

国际放射防护委员会第 103 号出版物

国际放射防护委员会 2007 年建议书

潘自强 周永增 周平坤 夏益华 译校
刘 华 马吉增 刘森林 郝建中

原子能出版社

图字:01—2008—4384

图书在版编目(CIP)数据

国际放射防护委员会 2007 年建议书/国际放射防护委员会著;潘自强等译. —北京:原子能出版社,2008. 10
ISBN 978-7-5022-4256-5

I. 国… II. ①国…②潘… III. 辐射防护—建议书—国际放射防护委员会—2007 IV. R14-20

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 142534 号

国际放射防护委员会 2007 年建议书

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100037)
责任编辑 谭俊
责任校对 徐淑惠
责任印制 丁怀兰 刘芳燕
印刷 保定市中国画美凯印刷有限公司
经销 全国新华书店
开本 880 mm×1230 mm 1/32
字数 366 千字
印张 12.25
版次 2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷
书号 ISBN 978-7-5022-4256-5
印数 1—1500 定 价 40.00 元

版权所有 侵权必究(如有缺页、倒装,请与出版社联系调换)

网址:<http://www.aep.com.cn>

2007 年建议书任务组的正式成员

R. M. Alexakhin, 俄罗斯, 奥布宁斯克(到 2005 年)
C. Cousins, 英国, 剑桥(从 2005 年开始)
A. J. Gonzalez, 阿根廷, 布宜诺斯艾利斯
H. Menzel, 瑞士, 日内瓦(从 2004 年开始)
R. J. Pentreath, 英国, 康沃尔(从 2003 年开始)
N. Shandala, 俄罗斯, 莫斯科(从 2005 年开始)
B. C. Winkler, 南非, 绅图莱(2003 年去世)
J. D. Boice Jr., 美国, 马里兰州洛克维尔
R. Cox, 英国, 切尔顿
F. A. Mettler Jr., 美国, 新墨西哥州阿尔伯克基(到 2005 年)
R. J. Preston, 美国, 北卡罗来纳州三角研究院(从 2005 年开始)
C. Streffer, 德国, 埃森
J. Valentin, 瑞典, 斯德哥尔摩(科学秘书)
R. H. Clarke, 英国, 汉普郡(到 2005 年)
G. J. Dicus, 美国, 马里兰州 Poolesville(2005 年去世)
J. -K. Lee, 韩国, 首尔(从 2005 年开始)
潘自强, 中国, 北京
Y. Sasaki, 日本, 东京
A. Sugier, 法国, 巴黎(从 2003 年开始)

通讯成员

P. Burns, 美国, 弗吉尼亚州 Yallambie
J. Cooper, 英国, 切尔顿

编辑: J. Valentin

译者的话

国际放射防护委员会 2007 年建议书(国际放射防护委员会第 103 号出版物)在经过 8 年的研究和讨论后出版了。在经过 ICRP 同意后,现在翻译为中文。本书的内容及参加翻译的人员是:编者的话、前言、内容提要、术语、1. 引言、2. 建议书的目的和范围(潘自强译,刘华、刘森林校);3. 放射防护的生物学方面(周永增译,周平坤校);4. 辐射防护中使用的量(夏益华译,马吉增校);5. 人类放射防护体系(刘华译,潘自强校);6. 委员会建议的实施(刘森林译,潘自强校);7. 患者、抚育者、照顾者及生物医学研究志愿者的医疗照射(马吉增译,夏益华校);8. 环境保护(刘森林译,潘自强校)。附录 A 归因于电离辐射的健康危险的生物学和流行病学资料:为人类放射防护目的的判断概要(周永增、周平坤译校);附录 B 放射防护中使用的量(夏益华、马吉增译校)。潘自强、郝建中负责全书的统稿。

本书翻译的时间较紧,一定有一些不妥之处,敬请读者指正。

国际放射防护委员会 2007 年建议书

国际放射防护委员会第 103 号出版物

2007 年 3 月委员会批准

摘 要

此次修改的放射防护体系建议书正式代替以前的 1990 年委员会建议书。它更新、整合和发展了从 1990 年以来发表的控制辐射源照射的附加的导则。

根据最新可用的辐射照射的生物和物理的科学信息,现在的建议书更新了当量剂量和有效剂量的辐射和组织权重因数,并更新了辐射危害的数值。建议书保持了委员会的三项放射防护基本原则,即正当性、最优化和剂量限值的应用,阐明了如何将这些基本原则应用于施与照射的辐射源和接受照射的个人。

建议书从以前采用以过程为基础的实践和干预的防护方法,发展为基于辐射照射情况的方法。照射情况分为计划照射、应急照射和现存照射三种,防护正当性和最优化基本原则适用于所有情况。对计划照射情况下所有受监管源,沿用委员会现行的有效剂量和当量剂量的个人剂量限值。委员会再次强调防护最优化原则。最优化原则可以用类似的方法应用于所有照射情况,但受到个人剂量和危险限制的约束;对计划照射情况是剂量和危险约束,对应急照射和现存照射情况是参考水平。建议书还包括发展一种描述环境放射防护框架的方法。

国际放射防护委员会 2007 年建议书由 Elsevier Ltd. 出版。版权所有。

关键词:正当性;最优化;剂量限值;约束;参考水平

编者的话

没有你们的帮助我们不能完成

在经过 8 年的讨论后,国际放射防护委员会新建议书于 2007 年 3 月 21 日在德国埃森通过,参与讨论的人包括全世界的科学家、监管人员和使用者。

委员会是一个咨询机构,给监管和咨询部门提出建议,主要是提供适当放射防护能够依据的基本原则的指导。从 1928 年成立以来,委员会系统地发表了有关防止电离辐射危害的建议书。现有系列出版物的第 1 份报告(第 1 号出版物)包含了 1958 年通过的建议书(ICRP, 1959)。近年来的建议书以第 26 号出版物(ICRP, 1977)和第 60 号出版物(ICRP, 1991b)发表,分别为 1977 年和 1990 年通过的建议书。

负责放射防护的国际组织和国家管理部门以及使用者把委员会发表的建议书和原则作为他们防护行动的根本依据。所以,实质上所有有关放射防护的国际标准和国家规定都是基于委员会的建议书。

现在,大多数国家的规定都是基于第 60 号出版物(1990 年建议书)。国际基本安全标准、各种国际劳工条约和欧洲放射防护规定等国际标准也是依据该建议书。

在第 26 号出版物中,委员会定量描述了辐射随机效应的危险,提出了包括正当性、防护最优化和个人剂量限值三原则的剂量限制体系。在第 60 号出版物中,委员会修订了他的建议书,把他的基本原理扩展成放射防护体系,但保持防护基本原则不变。

由于从第 60 号出版物发表以来已经有新的科学数据发表,虽然生物和物理假设和概念保持稳定,某些更新仍是需要的。确定效应总的估计基本上保持不变。在过去 17 年中归因于辐射照射的癌症风险没有大的变化,而现在估计的遗传效应危险比以前低。新的数据对危险

模拟和危害评价提供了更可靠的基础。

2007 年建议书从以前采用的以过程为基础的实践和干预的方法发展为基于辐射照射情况特征的方法。放射防护体系原则上可应用于任何辐射照射情况。无论照射情况如何,为了确定防护行动的范围和水平可以采用类似的方法。特别是,正当性和最优化原则可以普遍应用。国际放射防护委员会的意见是:对于至今仍被归为干预的防护的执行,能够通过更多地注意最优化得到加强。

考虑到委员会提出建议书的重要性,以及保证新建议书充分和适当地注意到国家的问题和关注点,委员会发起了一个比发展以前建议书所用的更为开放的过程。有一点也应注意到,委员会首次提出在优化防护时需要考虑利益相关者的观点和关注点。

因此,委员会广泛征集了放射防护利益相关者的信息,范围从政府机构和国际组织到科学家和非政府组织。建议书草稿在许多国际和国家会议上,以及对放射防护感兴趣的许多国际和国家组织中进行了讨论。

其中还有许多组织围绕建议书的计划安排了专门的活动。例如,国际辐射防护协会在其 2000 年和 2004 年大会上在其全球的成员组织内安排了评论。经济合作和发展组织核能署结合我们 2006 年公众咨询活动组织了七次国际研讨会,并四次详细评价了国际放射防护委员会建议书草稿文本(于 2003,2004,2006 和 2007 年),欧洲委员会在 2006 年组织了一次讨论会讨论建议书中的科学问题。以国际原子能机构为首的联合国机构正采用国际放射防护委员会 2007 年建议书作为修改国际基本安全标准的主要参考,欧洲委员会同样采用 2007 年建议书作为修改欧洲基本安全标准的主要参考。

建议书在经过两个阶段国际公众磋商后完成了制定工作。通过其透明的政策和利益相关者的广泛参与,国际放射防护委员会希望他的建议书能够得到较清楚的理解和广泛的接受。虽然修改后的建议书没有对放射防护政策作任何基本改变,但仍将有助于在遇到复杂照射情况下,更清楚地阐明防护体系的应用,从而进一步改善已经相当高的防护标准。

委员会很高兴在经过包括大量磋商的长时间但有用的酝酿后终于

达到了目的,令人高兴地呈现出 2007 年建议书。广泛的磋商使文件得到了很大的提高,委员会对许多组织、专家和公众成员表示感谢,他们为了帮助我们改善建议书贡献了许多时间和经验。他们的贡献对于 2007 年建议书将来的成功是至关重要的。

国际放射防护委员会主席
Lars-Erik Holm

参 考 文 献

- ICRP, 1959 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 1. Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Ann, ICRP 1(3)(国际放射防护委员会第 26 号出版物,国际放射防护委员会 1977 年建议书. 李树德译. 北京:原子能出版社,1978).
- ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann, ICRP 21(1-3)(国际放射防护委员会第 60 号出版物,国际放射防护委员会 1990 年建议书. 李德平、孙世荃、陈明俊、周永增、郭裕中译,李树德、魏履新、吴德昌、陈丽姝校. 北京:原子能出版社,1993).

目 录

译者的话	(I)
摘要	(II)
编者的话	(III)
目录	(VI)
前言	(1)
内容提要	(4)
术语	(11)
1. 引言	(30)
1.1 委员会的历史	(30)
1.2 委员会建议书的发展	(30)
1.3 建议书的结构	(35)
1.4 参考文献	(35)
2. 建议书的目的和范围	(38)
2.1 建议书的目的	(38)
2.2 防护体系的基础和结构	(39)
2.3 建议书的范围	(42)
2.4 排除和豁免	(43)
2.5 参考文献	(44)
3. 放射防护的生物学方面	(45)
3.1 确定效应(有害的组织反应)的诱发	(46)
3.2 随机效应的诱发	(46)
3.3 非癌症疾病的诱发	(53)

VI

3.4	胚胎和胎儿的辐射效应·····	(54)
3.5	判断和不确定性·····	(55)
3.6	参考文献·····	(55)
4.	放射防护中使用的量 ·····	(58)
4.1	引言·····	(58)
4.2	关于健康效应的考虑·····	(59)
4.3	剂量量·····	(59)
4.4	辐射照射的评价·····	(70)
4.5	不确定度及其评价·····	(76)
4.6	参考文献·····	(77)
5.	人类放射防护体系 ·····	(80)
5.1	源的定义·····	(81)
5.2	照射情况类型·····	(81)
5.3	照射的分类·····	(82)
5.4	受照射个人的鉴别·····	(83)
5.5	放射防护水平·····	(86)
5.6	放射防护原则·····	(88)
5.7	正当性·····	(88)
5.8	防护的最优化·····	(90)
5.9	剂量约束和参考水平·····	(93)
5.10	剂量限值·····	(98)
5.11	参考文献·····	(101)
6.	委员会建议的实施 ·····	(103)
6.1	计划照射情况·····	(103)
6.2	应急照射情况·····	(109)
6.3	现存照射情况·····	(112)
6.4	应急和现存照射情况下胚胎/胎儿的防护·····	(117)
6.5	放射防护准则的比较·····	(117)
6.6	实际的实施·····	(120)
6.7	参考文献·····	(125)

7. 患者、抚育者、照顾者及生物医学研究志愿者的医疗照射	(128)
7.1 医疗程序的正当性	(130)
7.2 医疗照射防护的最优化	(131)
7.3 医疗照射中的有效剂量	(132)
7.4 妊娠患者的医疗照射	(133)
7.5 外部射线束治疗和近距离治疗中的事故预防	(134)
7.6 放射性核素治疗中对患者的抚育者与照顾者的防护	(134)
7.7 生物医学研究中的志愿者	(136)
7.8 参考文献	(136)
8. 环境保护	(138)
8.1 环境放射防护目的	(138)
8.2 参考动物和植物	(139)
8.3 参考文献	(140)
附件 A 归因于电离辐射的健康危险的生物学和流行病学资料:为人类放射防护目的的判断概要	(141)
附件 B 放射防护中使用的量	(273)
全部参考文献	(356)

前 言

从 ICRP 1990 年建议书作为 ICRP 第 60 号出版物(ICRP 1991b)发表以来,委员会有计划地对其进行审议,并不时地在 ICRP 年报中发表补充报告。这些补充报告在一定程度上说明,现在整合这些报告和合理修改建议书是必要的。从第 60 号出版物出版以来,也已经发表了新的科学数据,虽然生物和物理假设和概念保持不变,某些更新仍是必要的。确定效应和随机效应的总的估计基本上保持不变。在过去 16 年中归因于辐射照射的癌症危险的总的估计没有明显的变化。相反,现在估计的遗传效应危险比以前低。总之,新的数据为危险模式和危害评价提供了更可靠的基础。很明显,现在比以前更加注重环境放射防护。

认识到国际和国家规定需要稳定,因此委员会决定发布这份修改的建议书,主要有两个目的:

- 在制订辐射安全标准时考虑新的生物和物理信息和趋势;
- 改善并简化建议书的表述。

另外,委员会在与新的科学知识和社会期望保持一致的

同时,尽量保持了建议书的稳定性。

在委员会修改的防护体系中,委员会建议书从以前基于过程的实践和干预的方法演变为基于辐射照射情况特征的方法。在采用这一方法时,委员会希望证实其防护体系原则上能够用于任何辐射照射情况。不管照射情况如何,为了确定防护行动的规模和水平可以采用类似的方法。特别是正当性和最优化的原则可以普遍应用。委员会的意见是:对于至今仍被归为干预的防护原则的实施,可通过增加对其普遍特征的关注而得到加强。

本建议书是基于经公众及内部磋商后形成的 2004 年早期草稿,及 2006 年修改稿由主委员会制定的。在修改的过程中,增强了透明度,包括征求对放射防护有兴趣的许多组织和个人的意见,委员会希望本建议书能够得到更多的共同理解并增强其可接受性。

在本建议书制定期间,主委员会的成员是:

(2001—2005)

R. H. Clarke(主席)

A. J. Gonzalez

Y. Sasaki

R. M. Alexakhin

L. -E. Holm(副主席)

C. Streffer

J. D. Boice jr

F. A. Mettler jr

A. Sugier(2003—2005)

R. Cox

潘自强

B. C. Winkler(2003 年去世)

G. J. Dicus(2005 年去世)

R. J. Pentreath(2003—2005)

科学秘书:J. Valentin

(2005—2009)

L. -E. Holm (主席)

J. -K. Lee

Y. Sasaki

J. D. Boice jr

H. Menzel(2007—2009)

N. Shandala

C. Cousins

潘自强

C. Streffer(2005—2007)

R. Cox(副主席)

R. J. Pentreath

A. Sugier

A. J. Gonzalez

R. J. Preston

科学秘书 :J. Valentin

P. Burns, J. Cooper, J. D. Harrison 和 W. Weiss 强有力地支持了委员会的工作,作出了重大的贡献。在许多国际会议中对本建议书的讨论也是有益的。

委员会希望对在发展本建议书中作出贡献的所有政府的和非政府的国际和国家组织,以及所有个人表示诚挚的谢意。

内 容 提 要

(a) 在 2007 年 3 月 21 日,国际放射防护委员会(ICRP)主委会批准了其修改的放射防护体系建议书,这份建议书正式取代在 1991 年作为第 60 号出版物发表的以前的建议书,更新了从第 60 号出版物以来发表的控制辐射源照射的附加导则。这份修改的建议书整合和发展了以前的建议书和导则。

(b) 在本建议书发表以前,委员会分别在 2004 年和 2006 年两次在国际上公开征求对本建议书草稿的意见。通过增加政策透明性和利益相关者的参与,委员会希望本建议书能够得到更清楚的理解和更广泛的接受。

(c) 本建议书的主要特征是:

- 根据生物和物理最新可用科学信息更新了当量剂量和有效剂量的辐射和组织权重因数,并更新了辐射危害。
- 保持了委员会的三项放射防护基本原则,即正当性、最优化和剂量限值的应用,阐明委员会的建议如何应用于施与照射的辐射源和接受照射的个人。
- 从以前的以过程为基础的实践和干预的防护方法,演变为对所有可控照射情况应用防护正当性和最优化的基本原则的基于情况的方法,现在建议书把照射情况分为计划照射、应急照射和现存照射情况。
- 对在计划照射情况下所有被监管的源沿用委员会现行的有效剂量和当量剂量的个人剂量限值,这些限值代表在任何计划照射情况下监管机构可接受的最大剂量。
- 再次强调了防护最优化的原则,这一原则可以用类似的方法用于所有照射情况,但受到个人剂量和危险限制的制约,对计划照射情况称作剂量和危险约束,对应急照射和现存照射情况称

作参考水平。

- 包括了开发一种描述环境放射防护框架的方法。

(d) 委员会放射防护体系对任何大小和来源的辐射源的电离辐射的所有照射均是适用的。然而建议书只在辐射源或受照途径能够通过某种方式得以控制的情况下才能得到全面的应用。有些照射情况从放射防护法规中被排除,通常是基于这种情况用监管的方法是不可能控制的,有些照射情况需要部分或全部地从放射防护监管要求中豁免,因为对其进行控制被认为是不合理的。

(e) 电离辐射健康效应的了解对委员会建议书是重要的。根据对归因于电离辐射健康危害生物和流行病学知识的评论,委员会已经得出下述结论。据判断,从第 60 号出版物发表以来,不同器官/组织的危害分布已有某些变化,特别是乳腺癌和遗传疾病方面。然而,假设在低剂量时响应是线性的,超额癌和遗传效应的总的危害约为每希沃特 5% 保持不变。在现行的估算中,具体体现为对实体癌所用的剂量和剂量率效能因数仍保持为 2 不变。委员会还判断,对产前的照射,a) 癌症危害与婴儿受照后相类似,和 b) 对诱发畸形和表现严重的智力迟钝存在阈剂量。委员会在第 60 号出版物中给出的对皮肤、手/脚和眼睛的有效剂量限值和当量剂量限值保持不变,但认识到需要进一步的信息,特别是对于眼睛可能需要重新判断。非癌症疾病(例如心血管病)可能超额的可用数据,还不足以提供对低剂量危险作出判断。

(f) 委员会对电离辐射的健康效应进行了广泛的评议,结果表明不需要对放射防护体系作任何基本改变。重要的是,从 1991 年以来在政策导则中发表的现行的数值建议依然有效,除非另有说明。因此,修改后的建议书不包括任何实质性的改变,这就意味着修改后的建议书在根据其以前的建议书和随后的政策导则制定的放射防护规定上不需有任何实质性的改变。

(g) 核心的假设是对癌症诱发和遗传效应的线性剂量响应关系;按照这一线性关系,剂量的增加与危害的增加成正比,在低剂量下也是如此;这一假设继续为外照射源所致剂量和摄入放射性物质所致剂量的叠加提供基础。

(h) 当量剂量和有效剂量的应用保持不变,但计算的方法作了许

多修改。根据有关不同辐射的相对生物效能可用数据范围的评价,加上生物物理的考虑,有必要改变中子和质子辐射权重因数的数值,中子的数值用中子能量的连续函数表示,还包括带电 π 介子的评价。光子、电子、 μ 介子和 α 粒子的辐射权重因数保持不变。

(i) 一个重要的变化是以基于医学 X 射线断层影像的参考计算用人体模型取代采用各种数学模式计算外部和内部源的剂量。对于成人,采用男人和女人模型获得的性别平均值计算当量剂量。然后基于更新的危害数据,采用修改后的年龄和性别平均组织权重因数计算有效剂量,并把它用作所有性别和年龄公众的约整数。有效剂量是针对参考人而非受照个人进行评价。

(j) 有效剂量被用作防护量,主要用途是对放射防护设计和优化中的预期剂量进行评价,衡量是否符合监管剂量限值要求。有效剂量不推荐用于流行病学估算,也不应用于个人照射和危险的详细的专门的回顾性调查。

(k) 集体有效剂量是最优化的一个工具,主要是在研究职业照射的过程中比较放射防护技术和防护方法。集体有效剂量不能用作流行病学危害评价的工具,在危险估计中采用它也是不合适的。用非常低的个人剂量在长时间尺度上进行聚合是不合适的,特别是应该防止基于来自很小个人剂量的集体有效剂量计算癌症死亡人数。

(l) 为了评价辐射剂量,有必要建立模拟外照射的几何条件、进入体内放射性核素的生物动力学以及人体的模型。参考模型和必要的参考参数值是通过一系列实验调查和人体研究经过判断制定和选取的。为了监管的目的,这些模型和参数值是用规定固定的,不考虑不确定度。委员会已意识到模型和参数值的不确定性和缺乏精度的问题,并正在着手努力改进关键的估算和减小不确定度。对于个人回顾性剂量和危险评价,必须考虑个人参数和不确定度。

(m) 委员会整合以前导则和建议的过程表明,为了提高清晰性和实用性,防护体系的结构和名词术语宜作某些改变。特别是实践和干预的区分在较广泛的辐射防护界内可能没有被清楚地理解。另外,用这种方式难于对照射情况进行分类。

(n) 委员会现在认识到需要用三类照射情况取代以前实践和干预

的分类。这三类照射情况包括所有照射情况的范围。这三类情况是：

- 计划照射情况,指计划引入或操作辐射源的情况(这类照射情况包括以前分类为实践的情况)。
- 应急照射情况,是指在计划照射情况的运行过程中可能发生,或由恶意行为引起的,并需要采取应急措施的意外情况。
- 现存照射的情况,是指在决定必须采取控制措施时照射已经存在的情况,如天然本底辐射引起的照射。

(o) 在修订的建议书中保留了放射防护的三项关键原则。正当性和最优化原则可在所有三类照射情况应用,剂量限值应用原则仅用于因计划照射情况引起的预期一定存在的剂量。这些原则定义如下：

- **正当性原则:**任何改变照射情况的决定都应当是利大于弊。
- **防护最优化原则:**在考虑了经济和社会因素后,遭受照射的可能性、受照射人员数量以及个人所受剂量的大小均需控制在可合理达到的尽量低水平。
- **剂量限值应用的原则:**除患者的医疗照射之外,任何个人受到来自受监管的源的计划照射的剂量之和不应超过委员会确定的相应限值。

委员会继续区分三类照射:职业照射、公众照射和患者(以及抚育者、照顾者和研究工作中的志愿者)的医疗照射。如果女性职工宣告她已怀孕,则必须考虑为了使胚胎/胎儿得到与公众成员相似的保护的附加控制。

(p) 修订的建议书强调最优化原则的关键作用。这一原则应以相同的方法用于所有照射情况。对剂量的限制针对的是名义个人(参考人),即对计划照射情况为剂量约束,对应急和现存照射情况为参考水平。在设计阶段应该丢弃可导致剂量数值大于限制的选择。重要的是,在最优化作为一个整体前提下,剂量限制是预期的。随着最优化防护策略的执行,如果结果表明超过了约束值或参考水平,应对其原因进行调查,但单独对这一事实不必立即采取监管行动。委员会希望通过强调在所有照射情况下的放射防护的共同方法,能有助于委员会建议在各种辐射照射环境中的应用。

(q) 在选取剂量约束和参考水平时有关国家管理部门常常起主要

作用。在修改的建议书中提供了选择过程导则。这些导则考虑了委员会以前提出的数值建议。

(r) 计划照射情况包括已按委员会以前的建议书中对实践进行管理的源和情况。对辐射在医学应用中的防护也包括在这类照射情况之中。在计划照射情况中的防护设计过程应包括对由于事故和恶意事件引起的偏离正常运行程序的考虑。在这样环境下引起的照射,委员会称为潜在照射。潜在照射不是计划的,但是可以预期的。因此,源的设计者和使用者必须采取行动减少潜在照射发生的可能性,如评价事件的概率和采用与这一概率相应的工程安全措施。对计划照射情况的建议实质上是和第 60 号出版物以及后续出版物的建议相同。对实践的职业和公众照射剂量限值仍适用于受监管源的计划照射情况。

(s) 在医疗中的放射防护不仅包括患者的防护而且也包括照顾和抚育者以及参与生物医学研究中的志愿者的防护。所有这类人员的防护需要特殊考虑。在第 73 号出版物中(ICRP,1996a)给出了委员会关于医疗中放射防护和安全的建议,在系列出版物中这些建议又进一步深化了。这些出版物中的建议、导则和忠告仍然有效,并在现在的建议书和国际放射防护委员会第 3 委员会为支持这些建议起草的第 105 号出版物(ICRP,2007b)中进行了总结。

(t) 在应急和现存照射情况中应用参考水平进行优化的重点要关注在执行防护策略后保留的残余剂量水平。残余剂量应低于参考水平,它代表应急所致的或在现存情况下的总的残余剂量,这一水平是监管者计划不得超过的水平。这类照射情况常常包括多种照射途径,这就意味着必须考虑包括多种不同防护行动的防护策略。然而,最优化过程将继续采用特定的措施对策所防止的剂量作为制定最优化策略的重要输入。

(u) 应急照射情况包括应急准备和应急响应的考虑。应急准备应包括在紧急情况出现时执行最优化防护策略的计划,以达到使照射低于选定的参考水平值的目的。在应急响应时,参考水平将作为评估防护行动效果的准则,并作为是否需要采取下一步行动的输入。

(v) 现存的照射包括天然存在的照射和来自过去事件和事故遗留的照射以及在委员会建议范围之外进行的实践的照射。在这类情况

下,防护策略常常是在若干年内以互动的逐步的方式进行。居室和工作场所内的氡是一种重要的现存照射情况,是委员会在 1993 年的第 65 号出版物中(ICRP,1993b)提出了专门建议的一种情况。此后几项流行病学研究已经确认了氡照射对健康的危害,总体上对委员会有关氡防护的建议提供了支持。为了与修改的建议书中的放射防护方法相一致,委员会建议国家有关管理部门应制定国家参考水平,以支持防护氡照射的最优化。为了保持连续性和可能性,委员会保留了在第 65 号出版物中给出的年剂量参考水平 10 mSv 上限值(年有效剂量,从住房室内氡-226 浓度 600 Bq m^{-3} 换算得出的)。委员会重申在工作中氡的照射超过国家参考水平时应考虑作为职业照射的一部分,当低于这一水平时,不应作为职业照射,但仍需要进行优化。

(w) 修订的建议书认识到保护环境的重要性。委员会以前也一直关心人类环境和自然环境,但主要是研究计划照射情况下有关放射性核素经环境的转移。在这种情况下,委员会仍然相信为保护公众所需要的环境控制标准将保证其他物种不受危害。为了提供一个在所有照射情况下环境保护的良好框架,委员会提议采用参考生物和植物。为了建立可接受性的基础,计算所得的这些参考动物的附加剂量,应能够与已知特定生物效应的剂量及在天然环境中正常所受剂量率进行比较。然而,委员会不准备制定对环境保护的任何形式的“剂量限值”。

(x) 委员会认为虽然本次修订的建议书没有对放射防护政策作任何基本改变,但这一建议书将帮助在遇到的各种复杂照射情况下,更清楚地阐明防护体系的应用,从而进一步改善已经相当高的防护标准。

参 考 文 献

ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3) (国际放射防护委员会第 60 号出版物,国际放射防护委员会 1990 年建议书. 李德平、孙世荃、陈明俊、周永增、郭裕中译,李树德、魏履新、吴德昌、陈丽姝校. 北京:原子能出版社,1993).

ICRP, 1993b. Protection against Radon-222 at home and at work. ICRP Publica-

tion 65. Ann, ICRP 23(2) (国际放射防护委员会第 65 号出版物,住宅和工作场所氡-222 的防护. 李素云译,周永增校. 北京:原子能出版社,1997).

ICRP, 1996a. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 73. Ann. ICRP 26(2) (国际放射防护委员会第 73 号出版物,医学中的放射防护和安全. 季明烁译,胡逸民审,郭裕中译校. 北京:原子能出版社,1999).

ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37(5).

