

联合国原子辐射影响问题 科学委员会的报告

大 会

正式记录：第三十七届会议

补编第 45 号 (A/37/45)



联 合 国

联合国原子辐射影响问题 科学委员会的报告

大 会

正式记录：第三十七届会议

补编第 45 号 (A/37/45)



联 合 国

1982 年，纽约

说 明

联合国文件都用英文大写字母附加数字编号。凡是提到这种编号，就是指联合国的某一个文件。

[原件：英文]
[1982年8月9日]

目 录

	<u>段次</u>	<u>页次</u>
一、 导言	1 - 10	1
二、 主要结论摘要	11 - 62	4
A. 对辐射量和剂量的估计	12 - 39	4
1. 天然辐射源	15 - 19	5
2. 人造辐射源	20 - 39	6
B. 放射性生物学的新发展	40 - 62	12
1. 遗传影响	43 - 48	13
2. 肉体影响	49 - 62	14
三、 报告正文	63 - 235	18
A. 数量和单位	64 - 70	18
B. 辐射量和剂量	71 - 169	20
1. 剂量估计模型	71 - 77	20
2. 从自然辐射源所受到的辐照，包括从因技术 发展而有所变化的辐照源和从产生辐射的消 费品所受到的辐照	78 - 116	22
3. 从核爆炸受到的辐射	117 - 123	33
4. 从核能发电受到的辐射	124 - 138	36
5. 职业性辐照	139 - 145	41
6. 医疗性辐照	146 - 156	44
7. 摘要和结论	157 - 169	47
C. 辐射的影响	170 - 235	50
1. 辐射对遗传的影响	170 - 188	50

	<u>段次</u>	<u>页次</u>
2. 辐照对正常组织的非随机影响	189 - 206	56
3. 辐射导致寿命缩短	207 - 221	61
4. 辐射连同其他作用者的生物影响	222 - 232	65
5. 摘要和结论	233 - 235	68

附 录

一、各国代表团成员名单	69
二、同委员会合作编写本报告的科学工作人员和顾问名单	71
三、委员会收到的报告	72

一、 导言

1. 联合国原子辐射影响问题科学委员会（辐射科委会）自1955年设立以来¹，每年向大会提出报告，并不定期地提出内容比较全面而且附有详细科学附件的报告。本件是一系列这种实质性报告中的第八个，²内容包括摘要和正文，开列

¹ 辐射科委会是大会第十届会议决定设立的。第913(X)号决议规定了这个委员会的职权范围。它最初由下列会员国组成：阿根廷、澳大利亚、比利时、巴西、加拿大、捷克斯洛伐克、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、大不列颠及北爱尔兰联合王国和美利坚合众国。后来，大会第3154C(XXVIII)号决议扩大了委员会的成员数目，增加了下列国家：德意志联邦共和国、印度尼西亚、秘鲁、波兰和苏丹。

² 辐射科委会先前提提交大会的实质性报告见：《大会正式记录，第十三届会议，补编第17号》(A/3838)；同上，《第十七届会议，补编第16号》(A/5216)；同上，《第十九届会议，补编第14号》(A/5814)；同上，《第二十一届会议，补编第14号》(A/6314和Corr. 1)；同上，《第二十四届会议，补编第13号》(A/7613和Corr. 1)；同上，《第二十七届会议，补编第25号》(A/8725和Corr. 1)；同上，《第三十二届会议，补编第40号》(A/32/40)。在本报告中，这些文件分别称为1958、1962、1964、1966、1969、1972和1977年的报告。1972年的报告连同附录和科学附件，还另外印成联合国出版物，即：《电离性辐射：辐射量和影响，卷一：辐射量》（联合国出版物，出售品编号：E.72.IX.17）和《卷二：影响》（联合国出版物，出售品编号：E.72.IX.18）。1977年的报告连同附录和科学附件则印为：《电离性辐射的来源和影响》（联合国出版物，出售品编号：E.77.IX.1）。

委员会的讨论所得的结论，并有十二个科学附件，相当详细地评述了得出这些结论的过程和所依据的科学资料。

2. 虽然委员会曾想系统地讨论它所受命研究的各个课题，但本报告并没有列入所有各种辐射源和辐射影响。鉴于过去已做的工作，本报告所特别谈论的，是据委员会认为由于有关的科学知识有所发展而需要加以考虑的那些问题。因此，有的附件只是对1977年报告中的附件稍加增订；另一些附件则根据这些年来发展重加评析，修改较多；还有一些问题基本上是初次考虑的。

3. 按照过去的惯例，提交大会的只是报告的摘要和正文。整个报告，连同各个科学附件，则同时另行印成出版物³，向科学界广泛发行；辐射科委会过去的报告都被科学界视为独立资料和评价的权威来源。委员会要提请大会注意的是，将报告正文与科学附件分开来印发，只是为了方便而已。各个附件中提出的佐证资料也很重要，是委员会各项结论的依据。

4. 本报告是在辐射科委会第二十七至第三十一届会议期间编写的。第二十七届会议的主席、付主席和报告员分别由M. Klimek (捷克斯洛伐克)、F. E. Stieve (德意志联邦共和国)和K. Sundaram (印度)担任。在第二十八和二十九届会议上担任这些职位的是F. E. Stieve (德意志联邦共和国)、Z. Jaworowski (波兰)和D. Beninson (阿根廷)。最后，在第三十和三十一届会议上，担任主席，副主席和报告员的分别是Z. Jaworowski (波兰)、D. Beninson (阿根廷)和T. Kumatori (日本)。这五届会议都是在维也纳举行的。

5. 委员会的工作是以专家科学家会议的方式进行的，他们以各国代表团正式代表或科学顾问的身分，审议、讨论和修改了秘书处应委员会的要求编制的各个工作文件。附录一载有曾出席一届或多届会议参与编写报告的专家名单。

³ 联合国出版物，出售品编号：E. 82. IX. 8.

6. 委员会得到一批人数不多的科学工作人员和由秘书长任命的专家顾问的协助。委员会对它所通过的本报告的内容负全部责任，但对于曾负责对数据资料进行初步审查和分析的科学家所给予的协助，委员会谨此致谢。附录二载有这些科学家和顾问的名单。他们的协助和技术意见对委员会有极大的帮助。

7. 附录三开到了委员会秘书处在1977年4月23日至1982年3月26日期间从联合国会员国、各专门机构和国际原子能机构的成员国以及从这些机构自己收到的资料。在此期间之前收到的资料已列入先前提交大会的各个报告。所有这些资料，都是委员会通过正式途径获得的，并以大量已在公开的科学文献中发表的资料作为补充和帮助阐释。在极少数几个情况下，也采用了由个别的科学家提供的未发表材料，同时还有一些个人或组织应委员会的具体请求提供了资料。对于所提供的这种资源，委员会谨致谢意。

8. 国际原子能机构、世界卫生组织、联合国环境规划署、国际辐射防护委员会及国际辐射单位和测量委员会的代表出席了委员会在本报告所述期间内的会议。他们对本报告编写过程中的讨论作出了贡献，委员会谨此致谢。

9. 委员会遵照其任务规定，已拟订了计划，准备继续审查全世界的人目前所受到的或将来可能受到的辐照量，和这种辐照可能造成的影响和危险。委员会提议密切注视那些由于其科学或实际意义而日益变得应予特别注意的领域。委员会相信，这种研究工作将能对联合国环境规划署的活动作出有意义的贡献；委员会打算同该署保持密切的工作关系。

10. 在以下各节，委员会参照过去的实质性报告，摘要列出本报告的各项主要结论，然后详细讨论在物理和生物两个具体领域所进行的各项研究的结果。

二. 主要结论摘要

11. 由于本报告的编排方式，读者可以从不同的详细和复杂程度进行阅读。本章摘要列出在各个不同领域进行的广泛调查所得的最重要结论，其中特别参照了过去提交给大会的各个报告。这些摘要的目的，是以全面综合评价的形式，突出这些年来显现出来的各种主要趋势。

A. 对辐射量和剂量的估计

12. 在本报告中，就象在过去的报告中一样，委员会系统地审查了能使人受到辐照的一切电离性辐射源，即天然辐射源、核爆炸、核能发电、用于医疗、工业和研究用途的辐射和具有辐射性的消费品。职业性辐照（即在工作中受到的辐照）和非职业性辐照都受到了考虑。对于每一种电离性辐射源，审查结果都以两种形式表示出来。第一种形式是表为个体剂量，从一个个人的角度显示其工作性质、居住地方或某些习惯的相对重要性。第二种是集体剂量。这是某个辐射源所产生的个体剂量的总和，是显示那个辐射源对健康的总影响的一个指数。用集体剂量，可以对各种各样不同的辐射源或者产生电离性辐射的作业所造成的影响进行比较。

13. 委员会从一开始进行剂量估计，就为此目的作出了一项基本假定，一直沿用至今。这项假设是：在本报告一般所考虑的相对比较低的剂量和剂量率之下，剂量与影响（癌症或遗传病）的发生几率成正比。这项假设是对包括男女两性、各种年龄的许多人而言，而不是对单一个人而言。大量实验和流行病数据与这项假设并无矛盾。有理由相信，在委员会所关心的低剂量和剂量率的情况下，这项假设不会低估了危险性，事实上还可能高估了这种危险性。

14. 本报告在一个重要的方面与过去的报告有所不同。委员会过去只估计有限几个重要组织（例如性腺、肺和骨髓）的吸收剂量，现在则把所有各个器官和组织所受到的剂量合起来，称为“有效剂量当量”（参看第66至69段）；委员会相信，

这样可以更好地表明受到辐射的人口所遭受的全部危险。由于这项改变，本报告对若干放射性物质的相对重要性的估计，有的与委员会过去的报告相比是有所不同的。

1. 天然辐射源

15. 人类受到辐照的平均年剂量，有一大部分来自天然辐射源，其中包括外在辐射源，例如宇宙线和地下及建筑材料中的放射性物质，以及内在辐射源，即在呼吸和饮食时从空气和食物中摄进体内的天然放射性物质。现在知道，呼吸是最重要的途径，其次是外来辐照和饮食。通过呼吸摄入的有效剂量当量，大部分来自氡——一种存在于室内空气中，浓度往往相对颇高的放射性惰性气体。

16. 天然辐照的独有特点是，它影响到全世界所有的人，而且从很久以前直到现在，辐照率一直相对地稳定不变。因此，可以用它来作为与人造的电离性辐射源进行比较的参照基准。

17. 某一个人从天然辐射源受到的剂量有多少，依赖于若干因素，包括居住的地方、房屋的类型和所在的高度。不过，对世界上大多数人而言，天然辐射源所致的个体剂量变化范围相信颇窄，也许只在平均值的一半到两倍之间。

18. 虽然如此，但当单独考虑天然辐射源所致的剂量时，通常会发现有些人所受到的辐照量大大高于平均值。这样的例子有：所住地区的土壤和岩石含有大量天然放射性物质的人；住在氡浓度较高的建筑物里面的人；住在海平面上高空地方的人；和所吃食物含有浓度异常高的放射性物质的人。

19. 委员会过去在1958、1962、1966、1972和1977年的报告中曾经讨论了从天然辐射源受到的辐照。由于进行测量的次数日增，所以对剂量的估计，特别是对外来辐照剂量的估计，也日益准确。在本报告里，剂量用有效剂量当量来表示，突出了呼吸一途的重要性；平均来说，据现在的计算，天然辐射源所致有效剂量当量，约有一半是源于建筑物里面的空气所含的氡。

2. 人造辐射源

20. 从天然辐射源受到的辐照，年复一年差别很微，而且全世界所有的人受到影响的程度也大致相同。与此相反，人造辐射源可能随着时间发生显著变化，其辐照影响对一群人与另一群人也可能大不相同。

(a) 医疗性辐照

21. 目前，从量来说，人从人造辐射源受到的辐照，以医疗性辐照居首位。辐照在医疗上既用于诊断（例如X光透视或核医学检查），也用来治疗疾病，主要是治疗癌症。病人受到的剂量变化极大：许多诊断性检查所用的剂量非常轻微，而临床放射治疗所用的则很高。由于医疗性辐照通常只对身体上有限的部位进行照射，所以过去很难拿这种辐照来同其他种类的辐照进行比较。本报告采用有效剂当量的用意，就是想减少这种困难。

22. 个体年剂量，最低的是零——如果病人没有接受任何诊断性或治疗性照射；最高是对接受放射性治疗的病人进行的照射，可达天然辐射源所致平均年剂量的几万倍。在这种情况下，平均剂量并无多大意义，虽然集体剂量也许可以在某种程度上显示出医疗用辐射源所造成的影响。在工业化国家里，X光和核医学诊断照射的每年集体有效剂量当量也许是天然辐射源所致集体年剂量的一半左右。委员会没有对病人所受治疗性辐照的剂量作出估计。不过，如果想估计这方面的剂量，需要采用不同的方法，因为这种辐照一般是施于年纪较大的人，他们的估计寿命已经比较短，所以呈现长期后果或潜伏性辐射引发后果的几率较低。

23. 至于发展中国家，通过同世界卫生组织合作，现在才刚刚开始得到一些资料。这些资料显示，人们接受检查的次数约比工业化国家少十倍。因此，全世界医疗性辐照的每年集体有效剂量当量可能是天然辐射所致每年集体有效剂量当量的五分之一左右。虽然其职务与医疗性辐射的使用有关的工作人员所受到的个体剂量

不应忽视，但是对集体剂量来说，职业上受到的辐照总量与病人所受的辐照相比是无关紧要的，因为所须考虑到的这种工作人员为数相对很少。

24. 委员会过去在1958、1962、1972和1977年发表的报告内曾提出了关于医疗性辐照的资料。不过，由于所能获得的资料有限，加上剂量估计是否准确也颇有疑问，所以不易对这些年来集体剂量的变化趋势作出估计。在工业化国家里，这些年来人们接受检查的次数不断增加；而另一方面，在这段期间，设备也在不断改良，所以每次检查受到的剂量应该比较低。这两种趋势也许在某种程度上仍得到互相抵消。在本报告中，为了便于比较，委员会假定医疗性辐照的集体年剂量大致上保持稳定不变。

(b) 核爆炸

25. 大气层核武器试验所产生的人造放射性物质，是环境受到广泛沾染的原因。这种物质大部分是先注入高层大气，然后慢慢转移到低层大气，再落到地面，整个过程通常称为沉降。沉降中的放射性核素，如果存在于接近地面的空气中，将会通过呼吸对人造成辐照；当它们落到植物上或泥土里时，则会通过外来照射和饮食对人造成辐照。

26. 核外炸始于1945年。在1954至1958年和1961至1962年两段期间，进行了大量的大气层核试验计划。1964年以后，还再进行了一些大气层核爆炸，最近一次发生于1980年10月。地下核爆炸过去和现在都有进行，但所导致的环境沾染相对比较轻微。如同以往各次报告一样，委员会估计了大气层核试验使全世界人口受到的辐照。虽然核爆炸产生几百种放射性核素，但是大多数若非衰变期极短，就是数量极少，所以只有少数几种对人造成显著的辐照影响。委员会在本报告中考虑了21种放射性核素，其中包括碘131、锶90、铯137和碳14。由于这些核素的衰变时间长短差别很大，所以它们在核爆炸试验之后产生的辐照具有不同的剂量率。例如，碘131的辐照为期只有几个星期，锶90和铯137和碳14。由

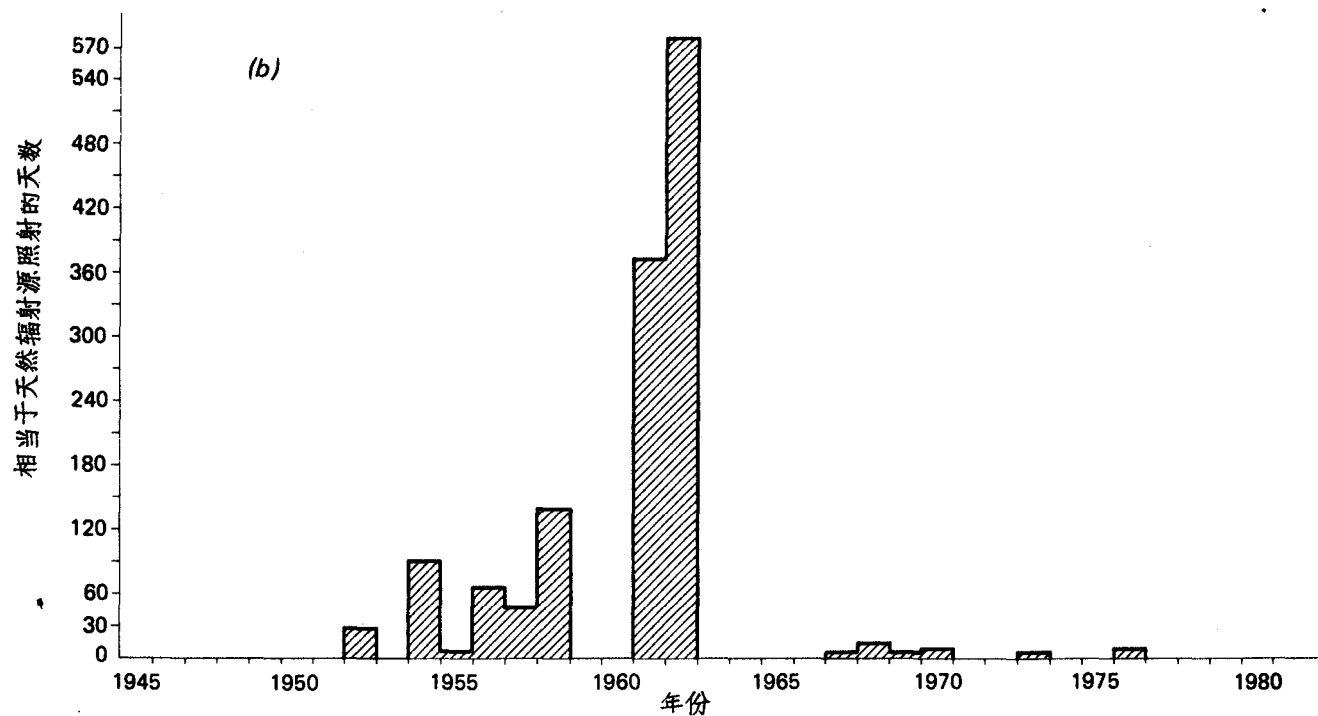
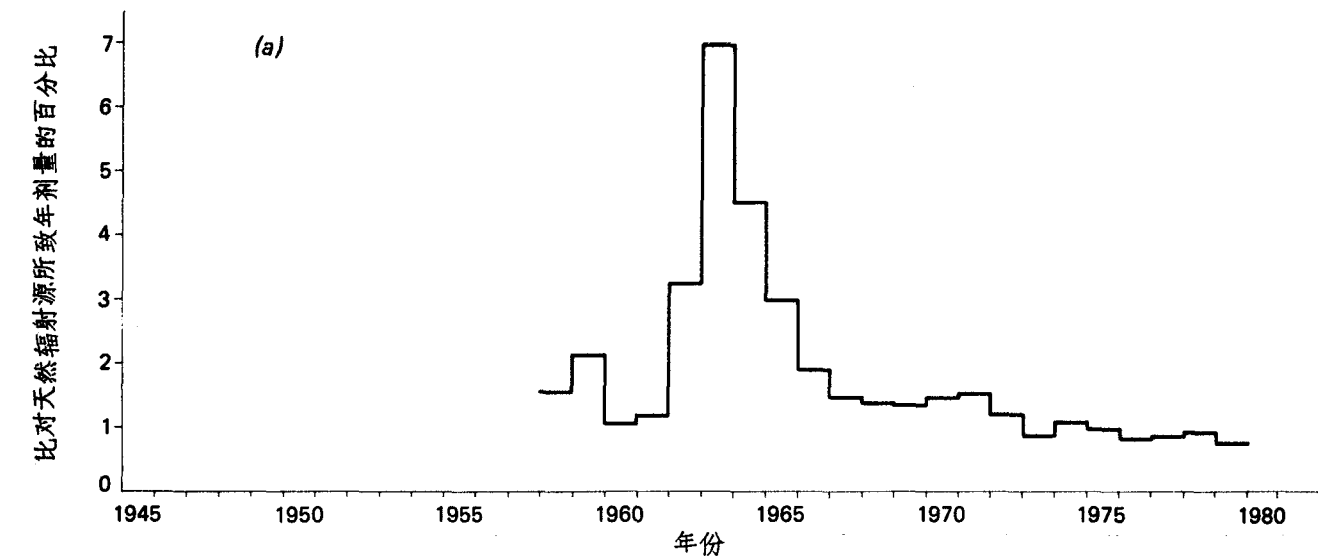
于这些核素的衰变时间长短差别很大，所以它们在核爆炸试验之后产生的辐照具有不同的剂量率。例如，碘 131 的辐照为期只有几个星期，锶 90 和铯 137 要几十年才停止，碳 14 则长达几千年。

