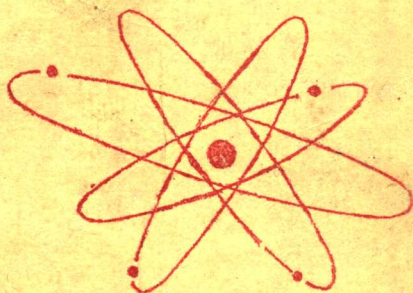


电离辐射 辐射源与生物效应

—UNSCEAR—1982年报告—

(附件 A—L)



编 者 说 明

联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) 自1958年发行第一份单行报告以来每隔几年发行一份新的报告, 1982年报告是其第8份报告。UNSCEAR 报告是根据当时最新资料对社会公众成员和职业性照射人员所受照射水平及其可能造成的危害进行评价的权威性资料, 它对辐射防护、辐射监测、环境保护、放射医学与放射生物学等方面的理论研究与实践活动有很大参考价值。

UNSCEAR 1982年报告在1977年报告基础上作了新的修订和补充 (突出特点是采用了国际单位制和应用了有效剂量当量)。本报告同以往报告一样, 分正文和附件两部分。报告附件 (A-L) 不仅对有关课题进行广泛综述, 而且载有近些年来收集整理的大量资料。

承蒙联合国原子辐射效应科学委员会秘书 G·Silini 先生惠赠, 我们于1982年底收到了本报告。为了方便广大辐射防护工作者学习起见, 本刊组织翻译了该出版物。译本以《通讯》增刊形式分四册陆续刊出, 四册出齐后另有精装合订本。参考文献部份采用缩微影印, 有个别字迹不清之处请读者见谅。

译文脱稿后由徐明达、汪佳明二同志审阅了全文, 郭裕中同志也参加了生物效应部分的审阅, 谨此致谢。由于我们水平有限, 加之篇幅较长, 时间仓促, 译文中想必有错误和不妥之处, 恳请读者批评指正。

《辐射防护通讯》编辑组

声 明

委员会的本次报告（不包括附件）作为联合国大会第37次会议的正式记录即第45号补编(A/37/45)出版。

本出版物中所采用的一些名称和所提供的资料决不意味联合国秘书处对任何国家、领土、城市或地区、或其当局的合法现状及其国境或边界的划分表示任何意见。

联 合 国 出 版 物

发行号：E.82.IX.8

0 6 3 0 0 p

I. 序 言

1. 联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)①, 自1955年成立以来每年都向联合国大会提出报告, 并不定期地递交附有科学附件的更详细的报告。本文即是这种单行报告系列中的第8份②, 包括有一篇摘要, 一篇概括了委员会讨论所得的结论的主要正文和12个附件。附件中相当详细地介绍了得出这个结论的过程和所依据的科学资料。

2. 虽然委员会试图对其所注意到的问题做一些系统性的评述, 但并非辐射照射的所有来源和所有的辐射效应都已被归纳到本报告中。根据既往工作惯例本报告将专门解决那些由于有关科学知识发展而需要考虑的一些问题。因此, 某些附件是在1977年报告基础上作了简单的改写; 另一些则是根据多年的发展情况在很大程度上重新进行了评价; 还有一些实际是第一次才考虑到的。

3. 按照既往的做法, 向联合国大会只提交报告的摘要和正文。同时另出版一种附有科学附件的完整报告③, 作为一份单独的出版物广泛散发给一些科学团体, 这些科学团体作为不承担义务的提供资料和评价的权威性机构收到了 UNSCEAR 既往的各类报告。委员会愿提请联合国大会注意, 把正文与其科学附件分开只是为了方便。各附件中给出的文字证据作为委员会下结论的根据都是很重要的。

4. 本报告是在 UNSCEAR 第27-31届会议期间完成的。M. Klimek (捷克斯洛伐克), F. E. Stieve (德意志联邦共和国) 和 K. Sundaram (印度) 分别担任第27届会议的主席、付主席和起草人。F. E. Stieve (德意志联邦共和国), Z. Jaworowski (波兰) 和 D. Beninson (阿根廷) 在第28和29届会议中执行同样职务。最后, Z. Jaworowski (波兰), D. Beninson (阿根廷) 和 T. Kumatori (日本) 分别担任第30和31届会议的主席, 付主席和起草人。这几届会议均在维也纳举行。

5. 委员会的工作是在专家会议上进行的, 这些专家以其国家代表团正式代表或科学顾问的身份, 讨论并修改了应委员会的请求由秘书处提出的草稿。在完成本报告过程中

① 科学委员会是由第十届联合国大会建立的。委员会的授权调查范围列举在913(X)号决议中。委员会最初由下列成员国组成: 阿根廷, 澳大利亚, 比利时, 巴西, 加拿大, 捷克, 埃及, 法国, 印度, 日本, 墨西哥, 瑞典, 苏维埃社会主义共和国联盟, 大不列颠和北爱尔兰联合王国和美利坚合众国。后来按照联合国大会3154(XXVII)号决议, 委员会的成员又扩大包括德意志联邦共和国, 印度尼西亚, 秘鲁, 波兰和苏丹。

② 科学委员会既往向联合国提交的单行报告有: 《联合国大会正式案卷》, 第13次会议, 增补No 17 (A/3838); 同上书, 第17次会议, 增补No 16 (A/5216); 同上书, 第19次会议, 增补No 14 (A/5814); 同上书, 第21次会议, 增补No 14 (A/6314及Corr.1); 同上书, 第27次会议, 增补No 25 (A/8725及Corr.1); 同上书, 第32次会议, 增补No 40 (A/32/40)。这些文件在本报告中分别被称为1958, 1962, 1964, 1966, 1969, 1972和1977年报告。1972年报告及其附录和科学附件又发表为《电离辐射: 水平与效应, 第1卷: 水平》(联合国出版物, Sales No E 72 X 17)及《第2卷: 效应》(联合国出版物, Sales No E 72 X 18)。1977年报告及附录, 科学附件以《电离辐射的源与效应》出版(联合国出版物, Sales No E 77 X 1)。