术 语

α/β 比 (α/β ratio)

细胞存活曲线弯度的度量和组织或肿瘤对剂量分次照射灵敏度的度量。在这一剂量下,细胞致死的线性项和 2 次项是相等的。

吸收剂量 (absorbed dose), D

基本的剂量学量,定义为

$$D = \frac{d\epsilon}{dm}$$

式中, $d\epsilon$ 表示电离辐射授予物质质量 dm 的平均能量。吸收剂量的 SI 单位是每千克焦耳(J kg^{-1}),其特定名称是戈瑞(Gy)。

活性(红)骨髓[Active (red) bone marrow]

骨髓有机系统包括血液细胞形成的细胞系统,从多能造血干细胞到成熟造血细胞。

活度 (Activity), A

单位时间内在给定物质量中发生的核转化数的期望值。活度的 SI 单位是每秒(s^{-1}),其特定名称是贝可勒尔(Bq)。

活度中值空气动力学直径 (Activity Median Aerodynamic Diameter, AMAD)

在特定气溶胶中 50%的气载活度附着在大于 AMAD 粒子的空气动力学直径数值。当沉积主要依赖于惯性冲击和沉降时应用,典型的是当 AMAD 大于约 $0.5 \mu\text{m}$ 时。

适应性反应 (Adaptive response)

受过辐射照射的细胞反应,通常能增加细胞对随后的辐射照射的抗性。

周围剂量当量(Ambient dose equivalent), $H^*(10)$

辐射场中某点处的周围剂量当量是相应的扩展齐向场在 ICRU 球内逆齐向场的半径上深度 10 mm 所产生的剂量当量。周围剂量当量的单位是每千克焦耳(J kg^{-1}),其特定名称是希沃特(Sv)。

年摄入量(Annual intake), AI

在 1 年内食入或吸入人体内的某一放射性核素量。

细胞凋亡(Apoptosis)

因辐射或其他有害因素引起程序性细胞死亡的主动生物化学过程。

可防止的剂量(Averted dose)

采取防护措施或制定防护措施防止或避免的剂量,即如果不采取防护措施的预期剂量和预计剩余剂量之差。

基线率(Baseline rates)

在没有所研究诱因照射的群体中观察得到的年疾病发生率。

贝可[勒尔](Becquerel) [Bq]

活度 SI 单位的特定名称, $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1} (\approx 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci})$ 。

生物检验(Bioassay)

用活体测量或用排泄物或人体内获得的其他物质的实验室分析决定人体内放射性核素性质、活度、部位和滞留量所用的任何方法。

生物半排期(Biological half-life)

当不再有摄入时,由于生物过程,已经进入生物体或区室中的物质(即放射性物质)量减少一半所需时间。

近程放射治疗(Brachytherapy)

用密封的或非密封的放射源置于患者的体内的放射治疗。

旁效应(Bystander effect)

从受照射邻近细胞接受的信号引发的未受照射细胞的响应。

照射种类(Categories of exposure)

委员会把辐射照射分为三类,职业的、公众的和患者医疗照射。

集体剂量 (Collective dose)

参见“集体有效剂量”。

集体有效剂量 (Collective effective dose), S

从给定源在给定时间间隔 ΔT 内在个人有效剂量 E_1 和 E_2 之间的集体有效剂量定义为：

$$S(E_1, E_2, \Delta T) = \int_{E_1}^{E_2} E \left[\frac{dN}{dE} \right]_{\Delta T} dE$$

它可以近似为, $S = \sum_i E_i N_i$ 式中 E_i 是某一亚组的平均有效剂量, N_i 是该亚组的人数。通常均应指明有效剂量求和的时间间隔和人数。集体有效剂量的单位是每千克焦耳 ($J \text{ kg}^{-1}$), 其特定名称是人希沃特 ($\text{人} \cdot \text{Sv}$), 受到有效剂量 E_1 到 E_2 的人数 $N(E_1, E_2, \Delta T)$ 是：

$$N(E_1, E_2, \Delta T) = \int_{E_1}^{E_2} \left[\frac{dN}{dE} \right]_{\Delta T} dE$$

在时间间隔 ΔT 内在个人剂量 E_1 和 E_2 区间内有效剂量平均值 $\bar{E}(E_1, E_2, \Delta T)$ 是：

$$\bar{E}(E_1, E_2, \Delta T) = \frac{1}{N(E_1, E_2, \Delta T)} \int_{E_1}^{E_2} E \left[\frac{dN}{dE} \right]_{\Delta T} dE$$

待积有效剂量 (Committed effective dose), $E(\tau)$

待积器官或组织当量剂量和相应组织权重因数 (w_T) 乘积之和, τ 是摄入后的积分时间(年)。对成人待积时间取 50 年, 对儿童到 70 岁。

待积当量剂量 (Committed equivalent dose), $H_T(\tau)$

参考人体内摄入放射性物质后, 人体某一组织或器官所受当量剂量率的时间积分, τ 是积分时间(年)。

置信限 (Confidence limits)

与数据在统计上相符参变量的最低和最高估计值区间。95% 的置信区间是指参变量有 95% 的概率落在这一区间内。

控制区 (Controlled area)

在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散, 以及在一定程度上预防或限制潜在照射, 要求或可能要求专门防护手段和措施

的限定区域。控制区常常是在监督区内,但不是必需的。

DD

参见加倍剂量(Doubling dose)

导出空气浓度(Derived air concentration, DAC)

导出空气浓度等于在 1 个工作年内参考人吸入的空气体积(即, $2.2 \times 10^3 \text{ m}^3$)除放射性核素的年摄入限值,其单位是 Bq m^{-3} 。

标示区(Designated area)

这一区域可以是“控制的”或“监督的”。

确定效应(Deterministic effect)

具有阈剂量特征的细胞群的损伤,反应的严重程度随剂量的进一步增加而增加。也可以称为组织反应。在某些情况下,用包括生物响应调节剂在内的受照后程序,确定效应是可以改变的。

危害(Detriment)

由于辐射源引起的对人群组照射的结果,对受照射人群组和他们的后代产生的总健康损害。危害是一个多维的概念。其主要成分是一些随机量:归因于致死性癌症的概率,归因于非致死癌的加权概率,严重遗传效应的加权概率以及如果存在伤害时寿命损失的时间长短。

危害调整的危险(Detriment-adjusted risk)

为了表述后果的严重程度,对不同成分的危害进行修正后的随机效应事件的概率。

诊断参考水平(Diagnostic reference level)

在电离辐射医学影像中,在正常情况下用于指明某个特定程序对患者产生的剂量或注射的活度(放射性物质)对这一程序来说是否不正当地高或低。

定向剂量当量(Directional dose equivalent), $H'(d, \Omega)$

在辐射场中某点处的定向剂量当量是相应的扩展场在 ICRU 球内在特定方向 Ω 半径上深度 d 处的剂量当量。定向剂量当量的单位是每千克焦耳(J kg^{-1}),其特定名称是希沃特(Sv)。

剂量适应因数 DMF

剂量适应因数是引起相同生物效应水平时,用和不用适应剂时剂量的比值。

DNA 损伤信号 (DNA damage signalling)

对细胞内 DNA 损伤识别和反应的相互作用的生物化学过程,如引起增殖细胞循环的停滞。

分化 (Differentiation)

干细胞进入增殖途径的过程,在此期间子细胞获得特殊功能。

剂量和剂量率效能因数 (Dose and Dose-rate effectiveness factor, DDREF)

表述与高剂量和高剂量率照射相比较在低剂量和低剂量率时辐射照射的生物效应通常较低的评价因数。

剂量系数 (Dose coefficient)

单位放射性物质摄入量的剂量的同义词,但是有时也用于描述联系活度量或浓度和剂量或剂量率的其他系数,如在表面上一定距离处的外照射剂量率与单位面积上特定放射性核素沉积的活度。

剂量负担 (Dose commitment), E_c

计算工具,定义为由于特定事件如一年计划排放的活度所致人均剂量率 \dot{E} 的无限时间积分。当排放率在无限时间内为常数的情况下,对特定人群将来人均所受最大年剂量率等于一年实践的剂量负担,不考虑居民人数的变化。如果排放的活度仅仅在一定时间 τ 内是连续的,将来所受最大年人均剂量等于相应的截尾剂量负担,其剂量定义是:

$$E_c(\tau) = \int_0^{\tau} \dot{E}(t) dt$$

剂量约束 (Dose constraint)

来自某一个源的预期的和源相关的个人剂量限制,对来自某个源的最高被照射个人提供一个基本防护水平,用作源防护最优化的剂量上限。对于职业照射,剂量约束是在研究最优化的过程中用于限制选择范围的个人剂量数值。对于公众照射,剂量约束是公众成员预期从

任何可控源的有计划操作所接受的年剂量上限。

剂量当量 (Dose equivalent), H

在组织中某一点 D 和 Q 的乘积, 这里 D 是吸收剂量, Q 是在这一点特定辐射的质因数, 即:

$$H = DQ$$

剂量当量的单位是每千克焦耳 (J kg^{-1}), 其特定名称是希沃特 (Sv)。

剂量限值 (Dose limit)

在有计划照射情况下对个人产生的有效剂量或当量剂量不得超过的数值。

记录剂量 (Dose of record), $H_p(10)$

采用工作人员个人剂量监测结果和 ICRP 参考生物动力学和剂量学的计算模式, 用测量的个人剂量当量 $H_p(10)$ 和对参考人回顾性地确定的待积有效剂量之和评价的工作人员的有效剂量。记录剂量可以用照射场址特定的参数, 如材料种类和空气动力学直径活度中值, 但参考人参数必须采用委员会确定的数据。记录剂量是用于对工作人员为了记录、报告和回顾性地验证遵守监管剂量限值符合程度目的而定义的量。

剂量阈假设 (Dose-threshold hypotheses)

在本底之上的某个给定剂量, 低于这一数值假设超额癌和(或)遗传疾病危险等于零(也可参见组织反应阈剂量)。

加倍剂量 (Doubling dose, DD)

导致遗传突变增加等于下一代自发突变的辐射剂量 (Gy)。

DS02

在各种情况下估算 γ 和中子照射的一个系统 (2002 剂量系统), 能够计算寿命研究中成员特定器官的吸收剂量。DS02 是在 D86 剂量系统基础上改进的。

DS86

在各种情况下估算 γ 和中子照射的一个系统(1986 剂量系统),能够计算寿命研究中成员特定器官的吸收剂量。

有效剂量(Effective dose), E

人体所有组织和器官当量剂量组织加权之和,其表述式如下:

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad \text{或} \quad E = \sum_T w_T H_T$$

式中 H_T 或 $w_R D_{T,R}$ 是某个组织或器官 T 的当量剂量, w_T 是组织权重因数。有效剂量单位与吸收剂量相同,每千克焦耳($J \text{ kg}^{-1}$),其特定单位是希沃特(Sv)。

ELR

参阅“终身危险估计(Lifetime risk estimates)”。

应急(emergency)

主要是为了减小对人体健康和安全、生活质量、财产或环境的危害或有害后果,需要迅速行动的异常情况或事件。包括为减小可察觉危害批准采取迅速行动的情况。

应急照射情况(Emergency exposure situation)

在实践的操作中,存在需要紧急行动的非预期的情况。实践可以引起应急照射情况。

雇主(Employer)

根据国家法律指定的、按照互相同意的协议对她或他雇用的工作人员负有明确责任、约定和义务的组织、公司、合伙公司、商号、联合会、托拉斯、房产商、公共的和民管的机构、集团、政治或管理实体,或其他人员。雇用自己的人既是雇主也是工作人员。

当量剂量(Equivalent dose), H_T

在组织或器官 T 中的剂量

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

式中, $D_{T,R}$ 是在某个组织或器官 T 中辐射 R 产生的平均吸收剂量, w_R 是辐射权重因数。因为 w_R 是无量纲的,当量剂量的单位是与吸收剂

量相同的,每千克焦耳(J kg^{-1}),其特定名称是希沃特(Sv)。

超额绝对危险(Excess absolute risk)

受照射群体疾病发生率或死亡率减去未受照射群体相应疾病发生率或死亡率。超额绝对危险常用每 Gy 或每 Sv 附加超额率表述。

超额相对危险(Excess relative risk)

未受照射群体疾病率除受照射群体疾病率,减 1.0。常用每 Gy 或每 Sv 超额相对危险表述。

排除(Exclusion)

从监管控制法律文件范围慎重排除的特定照射种类。

豁免(Exemption)

由监管机构决定的包含辐射的源或实践活动部分或完全不需要受监管控制的。

现存照射情况(Existing exposure situation)

当需要作出控制决定时已经存在的情况,包括天然本底辐射和在委员会建议实施外的过去的实践的残留物。

受照射个人(Exposed individuals)

委员会把受照射个人划分为三类:工作人员(专业人员)、公众(一般人员)和患者(包括他们的抚育者和照顾者)。

注量(粒子注量)(Fluence, Particle fluence), Φ

dN 除以 da 的商, dN 是入射到截面积为 da 的小球粒子数,即

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

FSU

组织的功能次单元,如肾中肾单元、肺中的小泡。

戈瑞(Gray, Gy)

吸收剂量 SI 单位的特定名称,1 戈瑞(Gy) = 1 每千克焦耳(J kg^{-1})。

生长因子 (Growth factors)

控制细胞繁殖和细胞群体增殖或分化的分子。

发生率 (Incidence, incidence rate)

在某特定时间内在某人群中的疾病发生率,通常用每年每 100 000 人病例数表示(或每100 000人·年)。

诱发的基因组不稳定性 (Induced genomic instability)

更替细胞状态的诱发,自发突变率或其他基因组相关变化在许多代中持续增加。

摄入量 (Intake), I

通过呼吸道或胃肠道或皮肤进入体内的活度。

——急性摄入

通过呼吸或食入,或二者同时存在的一次性摄入。

——慢性摄入

在某一段时间内的摄入。

正当性 (Justification)

决定是否有利的过程,(1)包含辐射的有计划的活动,从总体上说是有益的;即从引入或继续这一活动对个人和对社会的利益在价值上超过由这一活动产生的伤害(包括辐射危害);或(2)在应急或现存情况下提出的补救行动从总体上说可能是有益的,从引入或继续补救行动对个人和对社会的利益(包括减小辐射伤害)在价值上超过其引起的费用和伤害或损害。

比释动能 (Kerma), K

不带电粒子在质量为 dm 的物质中释放出的全部带电粒子动能的总和与这一物质的质量 dm 之商:

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

比释动能定义为非随机量, dE_{tr} 是动能总和的期望值。比释动能的单位是每千克焦耳($J\ kg^{-1}$),它的特定单位是戈瑞(Gy)。

LAR

参阅“终身危险估算”。

LD₅₀

受照人员一半死亡的剂量。

LET(Linear energy transfer)

参阅“传能线密度”。

许可证持有者(Licensee)

监管机构颁发的现行法律文件的持有者,该文件批准持有者从事与装置或活度相关的专门活动。

寿命研究(Life span study,LSS)

日本广岛和长崎原子弹幸存者健康效应长期队列研究。

终身危险估计(Lifetime risk estimates)

为了计算照射引起的特定疾病(个人发生或死亡)的终身危害,可以采用几种危险估计方法:1) 超额终身危险(the excess lifetime risk, ELR),在被照射人群中疾病发生或死亡人员的比例和在没有受照射的类似人群中相应比例之差。2) 照射引发死亡的危险(the risk of exposure-induced death, REID),定义为给定性别和给定受照年龄受照射的和没有受照射的人群的特定病因引起的死亡率之差,这一病因是对人群引入的附加的死因。3) 寿命期望值的损失(Loss of life expectancy, LLE),描述由于照射原因引起寿命期望值的减少。4) 终身归因危险(Lifetime attributable risk, LAR),是 REID 的近似,描述在跟踪期内超过未受照人员实验确定的人群本底率的超额死亡数(或病例数)。在本报告中采用 LAR 估算终身危险。

线性剂量响应(Linear dose response)

表示效应危险(即疾病或异常)与剂量成正比的统计模式。

传能线密度(Linear energy transfer,L 或 LET)

带电粒子辐射在介质中的平均线能量损失率,即通过物质每单位路径长度的辐射能量损失。即等于 dE 除以 dl 之商, dE 是带电粒子在通过物质中距离 dl 时由于与电子碰撞损失的平均能量。

$$L = \frac{dE}{dt}$$

L 的单位是 J m^{-1} , 常常用 $\text{keV } \mu\text{m}^{-1}$ 表示。

线性无阈模型[Linear-non-threshold(LNT) Model]

基于在低剂量范围内, 超额癌和/或遗传疾病按简单正比方式随辐射剂量(大于零)而增加的这一假设的剂量响应模式。

线性平方剂量响应(Linear-quadratic dose response)

用两项之和(一项是与剂量成正比, 线性项; 另一项与剂量平方成正比, 二次项)描述效应危险(即疾病、死亡或异常)的统计模式。

LRE

参见终身危险估计(Lifetime risk estimates)。

MC

参见突变成分(Mutation component)。

组织或器官平均吸收剂量[Mean absorbed dose in a tissue or organ (T)], D_T

在组织或器官 T 中的平均吸收剂量 D_T , 表述为:

$$D_T = \frac{\epsilon_T}{m_T}$$

式中 ϵ_T 是在某个组织或器官 T 中平均总授予能量, m_T 是该组织或器官的质量。

医疗照射(Medical exposure)

患者因作为他们自己医疗或牙科诊断或治疗的组成部分而受的照射; 除了职业性受照人员之外的其他人, 这些人对辐射照射清楚了解, 但在支持和安抚患者方面自愿进行帮助而受的照射; 以及在包括照射的生物医学研究计划中自愿者所受的照射。

孟德尔病(Mendelian diseases)

归因于单基因突变的遗传病。

多因素疾病(Multifactorial diseases)

归因于多基因和环境因素的疾病。

多阶段肿瘤发生 (Multistage tumorigenesis)

能够导致从单一(靶)细胞到肿瘤发生的多阶段的细胞性质。

突变成分 (Mutation Component, MC)

提供度量每单位突变率相对变化疾病频率相对变化的量,即反应性的度量;对于不同类型的遗传病突变成分是不同的。

标称危险系数 (Nominal risk coefficient)

对代表性人群性别平均和受照年龄平均的终身危险估计。

非癌疾病 (Non-Cancer diseases)

除癌之外的躯体疾病,如心血管疾病和白内障。

天然存在的放射性物质 (naturally occurring radioactive material, NORM)

除天然放射性核素外,不含有明显量的其他放射性核素的放射性物质。NORM 包括因某一过程改变了天然存在的放射性核素活度浓度的物质。

职业照射 (Occupational exposure)

指工作人员因从事他的工作所受的所有照射,下述情况除外,1) 排除的照射和包含辐射的豁免活动或豁免源产生的照射;2) 任何医疗照射;以及 3) 正常地区天然本底辐射。

运营管理者 (Operating management)

在最高层次指导、控制和评价一个组织的个人或人群组。有许多不同名称可用,包括,例如首席执行官(CEO)、总经理(DG)、常务董事(MD)和执行团组。

运行实用量 (Operational quantities)

在实际应用中为监测和调查外照射情况中所用的量。用于测量和评价人体所受的剂量。在内照射剂量测量中,没有定义直接用于评价当量剂量或有效剂量的运行剂量量。为了评价由于人体内放射性核素导致的当量剂量或有效剂量可以用不同的方法,最常用的是基于各种活度测量和应用生物动力学模式(计算模式)的方法。

防护(和安全)最优化[Optimisation of protection(and safety)]

决定什么防护和安全水平使得照射和潜在照射的概率和大小达到可合理达到的最低水平的过程,经济和社会因素考虑在内。

粒子注量(Particle fluence), Φ

参见“注量”。

个人剂量当量(Personal dose equivalent), $H_p(d)$

运行适用量,在位于人体组织特定点的相应深度 d 软组织中(通常用 ICRU 球说明)的剂量当量。个人剂量当量的单位是每千克焦耳(J kg^{-1}),特定名称是希沃特(Sv)。特定点通常由配带个人剂量计的位置确定。

计划照射情况(Planned exposure situations)

包含计划运营源的常见情况,包括退役、放射性废物处置和以前占有土地的恢复。运营的实践是计划照射情况。

集合分析(Pooled analysis)

基于几个并行分析研究的原始数据的流行病学数据的分析。

潜在照射(Potential exposure)

预期不一定发生的照射,这些照射可能是源的事故造成的,或包括设备缺陷和操作失误的概率性质的事件或事件序列。

潜在恢复能力修正因子(Potential recoverability correction factor, PRCF)

考虑认识到不同类种系突变在活产后代身上显示出不同程度的恢复能力的一组因子,即通过不同的能力允许完成胚胎/胎儿发育。

防护原则(Principles of protection)

同样地适用于所有可控制照射情况的一套原则:正当性原则,防护最优化原则,在计划情况下采取最大剂量限值的原则。

祖代细胞(Progenitor cell)

具有有限繁殖能力的未分化细胞。

预期剂量 (Projected dose)

如果不采取防护措施预期所受剂量。

防护量 (Protection quantities)

委员会为放射防护提出的剂量量, 这些量能够定量描述全身和局部外辐照和摄入放射性核素的电离辐射对人体照射的大小。

公众照射 (Public exposure)

辐射源对公众成员产生的照射, 不包括任何职业或医疗照射, 以及正常地区本底辐射。

质因数 (Quality factor), $Q(L)$

基于在组织中沿带电粒子轨迹的电离密度, 描述辐射生物效能的因数。Q 定义为在水中带电粒子非定限线能量转换 L_{∞} (常用 L 或 LET 表示) 的函数。

$$Q(L) = \begin{cases} 1 & L < 10 \text{ keV}/\mu\text{m} \\ 0.32L - 2.2 & 10 \leq L \leq 100 \text{ keV}/\mu\text{m} \\ 300/\sqrt{L} & L > 100 \text{ keV}/\mu\text{m} \end{cases}$$

在当量剂量的定义中 Q 被辐射权重因数所取代, 但是在监测中计算运行剂量当量时仍然使用。

辐射危害 (Radiation detriment)

用于定量描述辐射照射对人体不同部位有害健康效应。委员会明确其取决于下述几个因素, 包括辐射相关癌症或遗传效应的发生率及其致死率、生活质量以及由此引起损失寿命的年数。

辐射权重因数 (Radiation weighting factor), w_R

一个无量纲因数, 器官或组织吸收剂量乘以这一因数反映高 LET 辐射与低 LET 辐射比较其生物效应更大。该因数用于由一个组织或器官的平均吸收剂量推算当量剂量。

放射性物质 (Radioactive material)

国家法律或监管机构明确需要控制的物质, 因为其有放射性, 通常是考虑活度和活度浓度二者。

放射攻击 (Radiological attack)

为恶意目的使用放射性物质或核物质,如黑邮件、谋害、蓄意破坏或恐怖活动。

随机误差 (Random error)

以不可重复方式变化的误差。这类误差可以用概率规律处理。

RBE

参见“相对生物效能”。

参考动物和植物 (Reference Animals and Plants)

参考动物或植物是一种假设的实体,具有假定的特定动物或植物种类的基本特性,如科分类水平描述的确定的解剖学的、生理学的和生活史特性的总的特征,这些动物和植物作为这类生物有机体的代表能够用于研究照射剂量和剂量效应关系的目的。

参考男人和参考女人 (参考个人) [Reference Male and Reference Female, (Reference individual)]

具有委员会为放射防护目的定义特性的典型男人或女人,在ICRP 参考人任务组的报告(第 89 号出版物,ICRP 2002)中明确了其解剖学的和生理学特性。

参考人 (Reference Person)

用平均参考男人和参考女人的相应剂量计算器官或组织当量剂量的典型人。参考人的当量剂量用于计算有效剂量,参考人当量剂量乘以相应的组织权重因数等于有效剂量。

参考体模 (Reference phantom)

具有在ICRP 参考人任务组报告(第 89 号出版物,ICRP 2002)中明确的解剖学和生理学特性的体素人体模型(基于医学影像数据的男人和女人体素体模)。

参考值 (Reference value)

在缺乏比较特定的信息时,委员会推荐的在生物动力学模式中采用的参数值,即为了计算报告中剂量系数所用的精确值。为了在计算中避免约数误差的累积,参考值可能比选择已知有不确定度的实验值

更精确。

参考水平 (Reference level)

在应急或现存的可控制照射情况下,参考水平表示这样的剂量或危险水平,对于计划准许存在的照射高于这一水平时认为是不恰当的,在这一水平之下应进行防护最优化。参考水平值的选择取决于所考虑照射的主要情况。

相对生物效能 (Relative biological effectiveness, RBE)

产生相同生物效应的低 LET 参考辐射剂量相对于所考虑的辐射的剂量之比。RBE 值随所考虑的剂量、剂量率和生物学终点而变化。在放射防护中,在低剂量下的随机效应 RBE(RBE_M)有特别意义。

相对寿命损失 (Relative life Lost)

在受照射人群中疾病死亡人员观察的寿命损失年数的比例和没有受照射的类似人群中的相应比例之比。

REID

参见“终身危险估计”。

相对存活率 (Relative survival)

诊断癌症后存活某特定年数(例如 5 年)的癌症病人比例相对于可以比较的一组非癌症人群的相应比例之比。

代表人 (Representative Person)

代表人群中所受高端照射人员所接受剂量的个人(参见第 101 号出版物,ICRP 2006a)。这个术语等效于并取代以前 ICRP 建议书中描述的“关键居民组的平均人员”。

剩余剂量 (Residual dose)

预计在防护措施已全部完成后(或决定不再采取任何防护措施时)存在的剂量。

危险约束 (Risk constraint)

从一个源产生的个人危险的(因潜在照射产生的危害概率)前瞻的和源相关的限制,对受到来自一个源的最危险的个人提供一个基本防

护水平,在对源的防护最优化中作为个人危险的上限。这一危险是引起剂量的意外事件的概率以及这一剂量产生危害的概率的函数。危险约束相应于剂量约束,但它是针对潜在照射。

安全(Safety)

达到适当的运行状态、事故预防或事故后果减小的要求。

安保(Security)

对包含核材料、其他放射性物质或与其相关的装置的偷窃、蓄意破坏、未经许可进入、违法转移或其他恶意行动的预防和探测以及反应。

灵敏度分析(Sensitivity analysis)

其目的是可定量描述模式结果对其所包含不同变数的相关性。

希沃特(Sievert, Sv)

当量剂量、有效剂量和运行剂量值的 SI 单位专用名称。单位是每千克焦耳(J kg^{-1})。

源(Source)

作为一个整体放射防护能够被优化的实体,如医院中的 X 射线设备或从一个设施中释放的放射性物质。辐射源,如辐射发生器和密封放射性物质,更一般地说,引起照射的辐射或放射性核素源。

源区(Source region), S_i

在摄入放射性核素后在参考体模中含有放射性核素的解剖学的区域。区可以是一个器官、一个组织、胃肠道和膀胱的组成部分或组织的表面如骨骼、消化道和呼吸道。

比吸收份额(Specific absorbed fraction)

在源区 S 中发射的特定辐射的能量份额,这些能量被 1 kg 靶组织 T 所吸收。

统计势(Statistical power)

流行病学研究以一定可信度鉴别给定水平危害升高的概率。

干细胞(Stem cell)

未分化的、多潜能的细胞,具有无限的细胞分裂能力。

辐射随机效应(Stochastic effects of radiation)

诱发引发恶性肿瘤疾病和遗传效应的概率,而不是其严重性,是剂量的函数,且没有阈值。

监督区(Supervised area)

未被确定为控制区,正常情况下不需采取专门防护手段或安全措施,但要不断检查其职业照射状况的指定区域。

系统误差(Systematic error)

可重复的且倾向于沿一个方向上结果的偏离。其原因是可归因的,至少在原则上是这样,可以包含常数和可变成分。通常其误差不能用统计方法处理。

靶区(Target region), T_i

体内(参考体模)吸收辐射的解剖学的区域。这个区(域)可以是胃肠道、膀胱、骨骼和呼吸道等一个器官或一个特定的组织。

组织反应阈值剂量(Threshold dose for tissue reactions)

估计组织反应发生率仅为 1% 的剂量。

组织反应(Tissue reaction)

参见“确定效应”。

组织权重因数(Tissue weighting factor), w_T

组织或器官 T 的当量剂量的权重因数表示在人体受到均匀照射时组织或器官对总健康危害的相对分布(ICRP 1991b)。可表示如下:

$$\sum_T w_T = 1$$

径迹结构(Track structure)

在物质中沿电离辐射轨迹的径迹的能量沉积的空间模型。

危险转移(Transport of risk)

取对某一人群估算的危害系数,用于具有不同特征的另一人群。

体素体模(Voxel phantom)

基于医学 X 射线断层扫描影像的计算拟人体模,用人体各器官和组织的特有的密度和原子组成的三维小体元描述解剖单元。

工作人员 (Worker)

雇主雇用的专职的、部分时间的或临时的任何人员,他已了解与职业放射防护有关的权利和职责。

术语的参考文献

ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3) (国际放射防护委员会第 60 号出版物,国际放射防护委员会 1990 年建议书. 李德平、孙世荃、陈明焜、周永增、郭裕中译,李树德、魏履新、吴德昌、陈丽姝校. 北京:原子能出版社,1993)

ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32(3/4).

ICRP, 2006a. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public and The optimisation of radiological protection: Broadening the process. ICRP Publication 101. Ann. ICRP 36(3).