27. 在任何特定的时间，剂量的多少也依赖于所考虑的地点在哪里。沉降随着纬度而变，南半球的剂量一般只有北半球的四分之一。此外，当地沉降（在试验地点附近）有时使小群的人受到较高的个体剂量。

28. 将集体年剂量表为平均天然本底辐照的百分比，可以说明核试验所致辐照的每年趋势。图一(a)显示出长期的趋势，是根据本报告和委员会过去各个报告中提供的资料计算出来的。1960 年代初，集体年剂量出现激增，至 1963 年达到最高峰，约相当于天然辐射源辐照平均值的 7%。到 1966 年，年剂量降到天然辐射源辐照年均值的 2% 左右，现在则为不到 1%。假如以后再没有大气层核爆炸，则今后的年剂量将越来越小，直至完全消失。

29. 图一(a)所示全世界人口在任何特定时间受到的平均集体年剂量，是那个时间以前发生的所有核爆炸的总结果。同样值得研究的是在每一年的试验所产生的放射性核素完全衰变以前人们所须承受的集体剂量的趋势。图一(b)显示的就是这种趋势，从图中可见，在迄今各年的核武器试验所产生的沉降所造成的总影响之中，以 1961 至 1962 年的核爆炸的影响最大。

30. 在图一(b)中，集体剂量的表示单位，是对全世界人口造成同样影响的天然辐射源照射天数。假如全世界人口是以固定不变、与天然辐射源的平均辐射率相同的剂量率受到这种辐照，而不是分几千年以不规则的低剂量率受到辐照，那么，沉降所致的集体总剂量就等于给现有的天然辐射源照射大约 4 年的剂量。因此，可以这样说：沉降的影响相当于大约 4 年的平均天然本底辐照。从图一(a)可以算出，迄今所已受到的辐照的集体剂量，等于给天然辐射源照射大约 0.4 年。其余等于大约 3.3 年天然本底辐照的剂量，是沉降里面的放射性核素全部衰变完毕之前将会发出的辐照剂量。沉降所产生的影响，有 50% 将在未来 2,000 到 3,000 年内以低剂量率辐照的形式表现出来。



图一. 大气层核爆炸所致的集体剂量随时间变化的趋势。 (a) 1958 至 1979 年受到的平均集体年剂量；
(b) 1945 至 1980 年间进行的核爆炸使人们在其后要承受的集体剂量。

(c) 核能发电

31. 自从委员会上一次报告以来，运转中的核反应堆数目又有了增加，到1979年共有235台，核能发电装机容量共计约120京瓦。用核反应堆发电，要通过一个包含许多步骤的燃料循环，即：开采铀矿和进行精选；转化为不同的化学形式；（在有的情况下）浓集铀235同位素的含量；制备燃料元件；用核反应堆进行发电；（在有的情况下）对辐照燃料进行回收处理；在各个设施之间运送材料；最后是处置放射性废料。委员会为核燃料循环的每一个主要步骤计算出了工人以及广大民众所会受到的剂量。

32. 关于广大民众所受的剂量，要知道的是，在任何特定的时间，象核能发电厂这样的辐射来源对某一个人的辐照剂量，十分依赖于那个人与辐射源的距离。同时，对于处在某一特定地点的人，核能发电厂释出的物质所致的辐照剂量，会随时间——包括它停止运转后已过了多长时间——而变化，因为放射性核素一直会留在周围环境之中。因此，很难为这种辐射源确定一个具有代表性的个体剂量值；不过，可以将所有的人现在和将来在不同空间和时间受到的个体剂量全部加起来，来估计它的总影响。作为指示性的个体剂量则可以用几种不同的方式来表示。

33. 例如一所选用的剂量值可以是一个人（现在或将来）从一个特定辐射源的运作而受到的（或将会受到的）最高剂量。不过，实际上的个体剂量应介于零与那个最高值之间。或者，对于任何特定的年份，也可以平均计算全世界所有人的年剂量，而得出每人平均年剂量。上述这些估计数值都不能完全反映真实的情况，不过对于某些特殊的用途来说，每一种估计都可能有一定的用处。

34. 尽管有上述种种概念性的困难，但是对于受到了辐照的个人，仍然值得对他所受到的个体剂量作出估计。例如，知道了最高个体剂量，就可以大体上知道一个特定的辐射源所能造成的危险的上限。在分析随时间变化的趋势时，特定时间下全世界人口的平均年剂量可以用作有用的指导。不过，应当再次强调指出的

是，这些数值只是指示性的平均值，不可以当作是某一个人实际上受到的辐照。

35. 与核工业有关的放射性物质，差不多全部存放在反应堆场地或者特别储存设施里面；不过，在作业过程的大多数步骤中，都会有少量放射性物质漏泄到周围环境里去。大多数漏泄的放射性核素衰变得很快，因此只在当地发生影响。不过，有些寿命较长或者扩散得较快的放射性核素，会散布到全球各地，使全世界人口在现在以及在某些情况下在将来很长一段时间内受到辐照。

36. 粗略估计，这种辐射来源使广大民众受到的短期集体有效年剂量当量，于1960年是天然辐射所致的相应剂量值的0.0001%，到1980年已增至约0.01%。剂量增加的直接原因，是核能发电在这段时期内不断扩充。在广大民众之中，每个人所受到的年剂量有的多，有的少，与平均值差别很大，受到最高剂量的通常是住在核设施附近的人群。根据报道，核反应堆周围的典型剂量值约在天然辐射源所致平均有效年剂量当量的几百分之一到几十分之一之间。此外，核能发电工业里从事辐射工作的工人所受到的典型有效年剂量当量，大约与天然辐射源所致的相应平均值相同。

37. 核能发电厂作业中漏泄的长寿命放射性核素，和含有生产尾矿或须予排除的高辐射强度废物的流出液，是造成长期辐射影响的原因。委员会粗略估计了漏泄后500年期间的长期影响。按1980年的水平计算，每一年核能发电对广大民众的长期影响约等于2小时的天然本底辐照，而短期辐射影响则估计等于给天然辐射源照射大约30分钟。长期影响的有效剂量当量大部分是生产尾矿释出的放射性核素所致，它会在一段极长的期间内排出氦。改进管理办法可以降低氦的排出率，使它减少几个数量级。在遥远的将来（几千年以至几百万年后），从生产尾矿或废物埋藏处释出的放射性核素有多少，将会受到地质和气候变化的影响，目前很难预测。这些释出物所致的估计剂量，还依赖于那时候人们的生活习惯，而那些习惯可能同现在的很不一样。

38. 假定未来500年内的裂变反应堆核能发电率与现在相同，则委员会估计，

最高集体有效年剂量当量可能等于每年从天然辐射源受到的相应剂量的几分之一。必须强调指出的是，这项长期预测是基于现有的技术，因此可能须加修改。将现有技术加以改进，例如采用快中子反应堆或其他先进的燃料循环技术，或者较好地密封保持长寿命放射性核素，就很有可能可以进一步减少将来这种作业的长期影响。

39. 在核能发电中受到的职业性辐照，估计起来容易得多，因为大多数从事辐照工作的工人都是个别地受到剂量监测的。在目前的核能发电水平下，职业性辐照所致的集体有效年剂量当量约等于从天然辐射源受到的相应剂量值的 0.03 %。

B. 放射生物学的新发展

40. 辐射产生的生物影响主要是通过将能量留存在被照射过的个体的细胞内。在这方面可将细胞分成两类：个体死亡即无生命的体细胞；其功能在于传给新个体遗传信息的生殖细胞。照射的肉体影响发生在体细胞内，顾名思义，这种效应一定是在被照射人士有生之年显明。另一方面，发生在第二类细胞的遗传影响就要等到被照射人士的后代（下一代或更晚的某一代）才会显出。

41. 一般说来，放射生物学上的重要影响是以两种方式来干扰体细胞的分裂：它们可能使被照射的细胞停止分裂而终于死亡；或使细胞具有无节制分裂的能力，即癌症的特性。照射影响通常因其显出的早晚而有早期与晚期影响之分：在照射后数小时以至数星期显示的为早期；数月以至数年之后的为晚期。

42. 委员会以往的惯例是不拟在任何一份报告中讨论对于动物和人的所有生物影响，而只拟研讨一些特定领域，视所集得资料的数量与在某一段期间内要研究所有领域的需要情况而定。本报告的编写也是按照此一通例。在肉体影响方面，本报告考虑了对整个躯体或某些特选组织施加照射的某些非癌性影响。而为了对风险的估计，在关于遗传影响的知识方面，作了最新的补充和评价。

1. 遗传影响

43. 在遗传影响方面，根据最近的出版物作出了重要的结论。它们使委员会更具信心，即以前的假设和风险估计仍基本上正确。这些估计曾经与自发的遗传缺陷进行比较，这些自发的遗传缺陷在不同的严重程度，约影响了所有活产婴儿的10%。类如电离性辐射的自然物剂以及某些毒性化学药品，可由于改变遗传的基本单位基因而与睾丸或卵巢内的生殖细胞的遗传物质起作用（从而引起基因突变），或可与其上附着基因的染色体的结构或数目起作用（从而引起染色体畸变）。遗传物质的改变可能引发广大种类的遗传影响，其中有些会有严重的临床后果。

44. 利用基因突变和染色体畸变作为实验观察的终点，较之在各种生物中的关于剂量与影响关系的数据。这些比较加强了一项假设，即可期望某些基因突变的自发率与诱发率成比例的关系。这项基本假设已被应用于间接的风险估计法。

45. 使用这一间接方法，委员会在1977年估计：当人群连续暴露在线能量转移率低的每一代（=30年）0.01格雷的低剂量之下，可预期每一百万第一代后人中会产生63个新的遗传病例。这项估计中的遗传病症，有很大一部分是关于由染色体数目反常所引起的。不过，对动物和人进行实验的数据指出一项可能性，对于属染色体疾病类的病症估计数可能低于以往的估计。有鉴于此，委员会如今估计：当人群在上述的照射情况下，遗传病症的增加数在第一代方面可能约为每一百万次生育中有20个（而不是63个）左右，而在平衡数方面是每一百万次生育中约150（而不是185）个（或如暴露在每一代1格雷的照射率下，将在第一代和在平衡数方面分别约有2000个和15000个病例）。

46. 如同1977年的报告，也使用了直接方法来估计遗传失常的风险。使用这两种不同方法（即间接法与直接法）得出的估计数相当接近。

47. 根据对猿、罗猴和人的研究结果，重新评价了由辐射的某一类染色体影响

(相互易位)所引起的风险。不过,对于带有这种易位的生物个体的健康影响,在目前还不能得出可靠的评断。

48. 我们对于辐射在进行实验的哺乳动物中可能引发的某些较重要种类的遗传改变的剂量与反应之间的关系和其他方面的知识,又有了新的进展。在缺乏关于人类受照射后的遗传影响的可靠结果之前,广泛地使用遗传危险估计的实验数据仍被视为是主要的。对于更详细地分析关于受损害方面的遗传影响,也拟定出了一些建议。

2. 肉体影响

49. 本报告的结论之一是:在低的剂量和照射率的情况下,没有发现引起非肿瘤性的影响。这项结论对于全身或某一器官的照射均适用。在类似程度的剂量和照射率下,导致癌症可能是照射对动物和人的唯一肉体影响。

50. 在1977年的报告中,委员会讨论了使得对于人的致癌风险作任何正确评价极为困难的一些因素。但尽管有这些困难,委员会当时仍然提出了对于人的实验数据的分析,和由此得出风险估计的分析,以供作为在决定实际数值时所必需的出发点,特别是作为照射防护政策的科学标准。

51. 鉴于新流行病证据的数量有限,在短时期内重复同样的分析实无意义。委员会转而依据导致肿瘤的某些基本模式,进行了考查在对动物和人的实验中任何可能有重要性的知识。其范围是评价会影响对使用某种或另一种照射作用的模式的估计的可能误差。这种研究可被视为在没有直接证据的低剂量和低照射率情况下,估计风险范围的一种间接方法。

52. 不过,在获知委员会某些分析所根据的关于在广岛和长崎原子弹幸存者的剂量估计需作修正时,委员会决定暂缓出版根据这项研究的文件。不仅是暴露人群

所受到的总剂量，甚至在现用的 T 6 5 D（暂定 1 9 6 5 年剂量）中中子与 r 射线各成份的相对剂量，都成问题。所提修正的结果是，两个城市的中子剂量成份要减少，在广岛的 r 射线成份要大量增加，而在长崎的 r 射线成份要略减。此外，在能对幸存者的个别器官剂量确定可靠的订正估计之前，还必须考查许多其他因素和将其考虑在内。这个问题在技术上很复杂，看来短时间内不可能对所提议的订正作彻底的调查和取得协议。

53. 委员会关心等待这方面的新研究成果，因为它们将是照射风险估计所必需的一项根据。同时，委员会要强调一点，他不认为这些修正会对委员会 1 9 7 7 年报告中下述的风险估计有重大影响，即 x 与 r 射线诱发致命癌症的危险，对男女两性和所有年龄的平均，在相当于 1 年天然背景的有效剂量当量的照射下，是在 2×10^{-5} 等级。如此是有两个原因。一、虽然仍不可知如被接受的修正对于风险估计究竟将有多大影响。但这种影响似不可能超 2 这个系数。的确，与得自广岛和长崎的数据更为接近，可终于加强对这些估计的信心。二、委员会用来得出估计数的人受照射的资料来源很多，从该两城市的原子弹幸存者得出的资料仅为其中之一。

54. 虽然因此预料 x 和 r 射线在人体中致癌的估计方面不会有重大改变，但是如果这种剂量修正证明属实，那末就不再有一项关于全身中子照射的重要假定来源。对广岛和长崎原子弹幸存者所受剂量的计算方法，将受到仔细考查，而委员会将继续研究剂量与影响的关系。

55. 关于大多数为癌症的各种疾病的辐射治疗，对人体某些器官和组织照射的影响已有了大量的资料。如今需要对这些数据进行审查，并证实它们与其他目的对动物进行实验所得的资料相一致。委员会的研究考虑了：照射正常组织引起的早期和晚期的非随机伤害的性质（参看附件 J）；对各种动物品种，特别是人，会造成明显的某种形式的早期伤害的剂量阈；照射的某些重要变数（照射质量、疗法的分次）对于这些剂量阈的影响。

56. 出现了两个统一的观念。一 组织的伤害主要视某些构成细胞的生殖能力的丧失而定；二、在很大的程度上，各种组织的结构和功能决定了对它观察到的反应的时间和程度。必须从大多数在高剂量和高照射率情况下收集的经验，得出适用于实际最有用的照射情况——低剂量和低照射率——下的知识。最后，需要依靠在辐射治疗中对正常人体组织照射所取得的经验。

57. 这项研究很有用，它提供了有关每一种组织的大量资料。从如此复杂的分析得出的最普遍的结论是：非随机的对组织的影响通常与剂量的关系是非线性的，并有明显的低剂量阈。这些情况对于任何考虑非随机的组织伤害都是至为重要的。虽然阈值可能因各种组织及某一特定影响而有差异，但产生这些影响的原理使得不大可能在低的剂量和照射率中消除这些阈。因此，如果将无阈效应适用于或假定适用于引致癌症时，那么在不到阈值因而还看不见非随机的伤害的低剂量时，可能已引致了癌症。为此，在规划辐射防护时，致癌可能被通常视为在低的剂量与照射率情况下的最重要的一种影响。

58. 在身体局部照射的情况下，原则上在影响和症状的显著性和发病机理都可能成问题时，它较全身照射易于确定对器官和组织中的靶细胞所造成的伤害。一个典型的例子是通常但不正确地称为“老化”或“不定期寿命缩短”的全身照射影响。委员会对照射引起动物和人的老化的实验结果进行了分析。由于自然老化的生物机理还全然不明，在缺乏可信的实验数据的情况下，似无足够的根据来假定可能的照射影响，不过，也不可绝对排除这种可能性。因此，本项研究仅限于照射引起的寿命缩短。

59. 虽然寿命长短通常被用来作为老化的衡量尺度，但它不过是保险统计员所用的数字而已，忽略了导致死亡的许多因素之间的错综复杂关系。众所周知，平均说来，受照射的动物和人群的寿命要比在适当控制下一群为短。不过，要确定死因可能极困难，虽然仅有的合理方法是将死亡归咎于某些具体原因，并从而实际决定

可能的不确定的机理。大量的文献显示，在剂量和照射率低的情况下，缩短寿命主要是由于超过自发率的生癌。从造成寿命缩短的所有影响中减去由于生癌的影响，没有证据显示有其他的不确定机理造成另外的缩短。这项结论见于许多文献，它适用于人和其他哺乳动物。的确有一些与此抵触的证据，但委员会认为这还不足以推翻此一结论。可能在这方面需作进一步的研究。

60. 要紧的是风险估计方式的拟订应从有广大适用范围着眼。关于这点，亟须确定在自然普遍存在的致电离辐射作用的影响，是否会因其与在环境中广泛分布的其他（物理的、化学的和生物的）作用互生影响而有所改变，因而影响到广大人群，并可能改变对风险的估计。