③ 联合国出版物, Sales No E.82.X.8。

曾参加过一次或多次会议的专家的姓名列于附录 I。

6. 委员会在其工作中曾得到由秘书长指定的科学小组和专家顾问们的协助。当通过本报告之际委员会愿对其内容承担全部责任并对负责资料初审与分析工作的科学家们所给与的惠助表示感谢。这些科学家和顾问的姓名列于附录 I。委员会非常感谢他们的合作和技术性建议。

7. 1977年4月13日至1982年3月26日期间,委员会秘书处从联合国各成员国、各专门机构的成员国和国际放射防护委员会的成员国,以及这些机构本身收到的资料列于附录 II。以前收到的资料已列入送交联合国大会的早期报告中。所有这些材料都是委员会正式收到的,并为大量的,在公开科学文献上发表的资料所补充与解释。极少数情况下也利用了个别科学家的未发表的著作或应委员会特别请求从个人或单位获得的资料,谨向这些捐赠者表示衷心感谢。

8. 国际原子能机构(IAEA),世界卫生组织(WHO),联合国环境规划署(UNEP)国际放射防护委员会(ICRP)和国际辐射单位与测量委员会(ICRU)的代表在审稿期间参加了委员会会议,衷心感谢他们为完成本报告做出了贡献。

9. 委员会接受委托并已经制定计划以便继续对世界居民目前或将来可能受到的照射及其所能带来的效应与危险进行考察。委员会建议要对那些在科学上或实际上暴露出具有重大价值而值得特别注意的地区进行详细的研究。委员会相信,这种研究也将为与委员会保持密切的工作关系的联合国环境规划署的活动提供重要贡献。

10. 在下文各章节里委员会按既往单行报告惯例先摘要介绍本报告得出的主要结论,然后再对物理学领域和生物学领域各专门学科的研究结果进行详细分析。

II. 主要结论的摘要

11. 本报告是按照能使人们在不同的详细程度及不同的内容深度上进行阅读的方式编写的。本章对在不同领域中通过广泛研究而得出的最重要的结论,按照向联合国大会递交的既往报告的方式进行总结。本章正文将以全面综合评论的形式着重突出几年来所显现出来的主要动向。

A. 辐射水平和剂量的评价

12. 像以前报告一样,在本报告中委员会系统地评述了使人类受到照射的所有各种电离辐射源,即天然辐射源、核爆炸、核动力生产、医疗、工业和科研用辐射以及发射辐射的消费品。对职业性照射(亦即工作过程中遭受的照射)和非职业性照射都予以了考虑。对每个致电离辐射源其结果都用两种方式来表示:一方面给出个人剂量结果,因为从个人角度看个人剂量可显示出工作类型、居住地点或特殊习俗的相对重要性;另一方面也用集体剂量表示,因为集体剂量是某给定辐射源产生的个人剂量的总和,所以可以显示出该辐射源所造成的全部健康影响。使用集体剂量还可以对名目繁多的发出致电离辐射的来源与实践所产生的影响进行比较。

13. 为剂量评价目的,委员会在其工作之初就采用而且现在仍在使用一种基本假定:即是在本报告通常所考虑的相对低的剂量和剂量率水平下,剂量与效应(癌症或遗传性疾

病) 发生率之间存在正比关系。这个假定是预定用于由不同年龄的两性个体构成的大群体的, 而不是针对某一个人的。该假定与大量的实验资料和流行病学研究结果并不矛盾。有理由相信, 在委员会所关心的低剂量和低剂量率水平下发生的危险不会被低估, 或许实际上是被高估。

14. 本报告在一个重要的方面不同于过去的报告。现在委员会不再是只估算有限数目的重要组织(例如, 性腺、肺脏和骨髓)的吸收剂量, 而是用称为“有效剂量当量”的剂量表达方式把全部器官和组织的剂量相加(见66-69段)。委员会认为, 有效剂量当量可以更好地表述受照射人群所遭受的全部危险。其结果, 在某些情况下本报告对一些放射性物质的相对重要性的评价与委员会既往报告相比发生了变化。

1. 天然辐射源

15. 人类接受的年平均剂量的主要贡献来自天然辐射源, 其中包括外辐射源(如宇宙线、地面和建筑材料中的放射性物质)和内辐射源(吸入空气中与食入食物中天然存在的放射性物质)。目前认为吸入是最重要的途径, 其次是外照射和食入。由吸入造成的有效剂量当量主要来自氡, 氡是一种放射性惰性气体, 在室内空气中通常具有较高浓度。

16. 天然照射的突出特点在于它累及到世界的全部居民, 以及可在并已在很长一段时间里以比较恒定的剂量率为人类所接受。因此, 天然辐射源可做为基准水平与人工致电离辐射源相比。

17. 某给定个体接受的来自天然辐射源的剂量取决于一系列条件, 其中包括居住地点、住房种类和海拔高度等。但对世界多数居民来说可以认为天然辐射源产生的个人剂量的变动范围较窄, 在平均值的1/2到2倍之间。

18. 虽然如此, 当考虑天然辐射源剂量中某一独立组分时, 常会看到有一些个体的暴露水平远高于平均值。例如生活在土壤和岩石中天然放射性的物质含量较高地区, 生活在氡气浓度较高的建筑物中, 生活在高海拔地区, 以及食入含放射性物质浓度过高的食物的人们。

19. 委员会在其1958、1962、1966、1972、及1977年报告中对天然辐射源的照射已经做过评述。由于测量次数不断增加, 因此, 剂量评价尤其是对外照射的剂量评价愈益精确。在本报告中用有效剂量当量表述剂量, 强调了吸入途径的重要性; 根据目前计算结果, 平均说来天然辐射源有效剂量当量大约有一半来自室内空气的氡。

2. 人工辐射源

20. 天然辐射源的照射各年的差别很小, 而且世界整个人群受到的照射量大体相等。相反, 人工辐射源却是会随时间而有显著变化, 从而不同人群间受到的最终照射也会有很大的差别。

(a) 医疗照射

21. 当前人类因人工辐射源而受到的照射中医疗照射在数量上居于首位。医疗中辐射被用于诊断(如X射线或核医学检查)和治疗疾病(主要是癌症)。患者接受的剂量十分不同, 从很小的剂量(如在多数诊断检查时)到很高的剂量(如在临床放射治疗中给与的剂量)。医疗照射经常只是身体有限部位受到照射, 因此, 过去很难将其与其它类型