1. 引言

(1) 这一章论述委员会及其建议书的历史。明确本报告的目的和形式,指明为什么委员会本身仅关心电离辐射防护。

1.1 委员会的历史

(2) 国际放射防护委员会,以下称委员会,由国际放射学大会在1928年建立,其名称是国际X射线和镭防护委员会(IXPC),随后在1950年第2次国际放射学大会上决定改组并改名为现在的名称。

(3) 委员会是一个独立的慈善团体,即一个非盈利的组织。委员会与其姊妹团体,国际辐射单位和测量委员会(ICRU)紧密的合作;与联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)、世界卫生组织(WHO)和国际原子能机构(IAEA)有正式关系;还与国际劳工组织(ILO)、联合国环境规划署(UNEP)和其他联合国机构有重要关系。与其有工作关系的其他组织包括:欧洲共同体委员会(欧洲委员会,EC),经济合作和发展组织核能署(OECD/NEA),国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)。委员会通过与国际辐射防护协会(IRPA)的紧密联系也保持了与职业放射防护界的接触。委员会也考虑了国家组织报道的进展。

1.2 委员会建议书的发展

(4) 委员会的第一个通用建议书发表于1928年,建议通过限制在医用源上的工作时间保护职业人员(IXRPC,1926)。这一限制现在估算相当于每年个人剂量约为1 000 mSv。早期的建议书是避免阈效应,开始是定性的方法。在防护能够定量和剂量限值能够明确之前需要剂量测量系统。在1934年,建议书提出了安全阈值概念,约为现在

年职业剂量限值的 10 倍(IXRPC,1934)。在 1951 年,继续采用耐受的观念,委员会建议的限值现在估计对低 LET 辐射约为每周 3 mSv(ICRP,1951)。到 1954 年由于美国放射学家超额恶性疾病和日本原子弹幸存者最初超额白血病显示的流行病实例(ICRP,1955),对阈值的支持减小了。

(5) 核能的军事和工业应用的发展使得委员会在 20 世纪 50 年代初提出了保护公众的建议。在委员会 1956 年建议书中(ICRP,1957),制定了周和累积剂量限值,相应地对工作人员的年剂量限值为 50 mSv 对公众为 5 mSv。认识到现在定名为随机效应的可能性以及对这种效应表明不可能存在或不存在阈值,委员会 1954 年建议书建议“应做各种可能的努力减小所有类型的电离辐射照射到最低可能的水平”(ICRP,1955)。随后形成的建议如保持照射“实际的尽量低”(ICRP,1959)，“能够达到的尽量低”(ICRP,1966),以及后来的“可合理达到的尽量低,以及经济和社会因素考虑在内”(ICRP,1973)。

(6) 在现在系列报告中委员会第一个报告,即编号为第 1 号的出版物(1959)包括 1958 年批准的建议书。随后的总建议书是作为第 6 号出版物(1964),第 9 号出版物(1966),第 26 号出版物(1977)和第 60 号出版物(1991b)发表的。为了支持这些总的建议书发表了许多提供更专门主题建议的其他出版物。

(7) 在第 26 号出版物中,委员会第一次定量提出了辐射随机效应危害,提出了剂量限制体系及其三项原则:防护的正当性和最优化以及个人剂量限制。在 1990 年委员会对建议书作了较大的修改,部分是因为辐射照射危害的估计提高了,部分是因为扩展了其基本体系,从剂量限制体系扩展到放射防护体系(ICRP,1991b)。保留了正当性、最优化和个人剂量限制原则,考虑到在各种照射情况的差别引入了“实践”和“干预”的区分。此外,更强调了具有约束的防护最优化以限制由于固有的经济和社会判断可能导致结果的不平等。

(8) 在 1956 年确定的对工作人员的年剂量限值 50 mSv^①一直保留到 1990 年,根据广岛、长崎原子弹幸存者寿命研究估计的随机效应

① 为了一致性,在过去报告中的某些名词和单位已转换为现在的名词术语。

危害的修正进一步减小为平均每年的 20 mSv(ICRP,1991b)。在委员会“巴黎声明”中对公众成员的年剂量限值从 5 mSv 减小到平均每年 1 mSv(ICRP,1985b),在第 60 号出版物中(ICRP,1991b)剂量限值是每年 1 mSv,在“特殊情况”下可以在 5 年内平均。

(9) 从第 60 号出版物以来,已经出版了一系列出版物,这些出版物为控制辐射源照射提供了附加的导则(参阅总参考文献目录)。包括 1990 年建议书在内,为限制在不同情况下个人剂量,这些报告提出了约 30 个不同的数值。而且,这些数值在各种不同途径中被认为是合理的(ICRP,2006b)。委员会在第 91 号出版物中开始发展环境保护的政策导则(ICRP,2003b)。

(10) 委员会现在决定采用一套修改后的建议,而在此同时保持以前建议的稳定性。

(11) 委员会对有关电离辐射健康效应大量主要文献的广泛评论没有表明放射防护体系需要有任何基本的改变。因此,在本建议书中连续性多于变化。有些建议被保留因为这些建议是有效和清楚的;另外一些更新了,因为理解进化了;添加了某些内容因为原来没有;更好地表述了某些概念,因为需要更好的指引。

(12) 现在的建议书整合并加上了以前在各 ICRP 出版物中发表的。除非另有说明,从 1991 年以来在政策导则中给出的现有数值建议仍然有效。因此,不应认为那些根据第 60 号出版物和后续政策导则中以前的建议制定的放射防护规定需要按本建议书做一些重要改变。本建议书重申和强调在放射防护中最优化的重要性,以及把对于实践(现在包括在计划照射情况中)执行这一要求的成功经验推广到其他情况,即应急和现存照射情况。

(13) 委员会计划在这一建议书之后制定在不同情况下应用最优化过程的报告。

(14) 这一整合的建议书是由一系列支持文件支持的,这些文件较仔细地描述了委员会政策的重要方面,建议书是以下述出版物为基础的:

- 辐射相关癌症危害的低剂量外推(第 99 号出版物,ICRP,2005d)。

- 归因于电离辐射的健康危险的生物和流行病学资料：为人类放射防护目的的判断概要(本建议书附件 A)。
- 在放射防护中使用的量(本建议书附件 B)。
- 放射防护最优化(第 101 号出版物中,ICRP,2006a,第 2 部分)。
- 代表人的剂量评价(第 101 号出版物中,ICRP,2006a,第 1 部分)。
- 电离辐射环境影响的评价框架(第 91 号出版物,ICRP,2003b)。
- 另外,委员会还提供了放射防护的范围(第 104 号出版物,ICRP,2007a)和在医学实践中的放射防护(第 105 号出版物,ICRP,2007b)的导则。

(15) 委员会的基本目标一直是,以后仍然是实现人类放射防护。然而,他以前也涉及对其他物种的可能影响,虽然对于环境作为一个整体的保护没有作任何总的声明。在第 60 号出版物中(ICRP,1991b),委员会的确在那个时候声明,他本身关心的仅仅是有关放射性核素通过环境转移的人类环境,因为这些直接影响人类的放射防护。然而,委员会表述了下述观点,要求保护人类达到现在要求程度的环境控制标准将保证其他物种不会受到危害。

(16) 委员会一直相信这可能是通常说的计划照射情况(参见 5.2 节计划照射情况的定义)的情形,因此在这种情况下人类栖息地受到了相当好的高度保护。然而,考虑到其他的环境,这里没有采用委员会为保护人类的建议或没有人类的地方,以及其他照射情况引起的环境后果可能需要考虑。委员会也清楚某些国家管理部门直接而清楚地表示了这样的需要,甚至在计划照射情况也应考虑保护环境。因此现在相信,为了在共同的科学基础上评价照射和剂量之间、剂量和效应之间的关系以及对非人类物种的这种效应的后果,发展一个较清晰的框架是需要的。在第 8 章将进一步讨论这一问题。

(17) 委员会的建议原则上是针对负责放射防护的监管当局、组织和个人的。委员会的建议书在过去帮助提供了国家和区域监管标准的一致的基础,委员会一直关心保持其建议的稳定性。委员会提供基本原则的导则,根据这些基本原则能够做到适当的放射防护。其目的不

是提供监管的文本。然而,相信应该可以由此发展并与其导则广泛一致的文本。

(18) 委员会的建议书和国际电离辐射防护与辐射源安全的基本安全标准(通常简称:“BSS”)之间紧密相关。BSS 是由联合国大家庭内有关国际组织合作制定的,并由国际原子能机构出版。国际原子能机构理事会已经决定 BSS 必须采用委员会的建议。因此 BSS 常常是跟随委员会新建议制定的。例如,国际放射防护委员会 1977 年和 1990 年建议书就是分别在 1982 年和 1996 年出版的国际基本安全标准修订版的基础。

(19) 和以前的报告一样,本建议书限于电离辐射的防护。委员会认识到适当控制非电离辐射源的重要性。国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP)提供了有关这类源的建议(ICNIRP,2004)。

1.2.1 剂量量及其单位的演变

(20) 第一个剂量单位伦琴(R)是在 1928 年由国际 X 射线单位委员会对 X 射线制定的,这个委员会后来演变为国际辐射单位与测量委员会(ICRU)(IXRUC,1928)。术语“剂量”的第一次正式使用是在 1937 年 ICRU 建议书中与单位 R 的修改定义同时出现的(ICRU,1938)。在 1953 年 ICRU 提出了吸收剂量的概念和正式定义名称和其单位拉德(rad),并把剂量的概念扩展到除空气外的某些物质中(ICRU,1954)。

(21) 国际辐射单位与测量委员会采用包含不同类型辐射相对生物效能(RBE)的第一个剂量量是单位为雷姆(rem)的 RBE 剂量,这个量在 1956 年国际辐射单位与测量委员会建议书中规定为 RBE 加权的吸收剂量(拉德)之和。经过国际辐射单位与测量委员会和本委员会的共同努力,用剂量当量取代剂量量,剂量当量定义为吸收剂量、辐射质因数、剂量分布因数和其他必要的修正因数的乘积(ICRU,1962)。雷姆(rem)保留作为剂量当量的单位。后来,国际辐射单位与测量委员会在他的 1962 年建议书中定义了另一个剂量量,比释动能(kerma),并简化照射剂量的名称为“照射”。

(22) 在委员会 1977 年建议书中,为了限制随机效应委员会引入

了一个新的剂量当量量,其定义是人体各种组织和器官的剂量当量加权之和,权重因数定名为“组织权重因数”(ICRP,1977)。在1977年斯德哥尔摩会议上委员会定名这一新的加权剂量当量量为“有效剂量当量”(ICRP,1978)。与此同时,采用SI剂量单位,用戈瑞(Gy)代替拉德(rad),用希沃特(Sv)代替雷姆(rem)。

(23) 在委员会1990年建议书中(ICRP,1991b),委员会重新定义了人体相关剂量量。在组织或器官中的平均吸收剂量被定义为用于防护目的的基本量。另外,考虑到生物效应不是单一地决定于传能线密度,委员会决定采用基于在低剂量下诱发随机效应相关的RBE的“辐射权重因数”,代替在1977年建议书中计算剂量当量所用的质因数。为区分剂量当量量值的结果,委员会命名新量值为当量剂量。相应地有效剂量当量被重新定名为“有效剂量”。考虑到辐射健康效应的新资料,对组织权重因数作了某些修改。

(24) 现在采用的剂量量和其单位的较详细的描述在第4章中。

1.3 建议书的结构

(25) 第2章有关建议书的目的和范围。第3章有关辐射生物效应方面。第4章讨论在放射防护中的量和单位。第5章描述人类放射防护体系的概念框架,第6章有关对三种不同类型照射情况委员会建议的实施。第7章描述患者的医疗照射,第8章讨论环境的保护。

1.4 参考文献

ICNIRP, 2004. ICNIRP Publications 1992-2004. A reference CD-ROM based on guidelines on limiting exposure to non-ionizing radiation and statements on special applications. Matthes, R., Bernhardt, J. H., McKinlay, A. F. (eds) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Munich, Germany. ISBN 3-934994-05-9.

ICRP, 1951. International Recommendations on Radiological Protection. Revised by the International Commission on Radiological Protection and the 6th International Congress of Radiology, London, 1950. Br. J. Radiol. 24, 46-53.

- ICRP, 1955. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Br. J. Radiol. , (Suppl. 6).
- ICRP, 1957. Reports on Amendments during 1956 to the Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). Acta. Radiol. 48, 493-495.
- ICRP, 1959. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 1. Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP, 1964. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 6. Pergamon Press, Oxford, UK(国际放射防护委员会第6号出版物,国际放射防护委员会建议书. 果行译. 北京:原子能出版社,1975).
- ICRP, 1966. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 9, Pergamon Press, Oxford, UK(国际放射防护委员会第9号出版物,国际放射防护委员会建议书. 刘增鼎译,果行校. 北京:原子能出版社,1975).
- ICRP, 1973. Implications of Commission Recommendations that Doses Be Kept As Low As Readily Achievable. ICRP Publication 22. Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1 (3)(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. 李树德译. 北京:原子能出版社,1978)
- ICRP, 1978. Statement from the 1978 Stockholm Meeting of the ICRP. ICRP Publication 28. Ann. ICRP 2 (1).
- ICRP, 1985b. Quantitative bases for developing a unified index of harm. ICRP Publication 45. Includes: Statement from the 1985 Paris meeting of the ICRP. Ann. ICRP 15 (3)(国际放射防护委员会第45号出版物,制定统一危害指数的定量基础. 周永增译,李素云校. 北京:原子能出版社,1990).
- ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3) (国际放射防护委员会第60号出版物,国际放射防护委员会1990年建议书. 李德平、孙世荃、陈明俊、周永增、郭裕中译,李树德、魏履新、吴德昌、陈丽姝校. 北京:原子能出版社,1993).
- ICRP, 2003b. A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33 (3) (国际放射防护委员会

第 91 号出版物,非人类物种电离辐射影响评价框架. 潘自强,陈竹舟译校. 辐射防护,2004).

- ICRP, 2005d. Low dose extrapolation of radiation-related cancer risk. ICRP Publication 99, Ann. ICRP35 (4).
- ICRP, 2006a. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public and The optimisation of radiological protection; Broadening the process. ICRP Publication 101. Ann. ICRP36 (3).
- ICRP, 2006b. Analysis of the Criteria used by the ICRP to Justify the setting of Numerical Values. Supporting Guidance 5. Ann. ICRP 36 (4).
- ICRP, 2007a. Scope of radiological protection control measures. ICRP Publication 104. Ann. ICRP 37 (5).
- ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37 (6).
- ICRU, 1938. Recommendations of the International Commission on Radiation Units, Chicago, 1937. Am. J. Roentgenol., Radium Therapy Nucl. Med. 39, 295.
- ICRU, 1954. Recommendations of the International Commission on Radiation Units, Copenhagen, 1953. Radiology 62, 106.
- ICRU, 1962. Radiation Quantities and Units, Report 10a of the International Commission on Radiation Units and Measurements, Natl. Bur. Std Handbook 78.
- IXRPC, 1928. X ray and Radium Protection. Recommendations of the 2nd International Congress of Radiology, 1928. Br. J. Radiol. 12, 359-363.
- IXRPC, 1934. International Recommendations for X ray and Radium Protection. Revised by the International X ray and Radium Protection Commission and adopted by the 4th International Congress of Radiology, Zurich, July 1934. Br. J. Radiol. 7, 1-5.
- IXRUC, 1928. International X ray unit of intensity. Recommendations of the 2nd International Congress of Radiology, 1928. Br. J. Radiol. 12, 363-364.

2. 建议书的目的和范围

2.1 建议书的目的

(26) 委员会建议书的基本目的是为防止辐射照射对人和环境的有害效应提出一个适当的防护水平,但不过分限制可能与照射相关的有益的人类活动。

(27) 这一目的不是仅仅根据辐射照射和其健康效应的科学知识就可以达到的。这要求一个针对辐射的保护人类和环境的模式。建议书是以科学知识和专家判断为基础。科学数据是必要的前提,如有关归因于辐射照射的健康危害的资料,但是也必须考虑防护的社会和经济方面。有关放射防护的所有这一切要求必须对不同类型危害的相对重要性以及危害和利益的平衡做出有价值的判断。在这一点上,放射防护与控制危害的其他领域是没有什么不同的。委员会相信科学的估计和价值判断作为基础和二者之间的区别应该尽可能清楚,所以应增加如何作出决策的透明度和理解。

(28) 放射防护涉及两类伤害效应。高剂量引起确定效应(伤害组织反应,参见第3章),常常是急性的,仅仅在剂量超过阈值时表现出来。高剂量和低剂量二者均可引起随机效应(癌症或遗传效应),这些效应在受照射较长时间后可以用统计检验方法观察到其发生率增加。

(29) 委员会放射防护体系的目的主要是保护人类健康。其健康目标是较明确的,对电离辐射进行管理和控制,以防止确定效应,并使随机效应的危害降低到可合理达到的程度。

(30) 相反,“环境保护”没有简单的或唯一的普遍定义,从一个国家到另一个国家、从一个环境到另一个环境其概念均不同。因此,对非人类物种考虑辐射效应的其他途径可能证明更有用,如早期死亡率、发生率或繁殖率降低。委员会的目的现在是阻止或减小有害辐射效应频

度到这样的水平,使得对生物多样性的保持、物种保护、自然栖息地的健康和状态的影响可以忽略不计。然而,在达到这一目的过程中委员会认识到辐射照射只是需要考虑的一个因素,而且常常可能是一个小的因素。委员会提出导则和建议,以保证他的方法与其他人类活动影响处于同一危害水平,并与环境保护的努力协调一致。

2.2 防护体系的基础和结构

(31) 因为辐射照射情况的多样性和在宽广的应用范围内达到统一的要求,委员会建立了一个规范的放射防护体系,其目的是促进形成一个可行的和有道理的防护方法。该体系必须涉及许多照射源,有些是已经正常就位的,另外一些可能是社会慎重选择引入的或是应急的结果。这些源是与导致现在和将来对个人、人群组或全体公众产生照射的各种互相联系的事件和情况相关的。已经发展的防护体系能够用合理的结构处理这一复杂的网络。

(32) 人类防护体系是基于下述工作基础上的,a) 用于评价辐射剂量的人的参考解剖学和生理学的模式,b) 分子和细胞水平的研究,c) 实验动物的研究,以及 d) 流行病学研究。利用模式推导得出了对工作人员、患者和公众的不同放射性核素单位摄入量的待积内照射剂量和单位空气比释动能或注量的外照射剂量的表格化的标准数据。外辐射照射和内辐射照射相关危害的估算可以采用流行病学和实验的研究结果。对于生物效应,数据来自实验生物学支持的人类的实验。对癌症和遗传效应,委员会的起点是流行病学研究以及动物和人类遗传学研究结果。为了提供放射防护感兴趣的低剂量的危害估计,补充了癌发生和遗传机制实验研究的资料。

(33) 关于围绕组织权重因数和危害估计不确定性的问题,委员会考虑对于放射防护目的采用年龄和性别平均组织权重因数和危害数值估计是适当的。为了使两性得到适当的保护,防护体系是充分可靠的。此外,这样就可避免对特定性别和特定年龄放射防护准则的要求,可以证明这种差别对待是不必要的。然而,为了辐射相关危害的回顾性估计的目的,如流行病学研究,采用特定性别和年龄数据和计算特定性别

和年龄的危害是适当的。在附件 A 和 B 中讨论委员会的计算危害的详细方法。

(34) 委员会危害估计是称为“标称的”，因为他是与标称男性和女性人群照射相关的，其年龄分布是典型的，计算时采用年龄组和性别平均的方法。对放射防护推荐的剂量学量是有效剂量，也是用年龄和性别平均计算的。用于评价有效剂量的标称因数存在许多固有的不确定性。对于放射防护的目的，死亡率和危害系数的估算是适当的；但是对于从流行病学推导的所有估计，标称的危害系数决不能用于特定人员。为了估计受照射的个人或已知人群的可能后果，采用有关受照个人的特定资料是必要的。

(35) 正如委员会已经建议的那样(ICRP, 1999a)，在可能超过有关器官确定效应剂量阈值情况时，几乎在任何情况下均应采取防护行动。在确定效应阈值的当前估计中，特别是在包括持续照射的情况下，考虑到不确定性是谨慎的。基于这一考虑，对年剂量高到 100 mSv 时采取防护行动几乎常常是正当的。

(36) 在低于约每年 100 mSv 的辐射剂量时，委员会假设随机效应发生率的增加存在一个小的概率并且在本底剂量之上与辐射剂量增加成正比。委员会认为采用所谓线性无阈(LNT)模式是管理辐射照射危害的最实际途径，是与“谨慎的原则”(UNESCO, 2005)相符的。委员会认为 LNT 模式仍然是在低剂量和低剂量率时放射防护的谨慎基础(ICRP, 2005d)。

(37) 甚至在单一类的照射中，个人可能受到几个源的照射，所以必须考虑总照射的评价。这种评价称为“个人相关的”。也需要考虑由一个源或一组源对所有人员的照射。这种方法称为“源相关的”评价。委员会强调源相关评价是最重要的，因为能够对源采取行动，以保证与那些源相关个人的防护。

(38) 随机效应的概率性和 LNT 模式的性质使得不可能清楚划分“安全”和“危险”的界线，这就使得在阐明辐射危害控制时产生某些困难。LNT 模式政策的主要含义是必须假设存在一定的某种危害，虽然是小的，防护水平是建立在相信危害是可以接受的基础上的。这就导致委员会的防护体系及其三项防护基本原则：

- 正当性。
- 防护最优化。
- 剂量限值的应用。

在第 5.6 节中将更详细地讨论这些原则。

(39) 在保护人们免受电离辐射伤害效应中,不管对何种源,控制(在限制意义上)辐射剂量是重要的。

(40) 放射防护体系的基本组成可总结如下:

- 可能存在的辐射照射的可能情况的特征(计划的,应急的和现存的情况)。
- 照射类型的分类(一定存在的和可能存在的照射,以及职业照射、患者医学照射和公众照射)。
- 被照射人员的鉴别(工作人员,患者和公众成员)。
- 评价类型的分类,即源相关和个人相关。
- 防护原则的准确阐述:正当性、最优化和剂量限值的应用。
- 需要防护行动或评价的个人剂量水平的描述(剂量限值、剂量约束和参考水平)
- 辐射源安全状态的描述,包括它们的安保和应急准备及响应的要求。

(41) 应该对本建议书所描述的和上面总结的放射防护体系的实施进行监督和评价。以从实际中学习和鉴别需改进的任何领域的观点,定期进行评价是重要的。

(42) 在本建议书中,委员会在源相关的防护中采用相同概念的方法,强调防护的最优化,不管源的类型、照射情况或被照射的个人如何,源相关的剂量或危害限制均应进行防护最优化分析。原则上,涉及剂量高于这些限制水平的防护选择应该被排除。委员会对于实践的这些限制以前采用了术语“约束”。为了保持一致性的原因,在计划照射情况的有关内容中委员会继续采用这一术语,因为这种情况包括实践的正常状态。然而,委员会认识到在许多文字中“约束”一词的解释是作为一种严格的限制。委员会的意图不是这种含义,其应用必须考虑具体情况。

(43) 可以根据包括委员会一般建议(参见第 6.5 节表 8)的通常考

虑或最佳的实践选择防护行动水平。在一些特殊环境下,特别是在应急或现存照射情况下,可能存在这种情况,没有可行的防护方案能够立即满足通常考虑选择的防护水平。因此,如果把“约束”解释为像限值一样严格,则可能严重地和有害地曲解最优化过程的结果。由于这个理由,在应急或现存照射情况下,委员会建议为了限制剂量或危害采用术语“参考水平”;对计划允许存在高于这一水平的照射被认为是不合适的,低于这一水平应该实施防护最优化。然而,委员会希望强调对计划照射情况和其他两个照射情况术语的差别决不意味着在防护体系应用中的任何基本差别。在计划照射情况、应急照射情况和现存照射情况中最优化原则应用的更深入的指南将在第 6 章中提供。

2.3 建议书的范围

(44) 委员会放射防护体系适用于任何源的所有辐射照射,不管其大小和来源。辐射一词在这里意味着电离辐射。委员会采用辐射照射(或简称为照射)一词通常意味着辐射或放射性核素照射的过程,照射的含义是由辐射剂量后果决定的(ICRP,1991b)。术语“源”是用于表示照射的来源,而不一定是一个辐射源实体(参见第 5.1 节)。通常,为了应用本建议书的目的,一个源是为了放射防护的目的能够作为一个整体进行优化的实体。

(45) 委员会有意使他的建议书的应用尽可能广泛和尽可能协调一致。特别是,委员会的建议书包括天然和人工源二者的照射。建议书作为一个整体仅仅能够用于能够用某种合理方法控制的使人员受到剂量的照射源或途径。在这种情况下下的源称为可控制源。

(46) 可能有许多源,并且有些人员可能受到多个源的辐射照射。倘若剂量低于确定效应(伤害组织的反应)的阈值,假设归因于情况的附加剂量和相应的随机效应概率的增加成正比,使得有可能单独处理总照射的每一个组成成分和选择对放射防护重要的那些成分。而且,可能把这些成分划分为与各种目的相关的组。

(47) 委员会以前区分增加剂量的实践与减小剂量的干预(ICRP,1991b)。委员会现在采用以可能情况为特征的基于情况的方法,辐射

照射可能存在计划的、应急的和现存的情况；一套防护基本原则用于所有情况(参见第 5.6 节)。

(48) 然而,术语“实践”一词在放射防护中已广泛应用。委员会将继续采用这个术语描述引起辐射照射或辐射照射危险增加的活动。

(49) 实践可能是商业、贸易、工业或任何其他生产活动;也可能是政府的事业或慈善事业。实践的概念意味着能够对引入或保持的辐射源直接采取控制行动。

(50) “干预”一词在放射防护中应用得也较广泛,已经被国家和国际标准采用描述采取行动减小照射的情况。委员会相信限制使用这一术语描述减小照射的防护行动更为适当,而用“应急”或“现存照射”这些术语描述需要采取减小照射防护行动的放射照射情况。

2.4 排除和豁免

(51) 委员会建议书涉及所有水平和类型的辐射照射,这一事实决不意味着在建立对其应用的法律和法规体系时能够或需要同样地考虑所有照射、所有源和所有人类活动。相反,必须按照监管控制特定源或照射情况的责任大小和与源或情况相关的照射(危险)水平确定不同层次和水平的责任。

(52) 存在描述放射防护控制程度的两个不同概念,即(i) 从放射防护法规中排除的一些照射情况,通常是基于这种情况用监管方法是无法控制的(不可能监管的);(ii) 对控制被认为不合理的情况,需要部分或完全从放射防护监管要求中豁免,这常常是基于控制的努力与相关危害比较被认为是多余的(不需要监管)。首先应该建立一个放射防护的法规体系,什么应该在法规体系内,什么应该在其外面,因此应从法规及其规章中排除。其次,体系还应确定因为监管行动是不合理的,因而什么能够部分或全部豁免监管的要求。为了这一目的,法规框架应该允许监管机构有权对某些情况豁免其特定监管的要求,特别是那些行政管理性质的如通知和核准或照射评价和监督。尽管排除是与定义控制体系的范围紧密相关的,但如果只有这一种机制时可能是不充分的。在另一方面,豁免关系到监管机构有权决定一个源或实践的

一部分和全部不需要进行监管控制。排除和豁免的区别不是绝对的；关于是否豁免或排除某一特定源或情况，不同国家的监管机构可以作出不同的决定。

(53) 可以从放射防护法规中排除的照射包括不可控制的照射和无论其大小如何均难于控制的。不可控制的照射是指在任何可以想象的环境下监管行动均不可能限制的，例如进入人体内的放射性核素钾-40 产生的照射，难于控制的照射是指控制明显是不实际的，如地面宇宙射线的照射。决定什么照射是难于控制的需由立法者判断，文化观念可能影响这种判断。例如：对天然存在的放射性物质引起照射的监管各个国家态度是极不相同的。

(54) 在第 104 号出版物(ICRP, 2007a)中提供了排除和豁免的深一层的指南。

2.5 参考文献

ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3) (国际放射防护委员会第 60 号出版物, 国际放射防护委员会 1990 年建议书. 李德平、孙世荃、陈明俊、周永增、郭裕中译, 李树德、魏履新、吴德昌、陈丽姝校. 北京: 原子能出版社, 1993).

ICRP, 1999a. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82. Ann. ICRP 29 (1-2) (国际放射防护委员会第 82 号出版物, 在持续辐射照射情况下公众的防护—委员会辐射防护体系应用于由天然源和长寿命放射性残存物引起的可控制辐射. 叶常青译, 夏益华校. 辐射防护, 2001, 21, 增刊).

ICRP, 2005d. Low dose extrapolation of radiation-related cancer risk. ICRP Publication 99. Ann. ICRP 35 (4).

ICRP, 2007a. Scope of radiological protection control measures. ICRP Publication 104. Ann. ICRP 37 (5).

UNESCO, 2005. The Precautionary Principle. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France.