61. 虽然常有提到这种交互影响的可能性，但肯定的证据，特别是关于对人的风险估计有重要性的影响方面，为量尚少且不一致。因此，委员会的分析必然大多数是理论性的，从一些出版物中举例说明。不过，它已显示出要彻底处理这个问题的复杂性，因为起交互影响的作用的性质、各种可变的作用机理、剂量、施行照射的次序和时间安排，可能引起各种不同的交互影响。

62. 本项研究考查了某些在特定情况下（大多数是职业性）重要的作用，其中有最详细文献可考的是对铀矿矿工引起肺癌的抽烟与子代氡的 α 照射的交互影响。虽然这项研究结果肯定可适用于某些职业情况（并可能关系到当地主管的行动），但是委员会考查显示这并不减少广泛应用辐射风险估计的普遍真实性。需要针对这些问题进行更多的研究，且需有一致的战略和合理的选择要研究的各项作用。委员会就这方面提出了建议。

三. 报告正文

63. 委员会本章在概述了其评价所使用的观念与数量的首节之后，有系统地讨论自从提出上次实质性报告以来委员会研究中可得出的各个有关领域的具体结论。各节第一段总结该节的内容。委员会作出结论所根据的资料和分析见科学附件A至L。

A. 数量和单位

64. 在辐射影响的研究中，通常是求出影响的效应或程度的可能率与所受辐射量的估计之间的相关关系。为此目的所用的基本数量是受照射生物对象每单位质量所吸收的能量，称为吸收剂量。

65. 为估计风险，可能需要加权不同辐射所占的份量，以便计算它们不同的生物效能。国际辐射防护委员会为辐射防护目的所规定的一个加权数量是剂量当量，它是从一已知辐射剂量乘一个由广大范围实验观察得出的加权特性系数得出。因此，剂量当量 H 等于吸收剂量 D 与特性系数 Q 以及国际辐射防护委员会建议的任何其他有关系数的乘积。

66. 最近在风险估计方面的一项重要发展，亦为本报告所采用的便是有效剂量当量的定义。这是出于在风险评价中需要兼顾身体的均匀照射与部分照射。为此目的，身体某一部分受照射所需使用的加权系数，应与用同一剂量当量的全身照射所预期的效应比较，会引起随机效应的风险成比例。例如，若用同一剂量当量，照射一个器官的效应要比全身照射预期会有的效应小10倍，则为了将各不同器官所受照射相加而能得出相等的风险时，则为该器官的剂量当量所定的加权系数应比全身的小10倍。国际辐射防护委员会为防护目的已提供了各器官所适用的加权系数，而本报告即全部使用这些系数。

67. 国际辐射防护委员会所界定的有效剂量当量并非为风险估计而作，但被用为合适的剂量数量以与施加的剂量限度相比较。由于各器官加权系数是所有各种年

龄和男女两性的平均值，因此有效剂量当量并不适宜于反映某一个人受照射引起辐射生癌与严重遗传伤害的可能率，但能指出包括两性和所有年龄的不均匀人群的平均风险。

68. 对于这样的人群，预期从低照射剂量受到的伤害是假定与集体剂量成比例，集体剂量是平均个体剂量乘以受照射的个体数目。因此，某一辐射来源的辐射影响可以在整个空间和时间对集体剂量的所有个别影响的总和得出。当涉及某一假定会造成这种当前与将来的照射的作为时，这个总和叫做该作为的集体承受剂量。

69. 总结，将吸收剂量加权得出剂量当量，这使得可能得出不同种类辐射的生物效率。有效剂量当量的使用，考虑到身体不同器官受照射时的相对风险。集体剂量使能估计受照射的人群所预期的伤害。承受剂量观念表示由于造成照射的作为而引起的将来预期的全部伤害。这些观念看来虽然复杂，但它们却便于评价不同辐射来源的剂量和风险，及对其作互相比较。

70. 在考虑放射性物质自发的辐射时，宜于以（放射性核素的）放射性强度来表示这种放射。放射性强度是放射性核素每单位时间内发生核转变的数目。国际单位制用的是秒的倒数（ s^{-1} ）。用于表示放射性核素的放射强度时，秒倒数的专有名词是贝克雷尔（贝克）。因此

$$1 \text{ } s^{-1} \equiv 1 \text{ 贝克 (Bq) (用于放射性强度)}$$

国际单位制中的吸收剂量与剂量当量均用焦耳/千克（ $J \text{ kg}^{-1}$ ）。 $J \text{ kg}^{-1}$ 用于吸收剂量的专有名称是格雷（Gy）。因此

$$1 \text{ 焦耳/千克 (J kg}^{-1}\text{)} \equiv 1 \text{ 格雷 (Gy) (用于吸收剂量)}。$$

$J \text{ kg}^{-1}$ 用于剂量当量的专有名称是西弗特（Sv）。因此

$$1 \text{ 焦耳/千克 (J kg}^{-1}\text{)} \equiv 1 \text{ 西弗特 (Sv) (用于剂量当量)}。$$

B. 辐射量和剂量

1. 剂量估计模型⁴

71. 为了计算受辐照的人从辐射源所受到的剂量，有必要使用一些关于辐射源所放出的放射性物质或环境中存在的放射性物质的测定数量或计算数量同受辐照的人所受剂量之间关系的模型。在这方面使用了环境传输模式和剂量计量模式。作为下面所讨论的估计办法的背景材料，本节对委员会所采用的主要模式作出介绍。

72. 委员会审查关于人类受辐照情况的资料的目的有几个。其中一个目的是估计个人受辐照的程度，另一个目的是估计群体受辐照的程度，第三个目的是提供基本数据。一个人受辐照的程度和该人健康因而受影响的可能性之间的关系是很复杂的。按照目前的认识，假设受辐照越多受害危险性越高是合理的。委员会在进行评价时所根据的主要（直接和间接的）假设是某一种组织发生随机效果的可能性同该组织中的剂量当量之间呈线性关系，即使到达最低剂量亦是如此，同时比例系数因不同组织而异。这个基本模式是极其重要的，因为如果没有线性关系，就不能将剂量相加以衡量总共的危险性，也不能计算集体剂量来表示受辐照的人所受到的总共的损害。

73. 个人在工作时所受到的辐照常可以直接测量。在一段时期内（例如一年、整个工作生命期间、整个生命期间）所受到的这种辐照可以反映出所受到的危害的程度。在估计一般人，无论是个人还是集体所受的辐照时，就不可以进行直接测量而必须进行间接测量，其方法是使用关于某一放射源所释放出的放射性或环境中存在的放射性的测定数量和计算数量同受辐照人所受剂量之间关系的模型。这种模型可分两大类：环境模型和剂量计量模型。环境模型描述放射性核素在被释放后在环境各部门中的运动。剂量计量模式包括预测放射性核素在进入人体后的表现的模式和估计体内或体外放射性核素在器官中所产生的剂量的模式。

⁴ 这个问题在题为“剂量估计模型”的附件中有详细论述。

74. 如果可以在足够多的地方和足够长的时间内测量从空中或地上的放射性核素吸收的剂量，就可以不用环境传输模式而算出个人或群体从外来辐射吸收的剂量。同样，如果可以在足够数量的人中测得有关放射性核素在器官或组织的放射性浓度，就可以只用剂量计量模式（不需要环境传输模式）就算出放射性核素的吸收剂量。在许多情况下，尤其是在测量自然存在的放射性核素和核爆炸所产生的放射性核素方面，委员会因为在不同的地方和在足够长的期间内进行了充分的测量，因此可以直接估计剂量。

75. 可以通过测量空中或食物中放射性核素的放射性浓度较间接估计体内剂量。在这种情况下，需要一些额外的资料（从空中和从有关食物吸收到体内的放射性核素）和需要采用剂量计量模式来估计核素进入体内之后器官和组织所吸收剂数量。这些较间接的方法被用来估计核爆炸所产生的一些放射性核素，并且常常被用来补充范围较有限的人类测量方案。它们还被用来估计在核设施有意释放出一些核素后群体所吸收的剂量。由于要采用这种测量方法就需要做大量的准备工作以确保所监测的食物是有关放射性核素进入体内的主要媒介，因此太过依赖这种方法是有困难的。对于那些不是均匀分布在环境中的放射性核素，不能用这种方法来确定集体剂量。

76. 有时候，直接测量是不实际的。这可能是由于在测量适当媒介中的有关放射性核素的活性浓度方面存在着技术困难，也可能由于在获得样品方面存在着困难，或由于放射性核素和可能的进入体内的途径太多。直接测量也可能是不实际的，因为需要估计剂量（例如算出集体剂量）而不是在剂量进入后再进行测量。在这种情况下，需要采用模式以便从关于释放在环境中的放射性核素的数量和释放率的数据算出剂量和剂量分布情况。剂量和释放率之间的关系取决于许多因素，例如释放的条件、核素的物理化学状态、核素是否释放在大气中、水中或地上、接受核素的环境的特性。一般来说，委员会所关注的环境模式是将实际传输过程从简化的数学方式加以表示。其中一些过程已有较深的了解，可以用较精确的数学模

式来表示，这些模式是根据实际测量制订的。通过食物传输例如锶-90等放射性死灰核素就是一个例子。对于其他了解不太透彻的过程就很难核实测量模式。

77. 附件A审查了委员会所用的模式，但本章不准备详细介绍这些模式，但是可以指出在该附件中，委员会介绍了大气（地方区域和全球）模式、水（河、湖、海）模式和陆地传输模式。委员会还审查了模式的基础和各种辐射进入人体的详细途径。这些材料为估计放射性物质分布在环境中的剂量提供了必要的背景资料。

2. 从自然辐射源所受到的辐照，包括从 因技术发展而有所变化的辐射源和从 产生辐射的消费品所受到的辐照

78. 从委员会在这方面的工作中所得出的主要结论是自然辐射源所导致的集体剂量主要是来自惰性气体氡的衰变产物。新近进行的一些研究审查了若干氡的来源，例如建筑材料、地下自来水和天然气放出的氡。目前正在研究若干因素（发射能量、建筑技术和通风设备），这些因素可能对这些来源产生巨大影响。在这种因素的重要性为大家所认识的同时，技术的进展大大增加了室内氡的浓度。在其他自然来源、加强的辐射或各种消费品所产生的辐照方面，目前的估计同过去的估计相差不远。

79. 委员会经常对人类从自然辐射源所受到的辐照提出报告，这是因为在目前（在可见的将来也可能可能如此）世界人口所受到的大部分集体剂量都来自这种辐射源。这些辐射源的主要特征是它们是无所不在的，并且在人的整个生命期间都在极缓慢和相当稳定地被吸收。除了氡的衰变产物所产生的辐照外，自1977年的报告以来，人们对自然辐照的认识没有多大的增加。因此本报告仅是补充一些最新结果而已。但是，由于取得了一些关于因技术发展而有所变化的自然辐射和消费产品的辐照的新资料，现在可以更准确地估计这些放射源及其所产生的剂量。

80. 地球上的任何生命都无可避免地会受到自然辐射源的辐照。自然辐射源可分两类：来自地球以外的环境（即宇宙线）和来自地球的辐射源（即地球表壳中的辐射源）。这些辐射源从人体外向人体辐射。另外还有这两种辐射源通过正常生理途径被吸收到人体内所产生的体内辐照。生活在自然环境中的人类受到所有这些辐射源的辐照。

81. 在有些情况下——主要是同技术发展有关——人类所受到的这种自然辐射源的辐照发生了变化。空中旅行、用天然气来取暖、生活在燃烧化石燃料的发电厂的附近等就是加强自然辐照的一些例子。如果没有这些有关技术（这些并不是旨在产生辐射的技术），这种辐照就不会产生。在本报告中，这些辐照被称为“因技术发展而有所改变的自然辐照”，本报告将这种辐照同真正的自然辐照分开处理。

82. 从委员会过去的分析中已知道体内辐照的很大一部分剂量来自吸进体内的氢、钍射气及其衰变产物，因此已为本报告进行了一项关于这些核素的全面研究，以调查这些核素在生活和工作环境中的数量、它们在自然环境中变化的情况及其原因、在何种情况下这些核素在人体，尤其是肺部辐照中所产生的剂量会受到影响。这些研究的结果将另外讨论（见第108—116段）。

83. 最后，还有广泛使用的消费品所产生的辐照，它们具有放射性的一个原因是在其中故意加入的放射性物质，另一个原因是在其发挥正常功能期间产生的辐射。消费品的辐照在某种程度上同因技术发展而有所变化的辐射源的辐照相似，但是，一起讨论这两种放射源只不过是图方便而已。

(a) 自然辐射源⁵

84. 在体外辐照问题方面，委员会单独评价了宇宙线（离子和中子组成部分）所产生的剂量——地球上钾-40、铀-238和钍-232及其衰变产物所产生

⁵ 附件B“自然辐射源的辐照”中对这个问题作了广泛评论。

的剂量另外讨论。地球表面的宇宙线组成部分通常非常稳定，但是它却随地磁纬度而异，并且随着离海平线的高度而增加。因此，居住在高地的人所受的剂量比住在低地或海平线的人所受的剂量要高得多。住在海平线的每年从宇宙线所受到的体外剂量大约为 0.3 毫西弗特。

85. 地球所产生的自然本底取决于含有自然放射性核素的土壤和岩石的成分。目前所有的关于世界大片地区的户外地球辐射剂量的资料已足以推断出住在这些地区的大部分人每年大约受到 0.35 毫西弗特的剂量、标准误差大约为此平均值的 25%。这个数字是根据下列情况算出的：已知室内辐照率平均大约比室外高 20% 假设人们 80% 的时间是在室内。将这个人口加权平均数看成是人类所受到的地球辐射的“正常”水平大概是合理的。根据适用于住在正常本底地区的大量成人研究对象的平均值，从地球辐射所受到的体外剂量稍高于从宇宙线所受到的剂量。

86. 世界上有些地区从地球自然辐射源所受到的外来辐照可能大大超出正常的变化范围。已确定的这些地区为巴西、印度、伊朗、意大利和其他国家内的一些地区（有些地区已绘制了详细地图）。有些地方的居民每年所受到的剂量可比居住在正常本底地区的人所受到的剂量高出十倍以上。目前尚未确定这些高本底区同全球所受到的外来辐照剂量之间的关系。目前的估计是这项剂量不会超过全球集体剂的 10%。

87. 委员会还估计了吞进或吸进体内的放射性核素所导致的体内剂量。这些放射性核素分两种：产自宇宙线的核素（即由于宇宙线同上层大气的原子起作用而产生的核素）或原有的核素（即它们从有史以来就在地壳中存在的核素）。自然本底中很少一部分剂量是来自第一类核素。氚（氢-3）、铍-7、碳-14 和钠-22 是显著增加剂量的少数几种元素。在第二类核素中，氡-222 的短寿衰变产物是增加剂量最多的元素。其次为钾-40、钍射气（氡-220）和钍-210 的衰变产物。体内自然辐射源的有效剂量当量可大约估计为外来辐照的两倍。但是，居住在特殊住房条件下的人所受到的体内剂量的辐照可能大大提高。

表 1

“正常”本底地区的自然辐射源所产生的年度
有效剂量当量的估计

辐射源	年度有效剂量当量 (毫西弗特)		
	体外辐射	体内辐射	共计
宇宙线			
离子部分	0.26		0.26
中子部分	0.02		0.02
宇宙线产生的核素		0.015	0.015
原有核素			
钾-40	0.12	0.18	0.30
钷-87		0.006	0.006
铀-238系列 ^a	0.09	0.95	1.04
钍-232系列 ^a	0.14	0.19	0.33
共计 (最近小数点)	0.65	1.34	2.0

^a 这些数字为温带地区的数字。 热带地区的数字较低。

88. 表1摘要列出各种自然辐射源所产生的有效剂量当量。自然辐射源所产生的全球有效剂量当量估计为2毫西弗特,约为在室内吸入的氡-222和氡-220(分别为U-238系列和钍-232系列的一部分)的短寿衰变产物的剂量的一半。氡-222和氡-220的短寿衰变产物所产生剂量的重要性是在使用有效剂量当量的新概念后才认识的。在计算有效剂量当量时,肺部所吸收的剂量要乘上 α 粒子的质量因素20以计算肺中的当量,另外要乘上肺部器官加权因素0.12以得到有效剂量当量。因此,从计算肺部的吸收剂量到有效剂量当量之间需要采用的总转换系数为每戈瑞2.4西弗特。由于其他产生辐照的自然辐射源的总转换系数相当于每戈瑞1西弗特或少于1西弗特,氡-222和氡-220的衰变产物的有效剂量当量就显得很突出。世界上一个地区和另一个地区的室内所含氡-222和氡-220的平均浓度估计是不一样的,它们因通风率和住房的类型而异。本报告估计,在氡-222和氡-220的衰变产物所产生的辐照方面,温带平均值比全球平均值约高25%,热带平均值则约低70%,因此温带和热带自然辐射源所产生的年平均有效剂量当量分别为2.2毫西弗特和1.3毫西弗特。全球平均值为每年2毫西弗特,这同委员会在1977年报告中根据吸收的剂量估计的数值是相当一致的。目前认为全球每年的集体有效剂量当量约为 10^7 人西弗特。

(b) 因技术发展而有所变化的自然辐射源⁶

89. 下列各方节对前面称为“因技术发展而有所变化”的辐射源(见第81—83段)的特性作了简要介绍。

90. 烧煤的发电厂。煤含有微量的自然放射性核素。煤在燃烧后将这些放射性核素释放到环境中。这些核素从地壳深处跑到环境中重新分布,因而显著地改变环境中的辐射和人所受到的辐照。目前已有关于煤中活性测量和关于核素在发电厂内

⁶ 附件6“因技术发展而有所变化的自然辐射源的辐照”广泛地评论了这个问题。

和发电厂周围的情况的新资料。因此现在可以对这种辐照源所产生的剂量进行估计。

91. 煤在燃烧时，其中的矿物质就熔在玻璃化的灰中。这些物质大部分作为炉渣留在发电厂内，但是较轻的飞灰则被热气体带到发电厂的烟囱，其中一部分被释放到大气中，数量的多少视除灰设置的效率而定。释放到大气中的放射性核素的平均数量是根据发电厂报告的排出量以及煤和灰中测到的浓度估计的。估计排出量可反映出世界目前的情况。

92. 发电厂放出的放射性核素为住在发电周围的人所吸收的主要途径有下列几种：当烟经过时吸入体内、体外辐照、吸入和吞入积在地面的放射性核素。全身各部分的剂量基本上可以算出，并可估计各种核素各产生的剂量。

93. 在集体有效剂量当量方面，上述三种途径都提供了一定数量的辐照。主要的组成部分为钍的同位素（在云经过时吸入）和氡的同位素（沉积的核素所产生的体内辐照）。假设全世界70%采出的煤都用来发电，同时产生每千兆瓦的能需要燃烧3百万吨煤，则在1979年，全世界用煤所产生的集体有效剂量当量约为2,000人西弗特。为其他用途而烧的煤将产生更多的剂量当量。