的照射进行比较。本报告拟使用有效剂量当量,以期减少这种困难。

22. 年个人剂量波动极大,未接受诊断或治疗照射的非受照患者其年个人剂量可以是零,而给与接受放射治疗的患者受照部位的剂量可以高达天然辐射源的年平均剂量的数万倍。在这种情况下平均剂量没有太大意义,但集体剂量有可能给出衡量医疗照射后果的某种指征。在一些工业化的国家中,X射线和核医学诊断照射产生的年集体有效剂量当量可能相当于天然辐射源的年集体剂量的一半。委员会尚未对患者因治疗目的受照射的贡献做出估计,这部分贡献可能需要另行评价,因为,一般情况下,这种照射往往是施加于处在生命晚期的人群,而这类人的平均生存时间极其有限,其辐射诱发的远后效应的发生率很低。

23. 只是现在才获得一些来自发展中国家的资料,而且部分资料是与世界卫生组织合作的结果。这些资料表明其检查频数约为工业化国家的1/10。从而,全世界医疗照射的年集体有效剂量当量可能为天然辐射源产生的年集体有效剂量当量的1/5左右。从事医用辐射工作的人员所接受的个人剂量可能较大,但在集体剂量中全部职业性受照的贡献,与来自患者受照的贡献相比,是微不足道的,因为所考虑的工作人员在人数上相对较少。

24. 委员会在其1958、1962、1972及1977年发表的报告中虽曾提供过有关医疗照射的数据,但是,由于获得的资料有限以及剂量估算中的误差较大,因此不易判定这些年来集体剂量的变化趋势。这些年间各工业化国家中检查的次数在不断增加,另一方面在此期间出现的设备又在不断改进,从而导致每次检查的剂量降低。这两种动向可能在某种程度上相互抵销。为便于在本报告中进行比较委员会假定医疗照射产生的年集体剂量大体恒定。

(b) 核 爆 炸

25. 核武器试验在大气中形成的人工放射性物质是环境广泛受到污染的原因。这种物质最初多数被注入上部大气层,在通常被称为放射性沉降的过程中由上部大气层缓慢地向下部大气层转移,最终到达地面。落下灰中的各种放射性核素当其存在于地面空气时可以通过吸入而引起照射,当其沉积于植物上或土壤中时可以通过外照射及食入引起照射。

26. 核爆炸是从1945年开始的。1954-1958及1961-1962年间曾在大气层中进行过大量核试验。1964年以来又进行过一些大气层爆炸,最后一次是1980年10月。已经进行过地下核爆炸而且仍在进行,但其造成的环境污染较小。像在所有既往报告中一样,委员会对世界居民因大气核试验而受到的照射进行了估算。虽然核爆炸可以产生几百种放射性核素,但其中多数在很短时间内即衰变完或产量很少,因此只有少数几种对人类的照射有明显的贡献。在本报告中委员会考虑到的放射性核素有21种,包括 ^{131}I 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 和 ^{14}C 。各种核素的衰变时间差别很大,因此,核试验产生的剂量在爆炸后以不同速率给出,例如 ^{131}I 的剂量是在数周内给出, ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 的剂量则是几十年中给出,而 ^{14}C 的剂量要在数千年间给出。

27. 在任一给定时间内剂量还取决于所考虑的地点。落下灰因纬度而异,其在南半球造成的剂量一般为北半球的1/4。此外,局布落下灰(在试验场附近)也曾偶尔使少数

人群受到较高的个人剂量。

28. 用天然本底平均暴露量的百分数所表达的年集体剂量可以显示出来自核试验的暴露量的年度动向。根据委员会本次报告和既往报告中提供的资料所得到的长期动向示于图 I (a)。60年代初期年集体剂量急剧上升, 形成1963年的高峰, 它相当于天然辐射源的平均暴露量的7%左右。1966年时年剂量降低到天然辐射源的平均暴露量的大约2%, 目前则低于1%。假如不再进行大气层爆炸, 将来年剂量将越来越小直到完全消失。

29. 图 I (a)所示的世界居民在任一给定时间内所接受的平均年集体剂量, 是到当时为止所进行过的全部核爆炸所引起的结果。研究每个试验年度中释放的各种放射性核素在其完全衰变后给出的集体剂量的变化趋势也是有意义的。其结果示于图 I (b), 此图表明1961-1962年进行的核爆炸是目前为止所进行的武器试验的落下灰的全部效应的主要来源。

30. 图 I (b)中集体剂量用能引起相同效果的世界居民暴露于天然辐射的天数来表示。如果在几千年以上的时间里, 世界居民接受的剂量是以等于天然辐射源平均照射量的恒定速率给与而不是以低而不规则的速率给与的话, 则总集体剂量将相当于在大约4年时间内从当前的天然辐射源所受到的剂量, 这就是说落下灰造成的后果相当于4年天然本底的平均值。迄今已经给出的集体剂量可以从图 I (a) 导出, 它相当于暴露于天然辐射源中 0.4 年的照射量, 其余部分即大约3.3年的天然本底相当于直到所释放的放射性核素全部衰变时落下灰所将给出的剂量[*]。落下灰所造成的影响的50%将在今后2000-3000年之内以较小的速率给出。

(C) 核动力生产

31. 从委员会前次报告以来运行的核反应堆的数目已有增加, 到1979年为235个反应堆, 核电总装机容量约为120吉瓦 (GW)。用核反应堆生产电能是以燃料循环为先决条件的, 而燃料循环又包括以下几个步骤, 即铀矿石的开采与水冶; 转变成不同的化学形态; ^{235}U 同位素含量的富集(在某些情况下); 燃料元件的制造; 在核反应堆的功率生