3. 放射防护的生物学方面

(55) 辐射照射的大多数有害健康效应可以分为两种类型：

- 高剂量照射后由于大部分细胞被杀死/功能丧失而产生的确定效应(有害的组织反应)；
- 随机效应,即癌症和遗传效应,包括由于体细胞突变而在受照个体内形成的癌症和由于生殖细胞突变而在其后代身上发生的遗传疾病。

还考虑了对胚胎和胎儿的效应,以及非癌症疾病。

(56) 在第 60 号出版物中(ICRP,1991b),委员会把导致组织反应的辐射效应归为确定效应,对于辐射诱发的癌症和遗传疾病则使用术语随机效应。细胞群损伤产生的效应在第 41 号出版物中称之为非随机效应(ICRP,1984),而在第 60 号出版物中被术语确定效应所取代(ICRP,1991b),意思是由已发生事件所确定的结果。放射防护领域以外的人员对通用术语确定效应和随机效应并不总是那么熟悉,鉴于此以及其他原因(在附件 A 中给出),第 3 章和附件 A 还分别采用直接描述性术语组织反应和癌症/遗传效应。但是,委员会指出,通用术语确定效应和随机效应在防护体系中已被牢固地使用,于是根据上下文关系把通用术语和直接描述性术语当作同义词使用。

(57) 关于这一点委员会指出,某些辐射引起的健康后果,特别是某些非癌症效应(参见 3.3 节),将其归入哪一类尚不十分清楚。1990 年以来,委员会评议了辐射生物效应许多方面的问题。本章总结了委员会的意见,重点放在单次照射或年累积照射给出的有效剂量低于约 100 mSv(或吸收剂量约为 100 mGy 的低 LET 辐射)的情况。附件 A 和第 99 号出版物(ICRP,2005d)给出了 1990 年以后在放射生物学和流行病学方面进展的更详细总结,并对支持本章所作建议的判断进行了解释。

3.1 确定效应(有害的组织反应)的诱发

(58) 诱发组织反应的特点是存在阈剂量,该阈剂量存在的原因在于,在给定组织中关键细胞群的辐射损伤(严重的功能丧失或死亡)需要持续存在,直到损害表现为临床相关表征。高于该阈剂量时损害的严重程度,包括组织恢复能力的损害随剂量而增加。

(59) 在超过阈剂量的情况下,早期(数天到数周)组织反应可能是由于细胞因子释放而产生的炎症型,或可能是因细胞丢失而产生的反应(第 59 号出版物,ICRP,1991a)。如果反应是因组织的直接损伤而引起,那么晚期(数月 to 数年)组织反应可能是一般型;相反,如果它们是早期细胞损伤的结果,那么其他的晚期反应可能是继发型(Dörr and Hendry, 2001)。这些辐射诱发组织反应的实例在附件 A 中给出。

(60) 生物学和临床资料的评议使委员会对作为组织反应基础的细胞和组织机理及用于主要器官和组织的剂量阈的判断有进一步发展。委员会判断,在吸收剂量低于约 100 mGy 的范围内(低 LET 或高 LET),组织不会在临床上表现出功能损伤。该判断既适用于单次急性剂量,又适用于那些每年反复持续小剂量照射的情况。

(61) 附件 A 提供了关于不同器官和组织剂量阈值(相当于产生大约 1%发生率的剂量)的更新资料。根据当前的资料委员会判断,在第 60 号出版物(ICRP,1991b)中给出的职业和公众的剂量限值,包括对皮肤、手/脚和眼睛的当量剂量限值,为了防止确定效应(组织反应)的发生仍然是适用的;参见 5.10 节和表 6。然而,估计会有关于眼睛辐射敏感性的新数据,当获得这些新数据后委员会将予以考虑。另外在附件 A 中还介绍了用于皮肤当量剂量限值的临床准则。

3.2 随机效应的诱发

(62) 对于癌症,流行病学和实验研究结果提供了辐射危险的证据,尽管在大约 100 mSv 或更低剂量下带有不确定性。关于遗传疾病,即使没有直接证据证明人类的辐射危险,但是实验观察却有说服力

地证明,对后代的这种危险应该包括在防护体系之中。

3.2.1 癌症危险

(63) 1990 年以来,关于辐射肿瘤形成的细胞和动物研究资料的积累更强化了这样的观点,即在单个细胞中的 DNA 损伤响应过程对辐射照射后癌症的形成是至关重要的。这些资料加上对癌症过程的认识普遍提高,令人越来越相信,有关 DNA 损伤响应/修复和基因/染色体突变诱发的详细资料对判断小剂量情况下辐射诱发癌症发病率增加有重要的作用。这些知识同样会影响对相对生物效能(RBE)、辐射权重因数以及剂量和剂量率效应的判断。对 DNA 辐射效应理解的提高,如复杂形式的 DNA 双链断裂的诱发、在正确修复这些复杂形式的 DNA 损伤时细胞所经历的问题,以及随之发生的基因/染色体突变,具有特别重要的意义。在辐射诱发 DNA 损伤方面微剂量学知识的提高同样对理解 DNA 的辐射效应有很大帮助(详见附件 A 和 B)。

(64) 尽管存在一些例外,但是为了放射防护目的委员会判断,伴有剂量响应数据的基本细胞过程的重要证据支持这样的意见:在科学上有理由假设,在小剂量范围内,低于大约 100 mSv,癌症或遗传效应的发病率随相关器官和组织的当量剂量的增加成正比地增加。

(65) 因此,委员会所建议的放射防护的实际体系将继续建立在如下的假定之上,在剂量低于大约 100 mSv 的情况下,给定的剂量增量与归因于辐射的癌症或遗传效应发生概率的增量成正比,这个剂量-响应模型一般称作“线性无阈”,或 LNT 模型。该意见与联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR,2000)的意见相一致。几个国家学术机构提出了其他的估计,有些与 UNSCEAR 的意见一致(NCRP,2004,NAS/NRC,2006),而法国科学院报告(2005)支持辐射癌症危险有实际阈的观点。然而,根据所作分析(第 99 号出版物,ICRP,2005d)委员会认为,联合采用 LNT 模型及剂量和剂量率效能因数(DDREF)的判断值,能为放射防护的实际目的,即小剂量辐射危险的管理提供谨慎的基础。

(66) 但是,委员会强调指出,虽然 LNT 模型在其放射防护体系中科学上存在可能合理的因素,然而能明确证实支持 LNT 模型假设的

生物学/流行病学资料尚未获得(同样参见 UNSCEAR, 2000, NCRP, 2001)。由于小剂量情况下健康效应的这种不确定性,委员会认为,为了公众健康计划的目的,计算许多人在很长时期内接受很小辐射剂量所产生的癌症和遗传病例数的理论数字是不合适的(参见 4.4.7 和 5.8 节)。

(67) 在作关于 LNT 模型实际判断的时候,委员会研究了有关细胞适应性反应数据、自然发生和小剂量诱发 DNA 损伤的丰富资料,以及辐射诱发基因组不稳定性和旁效应信号(第 99 号出版物,ICRP, 2005d)这些照后细胞现象的存在可能带来的挑战。委员会承认,这些生物学因素和持续照射的肿瘤促进效应,以及免疫现象,均可影响辐射癌症危险(Streffer 等,2004),然而,上述过程的机制和肿瘤生成后果的不确定性太大,不能作实际判断。第 99 号出版物和 UNSCEAR 报告(2008)评议了这些证据。委员会同样指出,既然标称癌症危险系数的估计是建立在人类直接流行病学数据之上,那么这些生物学机制的任何贡献都已包括在该估计之中。这些过程在癌症危险中所起作用的不确定性将持续下去,直到它们与体内癌症发展的关系得到证实,并了解了所涉及的这些细胞机制的剂量依赖关系。

(68) 1990 年以来,积累了更多的关于辐射照射后不同器官癌症危险的流行病学资料。许多新资料来自 1945 年日本原子弹爆炸幸存者的继续随访——寿命研究(LSS)。对于癌症死亡率(Preston 等, 2003),随访 47 年(1950.10~1997.12);对于癌症发病率(Preston 等, 2007),随访时间是 41 年(1958.1~1998.12),后者(1990 年没有数据)能提供较可靠的危险估计,主要因为癌症发病率能考虑较准确的诊断。因此,对于本建议书,委员会把重点放在发生率数据上。另外,来自 LSS 的流行病学数据提供了更多的关于辐射癌症危险的时间和年龄依赖模型的资料,尤其是那些幼年受照者危险估计的资料。总之,当前由寿命研究结果导出的癌症危险估计值 1990 年以来没有大的变化,但是把癌症发生率数据包括在内可为附件 A 中描述的危险模型的建立提供更坚实的基础。

(69) 但是,LSS 并不是辐射癌症危险资料的唯一来源,委员会考虑了来自医疗、职业和环境研究的数据(UNSCEAR, 2000, NAS/

NRC,2006)。对于某些部位的癌症,在 LSS 数据和其他来源的数据之间存在着合理的可比性,但是委员会指出,对于某些器官/组织的危险以及总危险来说,辐射危险估计值在不同的数据集之间存有差别。关于环境辐射照射的大多数研究目前缺乏足够的有关剂量和肿瘤确定的资料,以利于委员会直接对危险进行估计,但在将来这可能是很有价值的资料来源。

(70) UNSCEAR 采用剂量和剂量率效能因数(DDREF)把根据高剂量和高剂量率情况下确定的癌症危险用于小剂量和低剂量率情况下的危险。一般来说,根据流行病学、动物和细胞的综合资料,这些小剂量和低剂量率情况下的癌症危险是通过除以 DDREF 值得来的。在 1990 年建议书中,委员会作了大致的判断,为放射防护的一般目的,DDREF 值应取 2。

(71) 那些来自环境和职业情况的有关持续照射的流行病学数据原则上应该是 DDREF 判断的直接有用的资料,但是,这些研究所给出的统计学精确性和由于不能适当控制混淆因素(附件 A)而产生的其他不确定性,使现在不能确切估计 DDREF。于是,委员会根据实验数据的剂量-响应特点,LSS 及其他机构(NCRP,1997,EPA,1999,NCI/CDC,2003,附件 A)所作随机不确定性分析结果,决定在其 DDREF 的选择中继续采用大致的判断。

(72) BEIR VII 委员会最近通过贝叶斯统计学分析综合了有关 DDREF 的放射生物学和流行病学证据,所利用的数据集是:a) LSS 中的实体癌;b) 动物癌症和寿命缩短。根据这些分析得到 DDREF 的众数值为 1.5,范围为 1.1~2.3,据此,BEIR VII 委员会选择了 1.5。BEIR VII 委员会承认在其特殊选择中具有的主观和随机不确定性,而 DDREF 值取 2 是和所用的数据以及所作的分析相一致的。此外,依据附件 A 委员会指出,对于诱发基因和染色体突变,DDREF 值一般波动在 2~4,对于诱发动物癌症和寿命缩短,DDREF 值一般波动在 2~3。

(73) 在分析上面指出的所有数据时,认识到表示持续照射的致癌效能和寿命缩短降低的动物实验数据大致处于一个范围,委员会认为没有令人信服的理由来改变 1990 年建议书中的 DDREF 数值 2。但是

委员会强调,对于放射防护的实际目的这仍然是一个大致的整数判断,它含有一些不确定因素,委员会用这个危险减少因数 2 来推导表 1 中给出的所有癌症的标称危险系数。但是委员会指出,实际上对不同的器官/组织用不同的剂量和剂量率效应可能要好。

表 1 低剂量率辐射照射后随机效应的危害调整标称危险系数 (10^{-2}Sv^{-1})

受照人群	癌 症		遗传效应		合 计	
	本出版物 ¹⁾	第 60 号出版物	本出版物 ¹⁾	第 60 号出版物	本出版物 ¹⁾	第 60 号出版物
全部人群	5.5	6.0	0.2	1.3	5.7	7.3
成年	4.1	4.8	0.1	0.8	4.2	5.6

1) 数值取自附件 A。

3.2.2 遗传效应的危险

(74) 仍然没有直接证据能证明双亲受辐射照射导致后代遗传疾病增加,但是委员会判断,令人信服的证据表明,辐射在实验动物身上引起遗传效应。因此,委员会继续慎重地把遗传效应的危险包括到放射防护体系之中。

(75) 委员会还注意到一些报告(在 2001 年 UNSCEAR 报告中被评议),它们根据原爆幸存者和小鼠遗传数据认为,过去可能高估了遗传疾病的危险。1990 年以后发表了一些在生殖细胞突变方面有定量意义的人类和动物数据,它们影响到委员会对在后代身上显现出的诱发遗传疾病危险的判断。而且,对包括辐射产生的人类遗传疾病和种系突变过程的基本理解也有了实质性的提高。委员会重新评价了第 60 号出版物中用来估计遗传危险的方法学,包括多因素疾病危险(第 83 号出版物,ICRP,1999b)。

(76) 现在委员会采用新框架来估算遗传危险,它使用取自人类和小鼠研究的资料(UNSCEAR,2001,NAS/NRC,2006),而且首次采用了用来估计多因素疾病危险的科学合理的方法。小鼠研究结果继续用以估算遗传危险,因为缺乏关于辐射引起的种系突变确实导致后代遗传效应的明显的人类证据。

(77) 估算遗传危险的新方法继续建立在第 60 号出版物所使用的疾病相关突变的加倍剂量(DD)概念之上。该方法不同之处在于,在估算 DD 时考虑了活产儿突变的可恢复性,另一个区别是结合使用人类自发突变率的直接数据和由小鼠研究结果推导出的辐射诱发突变率。该新方法学(参见附件 A,方框 A. 2)建立在 UNSCEAR 2001 年报告的基础之上,且最近也被 NAS/NRC(2006)所采用。在第 60 号出版物中,是在突变和选择之间处于理论平衡时来估计遗传危险的。根据更多的知识委员会表示,不再支持这种计算中的许多基础假设。UNSCEAR(2001)和 NAS/NRC(2006)也表示了同样的意见,因此,现在委员会遗传危险的估计只到第 2 代。

(78) 委员会认为,这种方法不会明显地低估遗传效应。UNSCEAR(2001)和附件 A 对该问题进行了讨论,认为在 2 代和 10 代显现的遗传效应之间没有本质的差别。

(79) 现在委员会对于直到第 2 代遗传危险的估计值 $0.2\% \text{ Gy}^{-1}$ 和 UNSCEAR(2001)所引证的估计值基本相同(参见附件 A 和 UNSCEAR 2001,表 46)。但是,即使在新方法学中有重大变化,巧合的是当前的第 2 代危险和第 60 号出版物给出的数值非常近似。当前的数值是关于这两代期间连续低剂量率照射的。

3.2.3 癌症和遗传效应的危害调整标称危险系数

(80) 辐射诱发癌症和遗传效应的新资料用来建立危险模型和计算疾病危害,以估计性别平均标称危险系数。

(81) 所推荐的标称危险系数应该用于全部人群而不是个人仍然是委员会的一个政策,委员会相信,这个政策为一个简单而足够牢固的一般防护体系创造了条件。但是在应用这一政策时委员会确认,危险估计值因男性、女性(特别是乳腺)和受照时年龄不同而有很大差别。附件 A 提供了关于这些差别的数据和计算。

(82) 性别平均癌症标称危险系数的计算,包括不同器官和组织标称危险的估计、用 DDREF、致死性、生活质量对这些危险的调整,最后导出一组包括性腺照射产生的遗传效应在内的不同部位相对危害值。这些相对危害值构成了委员会组织权重体系的基础,附件 A(方框 A.

1)对组织权重体系进行了解释,第4章对其进行了总结。

(83) 在这些计算的基础上,委员会推荐了危害调整癌症危险的标称概率系数,对全部人群为 $5.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$,对成年工作人员为 $4.1 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 。对于遗传效应,危害调整标称危险系数对全部人群估计为 $0.2 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$,对成年工作人员为 $0.1 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 。与第60号出版物相比,最大的变化是遗传效应的标称危险系数减少到第60号出版物给出的1/6到1/8。表1给出了这些值,并将其与1990年建议书即第60号出版物(ICRP,1991b)中所采用的危险估计值进行比较。遗传危险修改后的估计值明显地减少了性腺组织权重因数的判断值(参见附件A第4节和详细论证),但是,委员会强调指出,性腺组织权重因数的减少不能成为允许增加性腺可控照射剂量的正当理由。

(84) 表1中给出的当前癌症标称概率系数是用与第60号出版物不同的方法计算的,当前估计值是根据用致死性/生活质量降低加权的癌症发病率数据和相对寿命损失判断计算的,而第60号出版物中的危害则是根据对非致死性癌症加权的致死癌症危险、致死癌症的相对寿命损失和非致死癌症生活质量降低估计的。

(85) 应当指出,虽然表1中的所有系数都取到十分位,但是这种表示只是为了用来与附件A比较,并不是指精度水平(参见81和82段)。

(86) 尽管癌症危险数据及其危害有些变化,但是目前的标称危险系数与委员会第60号出版物中(ICRP,1991b)的数值是完全类似的。鉴于附件A中讨论的不确定性,委员会认为,1990年以来在标称危险估计值中的小差别没有实际意义。

(87) 因此委员会建议,为放射防护目的,当前国际辐射安全标准所依据的总致死危险系数近似值每希沃特5%仍然是合适的。

3.2.4 对癌症的遗传易感性

(88) 对辐射诱发癌症易感性方面个人遗传差异问题在第60号出版物中已经提出,并在第79号出版物中(ICRP,1998A)进行了评议。1990年以来,关于人类各种单基因遗传疾病的知识明显增加,超额自发癌症表现在大部分基因携带者,即所谓高外显性基因携带者中,它们

能以癌症增加的形式明显表达出来。关于人类培养细胞和实验室遗传改变的啮齿类动物研究结果也极大提高了这种知识,而且较有限的流行病学和临床资料的研究指出,大多数少见的单基因、癌症易感疾病对辐射致肿瘤效应表现出高于正常的敏感性。

(89) 基于有限的支持性数据人们越来越认识到,低外显性变异基因通过基因-基因和基因-环境的相互作用,导致辐射照射后癌症的表现有很大不同。

(90) 根据这些数据和在第 79 号出版物中作的判断,以及在 UNSCEAR(2000,2001)和 NAS/NRC(2006)报告中评议的新资料,委员会相信,强表达、高外显性癌基因非常少见,不能使以人群为基础的小剂量辐射照射癌症危险估计值产生显著变化。尽管委员会认识到,低外显性变异癌基因可影响以人群为基础的辐射癌症危险估计原则上可能是非常普遍的,但是现有的资料还不足以就此问题作有意义的定量判断。

3.3 非癌症疾病的诱发

(91) 1990 年以来,积累了一些在受照人群中非癌症疾病发病率增加的证据,有效剂量在 1 Sv 左右诱发这些非癌症效应最有力的统计学证据来自最近对日本原爆幸存者 1968 年以后随访的死亡率分析(Preston 等, 2003)。该项研究加强了和剂量有关的证据,尤其是对于心脏病、中风、消化疾病和呼吸疾病。但是委员会指出了当前小剂量情况下剂量-响应形状的不确定性,以及 LSS 资料既符合疾病死亡率危险不存在剂量阈的观点,又与存在大约 0.5 Sv 剂量阈相一致。辐射产生非癌症效应的其他证据,尽管是在高剂量下,来自对接受放疗病人的研究,但是这些数据不能澄清这个可能的剂量阈的问题(附件 A)。目前也不清楚,何种形式的细胞和组织机制可能是这些形式各不相同的非癌症疾病的基础。

(92) 尽管认识到非癌症疾病观察结果的潜在重要性,但是委员会认为,现有的资料不能用于辐射剂量小于大约 100 mSv 情况下的危害估计,这与 UNSCEAR(2008)关于很少有证据证明低于 1 Gy 时危险

有任何增加的结论一致。

3.4 胚胎和胎儿的辐射效应

(93) 受照胚胎和胎儿组织反应和畸形的危险已在第 90 号出版物(ICRP,2003b)中进行了评议,该评议基本上支持第 60 号出版物中给出的关于宫内危险的判断,尽管在某些问题上新资料考虑到对一些观点的澄清。在第 90 号出版物的基础上,委员会就剂量低于约 100 mGy 低 LET 辐射所致组织损害和畸形的宫内危险得出下述结论。

(94) 新资料证实了在胚胎发育植入前期胚胎对辐射致死效应的易感性。在剂量低于 100 mGy 的情况下,这种致死效应将是非常罕见的。

(95) 关于辐射诱发畸形,新资料支持这样的意见,即宫内辐射敏感性与妊娠龄有关,在主要器官形成期敏感性最高。根据动物数据判断,对于诱发畸形,存在一个约为 100 mGy 真实的剂量阈,因此,为了放射防护的目的委员会认为,远低于 100 mGy 的宫内照射预计不会产生畸形危险。

(96) 第 90 号出版物(ICRP,2003a)对日本原爆幸存者在生前最敏感时期(受孕后 8~15 周)受照诱发的严重智力迟钝的评议,支持该效应应具有至少 300 mGy 剂量阈的意见,因此在小剂量情况下没有这种危险。智商(IQ)损失估计约为每 Sv 25 分的相关资料的解释是比较困难的,而且无阈剂量响应关系的可能性不能予以排除。但是,即使不存在真实的剂量阈,低于 100 mGy 宫内剂量对 IQ 产生的任何效应都是没有实际意义的。这个判断与第 60 号出版物(ICRP,1991b)的建议是一致的。

(97) 第 90 号出版物还评议了有关宫内照射所致癌症危险的资料。关于宫内医疗照射最大的病例对照研究证明,童年时代所有类型的癌症有所增加。委员会指出,宫内辐射照射诱发实体癌危险的不确定性尤其明显。委员会谨慎地假定,宫内照射的终生癌症危险将与童年早期受照的终生癌症危险相同,即最多约为全部人群的 3 倍。

3.5 判断和不确定性

(98) 尽管委员会认识到辐射与其他因素协同作用的潜在重要性,但是目前对于小剂量下的这种相互作用还没有坚实的证据表明有理由改变现有辐射危险估计值(UNSCEAR,2000)。

(99) 考虑到本章中讨论的资料,委员会所建议的放射防护实际体系将继续建立在这样的假设上,即在剂量低于约 100 mSv 的情况下,给定的剂量增量与归因于辐射的癌症或遗传效应发生概率增量成正比。委员会认为,继续采用 LNT 模型同 DDREF 判断值相结合的作法能为放射防护的实际目的,即前瞻情况下小剂量辐射照射的危险管理提供谨慎的基础。

3.6 参考文献

- Dörr, W. , Hendry, J. H. , 2001. Consequential late effects in normal tissue. *Radiother. Oncol.* 61, 23-231.
- EPA, 1999. Estimating Radiogenic Cancer Risks. Addendum: Uncertainty Analysis. U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C.
- French Academies Report, 2005. La relation dose-effet et l'estimation des effets cancérogènes des faibles doses de rayonnements ionisants. (http://www.academie-sciences.fr/publications/rapports/pdf/dose_effet_07_04_05.pdf).
- ICRP, 1984. Non-stochastic effects of ionising radiation. ICRP Publication 41. Ann. ICRP 14 (3) (国际放射防护委员会第 41 号出版物,电离辐射的非随机效应. 程违、李元敏译,李树德校. 北京:原子能出版社,1985).
- ICRP, 1991a. The biological basis for dose limitation in the skin. ICRP Publication 59. Ann. ICRP 22 (2).
- ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3) (国际放射防护委员会第 60 号出版物,国际放射防护委员会 1990 年建议书. 李德平、孙世荃、陈明俊、周永增、郭裕中译,李树德、魏履新、吴德昌、陈丽姝校. 北京:原子能出版社,1993).

- ICRP, 1998a. Genetic susceptibility to cancer. ICRP Publication 79. Ann. ICRP 28 (1-2) (国际放射防护委员会第79号出版物,癌症的遗传学易感性. 魏康、叶常青译,吴德昌校. 北京:原子能出版社,2000.9).
- ICRP, 1999b. Risk estimation for multifactorial diseases. ICRP Publication 83. Ann. ICRP 29 (3-4).
- ICRP, 2003a. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). ICRP Publication 90. Ann. ICRP 33 (1/2).
- ICRP, 2005d. Low dose extrapolation of radiation-related cancer risk. ICRP Publication 99. Ann. ICRP 35 (4).
- NAS/NRC, 2006. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. Board on Radiation Effects Research. National Research Council of the National Academies, Washington, D. C.
- NCI/CDC, 2003. Report of the NCI-CDC Working Group to Revise the 1985 NIH Radioepidemiological Tables. NIH Publication No. 03 5387. National Cancer Institute, Bethesda, MD.
- NCRP, 1997. Uncertainties in Fatal Cancer Risk Estimates used in Radiation Protection. NCRP Report 126. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda MD.
- NCRP, 2001. Evaluation of the Linear-Non threshold Dose-Response Model for Ionizing Radiation. NCRP Report No. 136. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda MD.
- Preston, D. L. , Shimizu, Y. , Pierce, D. A. , et al. , 2003. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and non-cancer disease mortality 1950-1997. Radiat. Res. 160, 381-407.
- Preston, D. L. , Ron, E. , Tokuoka, S. , et al. , 2007. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. Radiat. Res. 168, 1-64.
- Streffer, C. , Bolt, H. , Follesdal, D. , et al. , 2004. Low Dose Exposures in the Environment: Dose-Effect Relations and Risk Evaluation. Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung, Band 23. Springer, Berlin, Germany.
- UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. II : Effects. United Nations, New York, NY. 58(电离辐射源与生物效应,联合国原子辐射效应科学委员会2000年报告(I、II). 潘自强、孙世荃总审校,冷瑞平、修炳林、郭裕中、杨华庭、赵亚民、杨

茂春、岳保荣、贺青华、马吉增、魏康、穆传杰、孙全夫、温晋爱、李元敏译，胡遵素、潘自强、刘洪祥、魏可道、张延生、唐仲雄、陈家佩、韩佩珍、周继文、周永增、陶祖范、吴德昌校。太原：山西科学技术出版社，2002）。

UNSCEAR, 2001. Hereditary Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York, NY.

UNSCEAR, 2008. Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York, NY.

4. 放射防护中使用的量

4.1 引言

(100) 为了评价辐射照射剂量,已经制定了专门的**剂量学量**。委员会所采用的**基本防护量**,是以度量沉积在人体器官和组织中的能量为基础的。为了建立辐射剂量与辐射危险(危害)之间的关系,除了考虑器官和组织对电离辐射敏感度的差别以外,还必须考虑不同质的辐射所产生的生物效能的差异。

(101) 在第 26 号出版物(ICRP,1977)中,引入了对人体器官和组织的**防护量剂量当量**,以及**有效剂量当量**。在第 60 号出版物(ICRP,1991b)中,对这些量的定义和计算方法进行了修正,给出了**当量剂量**和**有效剂量**这些量。有效剂量当量和有效剂量这些量的制定,已经对放射防护作出了显著贡献,因为它使得对来自不同类型的外照射,以及来自放射性核素摄入所产生的全身的和身体局部的照射进行相加成为可能。

(102) 人体组织中的当量剂量和有效剂量不能被直接测量。因此防护体系还包含有一些可以测量的**运行实用量**,以此为基础,可对当量剂量和有效剂量进行评估。

(103) 有效剂量被普遍接受及其在放射防护中的实用性得到证明,是它被保持为放射防护中剂量评价用核心量的重要原因。但正如下面所总结的,和附件 B 所进一步详细描述,第 60 号出版物所给出的剂量学体系的很多方面还有待说明和澄清。还需要小心地描述清楚,哪些情况下应当使用有效剂量,哪些情况下不应当使用有效剂量。在有些情况下,组织吸收剂量或当量剂量是更合适的量。

4.2 关于健康效应的考虑

(104) 低剂量范围内的放射防护,主要关心的是对辐射诱发癌症和遗传疾病的预防。这些效应,在性质上是视为随机的、无阈的,同时,其频度是与辐射剂量成正比增加的(参见第3章和附件A)。在有效剂量的定义和计算中,所推荐的辐射权重因数 w_R ,是考虑了不同辐射在诱发随机效应方面的差异,而组织权重因数 w_T ,是考虑了不同器官和组织在诱发随机效应方面辐射敏感度的不同(参见4.3.4节和附件B)。推导了具有高传能线密度特征的辐射,即所谓高LET辐射(参见4.3.3节)低剂量下随机效应的辐射权重因数。

(105) 在高剂量情况下,特别是在应急情况下,辐射照射可以引起确定效应(组织反应)。这类临床上可以观察到的损伤是出现在阈剂量以上的,损伤的程度除了辐射的质(参见附件A和B)和组织的敏感度以外,还取决于吸收剂量和剂量率的大小。一般来讲,由高LET辐射引起的组织反应的相对生物效能(RBE)的值要低于在低剂量情况下的随机效应获得的那些值,同时组织的相对敏感度也是有差别的。当量剂量和有效剂量这类量,不应当用来定量描述较高的辐射剂量,或者用于需要对有关组织反应进行任何治疗方面的决策。用于这类目的时,应当用吸收剂量(以戈瑞为单位,Gy)来评估剂量,而当涉及高LET辐射(即中子或 α 粒子)时,则应当采用适当的RBE加权的吸收剂量(参见附件B)。

4.3 剂量量

(106) 委员会所采用的有效剂量评价程序是,采用吸收剂量作为基本的物理量,在给定器官和组织中对它求平均,采用适当选定的、考虑不同辐射生物效能差别的权重因数给出当量剂量这个量,再对器官和组织对随机健康效应的敏感度差别加以考虑。器官和组织的当量剂量值在被这些器官和组织的辐射敏感度加权之后求和,就可给出有效剂量。建立这个量的基础是:由外部辐射场和摄入体内的放射性核素

所产生的辐射照射,还有它们在人体组织内发生的最初的物理学相互作用,以及对诱发随机健康效应的生物学反应的判断(附件 B)。

4.3.1 吸收剂量

(107) 在辐射生物学、临床放射学和放射防护中,吸收剂量 D 是基本的物理学剂量量,它适用于所有类型的电离辐射和任何一种照射几何条件。它定义为 $d\bar{\epsilon}$ 被 dm 除所得的商,这里 $d\bar{\epsilon}$ 是电离辐射授予质量为 dm 的物质的平均能量,即:

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (4.1)$$

(108) 吸收剂量的 SI 单位是焦耳每千克(J kg^{-1}),它的专用名称是戈瑞(Gy)。吸收剂量是根据授予能 ϵ 这个随机量的平均值导出的,它并不能反映出组织中相互作用事件的随机涨落。尽管它是对物质中任意一点定义的,但它的值是对某一质量元 dm 求平均获得的,因而是对物质的很多原子或分子取平均而获得的一种平均值。吸收剂量是一种可测量的量,已有关于确定其数值的基本标准。吸收剂量的定义,满足一个基本物理量在科学严格性上的要求(附件 B)。

4.3.2 剂量的平均

(109) 在实际防护应用中使用吸收剂量时,剂量是在组织体积内求平均的。对于低剂量情况,假定某一特定器官或组织内吸收剂量的平均值与该组织内的随机效应的辐射危害相关联,而这对放射防护来讲其精确度是足够的。对组织或器官内的吸收剂量求平均,再对人体不同器官和组织内的加权平均剂量求和,构成了用于限制低剂量情况下随机效应的防护量的定义基础。这种方法是建立在 LNT 模型基础上的,因此允许对来自外、内照射的剂量进行相加。

(110) 吸收剂量求平均是在某一特定器官(例如肝),或组织(如肌肉),或组织的敏感区域(如骨骼的骨内膜表面)的质量范围内完成的。采用该平均剂量值来代表器官、组织或组织区域中所有区域内吸收剂量时,其代表性程度对于外照射来讲取决于照射的均匀性和辐射入射到人体上的范围。在低剂量范围内,剂量分布的均匀性还

与微剂量学特性有关。对于低贯穿性或有限射程的辐射(如低能光子或带电粒子),还有分布很宽的组织 and 器官(如:红骨髓,淋巴结,或皮肤),在特定器官或组织内吸收剂量的分布将会是更加不均匀的。在人体很小的局部受到照射的情况下,即使平均的器官或组织剂量或者有效剂量低于剂量限值,还是可以出现组织损伤。例如,适用于局部皮肤剂量的专门限值,就是考虑到了低贯穿性辐射条件下的照射情况。

(111) 由滞留在人体器官或组织内的放射性核素所发射的辐射,即所谓内发射体所产生的器官内吸收剂量的分布,取决于所发射辐射的贯穿性和射程。因此,由发射 α 粒子、软 β 粒子、低能光子或俄歇电子的放射性核素所产生的吸收剂量分布可以是高度不均匀的(参见附件 B)。这种不均匀性,特别适用于呼吸和消化系统,以及骨骼中的放射性核素的情况。已经开发了专门的剂量学模型来考虑这些特殊情况下分布和活度滞留的不均匀性,以及相应的敏感区域问题。

4.3.3 当量剂量与辐射权重因数

(112) 防护量用于规定照射限值,以保证随机性健康效应的发生被保持在不可接受的水平以下,同时组织反应得到避免。防护量的定义,是以由 R 类辐射(参见表 2)在指定器官或组织 T 的体积内(参见表 3)的平均吸收剂量 $D_{T,R}$ 为基础的。辐射 R 是由入射到人体上的或者滞留在人体内的放射性核素所发射的辐射种类和能量所给定的。某

表 2 推荐的辐射权重因数

辐射种类	辐射权重因数, w_R
光子	1
电子 ¹⁾ 和 μ 介子	1
质子和带电 π 介子	2
α 粒子, 裂变碎片, 重离子	20
中子	中子能量的连续函数[参见图 1 和公式(4.3)]

注:所有值适用于入射到人体上的辐射,或者在内辐射源情况下,由滞留在体内的放射性核素所发射的辐射。

1) 注意第 116 段和附件 B 的 B.3.3 节所讨论的有关俄歇电子的特殊问题。

表 3 推荐的组织权重因数

组 织	w_T	$\sum w_T$
骨髓(红), 结肠, 肺, 胃, 乳腺, 其余组织 ¹⁾	0.12	0.72
性腺	0.08	0.08
膀胱, 食道, 肝, 甲状腺	0.04	0.16
骨表面, 脑, 唾液腺, 皮肤	0.01	0.04
	总计	1.00

1) 其余组织: 肾上腺, 外胸(ET)区, 胆囊, 心脏, 肾, 淋巴结, 肌肉, 口腔粘膜, 胰腺, 前列腺(♂), 小肠, 脾, 胸腺, 子宫/子宫颈(♀)。

个器官或组织内的防护量当量剂量 H_T 可定义如下:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \quad (4.2)$$