94. 磷酸岩的使用。磷酸岩被大量用来作为磷肥的来源。它含有微量的铀-238、镭-226、钍-232和钾-40，在磷酸岩的工业加工和使用过程中，这些核素就重新分布在环境中，这种重新分布是通过排废、农业上使用磷肥和为其他目的使用副产品和废料进行的。

95. 工业上的排出物导致空中和液体排出物中的放射性核素浓度变化不定。排出的放射性核素的种类和数量完全取决于处理磷酸岩时所用的技术。云经过时吸入核素和吞入沉积在土壤中的核素是辐照的主要途径；每一种途径所产生的剂量可以很粗略地加以估计，附件C中对此作了讨论。

96. 另外还可估计化肥中的放射性核素。通过了解世界肥料产量、这些物质中放射性核素的含量、其分布和使用情况、经过处理的粮食作物中的放射性核素含量

等，可以得到粗略的估计数。这些剂量为由于职业关系而接触化肥的人所承受，另外一般人民也通过各种外部或内部辐照而吸收这些剂量。

97. 磷酸岩加工的主要副产品是湿加工厂的磷酸石膏。热处理厂的主要最终产品为硅酸钙炉渣。磷酸石膏可代替天然石膏作为预制建筑材料，硅酸钙可用于建造铁路和水泥建筑。这两种建筑材料所含镭-226的浓度可能显著高于大部分自然产品。鉴于这种材料的放射性核素成分以及辐射的情况，这种材料的使用可导致人们遭受相当高的辐照，例如住在用磷酸石膏建造的房屋的人所受的辐照可高于平均值30%。

98. 委员会估计了在利用磷酸岩的整个循环中所可能产生的辐照。它采用了一些将情况简化的合理假设，并考虑了最重要的一些放射性核素。根据一项假设，即所产生的磷酸石膏中10%可能用于建造房屋，委员会作出结论：这项用途是使用磷酸岩所导致的集体剂量的最主要的部分。如果可以避免这项用途，其余的部分所产生的剂量只达可能剂量的千分之二。

99. 其他特殊建筑材料的使用。另外还发现了一些其他的材料可导致住在以此种材料建造的房屋居民受到高剂量。这些材料包括浮石、明矾页岩水泥、石凝灰岩、花岗石和铀厂尾砂。高浓度的钾-40、铀-238和钍-232是产生剂量的原因。在一些国家许多建筑材料的抽样调查显示某些材料含有过多的上述放射性核素。但是，在包括这种材料的建筑中所测出的平均剂量吸收率往往低于根据这种材料的放射性含量算出的平均剂量吸收率，这是因为同一个建筑物也使用放射性较低的材料。

100. 宇宙线辐照的增加。飞机乘客在飞行期间所吸收的宇宙线组成部分的剂量较高，这种剂量随高度增加而大大加强。例如，高度如从4公里升至12公里，剂量吸收率就增加20倍。据估计，在1978年，世界人口由于商业性飞行而得到的集体有效剂量当量约为2,000人西弗特，另外还对超音速空中旅行进行了类

似的估计。尽管在高空，太阳辐射增加了银河系的辐射，并且在偶而发生强烈日晕期间，辐射水平可能大大增加，这些辐射源目前没有显著地增加世界人口的自然辐照。那些例如机组人员所受到的个人剂量却是不低的。

101. 委员会注意到的由于技术发展而有所改变的辐照的例子很可能是不完全的。根据已完成的估计，委员会作出了一项结论：从全球的角度来看，这些辐照没有显著地增加人类所受到的集体剂量。但住在局部地区的群体或对于在异常条件下受到辐射的群体，他们可能受到大大高于寻常的个人自然辐照剂量。我们目前所拥有的知识无法使我们很准确地估计从这些来源产生的集体剂量。在这方面还需要进行更多的研究。

(c) 具有辐射性的消费品⁷

102. 发光表。镭 226、钍 147 和氡的放射性衰变过程中所放出的能量，可以经由闪烁器转化为光。涂制仪表业对这种现象广为利用，使钟表及其他科学仪器指针发光。最近则以氡代替镭，因为氡的辐射穿透力比镭及子代镭衰变放出的辐射穿透力要小，因此对使用者引起的外部辐照较小。由于出现了液态晶体展示器，使用气态氡光源照明数字表也就越来越普遍了。一些国家已对利用各种放射性核素的辐射发光表每年所产生的集体剂量当量进行了评估。以整个世界人口计算，这一剂量约为 2 0 0 0 人·西弗特。

103. 电子仪器和电仪器。这些包括荧光灯起动器、电器引发管及过量电压保护仪。用于这种设备中可使操作更好、更快而且更可靠的放射性核素计有氡 8 5、钍 1 4 7 和钍 2 3 2。虽然这种仪器使用数量很大，而且活动量也很大，但预期所产生的剂量很低。不如，如果发生意外漏损或有随便处置的情形时，则产生的剂量就可能相当可观。

⁷ 这个问题在题为“由于技术发展而改变的所受天然辐射的照射”的附件 C 中有详细论述。

104. 抗静电仪器。 用于工业用途，在有些国家也用于家用电器以减少有些物质中电荷的留存。 钋 210 主要用于这些仪器以使空气离子化。 在正常使用情况下，唯一较大的危险是放出很小量的 γ 射线引起外部辐照。 在极端受力情况（如撞击或火灾）中，组件可能受损而很有可能产生引起内部辐照的剂量。

105. 测烟器。 这种用器通常含有镅 241。 在许多国家，因为火灾专家已确认其对生命财产的保护价值，已大量使用于工业、公共、商业及私人建筑物。 假设现已安装的几百万测烟器使用期十年，并且假设最后充作垃圾用于填土或加以焚化处置，则发现 1978 年生产量所造成的集体有效剂量当量大约相当于 10 人·西弗特。 大多是在测烟器使用期间引起的外部辐照所致。

106. 含铀和钍的产品。 铀主要充作颜料用于陶塑和玻璃器皿。 钍用于白炽罩和一些光学产品。 在正常情况下利用这些物质的主要危险是放射出 β 射线的裂变产物所产生的剂量，并且在特别情况下，可对人体某些组织放射出很高的剂量。 例如，镜片含钍百分率很高，可对眼球晶状体放射出很高的剂量。 假牙瓷中为仿真牙荧光所加的铀，对口腔上皮放射出的剂量可能也很高。

107. 电视机。 在正常使用情况下，电视机产生柔和的 X 射线，可能引起外部辐照。 然而，近年来制造的彩色电视机放射的 X 射线，在正常使用和正当维修情况下，可说是微不足道的。

(d) 氡及其裂变产物⁸

108. 天然来源的辐照中很重要的一部分源于铀 235（通常称为铀）及其裂变产物，这是越来越明白的事实。 另一个天然产生的放射性同位素铀 238（通常称为钍）也形成一些剂量。 这种情形促使委员会对这些气体产生的辐照进行深入的调查，审查影响辐照的最重要的物理的和生理的变数。

⁸ 这个问题在题为“所受铀、钍及其裂变产物的照射”的附件 D 中有详细论述。

109. 铊和氡是天然产生的放射性气体，铊是铀的放射系产物，氡是钍的放射系产物。铀和钍是自然界中矿石的原生物质。所产生的铊和氡通过渗透作用渗出，散于地下水和空气中，在水中和空气中可以发现不同浓度的这些放射性核素。铊和氡衰变产生许多子核，直到铀系和钍系最后成为稳定的铅同位素为止。

110. 委员会审议了铊和氡从其天然来源中放射出来的作用以及影响这种放射的各种变数（矿石颗粒大小、孔隙、湿度）；这些气体渗透到周围水和空气中的作用；铊和氡透过土壤发散到空气中；这些气体及其裂变产物在空气中弥散；垂直温度增减率、风力、空气流对这种弥散的影响。氡由于半衰期短（约一分钟），只可在地面十余米处发现这种气体，而铊半衰期约四天，可达几千米的高度。地理位置和气候状况影响地面上这种核素的浓度，季节变化的影响也很大。通常大陆区上空的气体浓度最高，海洋或两极区上空的气体浓度最低。地面户外空气的铊浓度年平均值可从每立方米0.1 到10 贝克（勒尔）不等。人口稠密区通常约为每立方米3 贝克（勒尔）。

111. 由于铊在大气中迅速分散，地面上子代铊的活性浓度比铊浓度通常要低。由铊、氡及其子系产物的平衡系数，可以测量出这种低的程度。平衡系数取决于下面许多其他条件：如各种子系的衰变常数、空气中悬空微尘粒子的浓度和大小分布情况、这些悬空微尘在周遭表面的沉降以及空气交换率。对这些条件可以实验方式加以调查。实际上而言，必须指出，密闭空间通风率低可造成受到铊和氡裂变产物的高辐照。

112. 水中铊的浓度可从实际上等于零到有些水中达每立方米约1 亿贝克（勒尔）不等。从食水来的铊的辐射剂量，部分是由于吸收了水中铊衰变产生的子代铊，但主要是吸入了这种子代铊。可以大致计算出食水中某一铊浓度所引起的相对剂量。但由于所报道的测量往往是在已知铀或镭含量高的地方进行的，因此不能就此认为这些数值可代表整个区域或全国的平均数值。现有资料显示，除有些例子

中由于特殊地理情况铀含量特高的情形下，食水中铀引起的辐射剂量通常并不构成一般人民的重大辐照问题。

113. 由于人们是在室内受到大部分的铀的辐射剂量，委员会因此审查了关于世界各地住房内铀、钍及其裂变产物的测量浓度的大量数据。这种浓度通常为每立方米20贝克（勒尔），比户外空气所含为高。通风率低可以使室内浓度偏高，这种情形也可能是由于建筑材料或房屋地基的土壤中镭含量高以致铀量升高，或由于使用了镭含量高的水所致。在不利情况下，可能发现每立方米空气最高达1万贝克（勒尔）或更高的情形。

114. 子代铀引起矿场内的辐照问题。委员会审查了许多矿场和各个国家的测度，发现视矿石种类和通风状况而定，铀矿内浓度通常是低于每立方米空气1000贝克（勒尔）之数。但在有些缺乏通风的矿段，浓度可高达1000倍以上。非铀矿内一般浓度大约也是如此，但达到此一数值的通风要求比较不严格。

115. 铀和钍裂变产物的辐照是因吸入而引起，发生在呼吸器官，到达不同的生理组织的实际剂量，视依附和游离的子系产物的相对比值、所依附悬空微尘粒子的大小及肺功能而定。一般而言，子代铀产物对支气管基底细胞层形成的剂量，比对肺部要高出5至8倍。使用肺剂量区域分布加权系数和平均肺剂量，可以计算出有关的有效剂量当量。表2内载吸入铀、钍及其裂变产物引起的年有效剂量当量的全球平均数。温带地区值比全球平均数估计要高出约25%，热带地区则低70%。应当指出，温带纬度区室内剂量比户外剂量高出约1.5倍，这是因为室内放射性气体浓度较高，而且人们在室内的时间较户外为多。

表 2

各种情况下由于吸入子代铀和子代钍所
引起辐照的年有效剂量当量
(毫西弗特)的全球平均值

情 况	子代铀	子代钍 ^a
户外 ^b	0.06	0.02
室内 ^b	0.7	0.15
铀矿 ^c	~15	

a 取自有限数据。

b 居住系数室内0.8, 户外0.2。

c 1977—1979年。

116. 委员会有鉴于发展节省能源方案的重要性, 对这种方案可能造成子代铀吸入引起的有效剂量当量的增加, 概述了一些一般性的考虑问题。工厂通风的减少, 特别是矿场, 可以大为增加工人的集体有效剂量当量值。住房由于通风减少, 也会造成剂量的增加(当然得视住房类别、地点、暖气类别、通风及其他因素而定, 因此可能引起对健康的影响。委员会概述了评估这种节省能源措施的放射性影响的一些基本原则。

3. 从核爆炸受到的辐照⁹

117. 虽然大气核爆的次数已不象1954至1958年和1961至1962

⁹ 这个问题在题为“从核爆炸受到的辐照”的附件Ⅱ中有详细论述。

年那样多，但仍然偶而有大气试爆事件。大气核爆使得世界人民不断受到辐射尘的照射。据估计，至1980年，所有核试引起的辐照，相当于使现今世界人口受到大约四年的天然辐射本底的照射。这种沉降活动的许多辐照会于今后几年慢慢地放射出来。每发生一次新的大气试爆，都会使今后世代人民受到某些程度的辐照。

118. 委员会继续对世界人口由于核爆产生的辐射物质扩散到环境中而遭到的照射进行评估。这种大气核爆自1945年来一直不断。1954至1958年和1961至1962年核试计划频繁。1980年底又有核爆，虽然1979年和1981年末有试爆。委员会没有审查地下试爆可能造成的任何小量辐射的照射问题。

119. 核爆产生的放射性碎片进入大气对流层区和平流层区，分野取决于核爆地点和产额。委员会对大气核爆产生的放射性物质的数量、在大气层的弥散以及碎片沉积地表提出了估计数。在评价辐照时，审议了人体接受辐照的途径，包括吸入空气中受污染物质、吸收食物中的放射性核素以及土壤中活动所致的外部辐照。

120. 委员会1977年的报告载有世界人口所遭1976年以前进行的核试的剂量。本报告增添了这种估计至1981年底的新资料。委员会分别评价了北半球和南半球人民的承受剂量及世界平均值。北半球剂量估计数高于南半球，因为大多数的试爆和因此大多数的沉积都在北半球。

表 3

至1981年底进行大气核爆引起的有效
承受剂量当量和辐照途径的概览

地点	有效承受剂量 当量(微西弗特)	各种途径所占比率		
		吸收	外部辐照	吸入
北温带区	4.5	71	24	5
南温带区	3.1	90	8	2
世界	3.8	79	18	3

121. 表3载有委员会调查结果的概览，表示核试对南北温带区和整个世界的人们所引起的有效承受剂量当量。最显著的途径是吸收，主要是碳14、铯137和锶90；其次的途径是外部辐照，则为铯137及其他一些半衰期短的放射性核素。至1981年底，由于大气核试引起的集体有效承受剂量当量为 3×10^7 人·西弗特。考虑到世界人口未来的估计增长，这个数值就相当于世界人口受到4年的目前天然辐照来源。大多数的集体有效承受剂量当量可归因于1961和1962年的试爆计划（分别相当于世界人口受到580天和370天的目前天然来源辐照）。按人口平均计算的年剂量1963年间达到最高点，相当于年平均天然来源辐照的大约7%；1966年间，这一数字降至2%，目前低于1%。

122. 委员会在这些评价中，一共审议了21种放射性核素。其中仅四种对世界人口集体有效承受剂量当量超过1%，这四种依重要性递减排列如下：碳14、铯137、锆95、锶90。至1981年，核试造成的锆90全球人口承受剂量已大多告结束。铯137和锶90很大一部分的辐照承受剂量将于本世纪末放射出来。

只有碳 14 将继续在很久以后还产生剂量，虽然剂量放射率很低。这是因为碳 14 半衰期长之故。在长久的考虑中可能还得计及铀系元素半衰期长的衰变产物，但初步调查显示，它们放射率很低，对整个有效承受剂量当量只增加 0.19 % 左右。

123. 本报告所载对放射性沉降所造成剂量的评估，与过去所报告的只有些微的差别，这是因为近年来核爆很少，放出的放射性数量相对较小之故。本报告由于审查了其他核素及其他可能的传送途径，重新评价了传送因素，并且对最近的放射尘测量进行了剂量估计，因此所作剂量评估比较完全。但在测量和模型制作方面仍有一些误差。很可以预期，在今后掌握了进一步知识后，将可对委员会的评估作出一些局部的修正和改进。

4. 从核能发电受到的辐射¹⁰

124. 由于反应堆的作业造成环境沾染所产生的集体承受剂量，在核燃料循环总的放射影响中，占比较小的比率。开采铀矿和选矿时，由于生产尾矿时会放射出氡及其子代产品，所以是造成集体承受剂量的重要原因。假定目前的技术不变，则从核能发电承受的剂量势必会随着核电装机容量的增加而增加。利用钚的再循环或快中子增殖反应堆，或利用其他先进的燃料循环技术，可以大量减少每生产一单位能量而承受的集体剂量

125. 自从委员会上次提出报告后，用于发电的作业中的核反应堆已有所增加，1979年共235个反应堆，分布在22个国家，核电总装机容量约120京瓦电能〔京瓦（电）〕：比委员会所报导的1975至1979年核电厂装机容量加了一倍。对于2000年的预测则不太确定，但目前估计在1000至1600京瓦（电）之谱，比前一次报告中的预测约少1/3。许多国家中订正数字都证实发电能力的增长较从前预测的为小。

¹⁰ 这个问题在附件E：“从核能发电受到的辐射”中有详细论述。

126. 核燃料循环有许多阶段：铀矿的开采和精选；转换为各种不同的化学形式；浓缩铀—235的同位素成分（有时需要）；制成燃料元件；核反应堆发电，将辐照燃料回收处理，以及将回收的裂变核素和次级核素再循环（有时需要）；将处于燃料循环过程各阶段的核物质在各工厂间运输；最后是处理放射性废物。在生产核电的几乎所有人为活动中都有辐照核燃料，在上述燃料循环的每一阶段都有少量放射性物质漏泄出来，进入环境。由于大多数放射性核素的半衰期短，并且在环境中的流动性有限，这种漏泄只在当地或地区有影响。但是，有些半衰期很长或在环境中流动迅速的放射性核素是分布在全球的，可能造成全球性的对人、对环境的辐照后果。

127. 委员会曾估计核燃料循环过程中每一阶段漏泄放射性物质对公众造成的剂量。委员会的估计是按照每生产一单位电能会产生多少集体吸收的承受剂量而推算，计算单位是人·戈瑞/京瓦（电）·年。附件A详细讨论用什么模式将身体内各器官或组织所吸收的承受剂量转算为每生产一单位电所承受的有效剂量当量。

128. 从核电厂漏泄的放射素是在技术控制之下的，所以公众每人所受剂量往往是比容许限度低很多。暴露在这几类放射漏泄之下的人有四类：在工厂工作而受到辐照的人；在工厂四周几百公里内居住的当地人；在几千公里地区内的居民；全世界的人。本报告只讨论后面的三类人，因为附件H单独讨论因职业而受辐照的人。

129. 由于核装置所放出污水的浓度在放出地点已很低，在附近环境中更是极低，所以必须用一些算法去设法估计离工厂很远地区的居民长时期所受的剂量。在这些计算模式中各种放射性核素的传送参数值，是根据对环境监测的结果和从各类试验结果推算出来的。各模式最重要的出发点是各类核装置所漏泄放射性物质的数量和种类。基本上直到1979年，委员会可以获得这类资料，并转算成1975至1979年间每一京瓦（电）的平均漏泄量。这一平均值并非某一个装置的漏

泄量，而是包括了许多不同设计的反应堆以及新、旧反应堆不同的漏泄率在内。虽然归一化了的漏泄率被认为是可以代表目前世界上核能发电的情况，但不能就以此认为是将来的趋势或某些个别工厂的实况；这样做必须非常小心，也必须要有适当的修正。