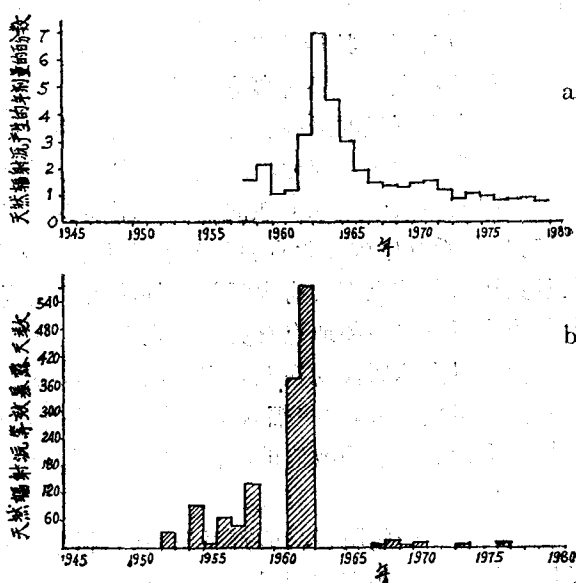


图1. 来自大气层核试验的集体剂量随时间的变化趋势。

- (a) 1958—1979年间接接受的平均年集体剂量。
- (b) 1945—1980年间进行的核爆炸托于未来的集体剂量。

[*] 比较精确的估计是核爆炸所造成的集体有效剂量当量相当于3.7年天然辐射源的平均值。校者注。

产；受照燃料的后处理(在某些情况下)；各种装置间的物料输送以及最后放射性废物的处置。委员会估计了核燃料循环的每一重要步骤对工作人员以及公众成员所造成的剂量。

32. 应该看到对后一种剂量来说，在某给定时间内辐射源(如核电站)交付给个体的剂量将明显取决于距辐射源的距离。此外，在某给定位置上因核电站排放给个体造成的剂量将随时间而变化(包括实践结束以后，因为这时放射性核素仍滞留于环境中)。因此，很难给出一个可表述该辐射源的个人剂量典型值，虽然可以把不同地点、不同时间以及当前的和将来的全部个体的个人剂量相加到一起估计其总效果。不过个人剂量还可采取其他不同的方式表示。

33. 例如对于某给定辐射源来说，最高剂量是人们倾向给出的数值，此最高剂量是有关的某个体(现在的或将来的)在该辐射源运转中已经(或必定要)接受的。不过，实际的个人剂量将变动于零到最大值之间。另一种方法是给出某一特定年中世界全体居民的平均年剂量，换言之，亦即人均年剂量。上述的估算方法都不能全面表述真实的情况，但其中每种对于某特殊目的来说又都具有一定的意义。

34. 虽然存在上述各种概念上的困难，但是估算个人剂量对于受照个体仍是有意义的。例如，个人剂量的最高值可以提供出一些指征以表示某给定辐射源可能造成的危险的上界。当分析时间动向时，给定时间内世界居民的平均年剂量将是一个有用的指标。但应再次强调该数值是象征性的均值，不能用其表示某给定个体的实际受照剂量。

35. 几乎所有与核工业有关的放射性物质都保留在反应堆原地或在特殊贮存设施内，但在多数运行环节上都会有少量放射性物质释放到环境中。释放出的放射性核素多数因其衰变较快而只与局部地点有关，但是有一些寿命较长或扩散较快的放射性核素可波及全球，使世界全体居民现在及将来(某些情况下)受到照射。

36. 据粗略估算，这些辐射源对公众成员造成的短期的年集体有效剂量当量，从1960年时相当于天然辐射源数值的0.0001%增加到1980年时的0.01%左右，剂量增加与同时间内核动力生产的扩大直接有关。公众中的个人年剂量在平均值上下变动很大，居住在核设施附近的人群一般所接受的剂量最高。据报道核反应堆周围的具有代表性的数值相当于天然辐射源平均年有效剂量当量的百分之一到百分之几。此外，从事核动力工业的放射性作业人员接受的年有效剂量当量的具有代表性的数值，与来自天然辐射源的相应平均值为同一数量级。

37. 辐射影响的长期成分(Long-term Component)来自电站运行中排放出的长寿命放射性核素、尾矿废液或高水平放射性废物。曾对排放后500年内的长期成分做过粗略估算。1980年水平的核动力生产在一年间由长期成分对公众成员的影响相当于接受大约2小时的天然本底照射，而短期成分的辐射影响据估计大约相当于30分钟天然辐射源照射。长期成分的有效剂量当量主要来自可在很长的时间内析出氢气的尾矿排放，氢的析出速率可因管理措施的改善而得到控制，这些措施能使析出速率降低数个数量级。在遥远的未来(几千年到几百万年)由尾矿或废物存放地的释放过程将会受到地理和气候变化的影响，而对此很难预测。估算这些释放所造成的剂量还将取决于那遥远未来的生活习惯，但那时可能与目前迥然不同。

38. 假定裂变反应堆的核动力生产以现有速率持续500年，委员会估计最大年集体有

效剂量当量将会达到每年从天然辐射源接受的相应剂量的1%。必须强调这种长期预测是在现有技术条件的基础上得出的，因此，实际情况会有变化。很可能现有技术的改变(例如快中子反应堆或其他先进的燃料循环技术的引进，或长寿命放射性核素的封存)将进一步降低未来实践造成的长期影响。

39. 职业性照射在核动力生产所产生的影响中的贡献比较容易估计，因为从事放射性工作的人员多数都接受个人剂量的监测。在现有核动力生产水平下因职业性照射造成的年集体有效剂量当量相当于天然辐射来源相应数值的0.03%左右。

B. 放射生物学中的新进展

40. 辐射主要是通过能量在受照个体细胞中的沉积而引起生物效应。从这个角度来看，存在着两类细胞：即体细胞（此类细胞存活时间不能超过个体的寿命期限）及胚细胞（此细胞的功能是把遗传信息传递给新的个体）。照射的躯体效应发生于体细胞中，根据定义这些效应一定要在受照者生存时期间显现出来，而遗传效应则发生于第二类细胞中，并在受照者的第一代或更晚的后代中显现出来。

41. 一般说来，重要的放射生物效应是通过下列的两种可能途径中的一种来干扰体细胞的分裂，即可使受照细胞停止分裂最后陷入死亡；也可使细胞具有无限制分裂的能力（这是癌症的特点）。常根据辐射效应的显露时间将其分为早期效应和晚期效应，前者的显露时间为几小时到几周，后者为若干个月到很多年。

42. 委员会过去的方针是并不试图在一篇报告中将动物和人类的所有生物效应全部涉及到，而是根据所积累的资料的数量和在相隔一段时间后对各个领域进行概括的需要来对所选择的课题进行综述。本报告就是按同样的总方针编写的。在躯体效应中，考虑了全身或特定组织受到照射后的一些非致癌性后果。对有关遗传效应的资料作了修订，并从危险度估计的角度出发进行了评述。