式中 w_R 为辐射 R 的辐射权重因数。求和是对所涉及的所有类型辐射进行的。当量剂量的单位是焦耳每千克($J\ kg^{-1}$), 特定名称是希沃特(Sv)。

(113) 在 20 世纪 60 年代初, 辐射防护量定义中的辐射权重因数是作为 LET 函数的辐射质因数 Q 相关联的, 在第 26 号出版物(ICRP, 1977) 中, LET 被称为 Q(L) 函数中的 L。在第 60 号出版物(ICRP, 1991b) 关于防护量当量剂量和有效剂量的计算中, 辐射加权的方法发生了改变。委员会选择了一组被认为是适合于放射防护应用的通用的辐射权重因数(w_R)。这些 w_R 值, 在很大程度上是根据不同辐射的相对生物效能(RBE)来确定的。

(114) 在本建议书中, 已经采用了根据对可获得资料(参见附件 A 和 B)的再评估而修订过的一组 w_R 值。本建议书所给出的中子和质子的 w_R 值, 不同于第 60 号出版物所给的数值(参见下文和附件 A)。带电 π 介子的 w_R 值也已包括在内。光子的 w_R 值, 对所有能量的 X 射线和 γ 射线是相同的。 w_R 的数值, 是按辐射种类给出的, 在中子情况下, 或者是按入射到人体上的辐射能量, 或者是按滞留体内的放射性核素所发射的辐射能量给出的(表 2)。 w_R 值的选择, 是根据对宽范围内关于随机效应的 RBE 实验数据进行评估基础上作出的。RBE 值随着辐

射剂量的降低增加到最大值(RBE_M) (ICRP, 2003c)。已根据 RBE_M 值来选定 w_R 值, 在放射防护应用中, 这些 w_R 因数是以固定的数值给出的。

(115) **参考辐射**。实验获得的 RBE 值, 依赖于所选择的参考辐射。虽然在采用什么具体能量方面并没有一致的看法, 但一般情况下选择低 LET 光子辐射作为参考辐射。第 60 号出版物在选择辐射权重因数时, 考虑了宽范围的实验 RBE 数据, 这些数据不是采用约 200 kV 以上的高能 X 射线, 就是采用钴-60 源, 或者是采用铯-137 源 γ 辐射而获得的 (参见附件 B)。本建议书中也采用这种方法, 虽然应当认识到, 随着选择 X 射线还是较高能量 γ 辐射 (如钴-60) 作为参考辐射的不同, 实验上可以得到不同的 RBE 值。这类差异, 已经在离体细胞研究中得到确认 (参见附件 B)。

(116) **光子、电子和 μ 介子**。光子、电子和 μ 介子是其 LET 值小于 $10 \text{ keV}/\mu\text{m}$ 的辐射。这些辐射的辐射权重因数一直被定为 1。有很好的论据 (参见附件 B) 支持继续对所有低 LET 辐射 w_R 值取为 1 (附件 B, 表 3)。然而, 这并不意味着不同能量光子辐射的质没有差别。只有在将当量剂量和有效剂量应用在诸如剂量限制和评价, 以及低剂量范围内的剂量控制这些应用中时, 所建议的简化才是充分合理的。在必须进行个人回顾性危险评价时, 只要相关的数据可以获得, 就可能必须对有关辐射场和相应 RBE 值的更详细的信息加以考虑。对于像由于氚或俄歇发射体结合到 DNA 后出现的细胞内辐射剂量的不均匀性, 也可能需要进行专门的分析 (参见附件 B)。在这类评价中使用当量剂量和有效剂量是不合适的 (参见 4.4.6 节)。

(117) **中子**。中子的辐射权重因数, 反映了受外照射后它们的相对生物效能。入射到人体上的中子的生物效能, 强烈依赖于中子的能量 (参见附件 B)。

(118) 在第 60 号出版物 (ICRP, 1991b) 中, 中子的辐射权重因数被定义为阶梯形函数。现在把中子的辐射权重因数定义为连续函数 (图 1)。但是应当注意, 采用连续函数是基于大多数中子照射都涉及一个能量范围这种实际考虑。采用连续函数的建议并不意味着基本数据的精确度提高了。关于对中子 w_R 函数选择的详细讨论参见附件 B。

与第 60 号出版物中的数据相比,最显著的变化是低能范围内的 w_R 值的减小,这是由于考虑到次级光子对于人体内吸收剂量有很大贡献,以及 100 MeV 以上的中子的 w_R 值的减小。建议采用下述随着中子能量 E_n 变化的连续函数来计算中子的辐射权重因数:

$$w_R = \begin{cases} 2.5 + 18.2e^{-[\ln(E_n)]^2/6}, & E_n < 1 \text{ MeV} \\ 5.0 + 17.0e^{-[\ln(2E_n)]^2/6}, & 1 \text{ MeV} \leq E_n \leq 50 \text{ MeV} \\ 2.5 + 3.25e^{-[\ln(0.04E_n)]^2/6}, & E_n > 50 \text{ MeV} \end{cases} \quad (4.3)$$

该函数,即公式(4.3)和图 1,是根据经验推导出来的,符合现有的生物学和物理学知识(附件 B)。

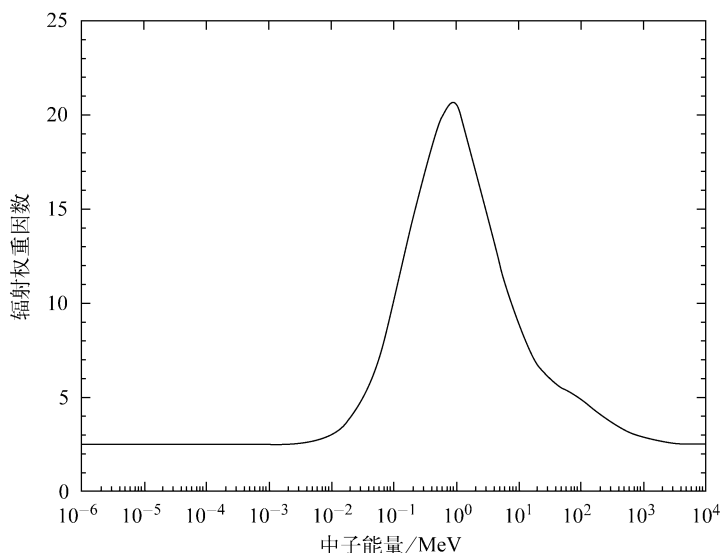


图 1 不同能量中子的辐射权重因数(w_R)

(119) **质子和 π 介子**。在实际放射防护中,当考虑质子辐射照射时,只有外部辐射源是重要的。在宇宙射线场或靠近高能粒子加速器的辐射场的质子成分中,能量非常高的质子占主导。能量为若干兆电子伏的质子不重要,即使把它们在低能时生物效能增大这一点考虑在内也是如此。从放射防护目的来讲,主要根据 10 MeV 以上高能质子

的放射生物学数据而对所有能量的质子采用单一的 w_R 值被认为是足够精确的。10 MeV 的质子在组织中的射程是 1.2 mm, 且随着能量下降而减小。这些质子将被吸收在皮肤中(附件 B)。在一般应用中, 对于质子外照射, 推荐采用单个辐射权重因数 2(ICRP, 2003c)。它替代第 60 号出版物(ICRP, 1991b)中推荐的数值 5。

(120) π 介子是带正电或负电的粒子, 或者中性粒子, 它们出现在由初级宇宙射线与高层大气中的核相互作用而形成的辐射场中。这些粒子对机组人员的照射产生贡献。它们还可以成为高能粒子加速器屏蔽体后面复杂辐射场的一部分而增加对加速器工作人员的职业照射, 考虑到辐射场中 π 介子的能量分布是非常宽的, 建议对所有带电 π 介子采用单一的权重因数 2。

(121) α 粒子。人类可能受到来自体内发射体的 α 粒子照射, 例如, 来自吸入体内的氡子体或食入的 α 放射性核素(如: 钚、钋、镭、钍和铀的同位素)。除了动物实验数据以外, 很多流行病学研究都提供了关于摄入到体内的 α 发射体的危险水平的资料。然而, 放射性核素在器官和组织内的分布情况是复杂的, 剂量的估计取决于所采用的模式。所以计算获得的剂量带有显著的不确定性, 使得由流行病学和实验研究所得到的 RBE 值分布在一个宽范围内(ICRP, 2003c 和附件 B)。

(122) 尽管估计摄入体内的 α 放射性核素的剂量和危险的不确定性是相当大的, 可获得的有关人类和动物的数据都表明 RBE 值与所考虑的生物学终点有关。根据有限的能用于估算 α 粒子 RBE 值的人类数据, 建议对肺和肝癌采用 10~20 左右, 对骨癌和白血病取更低一些的值。关于对可获得数据的评价, 以及对 α 粒子 w_R 值的选择, 都已在第 92 号出版(ICRP, 2003c)中作了评述。由于最近的数据没有提供令人信服的证据要求改变 α 粒子的辐射权重因数, 第 60 号出版物(ICRP, 1991b)中所采用的 w_R 值为 20 得到保留。

(123) 裂变碎片和重离子。在放射防护中, 裂变碎片产生的剂量主要在内照射剂量学中是重要的, 关于它的辐射权重因数的情况, 与 α 粒子的类似。重离子和裂变碎片在器官和组织中的射程很短, 由此产生的电离密度会对它们的生物效能产生很强的影响。对它们推荐的

(参见附件 B) 辐射权重因数为 20(参见表 2), 与 α 粒子的相等。

(124) 在高层航空和空间探索的外部辐射场中会遇到重离子。有关重离子的 RBE 数据非常有限, 大多是由离体实验得到的。入射到人体上、并阻止在人体内的重带电粒子的辐射质, 会沿着粒子的轨迹发生显著变化, 对所有种类和能量的重带电粒子的 w_R 值选择单值 20 是一种保守的估计, 推荐用于放射防护中的一般应用是满足要求的。在空间探索方面的应用中, 这些重离子将会对人体总剂量产生显著的贡献, 因此可能必须采用更加符合实际情况的方法。

4.3.4 有效剂量和组织权重因数

(125) 第 60 号出版物(ICRP, 1991b)所引入的有效剂量, 定义为组织当量剂量的加权求和:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad (4.4)$$

这里: w_T 是对组织 T 的组织权重因数, 且 $\sum w_T = 1$ 。求和是对诱发随机效应敏感的所有人体器官和组织进行的。这些 w_T 值的选择, 用于代表单个器官和组织对于随机性总体辐射危害的贡献。有效剂量的单位是焦耳每千克($J kg^{-1}$), 特定名称是希沃特(Sv)。对于当量剂量和有效剂量, 以及某些运行实用量的单位是相同的(参见第 4.3.6 节^①)。必须小心, 确保对所使用的量有清楚的叙述。

(126) 已确定了 w_T 值的器官和组织参见表 3(也参见附件 A)。

(127) 通过对受照人群中癌症诱发的流行病学研究, 以及遗传效应的危险分析, 再根据各自相对辐射危害的大小(参见附件 A 表 5), 为本建议书选择了一组 w_T 值(表 3)。它们代表对两种性别和各种年龄的人的平均值, 因此与具体个人的特征无关。

(128) 对其余组织的 w_T 值(0.12), 适用于表 3 表注中所列出的每一种性别的 13 种器官和组织的算术平均剂量。第 60 号出版物(ICRP, 1991b)中对其余组织所采用的所谓分开处理办法不再适用, 因此有效剂量是可以相加的。

^① 原文为见 4.3.7 节, 但本文无 4.3.7 节, 可能是 4.3.6 节之误——译者注。

4.3.5 有效剂量的确定

参考体模

(129) 当量剂量和有效剂量实际上是不可测量的量。对于职业照射,它们的值是通过采用运行实用量进行辐射监测来确定的(参见第 4.3.6 节)。为了计算外照射的转换系数,采用了不同辐射场中剂量评价用的计算体模。为了计算放射性核素摄入体内以后的剂量系数,要采用放射性核素的生物动力学模型、参考用生理学参数,以及计算用体模(详见附件 B)。

(130) 参考男人和女人的当量剂量评估,以及参考人(Reference Person)的有效剂量评估,是基于仿真人体模型(体模)完成的。在过去,委员会并没有对体模作出具体规定,事实上也已经采用了许多不同的数学体模,例如两性同体的 MIRD 型体模(Snyder 等,1969),Kramer 等人(1982)的区分性别的体模,或 Cristy 和 Eckerman(1987)的有年龄差别的体模。现在,委员会采用成年参考男人和成年参考女人的参考计算体模来计算器官和组织的当量剂量(图 2)。这些体模是以医学断层成像资料为基础的(Zankl 等,2005)。它们是由三维体素(Voxels)组成的。用于构成所定义器官的体素,已被调整到近似于第 89 号出版物(ICRP,2002)中参考男人和参考女人的器官质量。为了对实际评估当量剂量和有效剂量提供方法,计算了参考体模在标准照射条件下与物理量(例如,外照射情况下的粒子注量或空气中比释动能,和内照射情况下的活度摄入量)相关的转换系数。

(131) 这些模型是对参考男人和参考女人的计算表达,用于计算由于人体外部参考辐射场,以及摄入体内的放射性核素衰变而在某个器官或组织 T 中产生的平均吸收剂量 D_T 。它们用于计算对外部辐射场的剂量转换系数和摄入放射性核素后的剂量系数(详见附件 B)。这些器官和组织剂量乘以辐射权重因数得到参考男人和参考女人组织和器官中的当量剂量(参见图 2)。还将开发用于不同年龄儿童和孕妇及胎儿的参考计算体模。

有效剂量的性别平均

(132) 在放射防护应用中,对两种性别采用单一的有效剂量值是

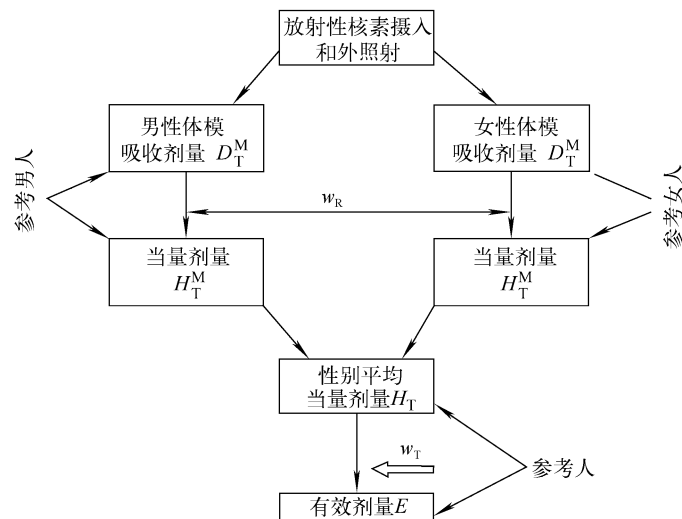


图 2 性别平均得到有效剂量

有用的(参见第 33 段)。表 3 给出的组织权重因数,是对所有器官和组织的性别和年龄平均值,包括男性和女性乳腺、睾丸和卵巢(性腺:致癌和遗传效应)。这种平均意味着这种方法只限于应用在放射防护中有效剂量的确定,特别是不能用于个人危险的评价。于是按以下公式(也参见附件 B)分别根据对参考男人和对参考女人的器官和组织 T 评估得到的当量剂量 H_T^M 和 H_T^F , 计算出有效剂量:

$$E = \sum_T w_T \left[\frac{H_T^M + H_T^F}{2} \right] \quad (4.5)$$

(133) 与其他器官和组织的方法相类似,可以分开确定对参考男人和参考女人的其余组织的当量剂量,并把这些当量剂量值包括在公式(4.5)中(参见图 2)。对其余组织的当量剂量值,作为对表 3 表注中所列出的那些组织的当量剂量的算术平均值计算得到。参考男人和参考女人其余组织的当量剂量 H_{rmd}^M 和 H_{rmd}^F 计算为:

$$H_{\text{rmd}}^M = \frac{1}{13} \sum_T^{13} H_T^M \quad \text{和} \quad H_{\text{rmd}}^F = \frac{1}{13} \sum_T^{13} H_T^F \quad (4.6)$$

这里:T 指表 3 中的其余组织。公式(4.5)中的求和,扩展到包括参考

男人和参考女人所有其余组织的当量剂量(附件 B)

(134) 防护中使用的有效剂量,是以人体器官和组织中的平均剂量为基础的。它是在参考人中定义和估计的(参见图 2)。这个量所提供的值,考虑了所给的照射条件,但不考虑具体个人的特征。特别是组织权重因数,它是代表了很多个两种性别的个人的平均值。对参考男人和参考女人的器官和组织中的当量剂量进行平均(公式 4.5)。平均所得剂量再乘以相应的组织权重因数。将这些乘积求和得到参考人的性别平均有效剂量(图 2)。

4.3.6 运行实用量

(135) 与人体相关的防护量,当量剂量和有效剂量实际上是不可测量的。因此,利用运行实用量来评价有效剂量或组织或器官中的平均当量剂量,这些量的用途,在于为人员在大多数受照条件下的一次照射或潜在照射相关的防护量的值提供一种保守的估计。它们常常在实际规程或导则中得到使用。正如以下所概述的,对于内照射和外照射要采用不同类型的运行实用量。更详细情况参见附件 B。

(136) 用于外照射的场所监测和个人监测的运行实用量已由 ICRU 所定义(参见附件 B)。场所监测用的运行实用量是周围剂量当量 H^* (10) 和定向剂量当量 $H'(0.07, \Omega)$ 。用于个人监测的运行实用量,是个人剂量当量 $H_p(d)$, 它是在人体上某指定点以下适当深度 d 处, ICRU(软)组织中的剂量当量。该指定点,通常是指佩带个人剂量计的地方。用于评价有效剂量,选择深度 $d=10$ mm 的 $H_p(10)$, 用于评价对皮肤和对手和脚的剂量,采用深度 $d=0.07$ mm 的个人剂量当量 $H_p(0.07)$ 。对很少遇到的监测眼晶体剂量的情况,已建议深度 $d=3$ mm。然而实际上 $H_p(3)$ 很少被监测,而 $H_p(0.07)$ 可用于相同的监测目的。运行实用量是可测量的量,可用这些量对辐射监测仪表进行刻度。在常规监测中,这些运行实用量的值可以分别当作对有效剂量和皮肤剂量足够精确的评价,特别是在它们的值低于防护限值的情况下。

(137) 还没有定义出可对内照剂量学中的当量剂量或有效剂量进行直接评价的运行实用量。一般来讲要采用不同的方法对滞留在体内

的放射性核素进行测定,为了估计放射性核素的摄入量,还需利用生物动力学模型。在摄入量的基础上,利用委员会所推荐的参考剂量系数(单位摄入量的剂量, $Sv \cdot Bq^{-1}$)就可以计算出当量剂量或有效剂量(参见附件 B)。

4.4 辐射照射的评价

4.4.1 外照射

(138) 对于来自体外辐射源的照射剂量的评价,通常是这样完成的:利用佩带在身体上的个人剂量计得到个人监测结果;或者,例如在前瞻性评价中,先测量或估计出 H^* (10),再利用适当的转换系数。个人监测的运行实用量是 $H_p(10)$ 和 $H_p(0.07)$ 。假若个人剂量计是佩带在对其照射具有代表性的位置上,并且是在低剂量和全身均匀照射的假定下,那么,对于放射防护目的来讲, $H_p(10)$ 值提供了对有效剂量足够精确的估计。

4.4.2 内照射

(139) 放射性核素摄入的剂量评价体系,是以计算放射性核素摄入量为基础的,可以认为放射性核素摄入量是内照射剂量评价的一种运行实用量。摄入量可以根据直接测量(例如,全身或指定器官和组织的体外监测),或者间接测量(例如,尿或粪),或者对环境样品的测量,以及利用生物动力学模型来估定。根据摄入量以及委员会对大量放射性核素所推荐的剂量系数,就可以计算出有效剂量。剂量系数是对不同年龄的公众成员和职业照射的成人给出的。

(140) 滞留体内的放射性核素,会在由它们的物理半寿命和它们在体内的滞留特性所决定的期间内对人体组织产生照射。由此,它们可以在摄入以后的若干月,或若干年内对人体组织产生剂量。由于需要对由放射性核素产生的照射进行监管,同时考虑到辐射剂量在延长时间段内的累积,从而引入了待积剂量这个量的定义。由摄入体内的放射性核素所产生的待积剂量,是在指定时间段内预期会授予的总剂

量。某组织或器官 T 内的待积当量剂量 $H_T(\tau)$ 定义为：

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt \quad (4.7)$$

这里 τ 是指在摄入时刻 t_0 之后的积分时间。待积有效剂量 $E(\tau)$ 这个量就可以由以下公式给出：

$$E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau) \quad (4.8)$$

(141) 对于验证剂量限值是否符合的用途，委员会继续建议，待积剂量是针对发生摄入的那一年来给定的。对于工作人员，待积剂量通常是对摄入之后的 50 年时段评估的。所以取 50 年这个待积时段，是委员会在考虑到一个年轻人参加工作以后的预期工作寿命之后所取的一个约整值。由放射性核素摄入所产生的待积有效剂量，也应用在公众成员前瞻性剂量估计中。此时，对成人建议的待积时段为 50 年。对婴儿和儿童，剂量将评估到 70 岁。

(142) 对于职业性摄入放射性核素的有效剂量评价，是根据工作人员的摄入量 and 参考的剂量系数。对于指定放射性核素的剂量系数 ($Sv Bq^{-1}$) 的计算，是利用给定的生物动力学和剂量学模型完成的。模型用于描述不同化学形态的放射性核素进入人体的途径，以及进入血液以后的分布和滞留情况。计算用男性和女性体模，在有一系列源存在的情况下，也可用来计算由某源区 S 所发射的能量被靶区域 T 所吸收的份额。这些近似处理对于放射防护的主要工作来讲，被认为是合适的。

(143) 摄入给定放射性核素的性别平均待积有效剂量系数 $e(\tau)$ ^① 可以按以下公式计算：

$$e(\tau) = \sum_T w_T \left[\frac{h_T^M(\tau) + h_T^F(\tau)}{2} \right] \quad (4.9)$$

这里， w_T 是组织 T 的组织权重因数， $h_T^M(\tau)$ 和 $h_T^F(\tau)$ 分别是在待积时段 τ 内对男性和女性的组织 T 的待积当量剂量系数。公式(4.9)的求和，也扩展到包括男性和女性两种性别的其余组织的待积当量剂量系数。

① 小写符号 e 和 h 习惯上用于表明对有效剂量 E 和当量剂量 H 的系数。

4.4.3 职业照射

(144) 在职业性外照射监测中,个人剂量计测量的是个人剂量当量 $H_p(10)$ 。在全身均匀照射的假定下,该测量值被取作为对有效剂量的评价。对于内照射,待积有效剂量一般是根据对生物样品分析或其他量(例如,滞留在体内的活度,或每天排泄物中的活度)的分析所获得的放射性核素摄入量的评估来确定的。利用推荐的剂量系数(见附件 B)就可以根据摄入量来确定辐射剂量。

(145) 利用以下公式把根据对来自外照射和放射性核素摄入所产生的职业照射的评价所获得的剂量组合在一起,给出总的有效剂量值,以验证剂量限值和约束值得到满足:

$$E \cong H_p(10) + E(50) \quad (4.10)$$

这里, $H_p(10)$ 是来自外照射的个人剂量当量,而 $E(50)$ 是来自内照射的待积有效剂量,它可以由以下公式评价:

$$E(50) = \sum_j e_{j,inh}(50) \cdot I_{j,inh} + \sum_j e_{j,ing}(50) \cdot I_{j,ing} \quad (4.11)$$

这里, $e_{j,inh}(50)$ 是放射性核素 j 通过吸入途径的单位活度待积有效剂量系数, $I_{j,inh}$ 是放射性核素 j 通过吸入途径的摄入活度。 $e_{j,ing}(50)$ 是放射性核素 j 通过食入途径的单位活度待积有效剂量系数, $I_{j,ing}$ 是放射性核素 j 通过食入途径的活度摄入量。计算给定放射性核素的有效剂量时,还需要把摄入到体内的物质的特性也考虑在内。

(146) 公式(4.11)中使用的剂量系数,是由委员会所给定的系数,它们与参考男人和参考女人(ICRP,2002)的解剖学、生理学和生物动力学特征一致。可能还需考虑摄入的物理和化学特性,包括被吸入气溶胶的活度中值空气动力学直径(AMAD),以及给定放射性核素所附着的颗粒物的化学形态。写入工作人员剂量记录中的有效剂量值,是参考人由于辐射场和摄入活度而使工作人员所遭受的有效剂量值。待积时间段为50年,代表在整个工作寿命中可能的剂量累积时段(这仅仅适合于具有长物理半衰期和在身体组织中具有长滞留期的放射性核素)。

(147) 经过伤口而引起的放射性核素摄入到体内的非受控事件,

已经属于超出工作实践的情况,因此这些事件没有包括在公式(4.11)中。这些事件产生的影响必须被评估并记录下来,并提供相应的医学处置,需要时,还要考虑对工作人员的照射做进一步的限制。

(148) 在弱贯穿辐射对外照射会有显著贡献的少有情况下,除了评价有效剂量用的公式(4.10)中所给出的项以外(参见附件 B),还需要考虑皮肤剂量对有效剂量的贡献。来自氡同位素(主要是氡-222),以及它们的衰变子体的辐射剂量可能也需要在总剂量评价中予以考虑(ICRP,1993a)。

(149) 在某些情况下,并不通过个人剂量计来进行个人监测。诸如对航空机组人员的照射,可根据以周围剂量当量 $H^*(10)$ 表示的场所监测结果来评估他们的有效剂量,可以采用根据辐射场数据推导出来的适当因数来计算有效剂量,或者根据这些周围剂量当量数据直接计算出有效剂量。

4.4.4 公众照射

(150) 评估公众成员有效剂量的基本原理与对工作人员的相同。公众成员的年有效剂量,等于一年内来自外照射的有效剂量与该年内来自放射性核素摄入所产生的待积有效剂量之和。与职业性照射情况相同,该剂量不是通过对个人照射的直接测量得到的,而主要是由流出物和环境测量、生活习性资料以及模式应用来确定的。来自放射性流出物排放的那部分,可以通过对现有装置的流出物监测,或者通过设计阶段对装置或源的流出物预期值来估计。利用流出物和环境中的放射性核素浓度的有关资料,结合放射生态模式(环境迁移的途径分析,即通过空气、水体、土壤、沉积物、植物和动物到人)的应用,就可以对来自外照射和放射性核素摄入产生的剂量进行评价(参见附件 B)。

4.4.5 患者的医疗照射

(151) 用于患者照射计划和危险—利益评估的相关量是当量剂量或受照组织的吸收剂量。有效剂量用于患者照射的评价是受到严格限制的,在对医疗照射进行定量评价时必须考虑这一点。但有效剂量对不同诊断程序剂量大小的比较,以及同类技术和方法在不同医院和国

家中的应用比较,以及对相同医疗检查中不同技术应用的比较都是有用的。然而对于患者的照射计划,以及危险—利益分析来讲,当量剂量或受照组织中的吸收剂量才是恰当的量。

(152) 当器官和组织只是部分受照,或接受非常不均匀照射时(尤其是 X 射线诊断这种情况),采用有效剂量来评价和解释患者的医疗照射是很成问题的。

4.4.6 有效剂量的应用

(153) 有效剂量在职业工作人员和广大公众的放射防护中的主要的和基本的的应用有:

- 用于计划目的和防护最优化的前瞻性剂量评价;以及
- 用于验证符合剂量限值,或者与剂量约束值或参考水平进行比较的回顾性剂量评价。

(154) 从这个意义上讲,有效剂量在全世界都是用于监管目的。在实际放射防护应用中,有效剂量用于对工作人员和公众中随机效应危险的管理。有效剂量或外照射相应转换系数的计算,以及内照射剂量系数的计算,都是在吸收剂量、权重因数(w_R 和 w_T),以及有关人体及其器官和组织的参考值的基础上完成的。有效剂量不是以个体人员的资料为基础的(见附件 B)。在其一般应用中,有效剂量并不提供因人而异的剂量,而是给出在给定照射条件下参考人的剂量。

(155) 在某些情况下,参数值可以被改变成不同于有效剂量计算中的参考值。因此重要的是,要把那些在特定照射情况下有效剂量计算中可以发生改变的参考性参数值,和那些在有效剂量定义中不能改变的参考性参数值(例如,权重因数)区别开来。这样,可以在职业照射有效剂量的评价中作出某些改变,例如关于外部辐射场的特性(例如,照射方向)或者被吸入或食入放射性核素的物理和化学特性的改变。此时,必须对偏离于参考性参数值的情况作出清楚的说明。

(156) 在对可能显著超过剂量限值的特定个人的剂量进行回顾性评价时,有效剂量可以对其总体危害提供初步近似的度量。假若需要对辐射剂量和危险进行更精确的评价,那么必须对器官和组织的剂量作出进一步的特定估计,特别是在需要对特定个人进行不同器官的危

险评估时尤其需要。

(157) 有效剂量旨在作为一种建立在参考值基础上的防护量使用,因此不推荐用于流行病学评估,也不应当用于详细具体的个人照射和危险的回顾性调查。相反,应当采用吸收剂量,并伴以最合适的生物动力学、生物效能和危险因子数据。对受照个体中的癌症诱发概率的评估,需要采用器官或组织剂量,而不是有效剂量。

(158) 采用有效剂量来评估组织反应是不合适的。此时,必须估计吸收剂量,同时把适当的 RBE 作为评估任何辐射效应的基础(参见附件 B)。

4.4.7 集体有效剂量

(159) 为了放射防护最优化的目的,主要是在职业照射领域内,委员会已经引入了集体剂量的一些量(ICRP,1977,1991b)。这些量,考虑到在某个给定时间内,或者在指定辐射区域内由该组所实施的某种操作期间内,组内所有个人所受的照射。实际上,集体当量剂量只是在特殊情况下才使用的。因此委员会在本建议书中只讨论集体有效剂量。集体有效剂量 S (ICRP,1991b),是按照在整个时间段内或所考虑的操作期间内所有个人的有效剂量之和计算的。用于集体有效剂量的特定名称是“人·希沃特”。在优化过程中,对不同的放射防护措施和操作情景之间的比较,是根据对预期的个人和集体有效剂量的评估基础上完成的。