130. 为了按照上述归一化了的漏泄算法去估计集体承受剂量，委员会采用了假定的工厂地点，其位置特色可以广泛地代表燃料循环各主要阶段的现象，如采矿、选矿、燃料制备、反应堆作业、核燃料回收处理。委员会还假定：从每一标准模式工厂接受到漏泄的环境，也是假设的环境，具有目前实际工厂地点的主要特色，并可以计算经普通大多数传送途径（漏泄放射性核素传送给人的途径）传送的剂量。应该强调的是，这种广泛的概括是旨在对全世界的核装置的总的影晌作出估计，但并不代表任何一个厂的情况。对某一厂的计算则需要获得关于该厂的漏泄、当地与地区环境特点、放射性核素传送给人的实际途径等资料。

131. 要计算集体承受剂量，就必须将整个辐照期间每一器官或组织随时所吸收的剂量总加起来。这样做势必很困难；委员会对世界人口数字和被辐照的人的摄食习惯和其他习惯（假定在进行总加辐射剂量期间这些习惯维持不变），是采用近似估计。利用这样的根本假定，委员会审查了核燃料循环的各阶段，并计算各种辐照源的各种核素与辐照途径对公众所造成的剂量。

132. 最后，委员会尝试估计公众从核能发电所承受的集体有效剂量当量。从附件 A 可知，这些数字指出了在上述的假定条件下，人类因核能发电而在健康上一般地受到伤害的情况。表 4 将剂量归一为每生产一京瓦·年电能的值。在未来一百年内，总值约 20 人·西弗特/京瓦·年，但在以后长时期内还会受到年率较低的辐照。表 4 说明在 10,000 年期间内每京瓦·年所导致的集体承受剂量是如何累积起来的。

表 4

估计公众从核能发电（按每生产一京瓦·年电能归一计算）

所承受的集体有效剂量当量（人·西弗特）

及其随时间而积累的情况

年	燃料循环作业（不计 生产尾矿和废物处理）		生产尾矿	强放射性 废物的处理
	当地和地区	全球		
10^2	6	12	< 3	0
10^4	6	70	> 500	0

133. 表4没有估计一万年以后的情况，那时候主要的辐射源很可能是尾矿放出的氡，和回收厂或废燃料堆放地产生的碘·129。委员会的保守计算方法对这远期势必会得到比较高的集体承受剂量当量值，在“全球”和“尾矿”两项合计每京瓦（电）年不超过几千个人·西弗特，在“强放射性废物处理”项下每京瓦（电）年不超过几十个人·西弗特。不过，对远期剂量的估计不能确实，并且这些估计的用处有限，所以不易列入表内。进一步的讨论请参看附件Ⅱ，特别是其中第194—201段和207—212段。

134. 从燃料循环作业产生的当地和地区辐照，据估计为5.7人·西弗特/京瓦（电）年；其中0.5是由于开矿、选矿、制备燃料产生的，4.2是由于反应堆作业产生的，1.0是由于燃料回收产生的。这一承受剂量的90%是在放出放射物后一年中吸收的，其余部分是以后几年中吸收的。至于扩散到全球的核素，其集体承受剂量是670人·西弗特/京瓦（电）·年，其中90%在放出后 10^4 至 10^8 年吸收。上述这些对将来的估计，全部都不能确定。特别是关于尾矿

的数字不确，因为管理方法或气候变动各地不同，结果的辐照值可能减少好几个数量级。并且，用快中子增殖反应堆可能在铀矿的需要上减少两个数量级，于是会影响到由于尾矿而承受的剂量。其他先进的燃料循环技术可能会大幅度减少辐照。

135. 关于排除到挖深的地质构造内的强放射性废物所产生的承受剂量，现有的研究认为，同其他辐射源比较，这一因素在几千年的期间内的影响是微不足道的。在一万年以上的时期，其剂量也可能只有核能发电所产生归一计算的总承受剂量的0.1—1%。

136. 为了估计核能发电对将来造成的最大每人平均剂量或平均年剂量，必须以一种不完全的集体承受剂量计算，时期500年。在核燃料循环作业阶段放出的放射物造成当地和地区的集体有效承受剂量当量；这一剂量全部是在500年中受到。至于在全球扩散的核素，在500年期间的不完全集体承受剂量是18人·西弗特/京瓦(电)年。选择500年为核裂变发电的平均期间，意指使用会减少开矿率的增殖反应堆。因此，按照现在的燃料循环计算，由开采和选矿所产生不完全的集体承受剂量便以100年为期计算，而且很可能只是由于漏泄氦造成的，其值为2.5人·西弗特/京瓦(电)·年。如果悲观地假定技术没有进步，目前的漏泄量继续500年，则每年最大的集体剂量将是25人·西弗特/京瓦(电)·年。表5列出直到2500年根据一个理论上的核电方案而产生的每年集体剂量和每人剂量，其中也假定目前的漏泄率不减低，而发电量到2500年时达到约 10^4 京瓦(电)年。从这里可以看出，即使照最大数量的假定，由污水漏泄而产生的每人年剂量会上升到相当于天然本底辐射而获得的平均辐照值的1%。停止发电后，每人平均剂量将在100年后减到约为最后值的1%。

表 5

继续核能发电至 2500 年而产生的每人年剂量

项目	年份			
	1980	2000	2100	2500
每年计划核能发电 (京瓦(电)年)	80	1000	10000	10000
集体有效年剂量 (人·西弗特)	500	10000	200000	250000
世界人口(十亿)	4	10	10	10
每人年剂量 (微西弗特)	0.1	1	20	25
比对从天然辐射源受到的 平均辐照的百分比(%)	0.005	0.05	1	1

137. 这里应该再一次提醒注意, 推算未来情况是很不确实的, 而且臆测占很大部分: 例如, 在过去十年内虽然电厂的发电量增加, 但是由于新的保护辐照的原理的发展、新厂有了较好的设计标准、旧厂的技术进步, 结果对环境的漏泄有所减少。

138. 委员会根据从两个主要事故所得到关于公众和环境受到辐照的资料, 第一次尝试了去估计由于意外漏泄放射性物质而产生的集体承受剂量。从这两次事故可知, 不可能回溯既往地去估计由于核能发电的放射性漏泄所造成的集体承受剂量的成分。

5. 职业性辐照¹¹

139. 委员会订正了关于各类工人所受平均剂量和各类职业所产生集体剂量的估计。上次报告中为了从剂量分配中找出可资比较的参数而研究出来的方法, 现在已经更精密了。委员会利用这种分析, 能够估算出许多种职业所产生的集体剂量, 并且查出

¹¹

这个问题在附近 H “职业性辐照”中有详细论述。

有几类工人的平均辐照值比其他职业的大。剂量的绝对值可能随工厂不同或国家的不同（工人的工作类似）而不同。不过，在日常作业上，剂量值上的差别通常不超过规定剂量限值的50%。

140. 委员会象过去一样，将已有的关于各业劳工因职业而受到辐照的资料，补充新资料，并加以分析。了解关于职业性辐照（个人的和集体的）数据，是以下几种工作所必需的：评价各种作业所产生的剂量的趋势；估计受辐照工人个人所受危险的程度，同其他职业所受危险进行比较；估计每单位作业来自各种辐射源对人的光辐照影响。由于各国监测受辐照工人的一般方法不同，也由于种种技术困难，因此所收到的数据缺乏一致性，相当地限制了这些资料的用处。不过，委员会相信，谨慎地分析已有的资料仍旧很有价值，至少可以为上述各种需要提供初步客观性背景知识。

141. 委员会上一次报告中建议为剂量分配订出几种参数，借以进行比较，又建议纯为互相比较资料而订一个参数分配模式。“对数正态”型的分配可以反映一个事实，即在许多有辐照问题的职业里，大多数工人只受到很低的剂量，只有很少数受到比较高的剂量。这一参考分配模式受到过分的注意，所以委员会现在修改了分析方法，让剂量分配同一系列标准剂量值直接比较。用于相互比较的参数则是集体年剂量、平均剂量（视工人数目多少而定）、每年个人所受超过一定数量（15毫戈瑞）的剂量的集体剂量比例。这一分析方法日益被广泛地接受，证明了它是有用的。委员会因此强调，需要以有助于改善这种分析的方式提出关于剂量的报告。

表 6

在核燃料循环各部分工作的工人
因每发电一单位所受到的集体有效剂量当量简表

作业	每发电一单位的集体有效剂量当量 (人·西弗特/京瓦〔电〕·年)
开矿和选矿	1
燃料制备	1
反应堆作业	10
燃料回收处理	10
核研究	5
合计	~ 30

142. 委员会的工作包括好几类的职业性辐照。关于核燃料循环，曾系统地考虑到工人在开矿、选矿、燃料制备、核反应堆各项作业、燃料回收处理、反应堆的研究发展中所受的辐照。关于这些问题，现在可得资料越来越多；开采铀矿的众多的人的剂量也较高。现在也已能够计算每一单位作业的辐照剂量。结果，工人在以上全部作业中所受总的集体剂量当量，经计算约为 30 人·西弗特/京瓦·年。从表 6 的分项可知，反应堆作业和回收燃料占职业性辐射最大的两部分。总的看，以上数据同委员会从前的估计并没有重大歧异。不过要把专研究核燃料循环的研究分划出来很难，所以精确地估计这一部分是不可能的；大致是，其单位作业的剂量比从前所报告的低。如 1979 年的核能发电以 70 京瓦·年计，则该年的职业性集体剂量约为 2000 人·西弗特。

143. 其他受检查的几类职业性辐照是医药、工业用途和使用辐射和辐射核素的研究发展。虽然个别医务工作人员所受的剂量可能不小，但是总量仍比较少。从

一个例子可以窥知大概：每百万人每年集体剂量当量因国而异，但对一个医疗标准很高的国家的合理估计是：每百万人约1人·西弗特。工业上使用放射素的现象，有些已经查出，但是整个的资料还不够，尤其是关于工业射线照相人员的资料不够。飞行人员和铀矿以外矿工也是会受辐射的人的大类。连同非核能研究在内，全部使用辐射能而受的总辐照，每百万人约1.5人·西弗特。

144 委员会收集并分析它所注意到的另一种资料：职业上受辐照人员的事故辐照。资料一贯显示，工业射线照相人员，特别是搬运可移动材料的人，是最容易发生事故的一类人。搬运材料和设备不当、设备故障率极高、训练不够、人为错误等显然是造成事故的最常见原因。在发展核能发电的早期，曾几次造成若干死亡的重大事故。从使用放射性和放射现象的人数来看，发生事故和意外的总次数显然仍非常少，但是事故在各类工作里的分布则非常不平均。

145 委员会已经就在哪些方面需要做更多的数据分析以取得有用资料的问题，提出了若干建议；特别是要分析在一生工作中积累剂量的型态，这一点由收集数据的人来做会最适当。如果这些建议获得通过，就应该能在几年之内更明确地看出来在各业工作中职业性辐照问题的全貌。

6. 医疗性辐照¹²

146. 医疗性辐照的特点是，剂量率很高，剂量分配十分不均匀，后者使得有效剂当量等概念成为有用，但这个概念在应用于病人时，就产生许多缺点。不过，如果慎重地应用有效剂量当量，就可发现，不同类型的医疗检查造成的相对伤害可以与以前报告所列出的情况不同，其中强调了有遗传学意义的剂量和平均的骨髓剂量。关于一些发展中国家的放射治疗办法，初步资料显示下列结论：拥有三分之二世界人口的国家内，放射检查频率似乎比发达国家内少十倍。

¹² 这个问题在题为“医疗性辐照”的附件G中有详细论述。

147. 全球集体剂量的重要成因是在放射程序过程中发生的。医疗辐照，是居民接收的辐射剂量中最大的人为成因；在一些工业国家，这种成因几乎等于自然成因。这种人为成因与其他辐射来源之间的主要差别是，那些接收剂量的个人就是按理应从放射程序中获得直接好处的那些个人。

148. 医疗性辐射，目的在于诊断，或治疗疾病，特别是癌症。病人接受的剂量，极端不同：在许多诊断检查中，就十分低；而在放射治疗中，则十分高，中间还有其他数量。在全体居民接受的集体剂量中，虽然所有人都有一份，但主要来自许多个人接受的低剂量，而不是少数接受放射治疗的病人得到的高剂量。

149. 委员会对身体检查或治疗过程中辐照程度进行的分析，范围十分广大。第一，委员会认为，有必要认识个人和集体医疗辐照，以期把它们列入与人类辐照其他来源相适合的境界。第二，需要分析不同类型的放射检查对个人身体器官发出的剂量，以及这些器官的可变性范围，以期认识某些作法的危险性并加以比较。最后，这种审查工作可能可以认出接受高剂量的病人类型，以便将来通过传染病学研究，对莫须有的放射性后遗症作出更好的估计。

150. 鉴于医疗剂量甚大，将来也有可能大大减低，委员会已再度审查有关的资料，以期密切监测发展趋势。早期报告已特别注重性腺接受的剂量，对所谓的有遗传学意义的剂量可能造成的遗传风险，作出估计。最近，其他器官接受的剂量也日益受到注意，旨在认出造成特高器官剂量的医疗程序。在本报告中，委员会仍然注视这样的趋势。

151. 委员会审查了现有的关于诊断性X射线检查总频率的资料，其中指出，在工业国家，每年每千人300—900次检查之间，但集体检查和牙检除外。在许多国家，骨、胸检查是最频繁的。在世界卫生组织合作下，已作出特别努力，收集放射性服务居民分布资料，目的在于调查发展中国家诊断性放射学情况。已经发现，在

这些国家，设备不足，分配不均，农村人口使用现有设施的机会有限。在工业国家，已经发现一种趋势，某种检查法，诸如牙齿放射法、肿瘤 X 射线测定法等，已经减少。

152. 在所有不同的放射性诊断法中，委员会注视的各种器官和组织接受的剂量，每次检查从 0.01 以下到 50 毫戈瑞不等。曾经特别注意到某些 X 射线检查法，原因如下：这些方法十分普通，因此可以大大增加集体剂量（例如，牙检）；这些方法很容易使组织因辐照而致癌（例如，肿瘤 X 射线测定法）。在这两种情况下，已发现一种趋势，由于辐照技术条件改善，在单一检查过程中，接受的剂量逐渐减少。

153. 据报导，在两个发达国家，诊断性放射学集体有效剂量当量，约达每百万人 600 和 1,800 人·西弗特。由于缺少其他数据，委员会在本报告中暂时用个整数，每百万人 1,000 人·西弗特，作为发达国家每年集体有效剂量当量，这大约等于自然辐照的 50%。发展中国家的相应数字可能少 10 倍，因此，全世界的加权数字约在 400 人·西弗特附近，约等于平均自然辐照的 20%。

154. 总的说来，同 X 射线诊断程序比较起来，核医疗检查对人民造成的辐照，在医疗来源中还算比较少的。不过，由于各国放射作法不同，不同居民疾病各异，集体有效剂量当量应是高度可变的。关于放射疗法辐照，委员会分析了原子能机构和卫生组织收集的关于许多国家内使用放射治疗设备及其供应情况的资料。其中显示，总的趋势是服务增加，以及发达国家与发展中国家之间分配十分不公平。

155. 关于有遗传学意义的剂量当量，委员会认为，根据可得资料，大略估计，一些发达国家每年约达 0.1—0.2 毫西弗特，其中计及医疗期间接受的所有剂量组成。发展中国家的相应数字，约少 10 倍。

156. 委员会表示希望说，将来在报导医疗辐照统计数字时，能够设法使上述数量更加精确。

7. 摘要和结论

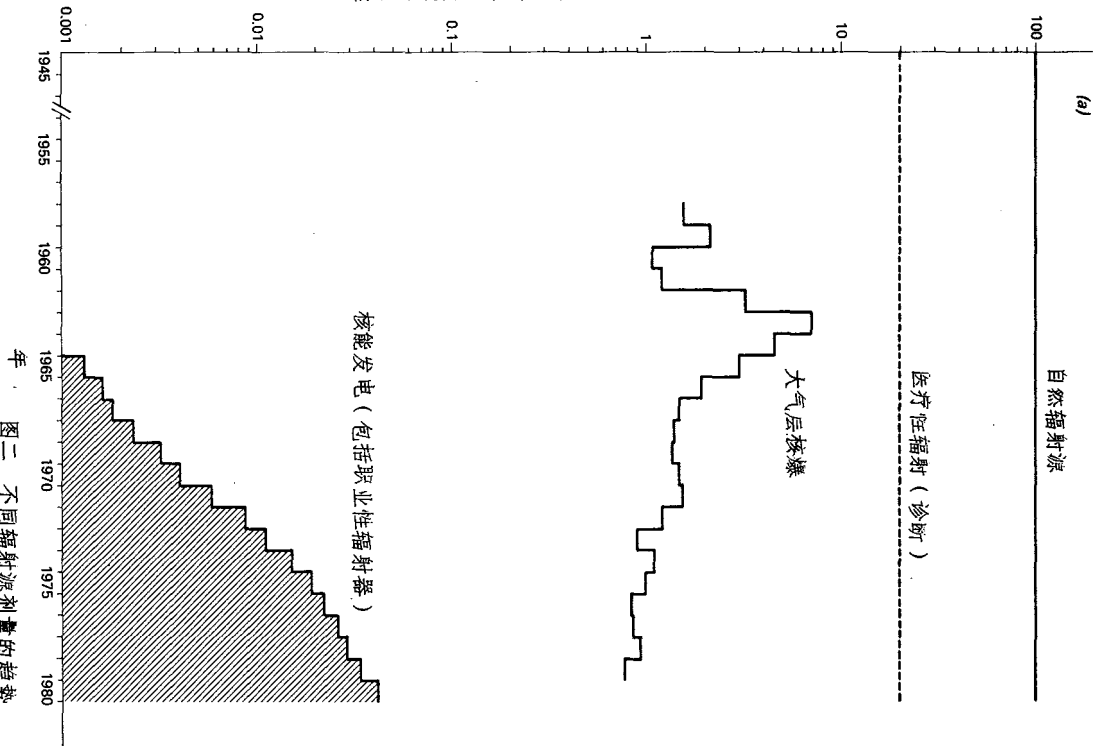
157. 委员会在本报告中，为了估计它加以审查的辐射源放出的辐照，曾使用了各种数量。它使用了个人有效剂量当量率，旨在指出，个人辐照可按地点、职业、时间等因素而发生变化。把所有个人有效剂量当量率加在一起，也已经得到集体有效剂量当量率，这表示，某一时间内一定放射源或作法造成的辐射影响。

158. 最好能够研究最近几十年期间，集体有效剂量当量率随时间发生的变动。图二(a)列出医疗性辐射、大气层核爆、核能发电放出的辐照，以自然辐射源平均辐照的百分率表示。医疗性辐照和核能发电部分包括工人和老百姓的辐照。据估计，医疗性辐照几年来没有大变化，核能发电部分断断续续，但自1963年来，大部分时间是下降趋势，最近的爆炸造成少量变动。由于核能发电计划扩大，核能发电造成的每年集体有效剂量当量一直继续增加，尽管这部分少得很多。