1. 遗传效应

43. 在遗传效应领域中根据最近发表的资料得出了重要的结论，这就增强了委员会的信念即过去的假定和危险度的估计仍基本正确。曾将这种估计与自发遗传缺陷作过比较（不同程度的自发遗传缺陷约占全部活产儿童的10%）。物理因素如电离辐射以及某些有毒化学物质可以通过改变基因（即遗传的基本单位）而与睾丸或卵巢胚细胞中的遗传物质相作用（引起基因突变），或改变携带基因的染色体的结构或数目（引起染色体畸变）。遗传物质的变化可以伴有各种遗传缺陷，其中有些具有严重的临床后果。

44. 用基因突变和染色体畸变作实验观察的终点，曾对各种生物体的剂量效应关系的资料进行比较。这种比较增强了如下假设的地位，即预期特定基因的自发突变率与诱发突变率之间有一比例关系。这个基本假定已在危险度估计的间接方法中得到应用。

45. 利用间接方法，委员会于1977年估计出当一个人群以每代（1代=30年）0.01Gy的剂量率持续暴露于低剂量的低LET辐射下，则每百万个第一代后裔中预计将额外有63例遗传性疾病发生。该估计中所包含的遗传性疾病很大一部分与染色体的数目异常有关。但是实验动物和人类资料都表明，对可归入染色体疾病范畴的各病种的估计可能低于以前的估计结果。有鉴于此，委员会现在估计了暴露在上述条件下的人群的遗传性疾病的

增加量，其值可能为在第一代的每百万次生育中20例左右(而不是63例)，在平衡时为每百万次生育中大约150例(而不是185例)，也就是说，假如以每代1Gy的剂量率照射，则第一代和平衡时将分别发生大约2000和15000例。

46. 像在1977年报告一样，也曾用直接法评价过遗传性异常的危险。利用这两种不同方法(即直接法和间接法)估计出的数值比较一致。

47. 辐射诱发特定类型染色体效应的危险(相互易位)已根据从对狨、罗猴和人类的研究中得到的结果重新进行了评价。这种易位对个人造成的健康后果目前还不好确定。

48. 人们对辐射在哺乳类实验动物中引起的某些更重要类型的遗传学变化的剂量效应关系和其他一些方面的认识，取得了更多的进展。在缺乏人类受照后遗传学效应的有意义的结果的情况下，大量利用实验资料估计遗传学危险仍应被认为是不可缺少的。此外，也提出了一些从危害角度更细致地分析遗传学效应的建议。

2. 躯体效应

49. 本报告结论之一是在低剂量和低剂量率照射下未曾观察到诱发非肿瘤性效应。此结论对全身照射和特定器官照射都是适用的。癌症诱发可能是动物和人类受到类似剂量和剂量率照射后的唯一躯体效应。

50. 委员会在其1977年报告中讨论了准确估计人类癌症诱发危险的一些困难。尽管有这些困难，委员会在当时还是提出了一份对人类资料的研究结果和由此导出的危险估计材料，其目的是为判断实践的价值提供一个必要的出发点，特别是为制定辐射防护方针提供一个科学的依据。

51. 考虑到新的流行病学证据的数量有限，在相隔不久重复同样的分析肯定是徒劳无益的，因此委员会转而评述与实验动物和人类某些肿瘤诱发基本模型有关的各种资料，其目的在于确定使用这种或那种辐射作用模型时可能会给估计带来的误差。可将这种研究看成是在缺乏直接证据的情况下估计低剂量和低剂量率照射危险范围的间接途径。

52. 但是，当得知委员会的某些分析结果所依据的广岛和长崎原子弹幸存者的剂量估算已被建议要进行修正时，委员会决定推迟发表根据这些研究所写出的一份文件。不仅受照人群接受的总剂量受到怀疑，而且对在目前使用的T65D(1965年暂定剂量)中中子成分和 γ 射线成分的相对贡献也产生了疑问。所建议修正的要旨是减少两城市的中子剂量成分以及显著增加广岛 γ 射线成分，稍微减少长崎 γ 射线成分。此外，在对幸存者单一器官的剂量估计进行可靠的修正之前，还有其他很多因素必须予以考察和考虑。这在技术上是很复杂的，因此，不大可能在较短时间里对所建议的修正进行透彻的研究并作出决定。

53. 委员会关切地等待着该领域中的进一步研究结果，因为这些结果将是奠定估计人类辐射危险的必要基础之一。与此同时，委员会愿强调指出预计这种改正不会对委员会1977年报告中提出的危险估计即在相当于一年天然本底照射的有效剂量当量的情况下，X射线和 γ 射线在两性和各年龄的人群中诱发致死性癌症的危险，平均为 2×10^{-5} 左右——产生重要影响。之所以如此，有两个理由。首先，目前还不能准确地说出如果采用了这种修正会对危险估计产生什么影响，也许这种影响不会超过系数2。实际上广岛、长崎两地资料一致性的改善可能最终有助于使估计更加令人可信。其次，从两城市原子弹幸存者

得到的资料只不过是委员会在其估计中所采用的人类受照资料的来源之一。

54. 因此,如果这种剂量修正被采纳,预计由X射线和 γ 射线诱发人类癌症的估计值变化不会很大,而有关全身中子照射资料的一个重要推测的来源将不再适用。广岛、长崎原子弹幸存者的剂量计算将受到密切注视,委员会也将继续研究其剂量效应关系。

55. 现在已有大量有关用放射疗法治疗各种疾病(主要是癌症)时受照射人类特定器官与特定组织的效应的资料。有必要研究这些资料并核对与为不同目的进行的动物实验结果的一致性。委员会的研究涉及到:辐射在正常组织中引起的早期及晚期非随机损伤的性质(见附件J);可在不同的动物种属(特别是人类)中导致特定形式早期损伤的剂量阈值;一些重要的照射变量(辐射品质,治疗的分次次数)对阈值的影响。