(160) 集体有效剂量 S ,是以线性无阈的剂量效应关系(LNT 模型)假定为基础的。在此基础上,才有可能把有效剂量视为可相加的。

(161) 集体有效剂量是用于比较不同放射防护技术和防护程序的优化工具。不是要把集体有效剂量用作为流行病学研究工具,把它用于危险预估是不合适的。这是由于隐含在集体有效剂量计算中的假定(例如,当采用 LNT 模型时)隐藏着巨大的生物学和统计学不确定性。特别是根据由大的人群的微小照射组成的集体有效剂量来计算癌症死亡率的做法是不合理的,应当加以避免。基于集体有效剂量的这类计算从来不是所希望的,其生物学上和统计学上的不确定性是非常大的,必须在事先提出许多告诫,使得不要等到一旦估算超出了范围因而导

致对该防护量的不正确使用时才去重复这些告诫。

(162) 为了防止诸如发生在很长时间段内和很大地理区域内的非常低的个人剂量的不恰当凝并,需要确定某些限制条件。应当对剂量范围和时段加以规定。由处在 E_1 和 E_2 之间的个人有效剂量构成的集体有效剂量,定义为:

$$S(E_1, E_2, \Delta T) = \int_{E_1}^{E_2} E \left(\frac{dN}{dE} \right)_{\Delta T} dE \quad (4.12)$$

这里: $(dN/dE)dE$ 指在时间段 ΔT 之内其受照的有效剂量处在 E 和 $E + dE$ 之间的人员数量(参见附件 B)。当个人剂量的范围跨若干个数量级时,其分布应当按这样分区:把它的个人剂量分成为若干个区间,每一个区间的覆盖范围不超过 2 或 3 个量级,对每个区间分区考虑的是它们的人群大小、平均个人剂量和不确定度。当集体有效剂量小于相关危险的危害的倒数时,危险评价应当注意到,最大可能的超额健康效应数是零(NCRP 1995)。

4.5 不确定度及其评价

(163) 在辐射剂量评价中,用以模拟外照射情况下的几何条件、放射性核素摄入体内及其在体内的滞留生物动力学行为,以及关于人体解剖学特征的模式是必需的。在很多情况下,为了推导出模式参数值的“最佳估计”或“中央估计”值,已经通过实验调查和人体研究确定了这些模式以及它们的参数值。类似的考虑也适用于对组织权重因数和辐射权重因数的选择。已经认识到,某些参数值,以及模式本身的表达式或结构存在着相当大的不确定性。必须对剂量评价用的必要模式和参数值的最佳选择作出判断(参见附件 B)。

(164) 不确定度是指对某给定参数值或模式的预期结果可给予的置信水平。在所有的外推方法中,它是一个重要因素。在这一点上,单个参数的变异性和测量的精确度也是非常重要的。测量和判断的精确度,将随着剂量水平的下降和系统复杂性的增大而变小。变异性是指所关心群体中的个体成员之间的定量差异。所有这些方面都在评估用的模式确定中得到了考虑(参见附件 B)。

(165) 辐射剂量模式的确定性和精确性不足的情况,会随着参数的不同和确定情况下具体境遇的不同而不同。因此,尽管对它们的评估是模式制定中重要的组成部分,但要在整个 ICRP 模式范围内给出不确定度的数值是不可能的。然而在某些特殊情况下,可能需要对不确定度作出评估,评估用的方法已在很多出版物中得到描述,例如:Goossens 等(1997)、CERRIE(2004)、ICRP(1994b,2005d)、Bolch 等(2003),以及 Farfan 等(2005)。一般情况下,可以说来自包括放射性核素的生物动力学模式在内的内照射辐射剂量评价的不确定度,要大于来自外照射的不确定度。不同放射性核素之间的不确定程度也是不同的。

(166) 委员会知道辐射剂量模式中存在着不确定性或精确度不足的问题,已经在努力认真评估和降低不确定度以及进行一些鉴定性的评估,以便尽可能降低不确定度。对于监管目的来讲,委员会所推荐的剂量学模式和参数值是一些参考值。按惯例它们是固定的值,因此不具有不确定性。同样地,委员会认为剂量评价所必需的生物动力学和剂量学模式,被定义为参考资料,因此也是固定的,应用时不具有不确定性。这些模式和参数值由 ICRP 进行定期再评估,在这些评估的基础上,当有新的科学数据和资料可获得时,可以对它们作出修改。

(167) 通过对参考人的有效剂量的点估计来确定是否满足监管要求,认为这些点估计值是没有不确定性的。在剂量可能接近或超过限值的回顾性评价中,对具体个人的剂量或危险进行估计,并在这些估计中考虑不确定度是合适的。

(168) 尽管剂量学模式发生了改变,对有效剂量的计算也存在差异,但应当认为以前所作的当量剂量或有效剂量的评价是足够令人满意的。总的来说,委员会并不推荐用新的模式和参数对已有数据重新计算一次。

4.6 参考文献

Bolch, W. E. , Farfan, E. B. , Huston, T. E. , et al. , 2003. Influences of parameter uncertainties within the ICRP-66 respiratory tract model: particle clearance.

- Health Physics 84 (4), 421-435.
- CERRIE, 2004. Report of the Committee Examining Radiation Risks of Internal Emitters (CERRIE). www.cerrie.org, ISBN 0-85951-545-1.
- Cristy, M., Eckerman, K. F., 1987. Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources. Report ORNL/TM-8381; vol. 1-7. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- Farfan, E. B., Bolch, W. E., Huston, T. E., et al., 2005. Uncertainties in electron-absorbed fractions and lung doses from inhaled beta-emitters. Health Physics 88 (1), 37-47.
- Goossens, L. H. J., Harrison, J. D., Kraan, B. C. P., et al., 1997. Probabilistic Accident Consequence Uncertainty Analysis: uncertainty assessment for internal dosimetry, NUREG/CR-6571 vol. 1, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.
- ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1 (3) (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. 李树德译. 北京: 原子能出版社, 1978).
- ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3) (国际放射防护委员会第 60 号出版物, 国际放射防护委员会 1990 年建议书. 李德平、孙世荃、陈明俊、周永增、郭裕中译, 李树德、魏履新、吴德昌、陈丽姝校. 北京: 原子能出版社, 1993).
- ICRP, 1993a. Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2) (国际放射防护委员会第 65 号出版物, 住宅和工作场所氡 222 的防护. 李素云译, 周永增校. 北京: 原子能出版社, 1997).
- ICRP, 1994b. Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 68. Ann. ICRP 24 (4).
- ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32 (3/4).
- ICRP, 2003c. Relative biological effectiveness (RBE), quality factor (Q), and radiation weighting factor (w_R). ICRP Publication 92. Ann. ICRP 33 (4).
- ICRP, 2005d. Low dose extrapolation of radiation-related cancer risk. ICRP Publication 99. Ann. ICRP 35 (4).
- Kramer, R., Zankl, M., Williams, G., et al., 1982. The calculation of dose

from external photon exposures using reference human phantoms and Monte Carlo methods, Part I: The male (Adam) and female (Eva) adult mathematical phantoms. GSF-Report S-885, GSF-National Research Center for Environment and Health, Neuherberg, Germany.

NCRP, 1995. Principles and application of collective dose in radiation protection. NCRP Report 121. National Council on Radiation Protection and Measurements. Bethesda, MD.

Snyder, W. S. , Ford, M. R. , Warner, G. G. , et al. , 1969. Medical Internal Radiation Dose Committee (MIRD) Pamphlet No. 5. J. Nucl. Med. 10, Supplement No 3.

Zankl, M. , Becker, J. , Fill, U. , et al. , 2005. GSF male and female adult voxel models representing ICRP reference man-the present status. Proceedings of The Monte Carlo Method: Versatility Unbounded in a Dynamic Computing World. Chattanooga, TN, American Nuclear Society, La Grange Park, USA.

5. 人类放射防护体系

(169) 每一个人都会受到天然及人造辐射源的电离辐射的照射。造成人类照射的过程,可以方便地看成事件与情况的网络。网络的每一部分从一个源开始。然后,辐射或放射性物质通过环境或其他途径导致个人受照。最终,辐射或放射性物质对个人的照射造成受照个人的剂量。人们可以对放射源或照射途径的某些环节采取措施,或者偶尔通过改变受照个人的位置或特征以达到防护的目的。为方便起见,环境途径经常被包含到放射源与受照个人所接受剂量的连接环节中。可采取防护措施的部分对防护体系具有实质性影响。

(170) 假设剂量的增加与发生随机效应的危险是成正比关系,这使得有可能分别处理导致照射的事件和情况的网络中的不同部分,并选择能够代表给定情况的那些部分。然而为了做出这些选择,有必要定义网络每一部分、目标、对防护负有责任的组织(和个人)、责任链,以及获得必要信息的可行性等。这仍然是一个复杂的过程,委员会建议在管理放射情况时做两个简化。

(171) 第一个简化在 1990 年建议书中已经用到,并确认个人可能遭受到几种类型的照射,这些照射均能分别处理(ICRP, 1991b)。例如,作为工作的一部分才受到辐射源照射的大多数工作人员,也作为公众的一员受到环境辐射源的照射,还可作为患者的一员接受医疗照射。委员会的政策仍然是对因工作受到照射的控制不必受对其他源照射控制的影响。这个政策依然概括地反映在委员会现在的建议把照射分为三类上:职业照射、患者的医疗照射和公众照射(参见 5.3 节)。委员会继续建议,为了审管的目的,不要试图对同一个人所受不同种类的照射作相加。

(172) 第二个简化是在处理由多种照射途径构成的网络时,对与源相关的考虑和与个人相关的考虑加以区别(参见 5.5 节)。尽管在每类照射中个人可能受到几个源的照射,为了放射防护的目的,每个源

或每组源仍可各自分别处理(ICRP,1991b)。这就有必要考虑可能受到这个源或这组源照射的所有个人。这个方法称作“源相关的评价”。

(173) 为了照射的实际控制,在第 60 号出版物中把引起这些照射的事件和情况的网络分为两大类:实践和干预。实践定义为由于引入新的一整套源、照射途径和个人,或由于改变从现存源到人的照射途径的网络而增加照射的人类活动,即增加个人受到的照射或受到照射的人数。干预定义为通过影响网络的现存形式而降低总的照射的人类活动。这些活动可以是移开既已存在的源,改变照射途径,或减少受照人数。在修订的防护体系中,目前委员会的建议已由基于过程的方法发展为基于计划照射、应急照射、现存照射三种辐射照射情况特性的方法(参见 5.2 节)。

5.1 源的定义

(174) 委员会用术语“源”表示任何导致某个人或某一组人受到潜在的可计量的辐射剂量的物理实体或程序。它可以是一个物理的源(如放射性物质或 X 射线机),可以是一个设施(如一所医院或一座核电厂),或程序或具有相似特征的物理源组(如核医学程序、本底或环境照射)。如果放射性物质由某个设施释放到环境中,则该设施整体可以视作一个源;如果放射性物质已经弥散在环境中,人们受到它们的照射的那部分可以视为一个源。多数情况对任何一个人将有一个占主导地位源,这使得在考虑防护行动时可以单独地处理各个源。

(175) 一般而言,源的定义与选择相应适当的最优化防护策略有关。但如果这一政策被曲解,那么就会产生许多困难,例如通过人为地分割一个源来避开采取防护措施的要求,或者过分地聚集放射源以夸大采取行动的需要。假如监管机构和用户(当可以被明确时)都贯彻委员会主要策略的精神,在源的定义上可以达到实际的一致。

5.2 照射情况类型

(176) 委员会的意图是使其建议应用于所有的源和受到下列三类

照射情况下辐射照射的个人,这三类照射表征了所有可能的照射情况。

- **计划照射情况**是指慎重地引入和操作源的情况。计划照射情况既可以引起预期会发生的照射(正常照射),也可以引起预期不会发生的照射(潜在照射,参见 6.1.3 节)。
- **应急照射情况**是指在一个计划照射情况的运行期间可能发生的,或来自于一个恶意行为的,或其他意外的情况,并需要采取紧急行动以避免或降低有害后果。
- **现存照射情况**是指在不得不作出控制决策时照射就已经存在的照射情况,包括紧急事件发生后的持续照射。

因而委员会过去称作“实践”的活动可能是计划照射情况、应急照射情况和现存照射情况的起因。患者的医疗照射也属于计划照射情况,但由于这类照射的特殊性,将单独讨论它们。计划照射情况的防护原则同样也适用于与现存照射情况和应急照射情况相关的职业照射。

5.3 照射的分类

(177) 委员会区分三类照射:职业照射、公众照射和患者的医疗照射。抚育者、照顾者及生物医学研究志愿者的照射将在第 7 章讨论。

5.3.1 职业照射

(178) 委员会把职业照射定义为工作人员由于他们的工作所受到的辐射照射。委员会注意到通行的对任何有害物质的职业暴露的定义包括所有在工作中遭受到的暴露而不问其来源。然而,由于辐射无处不在,直接应用上述定义势必将使所有工作人员均受到放射防护的管理。所以委员会使用术语“职业照射”仅限于在正常场合下能合理地视作运营管理者负有责任的那些情况下在工作中受到的照射(也参见 6.3.1 节)。排除照射以及来自豁免实践或豁免源的照射通常不必计入职业照射。

(179) 雇主对工作人员的防护负主要责任。然而,源的许可证持有者(如果与雇主不同)也对工作人员的防护负有责任。如果工作人员从事的工作中包含或可能包含不在他们的雇主控制之下的源,那么源

的许可证持有者和雇主应该通力合作,互通信息,另外如有必要,应在工作场所促进适当的放射防护。

5.3.2 公众照射

(180) 公众照射包括除职业照射和患者的医疗照射(参见 5.3.3 节)之外的其他公众的所有照射。公众照射来源于一系列辐射源。来自天然源的照射是公众照射组份中远在其他组份之上的最大一项,但不能因此认为对较小但较容易控制的人工源的照射给予较少的关注是正当的。怀孕工作人员的胚胎和胎儿的照射作为公众照射管理。

5.3.3 患者的医疗照射

(181) 患者的辐射照射发生在诊断、介入和治疗程序中。医疗放射实践具有一些独特的性质,需要有与其他计划照射情况不同的放射防护方案。医疗照射旨在给患者以直接利益。尤其在放射治疗中,高剂量照射的生物学效应,如杀死细胞,对治疗癌症和其他疾病来说对病人是有益的。因此,这些建议在应用到辐射的医学应用方面需要单独的指导(参见第 7 章,抚育者、照顾者及生物医学研究志愿者受到的医疗照射也在该章讨论)。

5.4 受照射个人的鉴别

(182) 有必要分别处理至少三类受照射人员,即工作人员、公众和患者。这三类人员实质上与他们所受照射归入 5.3 节定义三类照射中的个人相对应。一个特定的受照射个人可以是三类人员中的某一类,也可以是三类人员任意组合中的某一类。

5.4.1 工作人员

(183) 委员会将工作人员定义为任何专职、兼职或临时性受雇于雇主的人员,而且这些人员清楚关于职业放射防护的权利和义务。自主经营者既是雇主又是工作人员。从事涉及辐射的医疗职业工作人员属职业性受照。

(184) 雇主、许可证持有者很重要的一项职责是保持对辐射源的控制,以及对受到职业照射工作人员防护的控制。为了达到此目的,委员会继续推荐对工作区域实行分类,而不是对工作人员实行分类。要求正式划定工作场所中置有放射源的区域,以有助于对源的控制。委员会采用两种指定场所:控制区和监督区。控制区是一个规定区域,在控制区内需要或可能需要采取特殊的防护措施或安全规定,以在正常工况下控制正常照射,或阻止污染的蔓延,以及预防或限制潜在照射的范围。监督区是指其工作条件应不断地加以检查,但通常无需专门程序的区域。控制区经常处于监督区内,但并非必须处于监督区中。

(185) 处于工作场所“控制区”内的工作人员应当掌握足够的信息并经过特殊的培训,他们构成一个容易辨认的群体。需要经常地对这些工作人员在工作场所遭受到的辐射照射进行监测,偶尔他们也需要接受特殊的医学监护。

怀孕或哺乳期工作人员的照射

(186) 在 1990 年建议书中,委员会得出结论:在职业照射的控制上没有理由区分性别。在本建议书中委员会维持这一政策。然而,如果一个女性工作人员声明(即通知其雇主)已怀孕,则必须考虑旨在保护胚胎或胎儿的附加控制。委员会的政策是,对怀孕妇女工作中的防护方法应为胚胎或胎儿提供与公众成员完全相似的保护。委员会认为,如果母亲在声明怀孕之前所受到的照射是在委员会建议的防护体系内,那么上述政策就足以实现这种保护。一旦雇主得知职工怀孕的通知,就必须考虑对胚胎或胎儿进行附加的保护。自声明怀孕之日起,怀孕工作人员的工作环境应该能确保在余下的孕期内胚胎或胎儿受到的附加剂量不得超过 1 mSv。对胚胎或胎儿辐射照射的附加指导见 7.4 节。

(187) 对胚胎或胎儿的剂量的限制,并不意味着怀孕妇女需要完全避免与射线或放射性物质接触,或者必须阻止其进入特定的辐射区域或在该区域内工作(参见第 184 段)。但的确意味着雇主需要仔细检查孕妇的受照情况。特别是必要时应改变她们的工作环境,以保证在怀孕期内事故照射的可能性和放射性物质的摄入量非常低。关于对怀孕工作人员辐射控制的具体建议在第 84 号和第 88 号出版物(ICRP、

2000a, 2001a)中已给出。委员会在第 95 号出版物(ICRP, 2004b)中还发布了由于哺乳期妇女摄入放射性物质导致后代辐射剂量的计算方法。委员会强烈建议为了保护胚胎或胎儿,或者婴儿,声明已怀孕或处于哺乳期的妇女不应介入高辐射剂量的应急行动(ICRP 2005a)。

(188) 在第 88 号出版物(ICRP, 2001a)中,委员会给出了由于母亲在怀孕前或怀孕期间摄入放射性核素而导致胚胎或胎儿和婴儿受照射的剂量系数。一般来说,胚胎或胎儿和婴儿的剂量相近于或低于参考女人。在第 95 号出版物(ICRP, 2004c)中,委员会发布了母乳喂养的婴儿摄入来自母乳的放射性物质所受辐射剂量的资料。对于大多数所考虑的核素,估计婴儿从母乳吸入的放射性核素的剂量小于参考女人的剂量。

航空和太空照射

(189) 在第 60 号出版物(ICRP, 1991b)中,委员会建议在商用喷气式飞机的运行和宇航中受到宇宙射线的照射属于职业照射的一部分。随后,委员会在第 75 号出版物(ICRP, 1997a)中明确了其建议,表明对于频繁飞行的乘客所受到的照射不必按职业照射加以控制。因此,实质上只需考虑机组人员。当时,委员会已经意识到,唯一切实可行的监管措施是通过控制飞行时间和航线的选择来控制个人照射。委员会仍然保留这个观点。

(190) 有些特殊的宇宙射线照射情形,如太空旅行中的照射,在这里剂量可能相当大且采取某些类型的控制是有必要的。考虑到能够引起这类照射的特殊情况,应当单独地处理这些照射。

5.4.2 公众成员

(191) 委员会将公众成员定义为所接受到的照射既不属于职业照射,又不属于医疗照射的任何个人(也参见 5.4.3 节)。各种各样的天然和人工辐射源造成公众成员的照射。

(192) 通常,特别是对于公众照射,每个源可能对多个受照射个人造成照射。为了达到保护公众的目的,委员会使用了“关键人群组”的概念,表征代表人群中所受高端照射人员所接受剂量的个人(ICRP 1977)。剂量约束应当用于相应的关键人群组的平均剂量。在过去的几十年中,关键人

群组概念的应用取得了大量的经验。同时,公众成员所受剂量的估算技术也有了发展,特别是概率方法越来越多的应用。形容词“关键”(critical)有危机的含义,委员会从来没有这种意思。此外,“人群组”(group)一词在估算的剂量是针对个人的情况时可能会产生歧义。

(193) 为实现对公众的放射防护的目的,委员会现在推荐使用“代表人”替代早期的“关键人群组”概念。委员会在第 101 号出版物(ICRP,2006a)中,对“代表人”的特征以及其剂量估算提供了指南。

(194) 代表人可以是假定的,然而,重要的是用以表征代表人的习性(如食品消费量、呼吸速率、位置、当地的资源利用)是代表人群中受到高端辐射照射的那些人员中少数个人的典型习性,而不是人群中某一个人的极端习性。可以考虑一些极端或异常的习性,但是它们不应该作为考虑为“代表人”的特性。

5.4.3 患者

(195) 委员会将患者定义为接受与诊断、介入或治疗程序相关的照射的人员。委员会不推荐单个患者的剂量限值和剂量约束,因为若加以限制可能会降低患者诊断或治疗的有效性,那样反而弊大于利。因此,重点是医学程序的正当性和防护的最优化,以及对诊断程序应用诊断参考水平(参见第 7 章)。

(196) 怀孕患者的照射在 7.4 节中论述。

5.5 放射防护水平

(197) 在 1990 年建议书中指出,只要个人剂量远在有害的确定效应阈值之下,来自单个源的个人剂量所贡献的效应与来自其他源的剂量效应无关。出于多种目的,每个源或每组源可以各自分别处理,然后需要考虑个人受到这个源或这组源的照射。这个方法称为“源相关的”方法。委员会现在强调源相关方法的极端重要性,因为对源采取措施可保证对受到该源照射的人群组的防护。

(198) 对于计划照射情况,个人可能遭受到的剂量的源相关限制是**剂量约束**。对于潜在照射情况,相应的概念为**危险约束**。对于应急

照射和现存照射情况,源相关限制是参考水平(参见 5.9,6.2 和 6.3 节)。剂量约束以及参考水平概念用于防护最优化过程,以帮助确保在考虑到社会和经济因素后所有照射控制在可合理达到的尽量低的水平。因而剂量约束和参考水平视为是最优化过程的关键,最优化过程可确保在主要情况下选择适当的防护水平。

(199) 也许有人会认为,在多个源存在的情况下源相关的限制不能提供足够的防护。然而,委员会认为通常会有一个起主导作用的源,而且选择适宜的参考水平或约束可确保得到足够的防护。委员会仍然认为无论在何种情况下,在约束值或参考水平以下的源相关最优化原则是最有效的防护工具。

(200) 在特殊的计划照射情况下,需要分别限制职业照射剂量总量与公众照射剂量总量。委员会引用个人相关的限制,即剂量限值(参见 5.10 节),相应的剂量评价称为“个人相关的”评价。

(201) 然而,几乎不可能估算个人所受到的来自所有这些源的照射。因此有必要取剂量的近似值与量化的限值进行比较,尤其是对于公众照射。对于职业照射,因为运营管理者能够得到必要的信息来确定和控制所有相关源的剂量,所以这种近似几乎是准确的。

(202) 图 3 说明在计划照射情况下运用个人剂量限值与在所有情

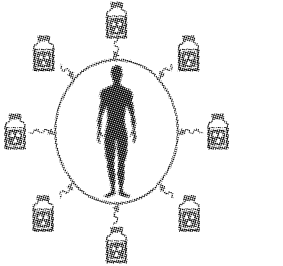
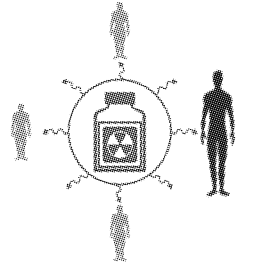
剂量限值	约束和参考水平
保护受到职业照射的工作人员以及受到公众照射的代表人	
	
来自计划照射情况下所有受控源	来自所有照射情况下的单一源

图 3 保护工作人员和公众成员的剂量限值与剂量约束以及参考水平的对比

况下对单个源运用约束或参考水平之间的概念差异。

5.6 放射防护原则

(203) 在 1990 年建议书中,委员会分别给出了实践和干预情况下的防护原则。委员会仍然认为这些原则是防护体系的基础,并且目前已提出了单一的一套用于计划照射、应急照射以及现存照射情况的原则。在本建议书中,委员会也阐明了如何将基本原则应用于辐射源和个人,以及如何将源相关原则应用于所有可控的情况。

两项原则是源相关的,适用于所有照射情况

- **正当性原则:**任何改变照射情况的决定都应当是利大于弊。

这意味着通过引入新的辐射源,减小现存照射,或减低潜在照射的危险,人们能够取得足够的个人或社会利益以弥补其引起的损害。

- **防护最优化原则:**在考虑了经济和社会因素后,遭受照射的可能性、受照射人员数目以及个人所受剂量的大小均应保持在可合理达到的尽可能低的水平。

这意味着在主要情况下防护水平应当是最佳的,取利弊之差的最大值。为了避免这种优化过程的严重不公平的结果,应当对个人受到特定源的剂量或危险需要加以限制(剂量约束或危险约束以及参考水平)。

一项原则是个人相关的,适用于计划照射情况

- **剂量限值的应用原则:**除了患者的医疗照射之外,任何个人受到来自监管源的计划照射的剂量之和不能超过委员会推荐的相应限值。

(204) 监管剂量限值由监管机构考虑国际建议而确定,此限值适用于计划照射情况的工作人员及公众人员。

5.7 正当性

(205) 委员会建议,当正在考虑涉及增加或减少辐射照射或潜在照射危险水平的活动时,预期的辐射危害的变化应明确包括在决策过

程中。所考虑的后果不限于辐射危害,还包括该活动的其他危险和代价及利益。辐射危害有时只是全部危害中的一个小部分。因此,正当性远远超越了放射防护的范围。正是由于这些原因,委员会仅仅建议正当性要求净利益为正值。在所有可行的各种方案中选出最佳方案,已超出了放射防护部门的职责范围。

5.7.1 正当性原则的应用

(206) 在职业照射和公众照射情况下,正当性原则的应用有两种不同的方法,它取决于是否可以直接控制源。第一种方法用于引入新的活动,在这里对放射防护预先进行了计划且可以对源采取必要的行动。正当性原则应用于这些情况,要求只有当计划的照射对受照射个人或社会能够产生净利益以抵消它带来的辐射危害时才可以引入。重要的是,判断引入或继续包含电离辐射照射的特定类型的计划情况是否可以证明是正当的。当有新信息、新技术出现时,该活动的正当性需要重新审视。

(207) 第二种方法用于主要通过改变照射途径的行动而非直接对源施加作用能够控制照射的情况。主要的例子是现存照射情况和应急照射情况。在这些情况下,正当性原则用于决定是否采取行动以避免进一步的照射。减小剂量的任何决定,都会带来某些不利因素,必须要由做出这种决定带来的利益大于危害来证明其是正当的。

(208) 在两种方法中,判断正当性的责任通常落到政府或国家管理部门身上,以确保最广泛意义上的社会整体利益,因而不必对每个人有益。然而,做出正当性判定的输入信息可能包括许多方面,可能是由政府部门以外的用户或其他组织或人员告知的。同样,正当性判定将经常通过公众磋商过程告知,依据之一就是相关源的大小。正当性包含很多方面,不同的组织将会参与且负有责任。在这样的背景下,放射防护考虑将作为重要决策过程的一个依据。

(209) 患者的医疗照射正当性的判断过程需要一种不同且更加详细的方法。像其他计划照射情况一样,辐射的医学应用也应当具有正当性,尽管此种正当性判断的职权更多经常地归专业人员而非政府部门或全权监管机构所有。医疗照射的主要目标是,恰当地考虑到放射

工作人员和其他个人所受照射的辐射危害,照射对患者是利大于弊。采用某个特定程序的正当性是从业医生的责任,他们需要经过放射防护的专业训练。因此,医学程序的正当性也是委员会建议书的一部分(参见 7.1 节)。

5.7.2 非正当照射

(210) 委员会认为除非情况特殊,以下照射不需分析即可认定是非正当的:

- 故意添加放射性物质或进行活化,使食品、饮料、化妆品、玩具、私人珠宝或装饰品等产品的放射性活度增加引起的照射。
- 在未查询临床症状情况下,为了职业、健康保险或法律目的而开展的放射检查,除非此检查预期能够为被检查个人的健康提供有用的信息,或能够为重要的犯罪调查提供证据。这几乎总是意味着必须对获得的影像进行临床评估,否则照射就不是正当的。
- 对无症状的人群组进行涉及辐射照射的医学筛选检查,除非对受检查个人或整个人群的预期利益足以弥补经济和社会成本(包括辐射危害)。应当考虑筛选程序检查疾病的可能性,对查出疾病给予有效治疗的可能性,以及对于某些疾病,控制这些疾病给整个社会带来的利益。

5.8 防护的最优化

(211) 防护的最优化过程计划用于已认为具有正当性的情况。对个人剂量或危险限制的防护最优化原则是防护体系的核心,适用于所有的三种照射情况,即计划照射情况、应急照射情况和现存照射情况。

(212) 委员会把最优化原则定义为一种源相关的过程:在考虑了经济和社会因素后,遭受到照射的可能性(不一定受到的照射)、受照射人员数目以及个人剂量大小均应保持在可合理达到的尽可能低的水平。

(213) 委员会以前已经给出如何应用最优化原则的建议(ICRP, 1983, 1989, 1991b, 2006a),这些建议仍然有效,此处将不再重复叙述。

决策辅助技术对于探寻最优化的放射防护方案仍然是必要的,这些技术包括定量的优化方法,如代价利益分析。在过去几十年中最优化过程的应用已显著地降低了职业照射和公众照射。

(214) 最优化总是旨在达到主要情况下防护的最佳水平,通过以下持续、反复的过程:

- 估计照射情况,包括任何潜在照射(过程的构架);
- 选择剂量约束或参考水平的适宜值;
- 鉴别可供选择的可能的防护方案;
- 选择主要情况下的最佳方案;
- 实施所选择的防护方案。

(215) 经验已经表明防护的最优化是如何改进计划照射情况的放射防护的。约束为最优化过程提供了一个期望的上限。一些辐射源和技术能够满足在低水平下设定的约束值,而其他的却只能满足在较高水平下设定的约束值:这很正常,恰恰反映了监管机构和其他机构能够自由选择与特定情况相适应的数值。

(216) 在所有情况下,应用剂量约束或参考水平的最优化过程用于计划防护行动和建立主要情况下适宜的防护水平。与剂量约束值或参考水平相比较的剂量通常是预期剂量,即未来可能受到的剂量,因为只有这些剂量可以受到防护行动决策的影响。委员会不打算使用回顾性剂量限值。

(217) 防护的最优化是一个前瞻性的反复过程,旨在防止或降低未来的照射。它考虑到技术和社会经济的发展,它既需要定性的判断,也需要定量的判断。最优化的过程应当系统、谨慎地构建,以保证考虑到所有相关的方面。最优化过程是意愿的构建过程,需要不断地探究是否在主要情况下已经做到了最好;是否所有可合理减小剂量的措施已经采用。还需要所有相关组织的各个层次承担相应的义务,以及提供充足的程序和资源。

