈瑞为止的吸收剂量范围内，一般是随着剂量和剂量率的增加而增加的。从进行过实验研究的许多效应来说，在这范围内的响应可以用下式表示*：

$$E = aD + bD^2$$

其中 E 代表效应， D 代表剂量， a 和 b 是常数。在高吸收剂量（一般在 1 戈瑞以上）和高吸收剂量率（大约为 1 戈瑞/分的数

* 在高剂量时，这个式子需要修正，以便计及由于细胞丧失繁殖能力而减少了发生肿瘤的危险。对于在正常条件下所遇到的剂量，这个影响是不显著的（但需参阅第 33 段）。

量级) 时, 二次项 bD^2 占主要地位, 但当剂量和剂量率减小时, 线性项 aD 和它代表的斜率逐渐占有主要地位了。虽然这种形式的关系已经对许多效应得到了实证, 但是不同的观察得出的参数 a 和 b 的相对值也不相同。对于其他情形, 这个关系式有大多程度的歧离, 还有待于确定。特别是对人类群体, 所掌握的剂量响应关系方面的知识非常有限, 难以有把握地预测在低剂量和低剂量率下的曲线形状和斜率。然而在少数情形下, 可以根据人类群体的照射资料来估计危险, 这些资料中的照射水平为单次吸收剂量在 0.5 戈瑞左右或更少一些, 或者在相隔几天以上重复接受这样的剂量。在此种情形下, 可以合理地假设这种水平的照射所致的有害效应按单位吸收剂量计算的发生频率, 用来估计在辐射防护所关心的剂量范围内此种效应的发生频率时, 不致偏高太多, 即使后者的剂量是在低得多的剂量率下接受的。

(29) 然而在许多场合, 危险度估计所依据的是以高剂量率给出的较高剂量的照射数据。在这样的情况下, 如果受到的是低剂量照射或者所受的剂量是以低剂量率给出的, 那么单位剂量所致效应的发生频率也许要低一些, 所以把估计值酌减一定的分数以计及可能存在的危险度的差别, 也许是合适的。因此, 下面讨论的危险度尽可能选择得适用于辐射防护的实际。

(30) 根据在高剂量下观察到的效应频率作出线性外推来评价危险的上限, 也许是济事的。这个上限可以作为将某种实践带来的利益, 或者不包含辐射照射的另一种实践可能带来的危害与之相比较的尺度。但是, 这种线性假设越是偏于谨慎, 越是应当认识到它可能过高估计了辐射危险, 以致其结果是选取了比包含着辐射照射的实践更危险的其他一些实践。因此, 在几种可供选择的实践之间作出抉择时, 辐射危险的估计应当审慎使用, 而且要清楚地认识到在低剂量下的实际危险有可能小于按正比关系这种小心谨慎的假设所指示的危险。

剂量响应关系的假设所牵涉的若干问题

(31) 实际的辐射防护制度，如果要有效地加以应用，不得不以某些简化的假设为依据。在前面已经假定了在辐射防护所关心的剂量范围内剂量与效应成正比，这一假设隐含着的某些原理可以应用到诸如关于有意义的体积和面积，以及剂量累积速率等重要实际问题中去。这些问题在以下几段中加以讨论。

有意义的体积和面积

(32) 从剂量与响应成正比这一假设（参阅第 27—30 段）可以得出如下的推论：在评价随机性效应时，以某一组织或器官内具有相同敏感性的全部细胞的平均剂量*作为计算基础是合理的。使用平均剂量的实际便利之点在于可以把整个器官或组织的体积作为有意义的体积。

(33) 当一个组织受到不均匀照射时，如果各细胞所受的剂量相差过大，超过了这个组织的剂量效应关系可以看做线性关系的那些剂量范围，那么，对整个组织使用平均剂量就不再是严格正确的了。肺脏受到放射性微粒的照射，就是这样的一个例子。根据理论上的考虑以及现有的流行病学调查的证据，委员会相信对于晚发随机性效应来说，所吸收的给定量的能量如果来自一系列的“热粒子”的话，其效应一般要比这能量均匀分布时为小，因为高剂量会使细胞丧失繁殖能力或死亡。因此，在组织内含有微粒状放射源的情形下，根据剂量均匀分布的假设来评价危险也许会偏高地估计实在的危险。另外，对于非随机性效应来说，中等剂量水平所造成的少量细胞的损失，很少可能会损害器官的机能。

(34) 对于皮肤的照射，无论出自外部辐射源还是皮肤污染，按全部皮肤来计算平均剂量当量，一般是不合适的。平均的

* 除另有说明者外，剂量当量这一名词是指整个器官或组织的平均剂量当量。

方法须视情况而定，在第 182 和 183 段将给予较为详细的讨论。

剂量累积速率

(35) 委员会以往建议，对于职业性照射，单次接受的剂量当量应当以年剂量当量极限的二分之一为限。这种做法的用意在于防止在短时期内累积的剂量当量超过一年的极限，现在看来这种规定是不必要的。委员会相信只要制定各种年剂量当量极限就够了，所以它不再建议对于剂量当量的瞬时累积率或长期累积率施加进一步的限制，但具有生育能力的妇女及孕妇的职业性照射除外（参阅第 115 和 116 段）。因此，委员会也不再建议使用过去的按年龄限制的公式*。

受到危险的组织

(36) 委员会在早先的建议中曾经阐述，在人体内受到照射的器官不止是一个的时候，某一特殊器官或组织所受的照射也许具有最重要的意义，其原因在于它所接受的剂量、它对辐射的敏感性或者它的损伤对健康的重要性。这种组织或器官称为在这情形下的关键组织或关键器官，并且个人剂量的限制就是由这组织或器官的剂量当量极限决定的。在这意义上使用关键器官的概念，就不可能按照各个受照射组织的相对辐射敏感性把危害相加在一起。委员会现在建议一种方案，把所有被照射组织所带来的总的危险考虑进去（参阅第 104, 105 和 125 段）。

(37) 为了辐射防护的目的，有必要指定若干器官和组织，这些器官和组织由于它们容易受到辐射损伤，以及损伤的严重性和可以治疗的程度，而需要给以考虑。在这一节中，委员会将概括地陈述供辐射防护用的关于这些特点的假设。

(38) 在后面几段中讨论的诸如发生乳腺癌或诱发遗传性缺陷的那些危险度的数值，显然同年龄性别有关。除此以外，在老

* 指 N 岁成年人的累积剂量当量不得超过 $5(N-18)$ 雷姆。——译者注