56. 已形成两个统一的看法,一是组织损害主要取决于某些组成细胞丧失的增殖能力;二是每种组织的结构与功能在很大程度上决定着在该组织上所能看到的反应的出现时间和大小。根据主要从高剂量和高剂量率收集到的经验推导出可应用于实践中最关心的照射条件(即低剂量和低剂量率)下的资料是必要的。但最终还须依赖在放射治疗时由人体正常组织受照而得到的经验。

57. 这种研究可以提供大量关于各特定组织的资料,因而是很有用的。从这种复杂分析得出的最普遍性的结论是非随机机体效应一般可表征为剂量的非线性关系,而且在低剂量下存在明显的阈值。这些条件对考虑任何非随机性组织损伤都是非常重要的。虽然阈值的大小将因各组织和各特定效应的种类而有所不同,但产生这种效应的机制表明阈值不会在低剂量和低剂量率下被取消。因此如果癌症诱发属于或假定属于无阈效应,则在某些低剂量水平下尽管由于阈值的存在会妨碍人们看到非随机性损伤的出现,但癌症也许会诱发出来。从这点来说一般可将癌症诱发视为辐射防护规划中低剂量和低剂量率下的最重要的效应。

58. 在身体局部受照情况下一般比全身照射时更容易把形成损伤的原因归之于器官和组织中的靶细胞,在全身照射时效应与症状可能不很明显而且发病机制也难以说清。一种常被不正确地称为“衰老”或“非特异性寿命缩短”的全身照射效应,就是一个典型例子。委员会曾对有关动物或人类的辐射诱发衰老的实验资料做过分析。由于自然衰老的生物机制基本不明,所以在缺乏可信的实验资料的情况下,看来没有足够根据认为衰老是一种可能的辐射效应,不过这种可能性大概也还不能被完全排除。因此,本研究只限于辐射诱发的寿命缩短方面。

59. 虽然人们常以寿命的长短作为量度衰老的指标,但寿命长短只反映了其统计学方面的特性而未能顾及到导致死亡的各种因素的复杂的相互作用。众所周知,受照的动物群体和人群其平均寿命一般短于合理配对的对照组。然而确定死因可能是一项十分艰巨的任务,唯一合理的作法是把死亡归结到特异原因,从而决定是否可能存在非特异的机制。大量文献表明在低剂量和低剂量率情况下的寿命缩短主要是由于癌症发生率高过自发率。假如把这些癌症对寿命缩短的贡献从寿命缩短总效应中扣除,就不应再有证据表明其他非特异性机制引起额外的寿命缩短。这个结论为很多材料所证实,而且对人类和动物都适用。确实也有一些相反的证据,但是委员会认为,这些证据还不足以否定这个结论。尚需对这种观点做进一步研究。

60. 进行危险度估计时有必要广泛着眼于可能遇到的各种应用。从这点来看,重要的是确定电离辐射这种自然界普遍存在的因素在与其他因素发生相互作用时其效应是否会改变,其他因素是指那些在环境中也有广泛的分布,从而也容易累及广大人群並有可能改变危险估计结果的物理的、化学的或生物的因素。

61. 虽然这类相互作用的可能性常被提出,但是正面的资料为数不多特别是有关对人类危险度估计有意义的各种效应(如致癌、遗传效应,发育异常等)的资料则更少而且结果彼此不同。因此委员会所作的分析不可避免地主要是理论性的,只能引用已发表著作中的例证而已。但是现在知道,对这个问题进行透彻的科学分析是很复杂的,因为,随相互作用的因素的性质、作用的机制、剂量、作用的顺序与方案的不同,可能出现各种不同的结果。

62. 本研究对一些在特殊条件下(主要是职业条件下)有重要意义的因素进行了考查,这些因素中得到最好证明的是吸烟与氡子体 γ 照射诱发铀矿工肺癌的相互作用。虽然这个发现肯定可以适用于特定职业条件(而且可能与地方当局采取的行动有关),但是委员会的评论表明这並不会降低广泛应用的辐射危险度的正确性。有必要制定协同一致的战略,合理选择要研究的作用因素,集中这些问题进行深入研究。本委员会已就此提出了建议。

Ⅲ 报 告 正 文

63. 本章第一节将扼要说明委员会在其评价中所使用的概念和量,然后系统地介绍自从上次单行报告发表以来从委员会的研究中得出的为各个领域所关心的特定的结论。每节开头都附有一段综述该节内容的摘要。委员会的结论所依据的资料和分析方法载于科学附件A至L中。

A. 量 和 单 位

64. 在辐射效应研究中通常把发生效应的几率或效应的大小与辐射照射的估计值相关联。为此目的所使用的最基本的量是受照生物体单位质量所吸收的能量,即吸收剂量。

65. 在进行危险评价时为了计入各种辐射的生物学效率最好能对辐射的贡献加权。剂量当量即是ICRP为辐射防护目的而定义的一个加重量。剂量当量可由根据一系列实验观察得出的品质因数对某给定辐射的剂量进行加权后得出。因此剂量当量H是吸收剂量D和品质因数Q以及ICRP所建议的其他有系数乘积。

66. 危险评价的一个重要进展是最近定义的並在本报告中使用的有效剂量当量概念。这是出于在进行危险评价时同时考虑均匀和局部照射的需要。为此目的分配给身体某一部位的照射的权重因子必须与其诱发的随机效应的相对危险成正比,方法是与同样剂量当量全身照射条件下所预计出现的效应相比较。例如,若某一器官受到照射时引起的效应为同样剂量当量全身照射时预计产生的效应的1/10,那么为了在把不同器官的照射相加时仍保持同一危险,则相对于全身剂量当量而言,必须给予该器官的权重因子为1/10。为辐射防护目的ICRP已给出一份适用于不同器官的权重因子表,本报告也沿用这些因子。

67. 正如 ICRP 所指出的那样, 有效剂量当量的制定不是为了估计危险, 而是为了提出一个合适的剂量学量以供与行政管理使用的剂量限值相比较。由于器官权重因子是所有年龄和两性的平均值, 因此有效剂量当量并不适于反映单独个人受照后辐射诱发癌症和重度遗传性损害的几率, 但它可供指出包含两性和所有年龄的复杂人群的平均危险。