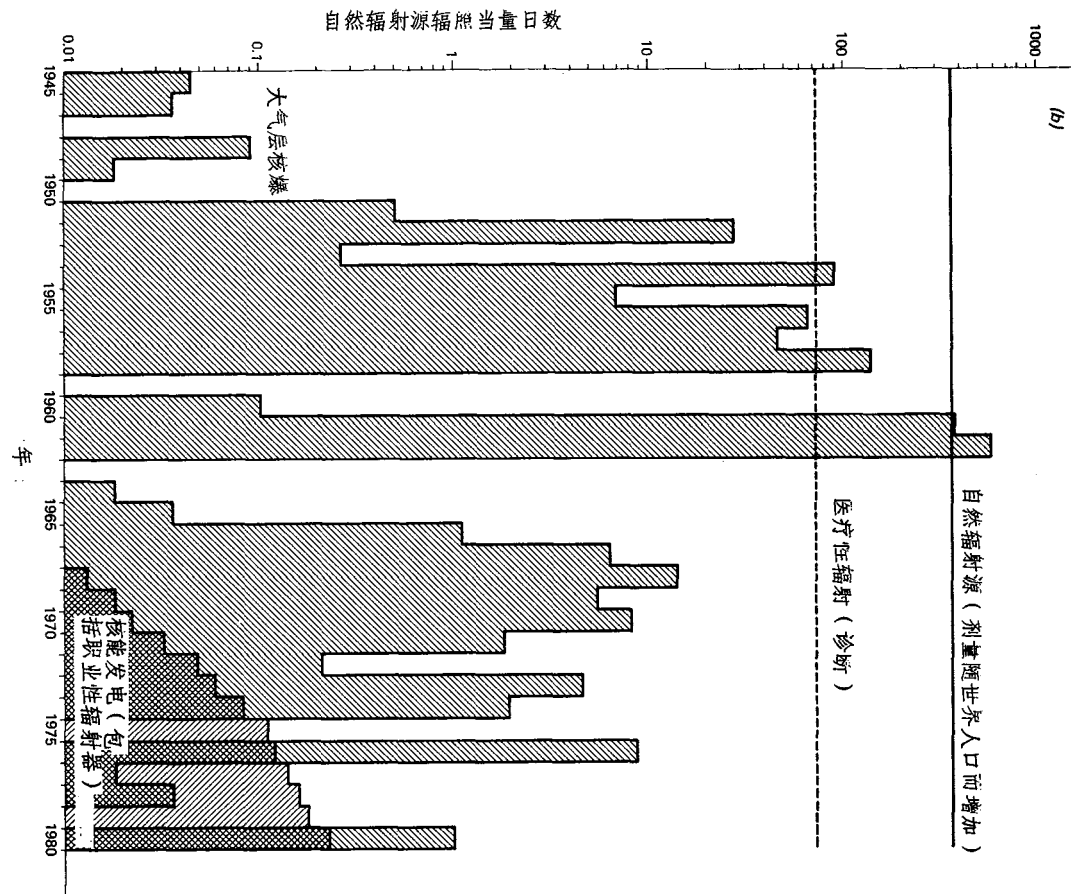
159. 尽管未知数很多，图二(a)中的大多数数字不可能差得多于10倍，因此，应普遍受到一些重视。在各种辐射源中，迄今最重要的是平均每年有效剂量当量2.0毫西弗特。

160. 关于人为辐射源，最大是医疗性辐射，尤其是诊断用途。全世界医疗性辐射放出的平均每年有效剂量当量，约达0.4毫西弗特，约等于自然辐射源平均每年辐照的20%。委员会认为，在符合作法目标的情况下，降低剂量是有良好前途的。由于这种剂量比较大，相应的益处也应大些。

自然辐射源放出的平均每年有效剂量当量百分率



图二 不同辐射源剂量的趋势
(a) 每年有效剂量当量, 以自然辐射源平均辐射的百分率表示;
(b) 每年集体有效剂量当量, 以自然辐射源辐射当量日数表示。



161. 把某段时间内集体有效剂量当量率加起来，就得出集体有效承受剂量当量，按照假定，这同某一辐射源或作法产生的健康总影响成正比。例如，辐射源或作法可能是：迄今进行的地上核爆；目前通过核裂变的一年核能发电；提炼一吨磷酸盐矿。为了比较不同辐射源可能造成的伤害，最方便的数量就是，全球集体有效承受剂量当量。

162. 委员会在1977年报告中编制了一种表格，旨在摘述全球剂量估计数字，其中列出不同辐射源放出的全身承受剂量，承受剂量以世界人口承受自然辐射源辐照期间表示。这种表示格式受到广泛注意，因为这样可以在一目了然的时间单位基础上比较不同的辐射源。因此，委员会刷新了一些有关的估计数字，就各种全球集体有效承受剂量当量进行比较，用自然辐射源照射日数表示。表二(b)列出1945年至1980年期间每年这种集体有效剂量估计数字，使用半对数标度，辐射来源包括医疗诊断辐射、核试爆、核能发电。这些集体承受剂量是用自然辐射源辐照日数为单位表示。委员会假设，自然辐照和医疗辐照放出的剂量保持不变。

163. 大气层试验造成的每年集体有效承受剂量等量，于1962年达到高峰，约等于1.6年的自然辐射；从那时起，每年承受量一直大幅度下降。核能发电造成的每年集体有效承受剂量等量到目前为止，一直稳定增加。

164. 为了避免误解图二(b)的内容，应当强调二点。第一，把不同辐射源辐照放在一起，只不过是表示全球有效承受剂量当量的相对组成的一种方法，并不表示委员会在道德、社会、经济理由上有所主张。第二，如果没有计及本报告前几段和所有科学附件中讨论的许多条件，这种图表就会令人费解。

165. 1980年底以前所有核试爆造成的集体有效承受剂量当量，约等于4年的自然辐照（图二(b)）。在集体有效承受剂量当量中，约10%已经散布下来，其余部分，主要来自碳-14，将在今后1万年左右散布下来。

166. 在全世界平均起来，以1980年装机容量140京瓦（电）计算，一年核

能发电造成的集体有效承受剂量当量（减至500年），约等于5小时自然辐照〔图二(b)〕。这个估计数字包括工人和老百姓接受的辐照。虽然从第一次约略数字来看，老百姓接受的长期全球剂量可说成在放出期间是均匀分配的，但短期剂量在核装置周围则成不均匀散布。委员会分析了这种不均匀程度，因此间接指出了在什么条件下才能通过国家或国际行动进一步改进现况。如果假定每单位作法的集体承受剂量没有变动，则以计划的在2000年前装机核能发电2,000至1,600京瓦（电）计算，一年发电量会使全球承受剂量当量（减至500年）等于大约二天的自然辐照，包括职业性部分。不过，这种假定可能不合实际，因为技术会革新，管制行动会发展。

167. 迄今为止，核裂变发电造成的全部集体有效承受剂量当量，大约估计为一天的平均自然辐照〔图二(b)〕。这个数字已减至500年，其中包括工人和老百姓的辐照。

168. 其他辐射源造成低得很多的集体有效承受剂量当量，在此不需多作评论。

169. 为了经常监视发展趋势，找出估计数字可能发生的偏离，以及进一步修正估计数字，对上述情况应在适当期间作出进一步审查。在目前，对选定题目详加研究，而非通盘评价，可能是特别适当的。

C. 辐射的影响

1. 辐射对遗传的影响¹³

170. 根据关于辐射对遗传的影响的新实验，对于辐射导致的人体遗传疾病，取得了估计其危险性的进一步科学资料。这些资料使委员会更有把握认为，原来的一般假设和估计程序，用最新的科技知识来衡量，仍然是站得住的。原先对遗传危险的估计，并不需要有任何重大的修改。

¹³ 这个问题在附件一“辐射对遗传的影响”中有详细论述。

171. 我们知道，妊娠中有相当大比例在遗传上是不正常的，就是说带有自发性的遗传缺陷。遗传构造如果发生最严重的改变，就会危及生命，造成流产。据估计，经临床诊断属于自发流产的情况，其中约有半数具有不正常的遗传结构。不过，有些遗传改变并不危及生命，这种人在出生之后迟早会出现异常状况（残缺的情况可重可轻）。人口调查表明，出生婴儿中约有10%带有某种遗传缺陷或某种部分遗传缺陷。

172. 我们还知道，许多毒剂，特别是电离辐射，会增加遗传疾病的可能性。生殖细胞在睾丸或卵巢中遇到幅射，其遗传物质就会受损。如果遗传物质的损害又传给受到辐射的人的下一代，就可能发生各种残缺疾病，同自发性残缺一样，给病人、病人的家庭及整个社会都可能带来很大的不幸。因此，对于辐射会使自发性遗传缺陷增加到什么程度，必须加以估计。

173. 辐射对遗传物质的影响可以根据其性质人为地分为两类：基因突变和染色体畸变。基因突变是遗传基本因子（即基因）可以遗传的变动，一般又分为显性和隐性两种。显性突变会在生殖细胞发生自发或诱发突变的人的下一代表现出来。隐性突变不会立即在后代出现，只有在父母都有同样的突变基因时才表现出来。对人类以及对所有远系繁殖的物种来说，除非父母是近亲，否则发生这种情况的可能性不大。因此，隐性突变会在人口中代代相传下去，不会被人发现，直到两个带有相同突变基因的人凑巧结婚生子，原来自发或诱发的隐性突变才会变为显性突变。大多数基因突变并不完全属于这两类。事实上1对辐射影响的详细研究证明，从全部显性到全部隐性，各种程度的突变的都有。

174. 染色体畸变分为数目畸变和结构畸变两种，前者指染色体的数目变动，后者指染色体本身的结构发生变化。整个染色体增加或减少的数目畸变会出现严重的病症。例如，女性如果只有一个而不是两个X染色体，就会产生Turner综合症；一个人如果多了一个染色体21，就会有唐氏先天愚症。染色体如果破碎后重新组合，使染色体部分增加或减少（缺失或重复），也可能使人异常。

175. 委员会审查了自1977年报告出版以来收到的所有数据，将之分为四类：

- (a) 证明和进一步证实原有结论的数据；
- (b) 可以扩充原有数据库的数据，过去曾根据该数据库估计辐射导致的危险；
- (c) 可据以作一定程度的质量推论、但不能据以作数量估计的数据；
- (d) 对于电离辐射导致的遗传危险可能用来改进其估计方法的数据。

176. 上述(a)类数据来自关于动物的实验。这类数据使我们对更多的辐射剂量和照射情况（体内和体外照射，不同的剂量率），对好几种哺乳动物，对许多生殖细胞的不同阶段和遗传终点，增加了许多了解。总的来说，这类数据增加了我们对雌雄动物的生殖细胞的剂量响应关系的了解，而剂量响应关系是估计辐射导致遗传缺陷的必要基础。根据这类数据，我们也比较有把握从关于动物的数据推论到对人类遗传的影响。

177. 新的数据使我们更有把握估计人类的各种自发性遗传缺陷，但是父母受到照射后其后代会因为照射产生什么改变，我们所知有限。随着技术的改进，可能可以直接估计受到照射的人的遗传物质会受到什么损害。某些体细胞缺陷究竟是否是遗传造成的现在仍然是一个正在深入研究的领域。研究结果显示，有一些人类的遗传病与放射敏感性的增加和家族内易于生瘤的情况有关。

178. 还有些数据与估计辐射危险的一些假设有关。例如，间接估计辐射危险的一个基本假设是，某几种基因的自发突变率和诱发突变率成一定的比例；关于细菌和果蝇的新研究结论是符合这一基本假设的。新的数据还证实，对适用于人类的照射来说，男性生殖细胞比女性生殖细胞更容易发生突变。

179. 还有些数据可能与估计对人类遗传的危险有关，至少在质量估计方面。这是因为发现下列几类人的体细胞染色体畸变的情况比一般人高：

- (a) 生活在高自然本底照射下的人；
- (b) 因为职业而受到照射的人；

(c) 广岛和长崎原子弹爆炸后的幸存者。

还有一些数据与自发性染色体异常（例如平衡易位）的可能症状有关，这是一个以前很少受人注意的问题。最后，细胞遗传学关于灵长目染色体进化的详细研究显示，可能利用进化的相似处来推测辐射或其他有毒环境物剂导致某些染色体变更的性质及其影响。自发和诱发性隐性突变究竟对人类遗传有什么影响，到目前为止一直是一个无法在数量上取得可靠答案的问题。

180. 对遗传危险的估计是用每一单位辐射剂量在人口中造成多少严重的遗传缺陷来表示。这种估计方式并没有充分反映遗传疾病对病人及其家属、对医疗设施以及对整个社会造成的危害和影响。本报告初步尝试为自发性和辐射导致的遗传疾病定出一个损害指数。为此，委员会用了一些可以测量的标准，例如丧失或受到损害的寿命。虽然这些标准还不够精确，但委员会认为用这种标准，也许是从社会的角度来估计危险的一个办法。

181. 委员会审查工作的主要目的，是估计辐射对人可能造成的遗传危险。关于人类的直接数据，特别是低剂量和低剂量率的数据，仍然很有限，因此，只能继续根据关于老鼠以及一些关于人以外的灵长目的数据来估计。用这类实验数据来估计对人的可能影响，必须作出一些假设，其中两个最重要的假设是：

- (a) 某种辐射在一定条件下对实验动物的生殖细胞造成的遗传损害程度，同样适用于人的生殖细胞，除非另有相反的证据；
- (b) 物理和生物因素对损害大小的影响方式和程度，对人和对实验动物来说都是一样的。

委员会再次强调，这种外推法及其假设还不知道可靠到什么程度，只能作有限度的使用。

182. 同以前的报告一样，估计遗传危险的方法分为直接和间接两种。直接法是估计实验动物的某一类或几类遗传损害。这一估计经过适当的校正后，就用来表示受到辐射的人的后代可能产生的损害。间接法又称为双重剂量法，即首先估

计要使实验动物产生同自发性突变一样数目的诱发性突变需要多少剂量，然后把不同类损害的估计数平均，就是该实验动物的“双重剂量”。假定这样估计的双重剂量也适用于人类，然后计算人类现有的遗传疾病次数，就可计算出每一单位辐射剂量会增加多少疾病次数。

183. 委员会1977年根据直接法估计，男性受到照射后（低剂量、低剂量率、低线能量转移）对第一代可能造成的突变损害，大约每一戈瑞会在100万后代中有2000个严重的遗传疾病。这一估计的依据是关于雄鼠显性骨骼突变的研究。根据关于骨骼突变的新的研究结果，可能需要对估计作些修正。委员会现在根据雄鼠受到照射后发生白内障的显性突变的研究，另外作了估计。新的估计是父亲受到照射后每一戈瑞在100万人会造成1000个遗传疾病，与原来2000个骨骼突变的估计相差不大。

184. 这两个估计数相差不大，似乎证据估计可能不算离谱。但是应该强调，这类估计不论怎样接近，都建立在若干假设上，随着科学知识的进展，可能需要加以修正。由于缺乏有关的实验数据，还不能用同样的方法估计女性受到照射后对后代产生多大危险。不过，根据其他数据推论，在低剂量、低剂量率、低线能量转移照射的情况下，男性的生殖细胞比女性的生殖细胞容易受损害，而且差别可能相当大。

185. 委员会根据关于罗猴的新研究数据，加上原来关于猴和人的数据，又重新估计了诱发性相互易位的危险。据估计，如果父亲受到照射（低剂量、低剂量率，低线能量转移照射），每一戈瑞可在100万出生的婴儿中造成30到1000个先天性残疾。这种残疾是辐射导致的平衡相互易位中的不平衡产品造成的。可是，关于此种易位对带病者本人有多少影响我们缺乏充分数据，因此平衡相互易位对人的疾病究竟要负多少责任还无法可靠估计。至于诱发性相互易位对女性造成的危险，还没有什么新数据。根据其他数据的推论则支持委员会1977年报告

的看法，认为危险性不高。关于染色体结构畸变，除了上面已经提到的情况外，也适用同样的结论。

186. 委员会在1977年依照间接法（即双重剂量法）估计，如果人口在一代内（一代等于30年）连续受到0.01 戈瑞的低剂量、低线能量转移的辐射，则第一代后代中每100万人会出现63个遗传病（其中20个是显性的并与X射线有关，38个由于染色体，5个病因复杂）。在达到均衡期之后（所需年代因遗传病的种类而异），则增加到每100万后代出现185个病例（其中100个是显性疾病并与X射线有关，40个是由于染色体，45个病因复杂）。

187. 最近的分析对上述估计作了进一步修正。首先，对显性的并与X射线有关的疾病来说，第一代的疾病增加率约为均衡期的15%（即如果每一代受到0.01 戈瑞的低线能量转移、低剂量照射后，每100万婴儿出现15个病例，均衡期的发病率与以前一样，即每100万婴儿中有100个病例；但照射剂量每一代增加为1 戈瑞，则第一代婴儿中每100万有1500个病例，到均衡期时每100万中有10,000个病例）。其次，大多数染色体畸变造成的疾病都是数目畸变。1977年时，对这类疾病（在一定条件下由于辐射引起）的增加进行估计，是同其他类遗传损害一样，假定1 戈瑞的双重剂量。可是，对于动物和人的实验显示，1 戈瑞的双重剂量可能不适用于染色体数目畸变造成的疾病。因此，委员会只对染色体结构畸变造成的疾病使用上述双重剂量法，得出的估计是：如果一代人在一定条件下受到1 戈瑞的照射，第一代人中每100万有240个病例，到均衡期时有400个病例。对于病因复杂的疾病，估计并无改变（即一代人在一定条件下受到1 戈瑞的照射，第一代人中每100万有450个病例，到均衡期时每100万有4500个）。

188. 总之，委员会根据双重剂量法，现在的估计是：如果一代人受到1 戈瑞的低剂量，低线能量转移的照射，第一代婴儿中每100万人会增2200个遗传疾病（ $1500+240+450=2200$ ），到均衡期则每100万增加15,000个病例（ $10000+400+4500=15000$ ）。

2. 辐照对正常组织的非随机影响¹⁴

189. 当辐射杀死相当大量的细胞时，同时引起结构和机能组织破坏。一定的阈剂量对不同组织具有不同影响，低于阈限的剂量可能产生可察觉的变化，但是通常需要较大的剂量才会导致病状作用。如果单次全身剂量超出阈限，骨髓是存活的关键组织。不过，如果长期给予辐照，骨髓的大量繁殖能力能使它经受更大的剂量。经受长期分次低剂量辐照后，可能导致其他组织的机能遭受损害（例如，睾丸或眼球晶体的机能受损）。委员会在审查中诊察所有重要组织的剂量——时间关系以及在这种关系下出现的不同严重影响。审查中还讨论其他物质或生物变因的相对重要性。

190. 自1962年以来，委员会一直未曾对受过辐照的正常组织的形态和机能变化进行过任何有系统的分析。本审查的目标首先是要就各个组织和各种辐照形式查明对各该组织可能有危险的影响和剂量；其次是分析能改变这些剂量和影响的主要物质和生物因素。为了达成这些目标，有必要根据动物实验数据和人体的临床效应，综合研究各个组织的剂量——时间关系。