(218) 最佳的选择通常是与照射情况相对应的,它表示在主要情况下能够达到的最佳防护水平。因此,它与先验地确定的低于该剂量最优化过程就应停止的剂量水平无关。取决于具体的照射情况,最佳的选择可以接近或远低于相应的源相关剂量约束值或参考水平。

(219) 防护的最优化并非是剂量的最小化,最优化的防护是仔细地对辐射危害和保护个人可利用资源进行权衡的评估结果。因此,最佳的选择未必是剂量最低的选择。

(220) 除了降低个人照射之外,还应当考虑减少受照射人员的数目。集体有效剂量过去一直是且现在仍然是工作人员防护最优化的一个重要参数。为了最优化的目的,比较防护方案选择时,必需仔细地考虑受照射人群中个人照射分布的特点。

(221) 当照射涉及多人口、大区域、长时间时,总的集体有效剂量并非做出决策的有效手段,因为它会不恰当地汇总信息,可能误导防护措施的选择。为了克服集体有效剂量的局限性,必须仔细分析每一种相关的照射情况以鉴别受照射个人的特性,以及最佳地描述特定情况下照射在相关人群中分布的照射参数。这种分析,通过询问什么时间、什么地点、什么人受到照射,以鉴别具有相似特征的各种人群组,以便在最优化过程中可以计算这些人群组的集体有效剂量,并确定相应的最优化防护策略(参见 4.4 节)。在实际最优化评价中,常常对集体剂量的积分截尾。这是因为评估利用了所考虑的各种可供选择的防护方案的集体剂量积分之差,而不是完全积分(ICRP,1983)。

(222) 在第 77 号和第 81 号出版物中(ICRP,1997d,1998b),委员会认为随着时间的推移个人剂量和受照射人群规模变得越来越不确定。委员会的意见是,在决策过程中由于不确定性的增加,对于很低的剂量以及在遥远的将来将会受到的剂量可以考虑给予较低的权重(也参见 4.4.7 节)。委员会并不打算对此权重给出详细指导,而是更加强调以透明的方式论证如何选择这个权重的重要性。

(223) 最优化的所有方面不可能都规范化;相反,所有部门在最优化过程中都有义务承担责任。在最优化成为监管机构的事务时,问题的焦点不应当是特定情况下的具体结果,而应该是最优化的过程、程序以及判断。应当建立监管机构与运营管理者之间的公开对话,最优化过程的成功将强烈地依赖于这个对话的质量。

(224) 社会价值评估经常影响放射防护水平的最终决定。因此,本报告应视为主要基于放射防护的科学考虑而提供的决策辅助建议。希望委员会的劝告将用作最终(通常是宽泛的)决策过程的一个输入信

息,该决策过程还包括其他社会关注和道德方面,以及公开透明的考虑(ICRP,2006a)。该决策过程可能会经常有相关的利益相关方的参与,而不单是放射防护专家。

5.9 剂量约束和参考水平

(225) 剂量约束和参考水平概念与防护的最优化一同用于对个人剂量的限制。总是需要定义一个个人剂量水平,也就是剂量约束或参考水平。起始的目标是保证剂量不超过或保持在这一水平,接下来的目标是在考虑到经济和社会因素后,将所有的剂量降低到可合理达到的尽量低的水平。

(226) 为了与早期的建议书(ICRP, 1991b)保持连续性的原因,委员会对计划照射情况(除患者的医疗照射外)这一剂量水平的限制沿用了术语“剂量约束”。对于应急照射和现存照射情况,委员会建议采用术语“参考水平”描述这个照射水平。计划照射与其他照射情况(应急照射和现存照射)术语之间的差别被委员会保留下来,用来说明这个事实:在计划情况下,可以在计划阶段应用对个人剂量的限制,并且为了确保不会超过约束值,剂量是可以预测的。对于其他照射情况,可能存在更宽范围的照射,最优化过程可以使用高于参考水平的初始个人剂量水平。

(227) 诊断参考水平已经在医学诊断(即计划照射情况)中应用,以表明在常规条件下患者的剂量水平或某个特定的影像程序所注射的活度,对于该程序是异常地高还是低。如果有问题,则需要启动一个地区性复查,以确定防护是否已经得到了充分地优化,或是否需要采取纠正措施。

(228) 选定的剂量约束或参考水平数值依赖于所考虑照射的环境。也须明白无论是剂量和危险约束还是参考水平都不代表“危险”与“安全”的分界限,也不表示改变个人相关健康危害的梯级。

(229) 表4给出了委员会防护体系中用到的不同类型的剂量限制(限值,约束,参考水平)与照射情况类型和照射的分类的关系。在计划照射情况下,为了考虑潜在照射,同样有危险约束。

表 4 委员会防护体系中用到的剂量约束和参考水平

照射情况类型	职业照射	公众照射	医疗照射
计划照射	剂量限值	剂量限值	诊断参考水平 ⁴⁾
	剂量约束	剂量约束	(剂量约束 ⁵⁾)
应急照射	参考水平 ¹⁾	参考水平	不适用 ²⁾
现存照射	不适用 ³⁾	参考水平	不适用 ²⁾

- 1) 长期的恢复作业应作为计划中的职业照射的一部分。
- 2) 不适用。
- 3) 在受影响区域内长期从事补救工作或从事延续性工作所接受到的照射应作为计划中的职业照射的一部分,即使辐射源是“现存”的。
- 4) 患者。
- 5) 仅指抚育者、照顾者及生物医学研究志愿者。

5.9.1 剂量约束

(230) 剂量约束是计划照射(除患者的医疗照射外)情况下,对某辐射源引起的个人剂量的一种限制。它是预期的,且为源相关的,在对该源进行防护最优化时作为预期剂量的上限。剂量约束是这样—个剂量水平,对于给定源的照射高于该剂量水平时防护得到最优化是不大可能的,因此,对于这种情况几乎总是需要采取行动。计划照射情况的剂量约束值代表防护的基本水平,且将总是低于有关的剂量限值。在设计过程中,必须确保源相关的剂量不得超过约束值。防护的最优化将确定一个在约束值以下的可接受的剂量水平。于是这个优化剂量水平就是设计的防护行动的预期结果。

(231) 在超过剂量约束时必要的行动包括,确定防护是否已经达到了最优化,是否已经选择了适当的剂量约束,以及把剂量降低到可接受水平的进一步措施是否可能是适当的。对于潜在照射,相应的源相关约束称为危险约束(参见 6.1.3 节)。把剂量约束视为目标值是不充分的,还将需要进行防护的最优化以确定一个在约束值以下的可接受的剂量水平。

(232) ICRP 第 60 号出版物中引入的剂量约束概念,是作为确保

最优化过程中不会产生不公平结果的手段,即存在一种可能性,在一个优化的防护方案中一些个人可能遭受到比平均受到照射的人员更多的照射。

“大多数防护最优化所用的方法倾向于强调对社会及全体受照射人口的利益与危害。但利益与危害不大可能以相同的方式在社会中分配。因此,最优化可能在某一名个人与另一名个人之间引起相当大的不公平。这可以在最优化过程中引入源相关的对个人剂量的限制以缩小这种不公平。委员会称此种源相关限制为剂量约束,过去称为上界(upper bound)。它是最优化的不可分割的一部分。对于潜在的照射来说,相应的概念是危险约束”(ICRP,1991b)。

此声明仍然代表委员会的观点。

(233) 对于职业照射,剂量约束是一个用来限制选择范围的个人剂量数值,因此在最优化过程中仅仅考虑那些预期所引起的剂量低于约束值的选择。对于公众照射,剂量约束是公众成员从一个特定可控源的计划作业中接受到的年剂量上界。委员会希望强调剂量约束值不能用作或理解为规定的监管限值。

5.9.2 参考水平

(234) 在应急照射或可控的现存照射情况下,参考水平表示这样的剂量或危险水平,计划允许发生的照射在该水平以上时就判断为不合适(参见 6.2 节),因而应当设计并优化防护行动。所选择的参考水平数值将依赖于所考虑的照射情况的主要情况。

(235) 当一个应急照射情况已经发生或已经查明一个现存照射情况,且已经采取了防护行动时,可以对工作人员和公众成员的剂量进行测量或评价。此时,参考水平可以作为一种具有不同功能的基准,通过它能够对防护选择进行回顾性地判断。实施某个计划的防护策略引起的剂量分布可能包含也可能不包含参考水平以上的照射,这取决于该策略的成效。然而,如果可能的话,都应该努力把参考水平以上的照射降低到参考水平之下。

5.9.3 影响源相关剂量约束和参考水平选择的因素

(236) 在剂量高于 100 mSv 时,发生确定效应的可能性增加,并有显著的癌症危险。因为这些原因,所以委员会认为参考水平的最大值是 100 mSv,它可以是急性受到的照射也可以是一年内遭受到的照射。急性或一年内遭受到 100 mSv 以上的照射,只有在极端情况下才可能会是正当的,这是因为照射是不可避免的,也可能是因为一些例外的照射情况,如为了挽救生命或为了阻止严重灾害等。没有其他个人或社会利益能够补偿如此高的照射(参见 ICRP,2005a)。

(237) 除限值以外,委员会在第 60 号出版物及其后续出版物中推荐的许多数值准则均可用作约束值或参考水平。这些数值分为具有下文所述特征三个明确的层次(参见表 5)。委员会认为用这个方式表述这些数值是有用的,因为它能够为委员会未明确提及的特定情况的约束或参考水平选取一个合适的数值。

(238) 委员会推荐的约束和参考水平的层次(参见表 5)可用于三类照射情况的所有情况,是指与所考虑照射情况相适宜的一段时间内的预期剂量。计划照射的约束和现存照射情况的参考水平习惯性地表示为年有效剂量(每年 mSv)。在应急照射情况下,参考水平表示监管机构规定不得超越的由突发事件所引起的总的个人剩余剂量,可以是急性的(预期不会重复),也可能是现存照射情况下每年的剂量。

(239) 第一层次,小于或等于 1 mSv,适用于受照射个人可能不直接由此受益,但可能对社会有利的照射情况,通常属于计划照射范围。公众成员受到来自实践计划运行的照射是这种情况的主要例子。此层次的约束值和参考水平,通常选择用于具有一般信息和环境调查或监测或评价的照射情况,且在這些情况下个人可能会告知但不需培训。相应的剂量常常是在天然本底上有一个微小的增加,且至少比参考水平的最大值低两个数量级,因此,提供了严格的防护水平。

(240) 第二层次,大于 1 mSv 到小于或等于 20 mSv,适用于受照射个人直接受益的照射情况。这一层次的剂量约束值和参考水平,将常常提出用于具有个人监护或剂量监测或评价的情况,同时个人从培训或通知中受益。例如,为计划照射情况下职业照射设置剂量约束值。

表 5 源相关剂量约束和参考水平的框架
所有受控照射情况下占主导作用的单一辐射源
对工作人员和公众的剂量约束举例

剂量约束和参考水平层次 ¹⁾ /mSv	照射情况特征	放射防护要求	举 例
大于 20 至 100 ^{2),3)}	受照射个人受到非受控源的照射,或降低剂量的行动常常是极其复杂的。通常通过对照射途径采取行动来控制照射。	需要考虑减小剂量。当剂量接近 100 mSv 时需要更加尽力减小剂量。受照射个人需要得到辐射危险和减小剂量行动方面的信息。需要进行个人剂量评价。	对辐射应急引起的最高计划剩余剂量设定参考水平。
大于 1 至 20	受照射个人通常从照射情况受益,但未必来自照射本身。可以对源或选择对照射途径采取行动控制照射。	如果可能的话,受照射个人应该可以得到基本信息以便降低他们所受到的剂量。 对于计划情况,需要进行个人照射评价与培训。	对计划情况下的职业照射设定约束值。 为接受放射性药物治疗患者的抚育者或照顾者设定约束值。 对室内氡引起的最高计划剩余剂量设定参考水平。
等于或小于 1	受到某个源照射的个人很少或不受益,但对整个社会是有益的。 常常通过对源直接采取行动来控制照射。放射防护要求可以预先进行计划。	应该可以得到照射水平的基本信息。关于照射水平,应当对照射途径进行定期检查。	对计划情况下的公众照射设定约束值。

- 1) 急性照射或年剂量。
- 2) 在特殊情况下,为了挽救生命、防止严重的辐射诱发健康效应或阻止灾难的发展,知情的志愿工作者所受的剂量可能高于这一层次。
- 3) 超过有关组织和器官的确定效应剂量阈值的那些情况,总是需要采取行动。

涉及异常高水平的天然本底辐射或事故后恢复阶段的照射情况也属于此范围。

(241) 第三层次,大于 20 mSv 到小于或等于 100 mSv,适用于少有的或常常是极端的情况。此时采取降低照射的行动常常是破坏性的。在所带来的利益与照射大小相称的那些情况下,参考水平和剂量约束值,偶尔对于“一次性”照射低于 50 mSv,也可能设定在这一级别范围。在辐射应急情况下所采取的降低照射的行动是这种情况的主要事例。委员会认为当剂量升高到接近 100 mSv 时,防护行动将几乎总是具有正当性的。另外,超过有关器官或组织的确定效应剂量阈值的那些情况,应该总是需要采取行动(也参见 ICRP 第 83 段,1999a)。

(242) 应用防护最优化原则的一个必要的步骤是选择适宜的剂量约束值或参考水平。第一步是,根据照射的性质、照射情况对个人及社会带来的利益和其他社会准则,以及降低或防止照射的可行性,表征相关的照射情况。通过把这些特征与表 5 中所列情况进行比较,就能够选择约束和参考水平的合适层次。于是,通过考虑国家或区域特征和优势,如果适宜的话,以及考虑国际导则和其他良好实践的通用最优化程序,确定特定的约束值或参考水平。

5.10 剂量限值

(243) 剂量限值仅适用于计划照射情况,不包括患者的医疗照射。委员会已经得出的结论是,在第 60 号出版物(ICRP, 1991b)中推荐的剂量限值仍然能够提供适当的防护。对工作人员和公众的标称危害系数与 1990 年给出的是一致的,尽管数值稍低于 1990 年建议书给出的数值。这些微小差别并没有实际意义(参见附件 A)。在一种照射类型中,职业的或者公众的剂量限值都适用于来自具有正当性实践的相关源照射的总和。表 6 中汇总了推荐的剂量限值。

(244) 对于计划照射情况下的职业照射,委员会仍然建议剂量限值表述为:在限定的 5 年内平均年有效剂量 20 mSv(5 年内 100 mSv),且进一步的规定是任何一年的有效剂量不得超过 50 mSv。

表 6 在计划照射情况下推荐的剂量限值¹⁾

限值类型	职业	公众
有效剂量	20 mSv/a, 在规定的 5 年内平均 ⁵⁾	1 mSv/a ⁶⁾
年当量剂量:		
眼晶体 ²⁾	150 mSv	15 mSv
皮肤 ^{3),4)}	500 mSv	50 mSv
手足	500 mSv	—

- 1) 有效剂量限值是在指定时期内由外照射引起的相应有效剂量和在同一时期内放射性核素摄入量引起的待积有效剂量之和。对于成年人,待积有效剂量计算至摄入后 50 年,而对于儿童则计算到 70 岁。
- 2) ICRP 任务组现在正在对这一限值进行评议。
- 3) 对有效剂量的限制足以防止皮肤的随机效应。
- 4) 不管受到照射的面积大小,在 1 cm²皮肤面积内平均。
- 5) 进一步的规定是,在任意单个年份内有效剂量不得超过 50 mSv。对孕妇的职业照射施加附加的限制。
- 6) 在特殊情况下,假如 5 年期间内平均不超过 1 mSv/a,那么可以允许单独一年内的有效剂量大一些。

(245) 对于计划照射情况下的公众照射,委员会仍然建议剂量限值表述为:年有效剂量 1 mSv。然而,在特殊情况下,假如在限定的 5 年内平均每年不超过 1 mSv,在单个的一年内可以允许有效剂量的数值大一些。

(246) 有效剂量限值适用于由外照射引起的剂量和由摄入放射性核素的内照射引起的待积剂量之和。在第 60 号出版物(ICRP, 1991)中,委员会规定为了提供某种灵活性职业摄入量可在 5 年期间内平均。委员会保持这一观点。与此类似,在可以允许对公众成员剂量进行平均的特殊情况下,公众摄入量在 5 年期间内平均可能会是可以接受的(参见前一段)。

(247) 剂量限值不适用于应急照射情况。在这种情况下,知情的受照射个人从事自愿抢救生命的行动或试图阻止灾难态势。对于承担紧急救援作业的知情志愿者,可以放宽对正常情况的剂量限制。然而,在应急照射情况的后期,承担恢复和重建作业的响应人员应视为职业

受照射人员,并应按照正常的职业放射防护标准进行防护,他们所受到的照射不应超过委员会推荐的职业剂量限值。由于委员会对已申明怀孕或处于哺乳期的女性工作人员推荐了特殊的防护措施(参见 5.4.1 节),考虑到在一个应急照射情况事件中早期的响应措施存在某些不可避免的不确定性,女性工作人员在这些情况下不应该作为抢救生命或其他紧急行动的初始响应人员。

(248) 对于一般公众中知情的、与抚育和照顾接受过非密封放射性核素治疗出院后的患者相关的个人,可以放宽对正常情况的剂量限制,且通常不应受公众剂量限值的限制(参见 7.6 节)。

(249) 除有效剂量限值外,第 60 号出版物中还规定了眼晶体和局部皮肤的限值,这是因为用有效剂量限值防止组织反应未必能够保护这些组织。这些组织的相应限值根据当量剂量给出。这些剂量限值保持不变(参见表 6)。然而,期望得到有关视觉损伤的眼睛辐射敏感度的新数据。当得到这些数据时,委员会将考虑这些数据,并将考虑它们对眼晶体当量剂量限值的可能意义。由于与此相关的危害存在不确定性,因而应特别加强眼睛照射情况下防护的最优化。

(250) 组织的剂量限值以当量剂量形式给出。其原因是委员会假定确定效应的有关相对生物效能(RBE)数值总是低于随机效应的辐射权重因数(w_R)数值。从而安全地推断,剂量限值至少可对高传能线密度(High-LET)辐射和低传能线密度(Low-LET)辐射提供同样的防护。因此,委员会相信,对确定效应应用 w_R 值是足够保守的。在特殊情况下,高 LET 辐射是关键的因素,且主要地对单个组织(如皮肤)产生照射,用吸收剂量表述照射并考虑适宜的 RBE(参见附件 B)更恰当。为了避免混淆,无论何时使用以 Gy 为单位的 RBE 加权吸收剂量,都必须清楚地说明。

(251) 委员会选定剂量限值时采用的多属性方法,必然包含了对危害的许多属性的社会判断。这些判断不一定在所有情况下都是一样的,特别是在不同社会中可能是不同的。正是由于这个原因,委员会企图使其指导具有足够的灵活性以适应国家和地区的差别。然而,委员会的观点是,在受到最高照射个人的防护中,最好是通过采用监管机构选定的源相关剂量约束值引入任何这种变化,并应用于防护的最优化过程。

5.11 参考文献

- ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1 (3)(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. 李树德译. 北京: 原子能出版社, 1978).
- ICRP, 1983. Cost-benefit analysis in the optimisation of radiation protection. ICRP Publication 37, Ann. ICRP 10 (2/3) (国际放射防护委员会第 37 号出版物, 辐射防护最优化中的代价与利益分析. 李树德译. 北京: 原子能出版社, 1985).
- ICRP, 1989. Optimisation and decision-making in radiological protection. ICRP Publication 55, Ann. ICRP 20 (1)(国际放射防护委员会第 55 号出版物, 放射防护中的最优化和决策. 龚德荫译, 潘自强校. 北京: 原子能出版社, 1992).
- ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3) (国际放射防护委员会第 60 号出版物, 国际放射防护委员会 1990 年建议书. 李德平、孙世荃、陈明峻、周永增、郭裕中译, 李树德、魏履新、吴德昌、陈丽姝校. 北京: 原子能出版社, 1993).
- ICRP, 1997a. General principles for the radiation protection of workers. ICRP Publication 75, Ann. ICRP 27 (1)(国际放射防护委员会第 75 号出版物, 工作人员辐射防护的一般原则. 张延生、张静译, 潘自强校. 北京: 原子能出版社, 2000).
- ICRP, 1997d. Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. ICRP Publication 77, Ann. ICRP 27 (Suppl)(国际放射防护委员会第 77 号出版物, 放射性废物处置的放射防护政策. 赵亚民译, 潘自强校. 北京: 原子能出版社, 1999).
- ICRP, 1998b. Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81, Ann. ICRP 28 (4)(国际放射防护委员会第 81 号出版物, 用于长寿命固体放射性废物处置的辐射防护建议. 赵亚民译, 潘自强校. 辐射防护, 2001, 21, 增刊).
- ICRP, 1999a. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82, Ann. ICRP 29 (1-2).
- ICRP, 2000a. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84, Ann. ICRP

30 (1)(国际放射防护委员会第 82 号出版物,在持续辐射照射情况下公众的防护——委员会辐射防护体系应用于由天然源和长寿命放射性残存物引起的可控制辐射. 叶常青译,夏益华校. 辐射防护,2001, 21,增刊).

ICRP, 2001a. Doses to the embryo and embryo/fetus from intakes of radionuclides by the mother. ICRP Publication 88. Ann. ICRP 31(1-3).

ICRP, 2004c. Doses to infants from ingestion of radionuclides in mothers' milk. ICRP Publication 95. Ann. ICRP 34(3/4).

ICRP, 2005a. Protecting people against radiation exposure in the event of a radiological attack. ICRP Publication 96. Ann. ICRP 35(1)(国际放射防护委员会第 96 号出版物,放射攻击事件中人员的辐射照射防护. 潘自强、陈竹舟、叶常青、龚贻芬译校. 北京:原子能出版社,2005).

ICRP, 2006a. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public and The optimisation of radiological protection; Broadening the process. ICRP Publication 101. Ann ICRP 36(3).

6. 委员会建议的实施

(252) 前一章介绍了委员会的防护体系,该体系可应用于要求做出决策对辐射照射进行控制的所有情况。本章阐述防护体系在三类照射情况下的实施:计划照射情况,应急照射情况,及现存照射情况。特别的关注是那些不能立即直接实施这些建议的领域。在许多这些领域中,本章简要地说明了委员会的进一步指导。本章有一节对这些建议中的放射防护准则与第 60 号出版物(ICRP,1991b)及其派生出版物过去建议中的放射防护准则进行了比较。本章最后一节阐述了实施委员会建议的共同方面,着重强调了使用者和监管机构的责任。

6.1 计划照射情况

(253) 计划照射情况是指那些在照射发生之前可以对放射防护进行预先计划的,以及那些可以合理地对照射的大小和范围进行预估的照射情况。该术语包括那些已按委员会以前建议中的实践进行适当管理的源和情况。在引入一个计划照射情况时,应当考虑与放射防护相关的所有方面。如果需要的话,这些方面将包括设计、建造、运行、退役、废物管理、以前占用的土地和设施的恢复,并将考虑潜在照射及正常照射。计划照射情况也包括患者的医疗照射,包括他们的抚育者和照顾者。一旦紧急情况已得到控制,计划情况的防护原则也适用于与现存和应急照射有关的计划工作。计划照射情况的建议与第 60 号出版物(ICRP,1991b)及其后续出版物提出的实践的正常作业和医学防护的那些建议,没有实质性变化。因其特定的特征,医疗照射在第 7 章单独进行讨论。

(254) 所有类型的照射都可能在计划照射情况中发生,即:职业照射(6.1.1 节),公众照射(6.1.2 节)和患者的医疗照射,包括他们的抚育者和照顾者(第 7 章)。计划照射情况的设计与开发应当对偏离正常

作业条件引起的潜在照射有适当的重视。应当对潜在照射评价和辐射源安全与安保的相关问题给予应有的关注(6.1.3节)。

6.1.1 职业照射

(255) 以前委员会已推荐了工作人员放射防护的一般原则(第75号出版物,ICRP,1997a)。这些原则仍然有效。

(256) 委员会继续推荐,计划照射情况下的职业照射应当应用低于源相关约束值(参见5.9.1节)的最优化程序和应用指令性的剂量限值(参见5.10节)进行控制。在一个计划照射情况的设计阶段就应当对其运行规定一个约束值。对于计划照射情况下许多类型的操作,常常可以得出在管理良好的操作中大致会受到的个人剂量水平。于是这些信息就可以用来建立这类工作的剂量约束值。这类工作应该是范围较广的某类工作,例如工业照相中的操作,核电厂的常规操作,或医疗机构中的操作。然而,也可能有更特殊的情况,在这种情况下可以建立一个约束值以指导特定的活动。

(257) 这些剂量约束值通常在操作层次上规定较为适宜。当在应用一个剂量约束值时,设计者应该指明与之相关的源以防止与工作人员可能同时遭受到照射的其他源相混淆。在计划照射情况下,应当规定职业照射的源相关剂量约束值以保证剂量限值不被超过(参见5.10节)。从管理受到辐射照射的工作人员中获得的经验将需要告知如何选择职业照射约束值。由于此原因,那些具有综合性放射防护基础结构的大型组织通常将会规定他们自己的职业照射约束值。那些经验相对较少的小型组织在这个问题上可能需要从适宜的专家团队或监管机构得到进一步指导。然而,制定约束值的全面责任仍然是那些负责工作人员照射的组织的职责。

(258) 需要对短期或流动工作人员的防护给予特别关注,这是因为几个雇主和许可证持有者具有潜在的共同责任。另外,有时还涉及几个监管机构。这些工作人员包括核电厂维修作业的承包商和工业照相技师,他们不是运营者的职员。为了给他们提供防护,需要对这些工作人员以前的照射给予充分的考虑,以确保剂量限值也得到了遵守,并必须跟踪他们所受到的照射。因此,流动工作人员的雇主与正在执行

其合同的电厂的运营者之间应当有密切的合作。监管机构应当保证在这方面的规定是充分的。

6.1.2 公众照射

(259) 在计划照射情况下,委员会继续推荐公众照射应当应用低于源相关约束值的最优化程序和应用剂量限值进行控制。一般地,尤其是公众照射,每个源将在许多个人中产生一个剂量分布,因此应当采用代表人概念来描述受到高端照射的个人(ICRP,2006a)。在计划照射情况下,公众成员的约束值必须小于公众剂量限值,并且典型地要由国家监管机构规定。

(260) 对于废物处置的公众照射控制,委员会以前已经建议一年内不超过约 0.3 mSv 的公众成员剂量约束值是适宜的(ICRP,1997d)。这些建议在第 81 号出版物(ICRP,1998b)中关于长寿命放射性废物的计划处置给出了更加详细的阐述。

(261) 在第 82 号出版物(ICRP,1999a)中,委员会发布了导则,即在长寿命放射性核素有计划排放到环境中的情况下,考虑到照射任何合理的组合和累积,计划评价应当考虑环境中的累积是否可能会导致约束值被超过。在这里,这些验证考虑是不可能的或是非常不确定的,因而把一年内 0.1 mSv 量级的剂量约束值应用于可归因于长寿命人工放射性核素所致剂量的持续成分,可能是审慎的。在涉及天然放射性物质的计划照射情况下,这种限制是不合理的也是不要求的(ICRP,1999a)。这些建议仍然有效。为了确保持续实践引起的年剂量累积不会导致剂量限值在未来被超过,可以应用剂量负担(ICRP,1991b,IAEA,2000b)。这是来自一个事件最终可能会产生的总剂量,例如一个计划活动一年内引起的排放。对于涉及长寿命天然放射性核素的特定情况,可以要求有某些灵活性,例如过去的采矿和水冶活动(参见第 82 号出版物 2.3 节和 5.2.2 节,ICRP,1999a)。

6.1.3 潜在照射

(262) 在计划照射情况下,可以合理地预计存在某一确定水平的照射。然而,由于偏离计划的操作程序和事故,包括辐射源的失控和恶

意事件,可能会引起较高的照射。尽管这种情况是计划的,但这种照射却不是计划发生的。委员会把这些照射称作潜在照射。偏离计划的操作程序和事故常常是可以预见的,并且它们的发生概率也是可以估计的,但是不能对它们进行详细的预测。辐射源的失控和恶意事件是不易预测的,因而需要有特殊的方法。

(263) 潜在照射与正常运行时计划操作引起的照射之间常常是相互联系的。例如,在正常运行期间降低照射的行动可能增加潜在照射的概率。又如,对长寿命废物进行贮存而不是进行弥散,可以降低排放引起的照射,但将会增加潜在照射。为了控制潜在照射,需要进行某些监督和维修活动。这些活动可能会增加正常照射。

(264) 在引入一个计划照射情况的计划阶段,就应当考虑潜在照射。应当认识到照射可能导致行动的可能性,即,降低事件的发生概率和假如任何一个事件发生后限制和降低照射(缓解)的行动(ICRP, 1991b, 1997b)。在应用正当性和最优化原则时,应当对潜在照射给予充分的考虑。

(265) 潜在照射广泛地覆盖三种类型的事件。

- 潜在照射通常影响遭受计划照射个人的那些事件:通常涉及的人数是少的,且涉及的危害是直接受到照射人员的健康危险。这些照射发生的过程是相对简单的,例如,可能不安全地进入一个辐照室。在第 76 号出版物(ICRP, 1997b)中,委员会已经给出了这种情况下潜在照射防护的具体指南。这个指南仍然有效。关于医学领域事故的另外一些例子在第 7.5 节讨论。
- 潜在照射可能会影响到较大数量的人,且不仅会涉及健康风险也会涉及其他危害的那些事件,例如污染土地和需要控制食物消费:涉及的机理是复杂的,一个例子就是在一个核反应堆内可能发生一个大事故,或可能发生放射性物质的恶意使用。在第 64 号出版物(ICRP, 1993a)中,委员会已经提供了这类事件防护的概念框架。这个框架仍然有效。在第 96 号出版物(ICRP, 2005a)中,委员会提供了涉及恶意目的的事件发生之后放射防护的若干建议。
- 潜在照射发生在遥远的未来且将在长时期内施予剂量的那些