68. 低剂量照射在这种人群中预计引起的危害被认为是与集体剂量即平均个人剂量与露暴人数的乘积成正比。因此在评价特定辐射源的放射学影响时可以在空间和时间上把个人贡献累加为集体剂量。假如某种实践会导致现在和将来的照射, 则该累加值被称为来自该实践的集体剂量负担。

69. 结论是, 对吸收剂量进行加权而导出的剂量当量可供考虑不同种照射的生物效率。利用有效剂量当量可计及机体不同器官受照的相对危险。集体剂量可供估计某受照人群的预期损害。剂量负担概念把导致照射的实践与预期将会发生的总损害联系起来。尽管看来很复杂, 但这些概念便于我们对不同辐射源引起的剂量与危险进行评价和相互比较。

70. 在考虑从放射性物质自发放出的辐射时, 用(放射性核素的)活度来表征这种辐射现象是方便的。活度是单位时间内放射性核素跃迁的数目, 其SI单位是秒的倒数(S^{-1})。当用于放射性核素活度时, 秒倒数的专名是贝可勒尔(Bq)。即

$$1 S^{-1} \equiv 1 Bq \text{ (用于活度)}$$

吸收剂量和剂量当量的SI单位均为焦耳每公斤($J kg^{-1}$)。用于吸收剂量时 $J kg^{-1}$ 的专名是戈瑞(Gy), 即

$$1 J kg^{-1} \equiv 1 Gy \text{ (用于吸收剂量)}$$

当用于剂量当量时 $J kg^{-1}$ 的专名是希沃特(Sv), 即

$$1 J kg^{-1} \equiv 1 Sv \text{ (用于剂量当量)}$$

B. 辐射水平和剂量

1. 剂量评价模式①

71. 为计算辐射源授与被照人群的剂量有必要使用各种模式把源释出的或环境中存在的放射性物质的量与测得的或计算的受照对象接受的剂量相联系。为此目的可使用环境转移模式和剂量学模式。本节将先介绍委员会所采用的主要模式作为评价的背景材料。

72. 委员会对人类辐射照射的资料进行评述有以下几个目的: 一是对个体遭受的照射水平进行评价, 二是对群体照射水平进行评价, 第三是提供基本数据。某个体的照射水平与假定会发生的健康效应概率之间的相互关系是极其复杂的。在当前认识水平上, 假定受照射量的增加将伴有有害效应危险的增加是合理的。本委员会进行评价时所依据的最重要假设(隐含的或明确的)是在特定组织中随机效应的发生几率与该组织的剂量当量直到最低剂量时仍是线性正比关系, 其比例因子因组织种类而有所不同。这个基本模式是极其重要的, 因为没有线性关系的存在就不允许将剂量相加以给出总危险的量度,

①附件A“剂量评价模式”对此有详细的评述。

也就不能通过计算集体剂量以表示暴露人群的总危害。

73. 当所考虑的是工作人员时，靠直接测量来估价照射水平通常是可能的。在一定时间内（如一年，工令期间，终身）由这种照射造成的剂量可以作为据推测会造成的危险水平的一个指标。当评价公众成员暴露时，不论是个体还是集体，其照射水平不能靠直接测量而必须通过间接计算得出。为此就要用到一些模式，这些模式把测得或算得的从源释出或环境中存在的放射性的数量与在暴露人员中造成的剂量联系起来。这种模式有两大类：环境模式和剂量学模式。环境模式描述放射性核素从释放点到环境的不同区域内的运动。剂量学模式用于预计放射性核素在摄入人体后的行径和估计体内放射性核素或外部放射源在各器官所产生的剂量。

74. 如果能在足够长的时间里从足够多的地点测得空气中或沉积在地表的放射性核素形成的空气吸收剂量率，则可求得外照射对个体及群体形成的吸收剂量而不需要借助于环境转移模式去描述由放射源或放射性核素所形成的大气污染或沉积。同样，如果能在足够多的人员中测得有关放射性核素在器官或组织中的活性浓度，则只要靠剂量学模式便可求得由所含的放射性核素产生的吸收剂量而不必借助于环境转移模式。在多数情况下，特别是对天然存在的和核爆炸产生的放射性核素，由于在足够长的时间里在不同地点进行了足够多的测量工作，因而委员会有可能直接利用它们进行剂量估算。

75. 由空气或食物中放射性核素的活性浓度的测量结果可以对内剂量进行估算，但要稍许麻烦一些。这时另外需要的资料是放射性核素从空气或有关食物的摄入速率和合适的剂量学模式，以便给出摄入后器官和组织的吸收剂量。这类较直接的方法用于核爆炸产生的某些放射性核素，常用来弥补有限人群测量计划的不足。它们也用于估算由核设施故意排放的少数放射性核素对关键人群组造成的吸收剂量。不能过分相信这些测量结果，其理由是必须事先做大量的工作以确信被监测的食物是有关放射性核素的唯一或主要摄入途径。当所遇到的是混合食物和存在多种放射性核素时这是很费力的。对于在环境中分布并非均匀的放射性核素来说这不是求得集体剂量的可行办法。

76. 有时直接测量可能是做不到的。其原因或许是测量适当介质中有关放射性核素活性浓度在技术上有困难，或采样有困难，或者放射性核素和途径的数目太多。直接测量之所以做不到还有其它原因，例如为了导出集体剂量负担需要预估剂量率而不是在剂量产生后或产生中进行测量。在这类情况下需要一些模式以便由释放到环境中的放射性核素的数量和释放率求得剂量和剂量分布。剂量和释放之间的关系将取决于很多因素，例如释放条件，放射性核素的理化形态，释放到大气还是到水体或地面，以及环境受体的特征。一般说来委员会所关心的环境模式是实际转移过程的简化的数学表达。其中有些过程了解得比较透彻，因此可以用十分准确的建立在测量基础上的数学模式加以合理地叙述。落下灰放射性核素，如铯-90通过食物链的转移就是一个例子。其他过程可能只是部分清楚，而且也许由于时间覆盖范围或其他因素使得靠测量方法对模式加以证实变得十分困难，例如锶元素在土壤或沉降颗粒上吸附作用的长期稳定性便是如此。

77. 附件A评述了本委员会所使用的各种模式，但是对此进行详细说明已超出本章的目的。在此只想指出：委员会于附件A中描述了大气（局部、区域及全球的，）水（河流、湖泊、海洋）和陆地转移模式，这些模式被用于所有其他附件中。在该附件中