191. 本研究以非随机影响为限。这些影响是由于一个组织中的大量细胞因辐照失去活性而产生的，因而导致结构或机能组织破坏。大体上，要在给予最低剂量——即阈剂量后，才能察觉非随机影响。损害的临床严重程度随着剂量的增多而增加。辐照后出现组织破坏的时间从几小时或几天到许多年不等，主要取决于影响的类型和各个组织的特性。

192. 剂量阈限概念很难界定，必须联系各个组织和剂量效应来讨论，因为主要得看察觉的灵敏度。此外，有必要对察觉任何效应的阈限，不管多么微小，和具有明显病理涵义的临床变化阈限加以区别。委员会认识到这些概念具有重大实际意义，认为全面讨论组织病理学不属本研究的范围。本研究的主要目的是估计经

¹⁴ 这个问题在题为“辐照的非随机影响”的附件J中有详细论述。

大体上就能使淋巴细胞和干细胞失去活动能力。但这些组织的繁殖力很强，在人体中，生血系统也是最敏感的组织之一。只要给予0.5到1戈瑞的剂量后，不管是单次辐照，或是分次少量辐照，都可观察到有反应。对这一组织而言，象对许多其他组织一样，辐照的面积对断定反应的程序至为重要。如果周围细胞的机能降低过分剧烈，有可能发生感染或出血。这些是生血系统的所谓综合病征的主要症状，这些病征可能导致死亡。

197. 消化系统的体外辐照可引起各种症状和损害，例如包括消化不良、腹泻导致液体和血液的减损、局部溃疡，以至于内肠狭窄和梗阻。消化道的各个部分，其敏感程度不相一致，因此必须分别给予放射治疗。考虑到辐射损害的早期形式，人体的胃可耐受多至40戈瑞的长期分次治疗。小肠也可在几个星期期间经受约30至40戈瑞的剂量。大肠的抗力更大，在类似的剂量下，只出现短暂的症状，而食道看来可耐受多至60戈瑞的分次辐照。对这种大量剂量（特别是给予大范围的那些剂量）所产生的新近后果，还知道得很少，并且不容易加以量化。肝脏是耐辐照性较强的器官。在动物体中，需要10戈瑞以上的单次剂量，才能在其肝脏中引起长久变化，这种剂量在持久分次辐照的情形下可增加到六次。在人体中，现已获悉肝脏的各部能在30天之中耐受40至50戈瑞的剂量，但通常在分次给予约30戈瑞的放射治疗后，就可观察到影响。

198. 对肺脏的中等剂量辐射可产生肺炎，最后通过一系列复合的病理反应能导致纤维变性和机能丧失。肺脏对长期辐照的敏感度是有限制的。几个星期中给予20戈瑞以上的剂量可导致并发症的显著增加。在其他胸腔器官中，动物实验显示心脏颇耐辐照，经适度剂量辐照后，其肌肉细胞和血管只显示轻微变化。在人体中，心脏并发症的发病率较高，主要是心包炎，最后引起纤维变性，这种情形可在接受长期分次辐照总剂量超过60戈瑞后即可观察到。

199. 泌尿系统的各个结构有不等的敏感度：肾脏最易受感染，其次是膀胱和输尿管。肾脏接受高度辐射剂量后通常引起强烈持久的肾炎、高血压症和蛋白尿症。

在动物实验中，据报道经受介乎5和12戈瑞之间强烈阈剂量辐照后，发现有变化。如给予通常分次辐照，或许可至少增加3戈瑞以上。在人体中，在3至4星期中给予20至24戈瑞剂量可引起肾脏机能变更，放射治疗耐受剂量在五个星期中通常约为23戈瑞。在人体和动物实验中，肾脏的敏感程度看来在生产期比较大。膀胱的耐受剂量在3至4星期内可达55至60戈瑞。

200. 睾丸和卵巢特别敏感。对睾丸辐照，视剂量多少而定，可引起暂时或完全不育。睾丸之所以特殊是因为分次辐照比单次治疗造成较大而非较少的非随机破坏。在人体中虽然需要给予超过2戈瑞的剂量才能引起永久无精，但是据报道，低于0.1戈瑞的单次剂量可引起暂时不育。在经受有严重破坏性的剂量后，有时需要许多年才能完全恢复机能。成人卵巢的抗力比睾丸大，因在生产时，卵原细胞都发展成抗力较大的卵母细胞。但是，如果对生长中的卵巢给予辐照，分次辐照剂量达2戈瑞，即可对狗和猴子的卵巢引起严重破坏。约超过3戈瑞的单次剂量或较高的分次剂量可使妇女永久不育。

201. 中枢神经系统的阈剂量因不同结构而异。损害包括胶质结构变更、髓磷脂丧失、脑炎和坏死。有人认为血管机能的原发性损害至少会引起部分血管的更严重破坏，而这种破坏是不可挽回的。中枢神经系统的再生能力是有限的。动物实验数据显示，给予1至6戈瑞的剂量后，胶质细胞就会出现结构破坏，辐照后经几个月可产生细胞退化。剂量越高，影响就越早产生。在人体中，整个脑的放射治疗耐受剂量在5至6星期中可给予约55戈瑞，但在分次辐照10戈瑞后就可察觉到形态变化。脊髓的阈剂量较低，在4个星期内约为35戈瑞。分次效应对脑和脊髓特别重要。

202. 对生长中的软骨予以辐照会使骨组织的生成过程受到干扰，最后产生畸形。成长中的软骨对辐照十分敏感，足以导致发育阻碍的阈剂量或许很微小，并可能是零度。据报道，在幼年的动物中，每1戈瑞可产生约3%的阻碍作用。在儿童身上，在几个星期中每天分次给予总计10戈瑞或10戈瑞以上的剂量，就足以引

报道的各种影响，而不是为了实际目的评价它们的意义。

193. 有关这些主题的资料很多，因此有必要作出解释性的而非综合的处理。这方面的工作之所以得到便利是因为在了解细胞的基本机制和组织对辐照的反应方面现已获得显著的进步。委员会的审查前提是，某个组织对辐照的非随机反应主要是看杀伤组成细胞的程度以及破坏的程度和时间性同各该组织的特别构成和机能的关系。因此，首先必须对基本的放射生物学的概念作出一些讨论，以便概要说明辐射对细胞和组织的影响、恢复现象、组织的机能结构和辐射对组织引起的变化。这可作为专门和有系统地分析不同组织的影响的共同参考。

194. 虽然委员会对人体数据和其他动物数据予以分别研究，但为了本报告的目的，所观察到的类似影响值得加以共同处理，并作出必要的说明以指出各种差异。本小节内提到的剂量，除非另外指明，是指一般在分次给予的放射治疗中从 x 或 r 射线中吸收的剂量，其计量单位以戈瑞表示。

195. 皮肤辐射的反应变化不等，例如暂时变红和脱发、萎缩、永久性脱毛、肤色改变、血管结构发生变化、溃疡和坏死。通常必须给予 x 或 r 射线辐照约达7至10戈瑞急性剂量，才能在动物皮肤上产生可察觉的变化。但是，由于这一组织的恢复能力十分强大，如果间隔几个星期或几个月给予辐射，它能耐受五次以上的剂量。继接受放射治疗后对病人的观察大体上已证实这些研究结果。经3至5戈瑞单次治疗后，可观察到暂时脱发，经1或2戈瑞单次治疗后，通常出现轻微的可逆性皮肤变化。不过，如在为期6星期中分次治疗，人体皮肤可接受50或60戈瑞剂量，而不致于产生严重后果。受辐照的皮肤的面积和深度之所以重要是因为辐照的面积越大和越深，则出现的变化也更严重。此外，还发现其他的生物变因也会影响到阈剂量的水平：例如皮肤的结构位置、接受辐照的病人的年龄以及正常的肤色。在给予类似剂量的情形下，粘膜显示的变化与皮肤上出现的变化相类。

196. 在动物实验中，生血组织特别敏感。只要给予一小部分戈瑞的单次剂量，

起某种程序的发育不全。儿童越年幼，发育受阻的程度就越严重。在另一方面，长成的软骨可耐受较大的剂量。大体上，成骨的抗力较强，在6至8个星期内给予65戈瑞总剂量通常不致于引起坏死：但可能引起骨折的倾向，这要看骨组织通常承受的机械压力如何。

203. 在眼球一带的许多组织（泪腺、结膜、角膜、巩膜、视网膜）中，晶体对辐射最为敏感，可产生晶体乳白化或白内障。经受2戈瑞的强烈辐照后，就可在人体中察觉初期效应。在有些动物中，例如老鼠，通常只需少量辐照，就可导致早期白内障。对晶体而言，随着次数的增加，阈剂量的增加比起许多其他组织来可能较低。关于内分泌器官，成年垂体的耐辐照性较强。甲状腺的增生组织缓慢，辐射影响可能在许多年之后才会显现。约需10戈瑞剂量的单次辐照才能对甲状腺细胞引起形态破坏和证实机能失常。

204. 血管变化和软组织变化之间的时间顺序显示，在接受高剂量辐射后，血管损害对病理变化（细胞损失，纤维变性）可能产生重要作用，但是不容易分别估计血管和软组织组成部分的反应。现已知道，在受过辐照的器官的血管中会出现形态破坏，在经受辐照后很久，这类变化可能导致血管机能失调。足以引起难以捉摸的变化的阈剂量看来低于可导致较显著的机能损害的阈剂量。不同组织的血管可产生不同的阈剂量反应。

205. 委员会有系统地审查了快中子导致的影响。现已知道，就剂量而言，快中子产生的生物影响高于 α 或 γ 射线产生的生物影响。由于强烈的剂量可引起可察觉的损害，中子的效能通常是 α 或 γ 射线效能的1至5倍。在分次辐照的情形下，如每次辐照的剂量递减，中子的效能甚至会更大。

206. 发射 β 或 γ 放射性核素经由体内辐照所产生的非随机影响在类型和程度上都与按低剂量率给予组织类似的平均剂量体外辐照所引起的影响通常是一致的。接受一定核素的辐照后受到影响的组织，其影响程度视该核素在体内的特定分布而定；

损害的程度取决于辐射特性和放出的能的暂时分布。至今还未对从放射性核素中吸收的辐照量的暂时分布同在相等效应基础上给予分次体外辐照产生的分布的关系模型进行充分探讨。现对细胞靶中放射性核素能的微分布还有各种疑问，这影响到还无法确定相对生物效能对非穿透辐射，例如放射性核素发射的 α 粒子和低能俄歇电子的准确价值。

3. 辐射导致的寿命缩短¹⁹

207. 尽管寿命缩短现象是辐照的实际结果，而从动物实验收集的大量证据显示，这种影响在低至中剂量和剂量率上，主要是因导致了特定的肿瘤性疾病的缘故。从广岛和长崎事件生还者收集的流行病数据显示出在人类方面也得到相同的结论。

208. 委员会自从1958年和1962年的报告以来，未曾系统地审查过除了较特定的（主要是致癌的）辐照结果之外也常常发生的寿命缩短这一非特定性影响的数据。委员会审查这个问题的主要目标是：检查是否存在这种影响，及其同自然老化或可能由于辐射导致的老化之间的关系；调查在何种范围的剂量、剂量率和辐照条件之下出现这种影响；确定其他生物变数（遗传素质、年龄、性别）对这方面的影响。

209. 过去屡次注意到，经过短期辐照影响而生存下来的动物显现典型的开始衰老的征象（毛皮变成灰色，出现白内障、丧失生育能力）。这些动物比未受辐照的要死得早，衰老时期的疾病特征很明显地提前发生。综上所述，无需对老化的生物理论或辐射导致的变化本身有任何深入研究，就可根据上述观察到的现象作出一项结论，即辐射除了会缩短寿命之外，还会引起加速老化。过去进行的许多研究工作都是为了证实这一点。

210. 委员会简略审查了关于生理老化的理论，以及可能引起开始衰老现象的生理作用。看来目前对于生物现象本身所知极为有限，关于辐射可能会引起什么变

¹⁹ 这个问题在题为“辐射导致的寿命缩短”的附件K中有详细论述。

化的问题无法作详细的讨论。相反地，开始老化的现实情况，即寿命缩短本身，却可以在辐照方面进行有益的探讨。关于这一点，还可以考虑以下问题，即：辐射导致的寿命缩短是否可归因于特定的状况或疾病，是否由于非特定性的扩散原因造成，以及在何种程度上造成。

211. 确定死亡时间和分析导出的统计数字（存活次数的平均值和中值，各种年龄的死亡率等等）通常不会有多大困难。但这些只是复合的各种根本现象的细枝末节而已。对于前一段所述问题要提出有意义的答案，就必须以谨慎的病理调查来确定死因，而这一点，不易做到，尤其是对衰老的个体而言，原因是出现多种相互影响的疾病。然而，在判断辐照是否具有此种特定作用时，上述资料是很重要的。原则上，委员会认为，除非可以证明辐射促进了死亡时间而没有改变通常在未受辐照人口中所发生疾病的范围以及相对的发病次数，否则的话，非特定性的寿命缩短的论点是站不住脚的。实际上，委员会注意到，对于非特定性的寿命缩短，从未做成功任何有说服力的实验，尤其是根据精细的统计分析来说明与年龄有关的各种可能致死疾病的影响。

212. 相反地，以短期内无法侦测出任何损害的小剂量和剂量率进行动物实验所取得的大量数据显示，辐照并不会引起过早的或加速老化；在上述情况下出现的外加的癌症也不能说仅是加速老化的一般性影响中的一种。以短期内会使相当多受辐照动物死亡的高剂量或剂量率实验的结果显示，较扩散的非癌症死因可能是由于血管或其相连的组织受到非特定性损害，或其他组织受到非随机影响所致。以这种高剂量辐照只有在特殊情况下才是有关的。

213. 委员会分析了关于由X射线和γ射线或由单剂量的高速中子对各不同种的动物进行实验所取得的寿命缩短的资料。单剂量的辐照实用上不常见，但是可用它作为这种影响的上限。尽管在每一系列的实验中，由X射线或γ射线引起的寿命缩短同剂量之间有不同的直线或曲线的关系，而从许多组的老鼠实验得到的数据

大致都可成为一个线性的或二次线性的非阈关系。在线性关系上，平均的寿命缩短影响约为每一戈瑞剂量 5%，视动物的物种，或其生物特征而向一方或另一方偏离。同种动物接受单剂量高速中子时，寿命缩短同剂量间的关系呈现凸状向上的关系；不同种动物的差别也是十分明显的。

214. 与实际用途最为相关的辐照情况是当动物整个生命期间受到低剂量的辐照。要产生重大影响就必须要用高出正常底剂量许多倍的剂量。在连续辐照下，X 射线或 γ 射线剂量的效应会达到低于单剂量的地步。以 X 射线和 γ 射线低剂量率在整个生命期间进行辐照大约可作为实验工作效量的下限。在终身辐照的情况下，很难区分剂量和时间变数，而分别进行分析，因为剂量是为时间的函数而自然增长。因此，根据动物的生命期及其发生寿命缩短的可能性，并视辐照率的实际数值的不同，在各种大小剂量上实际会产生各不同形态的剂量——反应间的关系。但在低剂量和剂量率上，一般都是线性关系。

215. 委员会审查了现有的一切关于辐照率或各种成分剂量型式改变对寿命缩短的影响的资料。审查的结论是，在这些变数的广泛幅度内，X 射线或 γ 射线所生影响的改变不大，中子的情况不确定。其他数据是关于动物持久接受辐照并在死亡之前某一时间停止辐照，这样就可对时间——剂量关系作较为精确的估计。实际上，这些数据很难加以解释，可能是由于辐照处理本身引起补救现象，而使动物寿命缩短的可能性在辐照期间有所改变的缘故。但一般说来，经过这种辐照处理产生的寿命缩短的反应介于很高剂量率和很长时间低剂量率之间。

216. 在注射或食入放射性核素而进行体内辐照的情况下，由于不同放射性核素在体内不同部分集中而出现个别器官或组织的有选择性的照射的情况。在这些情况下，已知所出现的寿命缩短现象可解释为在受照射的部位引起或加速了癌症，很高剂量的情况除外，因为在高剂量时可能会测出非随机的早期损害。

217. 在14兆电子伏以下中子照射导致寿命缩短的影响同X射线或γ射线的影响作了比较。在单独的实验系列中，相当高剂量的中子引起明显的寿命缩短的影响高出3倍到10倍。在低剂量和剂量率之下，辐射生物效能的值较高。

218. 委员会审查了影响寿命缩短的各种生物变数。其中各不同物种动物的遗传特征、性别、动物的年龄、出生之前和之后，都加以考虑。同时还审查了各种物理、化学或生物处理对于寿命缩短影响造成的改变。鉴于寿命缩短现象在很大程度上决定于各不同物种动物的病理特征，因此委员会认为，以当前的知识无法在实际有意义的情况下把动物实验所得来的数据按数量换算于人类。

219. 职业性受到辐照的人，尤其是放射学家所患由辐射引起的疾病，例如白血病和皮肤癌等，是在发现X射线和放射线后的早期发生的。某些数据（并非所有数据）显示，先驱放射学家长期地受到未知的但很可能是高剂量的照射之下，会出现上述情况以外的生命期缩短现象。在辐射保护措施实行之后才受到辐照的放射学家之中，已不再出现与癌症无关的寿命缩短。因此，我们可以说，在发生辐照时不超过建议的“容许”范围内（即不超过比目前所接受的高出十倍的剂量）就不会发生生命期缩短的现象，由辐射引起的任何残余的白血病和癌症病例也不足以在通常进行分析的典型数量之内产生统计数字上可测出的人类寿命缩短的现象。

220. 从接受放射治疗的病人分组取得的资料中没有发现寿命缩短的情况。但这仅限于所根据的资料的性质，特别是以下两点。第一，这些病人只是身体的某一部位受到辐照，在这种情况下，就不大可能发生非特定性的寿命缩短；第二，调查的病人人数要比职业性受辐照的人数少，比原子弹爆炸后幸存的人数更少得多。

221. 白血病和癌症的病例超过平均自然发病率的情况确实在日本原子弹爆炸后幸存的人之中造成寿命缩短现象。这种影响可说完全发生于恶性肿瘤而不需要假定非特定性的原因。由于所观察的病例数字很大，而且经过三十年以上的确定，尽管只是人口中最年老的一群人，所作结论可算是相当完全的了。

4. 辐射连同其他作用者的生物影响¹⁶

222. 辐射与其他物理、化学和生物作用者的合并影响可能极关重要，但是有关数零散而不一致。因此本文论述的重点只能主要是理论性的，附有一些从实验报告与流行病学报告取得的关于本题目复杂性的说明性例子。除了在某些工作环境下有加强辐射产生肺癌作用的抽烟一例以外，本研究报告还未能提供关于对人类有任何明确相互作用例证的文件，至少没有可因之要对广大部分人类的风险估计作重大修改的例证。委员会已经概述了鉴于目前关于联合影响的资料不够，而今后可能有益开展工作的某些重要方向。