还对模式的基础和各种照射方式的详细途径进行了评述。这个材料可以看做是对涉及到放射性物质在环境中弥散的所有情况进行剂量估计的必要的背景资料。

2. 天然辐射照射，包括技术发展造成的辐射源及发射辐射的消费品的照射

78. 根据委员会在该领域中的工作所得出的主要结论是天然辐射源对集体剂量的主要贡献可能来自惰性气体氡的衰变产物。一些新的研究工作是对氡来源的广泛调查，例如建筑材料和从土壤、自来水以及天然气释放的氡。还研究了一些可以明显影响这些源的贡献的一系列参数(射气能力、建筑工艺、特别是通风)。对这些因素的重要性的认识是与能使室内氡浓度增加的技术进展同时出现的。由其他天然辐射源、被增加了的天然辐射或各种消费制品所造成的照射与以前的估计没有实质的差别。

79. 委员会曾多次提出了有关导致人类受照的天然辐射源的报告，因为天然辐射源是世界居民当前(很可能也代表可预见的将来)所接受的集体剂量的最大贡献者。这些辐射源的主要特征是它们无处不有，并且在人类整个生存期间以非常低但相当恒定的速率给出剂量。从1977年报告以来，除氡衰变产物暴露外对天然照射的认识没有重大改进。因此本报告主要采取修订的办法。然而由于掌握了一些新的有关技术性天然辐射的照射和消费品照射的资料，所以对辐射源和剂量的评价更加完善。

80. 地球上任何形式的生物都不可避免地受到来自天然源的照射。这有两种不同类型：地球外环境来源(即宇宙线)和地球来源(即地壳中的放射性物质)。它们从外部照射人体。但是两种辐射源均可因天然核素经正常生理途径被摄入体内而引起内照射。生活在自然环境中的人类暴露于所有这些辐射源。

81. 某些情况下，主要与技术的发展有关，可以改变人类从这些天然辐射源受到的照射。航空旅行、用天然气取暖及在燃烧化石燃料电站附近居住就是引起天然辐射照射增加的例子。如果不采用有关的工艺(当然这些工艺不是特意为产生辐射而设计)这些照射本来不会出现。在本报告中称这类照射为“技术发展造成的天然照射”并与真正的天然照射分开处理。

82. 从委员会的上述分析中已经知道，相当一部分内照射剂量来自氡、氡及其衰变产物，因此为编写本报告曾对这些核素进行了广泛的研究。其中包括这些核素在生活和工作环境中的水平，在自然界中变化的幅度和原因以及在人类暴露特别是肺脏暴露过程中影响这些核素赋出剂量的条件。研究结果将另行讨论(见108-116段)。

83. 最后还有因某些消费品的广泛使用而造成的照射，有些消费品有意掺入了放射性物质，有些是其被正常使用时产生辐射。遭受消费品照射与遭受技术发展造成的辐射源的照射在某种程度上是相似的。不过把它与技术发展造成的照射放到一起讨论主要还是为了方便。

(a) 天然辐射源 ⑤

84. 关于外照射，委员会分别计算了来自宇宙线(电离和中子成分)的剂量和来自 ^{40}K 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 及其衰变产物形成的地球辐射的剂量。通常宇宙线部分在地球表面很稳定，但它确实随地磁纬度而变化并随海拔高度有较明显的增加。因此居住在高山的人群接受的剂量明显高于居住在平地或海平面的人群。居住在海平面的居民从宇宙线接受

⑤ 附件B“天然辐射源照射”对此有详细的评述。

的外照射剂量当量大约为0.3mSv Yr。

85. 天然本底的陆地部分取决于含有天然放射性核素的土壤和岩石的组成。有关世界广大地区户外陆地辐射剂量水平的资料十分充分，因此可做如下结论：在这些地方居住的大多数居民每年接受大约0.35 mSv，标准差大约为其均数的25%。这个数字是从户内剂量率平均比户外高20%左右以及假定人们有80%时间停留于户内这种认识导出的。这个按人口加权的平均值可以被合理地视为代表了人类所受陆地辐射照射的“正常”水平。根据生活在正常本底地区大量成人的平均值来看，从陆地照射接受的外剂量稍高于来自宇宙线的剂量。

86. 世界上有些地区，其陆地天然辐射源的外照射水平可能明显高于正常变动范围。已经确定的这类地区（有些地方已详细测绘）在巴西、印度、伊朗、意大利和其他一些国家。其中有些地方的居民每年接受的剂量可能比生活在正常本底地区者大10倍以上。这些高本底地区与全球外照射集体剂量的关系尚未完全弄清。目前估计其贡献不会超过全球集体剂量的10%。

87. 委员会还估计了通过食入或吸入进入体内的放射性核素形成的内照射。这些放射性核素或系宇生的（即由宇宙线与上层大气中的原子相互作用所生成），或系初生的（即它们从一开始就一直存在于地壳）。第一类核素对天然本底剂量的贡献很小。氦(³H)、⁷Be、¹⁴C和²²Na是使该剂量得到明显增加的唯一几种成分。后一类核素中²²²Rn短寿命子体产物具有最重要的贡献。其次是⁴⁰K、铀(²²⁰Rn)衰变产物和²¹⁰Po。天然辐射内照射源产生的有效剂量当量估计大约是外照射源的2倍。但是居住在特殊住房条件下的一些人可能受到相当高的内吸收剂量的照射。

88. 表1总结了各类天然照射源的有效剂量当量数值。天然辐射源产生的全球人均年有效剂量当量估计为2mSv，其中大约一半来自室内吸入的²²²Rn和²²⁰Rn短寿命衰变。

表1 “正常”本底地区天然辐射源产生的年有效剂量当量估计值

源	年有效剂量当量 (mSv)		
	外照射	内照射	合计
宇宙线			
电离成分	0.28		0.28
中子成分	0.02		0.02
宇生核素		0.015	0.015
初生核素			
钾——40	0.12	0.18	0.30
铷——87		0.006	0.006
钍——238系	0.09	0.95	1.04
钷——232系	0.14	0.19	0.33
合计(取整)	0.65	1.34	2.0