223. 致电离照射与其他物理、化学或生物作用者的联合影响可能极关重要，因为辐射本性是无所不在的，而在现代生活中可想见有许多情况可能导致某种形式的交互作用。

224. 虽有许多报告宣布或显示有某种相互作用，但由于若干原因，委员会相信总的说来，这些报告的结果是不能作定论的。第一，从委员会各项目标的全面考虑来说，这些报告所用的照射量似乎远高于有实际重要意义的自然环境的程度，并是使用单一次而不是持久的照射。第二，在每个相互作用的例证中，缺少对相互作用者的剂量和对相互作用原理作任何有系统的处理。第三，许多报告很少使用合适的分析方法学，虽然生物学其他领域已早在使用它们。最后，关于相互作用的可能性质缺乏健全的观念基础，使得对这个概念甚至不可能下一个比较明确的定义。

225. 鉴于上述情况，委员会认为这个领域的一些初步理论工作，以图提出定义，确定分析方法学，用实例说明问题的复杂性质，可能比有系统地评议文学报告更为

¹⁶ 这个问题在题为“辐射连同其他物理、化学和生物作用的生物影响”的附件五十中有详细论述。

合适。委员会审议了两种可能的相互作用。在第一种中，致电离照射与其他的相互作用者可各自产生一些影响：在此相互作用有三种可能情况，即两者相加、增效和减效。第二类与致电离照射起相互作用的是任何那些相互作用者如单独使用时并无影响：在此是用“保护”和“致敏感”来分别形容对辐射作用单独影响的减轻和加强。这种分类并非绝对的，因为相互作用者的剂量和效应的种类对相互作用的性质和程度可能有重大影响。致癌物质是作为特例加以考查。

226. 首先讨论了适用于联合作用特例的受照射、剂量和反应的概念。委员会然后评议了现有的分析方法学，它们可用来估计，至少定性地估计联合作用的结果。也提供了一个关于本题目的更详尽的可能性讨论，在某些情况下由此获致对相互作用的因素的更精确的说明。注意了这些基本但颇抽象的观念能适用于在没有复杂的生物影响时的实际情况的程度。

227. 为获得有意义的答案，对于所研究的生物效应就必须有明确的定义，而各种相互作用者在单独与联合使用时的全部剂量程度的效应都应探讨。受照射的时态（同时或分先后，单独一次或分多次）和作用者的施加顺序，对于产生某一种类与程度的效应，往往具有决定性作用。对于原理的透彻了解，也是估计相互作用的条件和程度的必备条件。不过，在许多考查的工作中，这些基本要求并未做到或只是作了不彻底的探讨；而所得结果的统计价值又往往如此之低，使得对于相互作用的任何估计至多也只能是猜测性的。

228. 关于辐射与其他物理作用者的相互作用，现有的资料大多数是关于不同种类致电离辐射之间的相互作用，或是关于一方面是致电离辐射与另一方是紫外线辐射、微波及热之间的相互作用。在放射性技术工业受到致电离辐射与微波联合照射的工人中，有明显的报告有些增效作用。在进行研究的效应，有自动神经系统的机能障碍和主观的不适症状。严格分析这些资料发现：症状的性质、它们的难于用数量表示，对受照射条件的控制不足以及统计资料不完全，都是理由对这些报告

有所保留。关于辐射与高空、体力紧张、机械损伤及超声之间的相互作用，可得资料更少，总的说来，其结果似不能作定论。

229. 研究了许多不同种类化合物的与辐射可能起的相互作用。含铅、镉、氯、铋和铂的无机化合物，在特别工作环境下可能很重要，而现有极有限的经验，可有利地加以扩大以求获得更确切的结论。关于各种尘埃的数据，也被认为很不确定，因为所说的相加、增效和减效的效果在可能的最坏情况下，与辐射单独可引起的效应相比，也在4倍的程度之内。抗生素、化学治疗物质和其他药剂似乎在特别临床状况比对大家人们有更显著的作用。

230. 受到特别注意的是辐射与已知其有致癌性质的化合物的可能联合作用。虽然所考查的资料涉及多种主催化剂和助催化剂，但对于这些物质每一种的可得资料却极不完全，且证据常自相矛盾。除非对联合处理所使用的剂量、用剂时间表和处理方式作更深入的分析，则对任一种物质或任一类肿瘤都无法提出最后论断。鉴于苯并芘、二乙基亚硝基胺、各种尘埃和油滴排泄烟雾在环境中有广大分布，关于这些物质的经验可以扩大而获得更肯定的结论。

231. 在人们中，似乎抽烟可以缩短因子代氦的 α 粒子引起肺癌出现的时间。目前还不清楚这种作用究竟是由于抽烟的某种特别成份的促进，或是可归咎于对呼吸组织造成的其他非特异性效应。对相互作用因素的准确评价，可能必须有赖于观察时期之长，以及有风险人士的年龄分布和受照射的历史。

232. 在动物中，有证据显示：某些激素可能影响照射引起的肿瘤出现的时间或发生率，特别是乳腺激素这种增效作用主要表现在引发肿瘤所需时间的缩短。不过，这种增效作用因动物的品种不同而有巨大的差异，以致相同的处理时间表对某些品种起增效作用，而对其他品种起减效作用。在所生肿瘤种类方面也有差异。对于人类，没有直接的资料。其他生物作用者，诸如病毒、细菌、或改变食物，如与辐射一并施用，得出了不明确或无作用的结果。

5. 摘要和结论

233. 委员会进行的在致电离辐射的生物效应领域内的研究，结果对当前关于遗传风险估计或所分析的躯体效应的想法并无重大修改。但是这些研究已经着重于几项重要的新发展，并导致改进以前的知识。总体说来，这些新的研究加强了委员会的一项信念，即对某些照射效应的原理已很清楚地了解。这特别适用于非随机性效应。

234. 对于其他效应，例如依赖受照射细胞的瘤蜕变的效应，目前关于原理的知识还大部分短缺。待广岛和长崎幸存者的剂量测定获得明确结果后，将对生癌原理作进一步的分析。委员会将继续监视和考查整个辐射致癌作用的领域，包括人们生癌的理论基础和实际风险估计在内。

235. 至于遗传影响，委员会说，我们关于剂量与反应动态学，以及关于辐射在作实验的哺乳动物中能引起的较重要种类遗传变化的其他某些方面的知识，有了新的进展。在没有有关人类受照射后遗传影响的显著肯定结果时，在遗传风险估计广泛使用实验数据仍被视为必需的。已研究出一个新方法来估计第一代获得有害的显性突变的风险程度。这个办法和其他估计受到低辐射剂量照射的人在其后代的遗传风险的方法，已得出很相似的结果。不过，仍有许多重要问题待解决。例如女人生殖细胞从低辐射程度引起遗传伤害的敏感性，被认为低于男人生殖细胞，但实际相差的程度为何，却仍未确定。关于隐性突变导致第一代之后许多代才显出的遗传伤害的程度，也需要作进一步研究。然而，人类遗传学的进步，以及新的方法比较人与动物的细胞的突变率，应有助于解决一些这种尚待解决的问题。

附录一

各国代表团成员名单

本名单开列作为各国代表团成员出席委员会历届会议并参与编写本报告的专家科学家。

阿根廷

D. Beninson (代表), A.J. Gonzalez (代表)

澳大利亚

K. Lokan (代表), J.R. Moroney (代表)

比利时

M. Errera (代表), F.H. Sobels (代表), B.T. Aten, J. Maisin

巴西

E. Penna Franca (代表)

加拿大

G. Butler (代表), E.G. Letourneau (代表), A.M. Marko (代表), W.R. Bush, E. Muller, D.K. Myers, F. Prantl, H. Rothchild

捷克斯洛伐克

M. Klímek (代表)

埃及

M. El-Kharadly (代表)

法国

H. Jammet (代表), A. Bouville, R. Coulon, B. Dutrillaux, J. Lafuma, P. Pellerin

德意志联邦共和国

F.E. Stieve (代表), U. Ehling, W. Jacobi, A. Kaul, H. Kriegel, L. Rausch, C. Streffer

印度

V.A. Shah (代表), S.D. Soman (代表), K. Sundaram

印度尼西亚

A. Baiquni (代表), O. Iskandar

日本

T. Kumatori (代表), K. Misono (代表), R. Ichikawa, A. Kasai, Y. Kishimoto,
S. Kobayashi, S. Nakai

墨西哥

J.R. Ortiz-Magana (代表), J.R. Telich (代表)

秘鲁

C. Guzman-Acevedo (代表), M. Zaharia (代表)

波兰

Z. Jaworowski (代表)

苏丹

A. Hidayatalla (代表)

瑞典

B. Lindell (代表), K. Edvarson, K.G. Luning, J.O. Snihs, G. Walinder

苏维埃社会主义共和国联盟

A. Guskowa (代表), A.M. Kuzin (代表), R.M. Alexakhin, A. Moiseev,
V.V. Redkin, V.A. Shevchenko, A.I. Vichrov

大不列颠及北爱尔兰联合王国

E. Pochin (代表), C.O. Carter, K.E. Halnan, F. Morley, A.G. Searle

美利坚合众国

R.D. Moseley (代表), W.K. Sinclair (代表), R.E. Anderson, R. Baker,
A.M. Brues, C. Edington, J.H. Harley, F.A. Mettler, W.L. Russell,
J.B. Storer, J.C. Villforth, H.O. Wyckoff

附录二

同委员会合作编写本报告的 科学工作人员和顾问名单

D. Beninson
B.G. Bennett
A. Bouville
R.H. Clarke
M. Coppola
M.F. Cottrall
S.B. Field
B. Lindell
J. Liniecki

V. Lyscov
R.B. Persson
K. Sankaranarayanan
G. Silini
J.O. Snihs
F.D. Sowby
F. Taylor
G.A.M. Webb

附录三

1. 本表开列委员会在1977年4月13日至1982年3月26日期间从各国政府收到的报告

2. 委员会1977年4月12日以前收到的报告, 已列在委员会先前给大会的各个报告。

文件编号	国家	标题
A/AC.82/R.		
1561	United States of America	Health and Safety Laboratory: Environmental Quarterly, HASL-318, 1 April 1977
1562	France	Surveillance de la radioactivité en 1976
1563	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1976
1564	Germany, Federal Republic of	Environmental radioactivity and radiation levels in the year 1975
1565	United States of America	Health and Safety Laboratory: Environmental Quarterly, HASL-321, 1 July 1977
1566	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Radioactivity in human diet in the United Kingdom, 1976
1567	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 41, November 1976
1568	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 42, April 1977
1569	United States of America	Health and Safety Laboratory: Environmental Quarterly, HASL-328, 1 October 1977
1570	United States of America	Health and Safety Laboratory: Final tabulation of monthly strontium-90 fallout data: 1954-1976. HASL-329, 1 October 1977
1571	Switzerland	20th Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1976

文件编号	国家	标题
A/AC.82/R.		
1572	Germany, Federal Republic of	The content of radioiodine in air, rain, grass, cowmilk and goatmilk following the Chinese nuclear test explosion on 26 September 1976
A/AC.82/G/L.		
1573	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-334, 1 January 1978
1574	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UK during 1976
1575	Germany, Federal Republic of	Environmental radioactivity and radiation levels in the year 1976
1576	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan, number 43, November 1977
1577	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1977
1578	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-339, 1 April 1978
1579	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-342, 1 July 1978
1580	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Radioactivity in human diet
1581	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-344, 1 October 1978
1582	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Index to Environmental Quarterly, EML-345
1583	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Regional Baseline Station, Chester, NJ; EML-347

文件编号	国家	标题
A/AC.82/G/L.		
1584	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Calculation of dose rate and air ionisation from radioactive fallout deposited at Chilton, 1951 to 1977
1585	Switzerland	21st Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1977
1586	Switzerland	Radiation levels and dosimetry of the persons occupationally exposed in Switzerland in 1977
1587	Germany, Federal Republic of	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1975
1588	Germany, Federal Republic of	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1976
1589	Germany, Federal Republic of	External radiation exposure from natural radioactivity outside and in housings, with special reference to the influence of building materials
1590	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-349, 1 January 1979
1591	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UK during 1977
1592	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Radiation exposure of the UK population
1593	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 46, September 1978
1594	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 47, December 1978
1595	Germany, Federal Republic of	Stochastic late effects after partial body irradiation in diagnostic radiology
1596	Union of Soviet Socialist Republics	Accumulation of radiostrontium by agricultural plants from soil in different soil and climatic conditions

文件编号	国家	标题
A/AC.82/G/L.		
1597	Union of Soviet Socialist Republics	Some peculiarities of the extra-radical pollution of agricultural plants in different soil-climatic zones of the country
1598	Union of Soviet Socialist Republics	Collective dose for the USSR population as a result of the use of the sources of ionizing radiation for medical purposes
1599	Union of Soviet Socialist Republics	Late effects expressed as a yield of the mammary tumours after iodine-131 incorporation in conditions of combined action
1600	Union of Soviet Socialist Republics	The biological danger of iodine-129
1601	Union of Soviet Socialist Republics	The distribution of strontium-90 in the soils of the Azerbaijanian SSR
1602	Union of Soviet Socialist Republics	The significance of iodine radionuclides in the toxicity of nuclear fission products
1603	Union of Soviet Socialist Republics	The content of strontium-90 and caesium-137 of global origin in the food of the USSR population 1974-1975
1604	Union of Soviet Socialist Republics	Resorption and metabolism of iodine-131 after its accumulation through grass
1605	Union of Soviet Socialist Republics	The mechanism of the influence of lime and peat on the transfer of strontium-90 to the plants
1606	Union of Soviet Socialist Republics	The model of vertical migration of ^{137}Cs in soils and prognostication of the exposure
1607	Union of Soviet Socialist Republics	The content of strontium-90 in bones of the USSR population in 1974-1975
1608	Union of Soviet Socialist Republics	Regularities in the behaviours of iodine radionuclides in the environment
1609	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-353, 1 April 1979

文件编号	国家	标题
A/AC.82/G/L.		
1610	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-356, 1 July 1979
1611	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 48, March 1979
1612	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1978
1613	Argentina	^{90}Sr and ^{137}Cs from fallout in Argentina: monitoring results to the end of 1978
1614	Germany, Federal Republic of	Radiation levels in occupationally exposed persons
1615	Germany, Federal Republic of	Radiation exposure in the Federal Republic of Germany in 1976 due to nuclear facilities
1616	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-363, 1 October 1979
1617	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Regional Baseline Station, Chester, NJ; EML-367
1618	Union of Soviet Socialist Republics	The application of radioactive admixtures for studies of the transport of compounds injected to the stratosphere
1619	Union of Soviet Socialist Republics	The assessment of repair parameters and the effective dose after single internal contamination of the organism with radionuclides
1620	Union of Soviet Socialist Republics	The possibility to use dogs' bones to indicate the content of strontium-90 in the human skeleton
1621	Switzerland	22nd report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1978
1622	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-370, 1 January 1980

文件编号	国家	标题
A/AC.82/G/L.		
1623	Germany, Federal Republic of	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1977
1624	Germany, Federal Republic of	Report of the Federal Government on environmental radioactivity and radiation levels in the year 1977
1625	Germany, Federal Republic of	Methods and results of surveillance of radionuclides released from nuclear power plants
1626	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Radioactivity in human diet
1627	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UK during 1978
1628	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-371, 1 April 1980
1629	Union of Soviet Socialist Republics	Photon radiation of natural radionuclides
1630	Union of Soviet Socialist Republics	Ratio of ^{210}Po to ^{210}Pb in the bones of humans and animals
1631	Union of Soviet Socialist Republics	The content of ^{90}Sr and ^{137}Cs in food products of the Estinian SSR 1966-1975
1632	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-374, 1 July 1980
1633	France	Surveillance de la radioactivité en 1977
1634	France	Surveillance de la radioactivité en 1978
1635	Germany, Federal Republic of	Environmental radioactivity and radiation levels in the year 1978
1636	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-381, 1 October 1980

文件编号	国家	标题
A/AC.82/G/L.		
1637	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 50, September 1979
1638	Union of Soviet Socialist Republics	Genetic effects in populations after the action of ionizing radiation
1639	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 49, June 1979
1640	Switzerland	23rd Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1979
1641	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Regional Baseline Station, Chester, N.J.
1642	Union of Soviet Socialist Republics	Caesium-137 and strontium-90 in the biosphere of polar regions of the USSR
1643	Union of Soviet Socialist Republics	Strontium-90 in bone tissue of the USSR population for the period 1973-1978
1644	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1979
1645	Belgium	Radioactivity measured at Mol 1972
1646	Belgium	Radioactivity measured at Mol 1973
1647	Belgium	Radioactivity measured at Mol 1974
1648	France	Surveillance de la radioactivité en 1979
1649	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan Number 51, December 1979
1650	United States of America	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-390, 1 May 1981
1651	Germany, Federal Republic of	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1978
1652	Argentina	Radiological impact of radioactive waste management
1653	Argentina	Levels of ¹³⁷ Cs and ⁹⁰ Sr in environmental samples in Argentina 1960-1980

文件编号	国家	标题
A/AC.82/G/L.		
1654	Argentina	Exposure of the public related to the operation of the nuclear power plant in Atucha
1655	Argentina	Doses from occupational exposure at the Comisión Nacional de Energía Atómica during 1977-1980
1656	Argentina	Determination of absorbed doses in a computerized tomography scanner
1657	Union of Soviet Socialist Republics	Questions concerning the metabolism of carbon-14
1658	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UN during 1979
1659	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1980
1660	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan Number 52, March 1980
1661	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan Number 53, June 1980
1662	Union of Soviet Socialist Republics	The formation of effective dose during chronic intake of various radionuclides in the body
1663	Union of Soviet Socialist Republics	Isotopes of the uranium and thorium series in fertilizers containing phosphorus, arable soils and agricultural plants
1664	Union of Soviet Socialist Republics	The combined effect on the body of ionizing and non-ionizing radiation and certain other factors
1665	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan Number 54, September 1980
1666	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan Number 55, December 1980
1667	Japan	Radioactivity Survey Data in Japan Number 56, March 1981

文件编号	国家	标题
A/AC.82/G/L.		
1668	New Zealand	Environmental Radioactivity Annual Report 1980
1669	France	Surveillance de la radioactivité en 1980
1670	United States	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Report, EML-395, 1 November 1981
1671	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Environmental radioactivity surveillance programme: results for the UN for 1980
1672	Switzerland	24th Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1980

كيفية الحصول على منشورات الأمم المتحدة

يمكن الحصول على منشورات الأمم المتحدة من المكتبات ودور التوزيع في جميع أنحاء العالم . استلم منها من المكتبة التي تتعامل معها أو اكتب الى : الأمم المتحدة ، قسم البيع في نيويورك أو في جنيف .

如何购取联合国出版物

联合国出版物在全世界各地的书店和经售处均有发售。请向书店询问或写信到纽约或日内瓦的联合国销售组。

HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre libraire ou adressez-vous à : Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Издания Организации Объединенных Наций можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наводите справки об изданиях в вашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций, Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.