事件,例如,在固体废物处置于深层地质库的情况下:发生在遥远未来的照射伴随着相当大的不确定性。因此,剂量估计不应用于度量超过大约几百年未来的健康危害。更确切地说,剂量估计代表处置系统提供的防护指标。在第 81 号出版物(ICRP,1998b)中,委员会已经给出了关于长寿命固体放射性废物处置的具体指南。这个指南仍然有效。

潜在照射评价

(266) 为了计划或判断防护措施的目的,潜在照射的估计通常基于:a) 情景的构造,期望它典型地代表导致照射的事件序列;b) 每个这些序列的概率评价;c) 所致剂量的评价;d) 与该剂量相联系的危害的估计;e) 结果与某些可接受准则的比较;及 f) 防护的最优化,该步骤可能会要求上述步骤重复几次。

(267) 情景的构造与分析的原则是众所周知的,并在工程学中经常应用。在第 76 号出版物(ICRP,1997b)中讨论了它们的应用。潜在照射可接受性的决策应当既要考虑照射的发生概率也要考虑照射的大小。在一些情况下,可以独立考虑这两个因素进行决策。在其他情况下,考虑辐射相关死亡的个人概率而不是有效剂量(ICRP,1997b)是有用的。为了这个目的,概率定义为一年内遭受剂量的概率和可能遭受该剂量时的辐射相关死亡终身概率之积。于是所致概率可与一个危险约束值进行比较。如果该概率低于危险约束值,它可能是可以忍受的。这两种方法在第 81 号出版物(ICRP,1998b)委员会有关长寿命固体放射性废物处置建议中进行了讨论。

(268) 危险约束,像剂量约束一样,是源相关的且原则上应等于同一个源相应的剂量约束值所隐含的相同健康危害。然而,在估计一个不安全状况的概率及其所致剂量时可能有很大的不确定性。因此,采用危险约束的通用值通常是适当的。在工作人员情况下,它可以基于正常职业照射的普遍性归纳与总结,而不是基于特定操作更具体的研究。在委员会的剂量限制体系已经得到实施且防护得到最优化的情况下,在某些选定类型的操作(UNSCEAR,2000)中,平均个人的年职业照射有效剂量可高达 5 mSv。因此对于工作人员的潜在照射,委员会

继续推荐一个通用的危险约束值每年 2×10^{-4} ，它相当于平均职业年剂量 5 mSv(ICRP,1997b)的致死癌症概率。对于公众的潜在照射，委员会继续推荐每年 1×10^{-5} 危险约束值。

(269) 概率评价的使用受到对不一定会发生事件预测程度的限制。在因宽泛的初因事件谱所致事故发生的那些情况下，由于预测发生所有不大可能发生的初因事件有很大的不确定性，因而应当对总概率的任何估计给予慎重考虑。在许多情况下，为了决策的目的，通过独立地考虑(事件)发生概率及其所致剂量往往可以得到更多的信息。

(270) 在大型核装置中，对于选定的潜在照射情景，监管机构可以规定作为设计基准事故预防与缓解的剂量准则。考虑了事故的概率之后，对于潜在照射这里所使用的剂量准则应当从危险约束值导出。

辐射源与恶意事件的安全与安保

(271) 与计划照射情况相联系的潜在照射可以由辐射源的失控引起。近年来这种情况受到越来越多的关注，并值得委员会给予特别的考虑。作为适当的放射防护的前提，委员会的建议假定放射源应有适当的安保措施(ICRP,1991b)。在所有的计划照射情况下，通过对源而不是在环境中施行控制来实施辐射照射的控制。委员会的观点反映在国际基本安全标准(BSS)中。它要求在任何情况下都不能撤销对源的控制(IAEA,1996)。BSS 也要求源应保持在安全状态以预防被盗或损坏。另外，放射源安全与安保行动准则，建立了应用于放射源安保的基本原则(IAEA,2004)。委员会支持全球加强对辐射源的控制。

(272) 放射源的安保是一个必要的但不是充分的保障源安全的条件。放射源可能是安全的，即在适当的控制下，如预防源的恶意使用，但仍然也是不安全的，即易出事故。因此，在历史上委员会在其防护体系中就包括了安保方面的内容(ICRP,1991b)。在安全范畴内，安保规定通常限于必要的预防失控，入侵，非法拥有或转移与使用材料，设备或装置的一般性控制。保障控制放射性物质和控制入侵辐射设备和装置的措施不被撤销对维持安全也是很重要的。

(273) 委员会 1990 年建议书没有特别地关注预防恐怖主义或其他恶意行动的措施。然而，已经确信辐射安全也必须包括这些情景的可能性。有关无意识破坏源的安保或那些对辐射危害无知的个人发现

丢弃或失控源的情况的以往经验表明,假如把放射性物质有目的地用于引起危害可能会发生什么,例如精心策划在一个公共场所散布放射性物质。这些事件有可能引起人的辐射照射和明显的环境污染,它们可能需要特殊的放射防护措施(ICRP,2005a)。

6.2 应急照射情况

(274) 即使在设计阶段已经采取了所有合理的措施降低潜在照射的概率和后果,但仍可能需要对这些照射考虑有关的应急准备和响应。应急照射情况是意外情况,对此可能要求实施紧急防护行动,也许还需要实施更长时期的防护行动。在这些情况下,可能会发生公众成员或工作人员的照射,以及环境污染。照射可能是由几个独立途径也可能是同时起作用而导致的,在这个意义上讲,照射可能是非常复杂的。更进一步地讲,放射危害可能伴随其他危害(化学的,物理的,等等)。因为潜在的应急照射情况是可以预先评价的,所以应当对响应行动做出计划,其准确度或高或低,取决于所考虑的装置或情况的类型。然而,因为实际的应急照射情况本来就是不可预测的,所以必要的防护措施的类型是不可能预先知道的,只须灵活地逐步适应实际情况的需要。这些情况的复杂性和可变性赋予了其独特的特征,值得委员会在其建议中进行特殊处理。

(275) 委员会在第 60 号和第 63 号出版物(ICRP,1991b,1992)中已经提出了在辐射应急情况下计划干预的一般性原则。在第 86 号,第 96 号,第 97 号和第 98 号出版物(ICRP,2000c,2005a,2005b,2005c)中给出了附加的相关建议。虽然这些一般性原则和附加建议仍然有效,然而,委员会根据应急准备的最新发展和自其以前的建议出版以来的经验,目前正在对防护措施应用的导则进行扩展。

(276) 委员会目前强调适用于应急照射情况的防护策略正当性和最优化的重要性,最优化过程受参考水平的支配(参见 5.9 节)。由于存在多个、独立、同时、并随时间变化的照射途径的可能性,在开发与实施防护措施时着重于所有途径可能导致的总照射是重要的。同样地,一个总体防护策略也是必要的,通常包括评估放射情况和实施不同防

护措施。在应急照射情况的演变期间,这些措施很可能随时间而变化,而当应急照射情况可能影响到明显不同的地理区域时,这些措施很可能随地点而变化。假定未采取防护行动时因应急照射情况预期导致的总剂量称作预期剂量。当实施了防护策略时可能产生的剂量称作剩余剂量。此外,每个防护措施都将防止某些照射。这就被称作可防止的剂量,并且这也是第 63 号出版物(ICRP,1992)中所给出的个人防护措施最优化的概念,它将构成总体防护策略。委员会目前建议着重于总体策略的最优化,而不是个人措施的最优化。然而,按照个人防护措施进行防护最优化在第 63 号出版物中推荐的可防止的剂量水平作为开发总体响应的输入信息,可能仍然是有用的(也可参见第 96 号出版物,ICRP,2005a)。

(277) 在应急照射情况下,当在短时间内剂量可能会达到高水平时应对严重确定健康效应的预防给予特别关注。在重大应急情况下,基于健康效应的评价是不充分的,必须对社会、经济和其他后果给予应有的考虑。另外一个重要的目标是,在实际可行的范围内,准备恢复认为是“正常”的社会和经济活动。

(278) 在应急情况的计划中,最优化过程应当应用参考水平。应急情况下最高的计划剩余剂量的参考水平,典型地在如 5.9.3 节中给出的 20~100 mSv 预期剂量层次内。总体防护策略中的预期剩余剂量与该策略适宜性初始评估中的参考水平进行比较。在计划阶段,应当拒绝不能把剩余剂量降低到低于参考水平的防护策略。

(279) 计划应当产生一组行动,一旦一个应急照射情况已经发生,如果实际情况要求这些紧急行动,就可以自动地投入实施。紧随一个立即行动决策之后,可以评估预期剩余剂量的分布,参考水平作为评价防护策略的有效性以及需要修正或采取附加行动的基准。高于或低于参考水平的所有照射都应当进行防护的最优化,应当对高于参考水平的照射给予特别关注。

(280) 当为一个特定的应急照射情况制定防护策略时,可能需要鉴别要求特殊防护措施的一些不同人群。例如,为鉴别所考虑照射的大小,距离一个应急照射情况的始发点(即,一个装置,一个应急地点)的距离可能是重要的,因而对确定防护措施的类型和紧急程度也是重

要的。考虑到受照射人群的多样性,防护措施的计划应当以在不同人群中鉴明的、如第 101 号出版物(ICRP,2006a)中所描述的代表人受到的照射为基础。当一个应急情况已经发生后,计划的防护措施应逐渐演变以最佳地适应所考虑的所有受照射人群的实际情况。应当对孕妇和儿童给予特别关注。

(281) 应急计划(根据需要,详略程度可简可繁)应发展成可以处理所有可能的情景。一个(国家的、地方的或特定装置的)应急计划的制定是一个多步骤的反复过程,它包括评估、计划、资源分配、培训、演习、监查及修订。辐射应急响应计划应当整合到综合危害应急管理计划之中。

(282) 假如发生了一个应急照射情况,那么第一个问题就是判明应急情况的性质。初始响应应当以一种一致且灵活的方法按照应急计划去执行。最初实施的防护策略将是应急计划中针对相关事件情景所描述的那些对策,它是作为计划阶段的一部分根据通用最优化做出的。一旦开始实施应急计划中的措施,应急响应的特点在于评议、计划和执行的迭代循环。

(283) 应急响应不可避免地是随着时间的推移从一个仅有很少信息向一个可能具有极多信息发展的过程,预期的防护和那些受影响的相关事物随着时间的推移也有极大的类似增加。如第 96 号出版物(ICRP,2005a)中所讨论的那样,应急照射情况考虑为三个阶段:早期阶段(可以分为报警和可能的释放阶段),中期阶段(以任何释放的停止和释放源再次得到控制为开始)和晚期阶段。在任何阶段,决策者都必然会对有关情况有一个不完整的理解:未来的影响、防护措施的有效性以及其他因素中受到直接或间接影响的那些因素的关注。因此,一个有效的响应必须随着其影响的定期评议灵活地推进。参考水平为这个评议提供了一个重要的输入信息,它也为所知道的有关照射情况与施行防护措施所提供的防护进行比较提供了一个准则。对应急照射情况所导致的长期污染的管理视为一种现存照射情况(参见 6.3 节)。

6.3 现存照射情况

(284) 现存照射情况是指那些不得不采取控制决策时就已经存在的照射情况。有许多类型的现存照射情况可能会产生足够高的照射,对此理应采取放射防护行动,或至少应考虑这些行动。住宅和工作场所中的氡,以及天然存在的放射性物质(NROM)是众所周知的例子。对涉及现存的人工照射情况做出放射防护决策可能也是必要的,例如,来自未按照委员会防护体系管理的操作引起的放射性释放所导致的环境中的残留物,或来自一个事故或一个放射事件的污染土地。也还有一些现存照射情况,减少照射的行动显然是没有理由的。至于现存照射的哪些成分是没有责任进行控制的决策需要监管机构做出一个判断,这将取决于源或照射的可控性,也将取决于主要的经济、社会和文化状况。2.3节中给出并讨论了辐射源的排除和豁免原则。

(285) 现存照射情况可能是很复杂的,它们可以涉及多个照射途径,并且它们通常产生从很低到(极个别情况下)几十毫希沃特宽范围内的年个人剂量分布。这些情况常常包括住宅,例如氡照射情况,以及受照射个人习性决定照射水平的许多情况。另外一个例子是长期污染地区个人照射的分布,它直接反映了受影响居民饮食习惯的差异。照射途径的多样性和个人习性的重要性将导致照射情况难于控制。

(286) 委员会建议,参考水平(用个人剂量规定)应当与为实施现存照射情况下照射的最优化过程一起使用。其目的是实施最优化的防护策略或循序渐进的一系列这类策略,这将把个人剂量降低到参考水平之下。然而,低于参考水平的照射应是不容忽视的;也应对这些照射情况进行评价,以查明防护是否是最优化的,或是否需要采取进一步的防护措施。最优化过程的终点必不能固定在事先规定的水平,防护最优化水平将取决于具体的情况。决定控制一个特定情况的参考水平的法律地位是监管机构的责任。回顾性地,当防护行动已经实施时,参考水平也可用作评价防护策略有效性的准则。在现存照射情况下,参考

水平应用的说明见图 4，它表明了作为最优化过程结果的个人剂量分布随时间的演变。

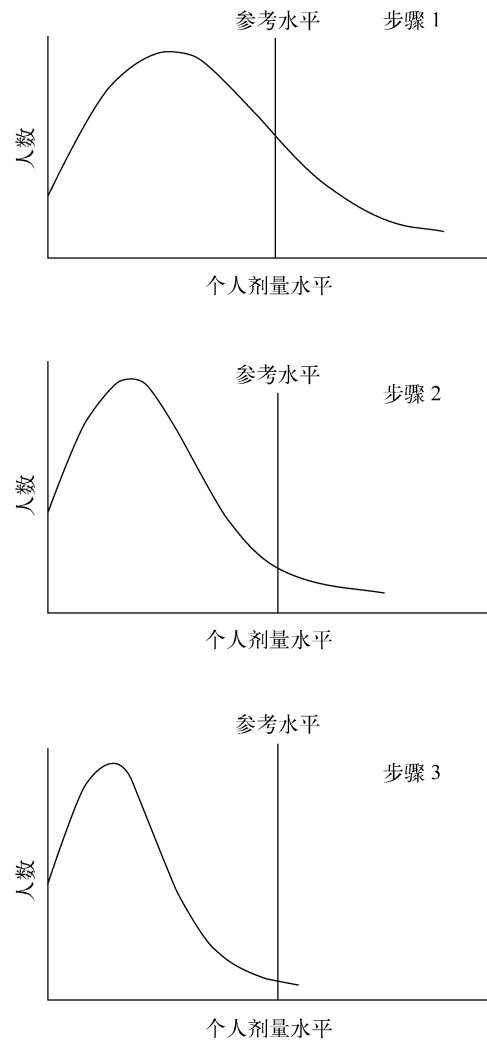


图 4 现存照射情况下参考水平的应用和最优化过程的结果个人剂量分布随时间的演变

(287) 现存照射情况的参考水平通常应当设定在 5.9.2 节, 5.9.3 节和表 5 中所给出的 1~20 mSv 预期剂量层次内。有关的个人应当接收到关于照射情况以及降低他们的剂量的措施的基本信息。在那些个人生活方式是照射的关键环节的情况下, 个人监测或评价及教育与培训可能是重要的要求。在核事故或辐射事件之后, 生活在污染的土地上是这类照射的典型情况。

(288) 为现存照射情况制定参考水平所考虑的主要因素是, 控制这种情况的可行性, 以及类似情况过去的管理经验。在大多数的现存照射情况下, 把照射降低到接近或近似视为“正常”情况的水平既是受照射个人的愿望, 也是主管部门的愿望。这特别地适用于人类行动产生的物质引起的照射情况, 即 NORM 残留物和事故污染。

6.3.1 住宅和工作场所室内氡

(289) 住宅和工作场所内的氡照射可能产生于现存照射情况或实践, 例如独居石沙子的贮存和处理。以前委员会已经提出了关于氡照射(ICRP, 1993b)的具体建议。自那以后, 几个流行病学研究已经证实即使在相对中等浓度时也存在氡-222 的危险(UNSCEAR, 2008)。欧洲、北美洲、及中国居民病例一对照研究也证明了肺癌危险与居民氡-222 照射之间的显著相关性(Darby, et al. 2006, Krewski, et al. 2006, Lubin, et al. 2004)。这些研究为委员会关于氡防护的建议提供了一般性的支持。

(290) 目前根据矿工流行病学研究和居民氡病例一对照研究得到的危险估计之间有显著的一致性。而矿工的研究为估计氡照射的危险和调查剂量一响应关系的修正效应提供了一个坚实的基础, 近来的居民集合研究结果为目前住宅居民危险的估计提供了一个直接的方法, 而不需从矿工的研究外推(UNSCEAR, 2008)。

(291) 直到现在, 委员会关于氡危险评价的观点仍然是它应与矿工流行病学研究相结合。即使目前有大量的关于住宅氡照射的数据可以利用, 委员会仍然建议住宅氡照射危险的估计应当包括集合居民案例控制氡-222 研究的结果。然而, 矿工流行病学研究对调查剂量响应关系和吸烟与其他作用剂的联合效应仍然有很大的价值。当前可以利

用的流行病学证据表明,除氡-222(及其衰变子体)照射引起的肺癌之外,其他危险可能是很小的。

(292) 委员会关于氡的建议的根本性问题是照射的可控性。控制照射的可能性,区分工作场所(包括地下矿井)氡照射在什么情况之下可能需要遵守委员会防护体系的情况和那些应当考虑需要采取行动限制住宅内氡照射的情况。以单独的方式处理氡-222有几个原因。其照射途径与其他天然源的照射途径不同,并且氡-222有特殊的剂量学和流行病学问题。对于许多个人,氡-222是一个重要的、原则上讲能够控制的照射源。委员会在第65号出版物(ICRP,1993b)中发布了关于住宅和工作场所氡-222防护的现行建议。发现该政策具有广泛的可接受性。现在的建议广泛地延续了同样的政策,并为了与基于照射情况的新方法相适应,在这里给出了最优化原则和应用参考水平的重要作用。

(293) 在第63号出版物(ICRP,1993b)中,政策是基于首先规定一个氡-222所致每年10 mSv的有效剂量水平,在此水平降低照射的行动将几乎肯定是有必要的措施。期望监管机构以一种通用的方法应用防护最优化以寻求一个更低水平采取行动,其范围是3~10 mSv。采用剂量转换约定把有效剂量换算成氡-222浓度值,由于分别在室内和工作场所停留的时间是不同的,室内和工作场所的浓度值具有较大的差异。对于住宅,这个范围是200~600 Bq m⁻³氡浓度,而对于工作场所,相应范围是500~1 500 Bq m⁻³。最优化的结果是规定行动水平,即在这些水平之上,要求采取行动降低剂量。

(294) 目前委员会建议应用放射防护的源相关原则控制氡照射。这意味着国家管理部门需要规定国家的参考水平以有助于防护的最优化。即使每希沃特的标称危险已稍有改变,为了连续性和实用性的原因,对于个人剂量参考水平委员会将保留10 mSv的上限值,以及第65号出版物(ICRP,1993b)中所给出的相应的活度浓度。因此,以活度浓度表示参考水平的上限值仍保持为对于工作场所1 500 Bq m⁻³,对于室内600 Bq m⁻³(见表7)。

表 7 氡-222 的参考水平¹⁾

情况	参考水平的上限值:活度浓度/(Bq m ⁻³)
家用住宅	600
工作场所	1 500

1) 衰变链的第一个或初始放射性核素的活度水平。

(295) 与其他(危险)源一样,考虑到主要的经济和社会情况,建立他们自己国家的参考水平是相应的国家管理部门的责任,而且在他们国家内应用防护的最优化过程。应当做出所有合理的努力把室内和工作场所氡-222 的照射降低到国家层次规定的参考水平和能够认为防护是最优化的那个水平之下。应当期望所采取的行动对氡照射将产生明显的降低。仅仅针对把氡浓度降低到刚好低于国家参考水平的某个数值而采取边缘性改进是不够的。

(296) 执行最优化过程应当把活度浓度降低到国家参考水平之下。一般地讲,除了为保证浓度保持在较低水平仍可能需要零星监测活度浓度外,通常将不要求采取进一步的行动。然而,国家管理部门应定期评议氡照射的国家参考水平以保证它们总是适宜的。

(297) 采取行动预防住所和其他房屋内氡的责任将经常落在个体业主身上,他们不可能期望对每一份房产都进行一个详细的最优化分析。因此,除参考水平之外,监管机构也可能会期望明确地规定认为氡-222 防护是最优化的水平,即在此水平不需再采取进一步的行动。委员会的观点仍然是划定氡较高地区是有益的,在这些地区内建筑物室内氡浓度可能高于全国的典型值。这允许把注意力集中在那些最紧急的氡地区,并允许把行动集中在那些最可能有效的地区(ICRP, 1993b)。

(298) 在工作中高于国家参考水平的氡照射应视为职业照射的一部分,然而低于国家参考水平的氡照射不应视为职业照射。有助于职业安全标准的国际一致性,在 BSS 中制定了单个行动水平值 1 000 Bq m⁻³ (IAEA, 1996b)。因为同样的理由,委员会认为这个国际间制定的数值,在当前的术语中它是一个参考值,可能用来在全球范围内规定氡照射情况职业防护要求的起点。事实上,这个国际水平起到了一个更加

需要全球协调一致的监测与记录保持体系的作用。这是与决定职业放射防护要求何时适用相关的,即,什么照射情况应当实际包括在监管控制体系之内。基于这一点,BSS 制定了氡和钍子体摄入量和照射的限值(参见 IAEA 表 II.1,1996)。

6.4 应急和现存照射情况下胚胎/胎儿的防护

(299) 在第 82 号出版物(ICRP,1999a)中,委员会得出的结论是产前照射不会是一个特殊的防护情况,即不会要求不同于针对一般人群所采取的防护行动。胚胎婴儿和幼儿的防护在 5.4.1 中讨论。在第 82 号出版物(ICRP,1999a)中,委员会提供了关于宫内照射的实用性建议。在第 88 号出版物(ICRP,2001a)中,提供了因母亲摄入放射性核素对胚胎婴儿的剂量系数。在第 90 号出版物(ICRP,2003a)中,委员会的结论是在低剂量(直到几十个 mSv)时最新可利用的关于宫内危险的资料支持第 60 号、第 82 号、第 84 号和第 88 号出版物(ICRP,1991b,1999a,2000a,2001a)中提出的建议。关于这些问题,委员会的立场仍然保持不变。

6.5 放射防护准则的比较

(300) 现在推荐的防护准则的数值与第 60 号出版物(ICRP,1991b)及其派生出版物中以前的建议提供的那些值在表 8 中进行了比较。比较表明:对于计划照射情况,现在的建议与以前的建议本质上是相同的。在现存和应急照射情况下,现在的建议通常包括了以前的数值,但它们的应用范围更宽。应当指出的是,在某些情况下所引用量的含义是不同的;例如,在应急照射情况下,第 60 号出版物(ICRP,1991b)中的准则是用可防止的剂量(干预水平)进行规定,而在现在的建议中该准则用剩余剂量(参考水平)进行规定。这些差异注释在表 8 中。

表 8 1990 年与 2007 年建议书中防护准则的比较
 (括号内的数字表示 ICRP 出版物的编号;ICRP, 1991b, c, 1992, 1993b,
 1994b, 1997a,d, 1998b, 1999a, 2004b, 2005a,c)

照射的类别(出版物)	1990 年建议书及后续出版物	现在的建议书
计划照射情况		
	个人剂量限值 ¹⁾	
职业照射(60,68,75)包括 恢复作业(96)	规定 5 年期内年均 20 mSv ³⁾	规定 5 年期内年均 20 mSv ³⁾
—眼晶体	150 mSv/a ²⁾	150 mSv/a ²⁾
—皮肤	500 mSv/a ²⁾	500 mSv/a ²⁾
—手和脚	500 mSv/a ²⁾	500 mSv/a ²⁾
—孕妇,其他妊娠者	腹部表面处 2 mSv 或摄入 核素 1 mSv	胚胎或胎儿 1 mSv
公众照射(60)	一年内 1 mSv	一年内 1 mSv
—眼晶体	15 mSv/a ²⁾	15 mSv/a ²⁾
—皮肤	50 mSv/a ²⁾	50 mSv/a ²⁾
	剂量约束 ¹⁾	
职业照射(60)	≤20 mSv/a	≤20 mSv/a
公众照射(77,81,82)		在低于 1 mSv/a 之下选择 视情况
—一般情况	—	
—放射性废物处置	≤0.3 mSv/a	≤0.3 mSv/a
—长寿命放射性废物处置	≤0.3 mSv/a	≤0.3 mSv/a
—持续照射	<约 1 和约 0.3 mSv/a ⁶⁾	<约 1 和约 0.3 mSv/a ⁶⁾
—长寿命核素的持续照射 成分	≤0.1 mSv/a ⁸⁾	≤0.1 mSv/a ⁸⁾
医疗照射(62,94,98)		
—生物医学研究志愿者,如 果对社会的利益是:		
—较小的	<0.1 mSv	<0.1 mSv

续表

照射的类别(出版物)	1990年建议书及后续出版物	现在的建议书
—居中的	0.1~1 mSv	0.1~1 mSv
—适中的	1~10 mSv	1~10 mSv
—相当大的	>10 mSv	>10 mSv
—抚育者和照顾者	每次急性发作,5 mSv	每次急性发作,5 mSv
应急照射情况		
职业照射(60,96)	干预水平 ^{1),4),7)}	参考水平 ^{1),12)}
—抢救生命(知情的志愿者)	无剂量约束 ⁹⁾	如果对其他人的利益超过了抢救者的危险,无剂量约束 ¹⁰⁾
—其他紧急抢救作业	约500 mSv;约5 Sv(皮肤) ⁹⁾	1 000 或 500 mSv ¹⁰⁾
—其他抢救作业	...	≤100 mSv ¹⁰⁾
公众照射(63,96)		
—食品	10 mSv/a ¹¹⁾	
—稳定碘的分发	50~500 mSv(甲状腺) ^{2),11)}	
—隐蔽	2天内5~50 mSv ¹¹⁾	
—临时撤离	1周内50~500 mSv ¹¹⁾	
—永久迁居	第1年100 mSv 或 1 000 mSv ¹¹⁾	
—总体防护策略中的所有防范措施	...	视情况,在计划过程中典型值在20~100 mSv/a之间 ⁵⁾
现存照射情况		
氡(65)	行动水平 ¹⁾	参考水平 ^{1),12)}
—住宅	3~10 mSv/a (200~600 Bq m ⁻³)	<10 mSv/a (<600 Bq m ⁻³)
—工作场所	3~10 mSv/a (500~1 500 Bq m ⁻³)	<10 mSv/a (<1 500 Bq m ⁻³)

续表

照射的类别(出版物)	1990 年建议书及后续出版物	现在的建议书
天然存在的放射性物质,天然本底辐射,人类栖息地放射性残留物(82)	一般参考水平 ⁵⁾	参考水平 ^{3),12)}
干预:		
—不可能是正当的	<约 10 mSv/a	视情况,在 1~20 mSv/a
—可能是正当的	>约 10 mSv/a	之间(参见 5.9.2 节)
—几乎总是正当的	接近 100 mSv/a	

- 1) 有效剂量,除非另外指明。
- 2) 当量剂量。
- 3) 进一步的规定是在任意一年内有效剂量不应超过 50 mSv。附加的限制适用于孕妇的职业照射。当采用于核素的摄入量时,剂量量是待积有效剂量。
- 4) 可防止的剂量。
- 5) 见 5.9 节和 6.2 节。
- 6) 剂量约束应小于 1 mSv,不超过约 0.3 mSv 的数值可能是适宜的。
- 7) 干预水平是指特定应对措施的可防止的剂量。当设计一个防护策略时,对于个人应对措施的最优化,为了评估防护策略作为参考水平的一个补充,干预水平仍然是有价值的;这些数值指的是剩余剂量。
- 8) 如果没有可以利用的确保适用于任何可以想象的剂量组合情况下的剂量评价方法时,考虑采用。
- 9) 第 60 号出版物(ICRP,1991b)。
- 10) 第 96 号出版物(ICRP,2005a)。有效剂量低于 1 000 mSv 可防止严重的确定效应;低于 500 mSv 应防止其他确定效应。
- 11) 第 63 号出版物(ICRP,1992)。
- 12) 参考水平是指剩余剂量并用于评估防护策略,与过去推荐的干预水平相反,干预水平是指个人防护行动的可防止的剂量。

6.6 实际的实施

(301) 本节阐述委员会建议的一般性实施,涉及对三种类型照射情况共同方面的那些因素。它着重在可能有助于委员会建议实施的组

织特征。由于各国的组织结构是各不相同的,本节是例证性的而不是详尽无遗的。国际原子能机构和经济合作与发展组织(OECD)核能机构发布了关于其成员国在不同情况下放射防护要求基础结构的进一步建议(例如,参见 IAEA,1996,2000a,2002,及 NEA,2005)。国际劳工组织、世界卫生组织和泛美健康组织提供了工作中健康与安全组织的一般性建议。

6.6.1 放射防护与安全基础结构

(302) 要求有一个基础结构以确保维持一个适宜的防护标准。这个基础结构最少应包括一个法律框架,一个监管机构,涉及电离辐射的任何一项任务(包括设备和装置的设计、运行和退役,以及天然辐射的偶尔增强,包括航空和太空飞行)的运营管理者,以及从事这些任务的雇员。还可以包括负责防护与安全的其他组织和人员。

(303) 法律框架,如果需要的话,必须规定涉及电离辐射任务的监督管理和防护与安全责任的清楚分配。监管机构,每当要求时,必须负责涉及辐射任务的监管控制和规章制度的执法。该监管机构必须彻底地与从事和促进引起辐射照射活动的组织分离。

(304) 放射危害的性质使得在法律框架中的许多专门特征和在监管机构内部预备专门知识成为必要。重要的问题是:正确地阐述放射问题,有可以利用的适宜专门知识,以及涉及辐射安全的决策不能非正当地受到经济或其他非放射考虑的影响。

(305) 从事造成照射的运行机构管理部门负有达到并保持对辐射照射满意控制的主要责任。如果所用设备或工厂是由其他机构设计和供给的,那么这些机构同样也有责任保证所供物项在按照原来的意图使用时是令人满意的。政府有责任设置国家管理部门,于是为了加强管理部门的责任,这些部门将负责提供一个监管和通常还带有咨询职能的框架,而且,与此同时还要建立和加强总体防护标准。如许多天然源的照射,如果没有相应的管理部门,那么国家管理部门可能也不得不直接负责。

(306) 由于各种原因,可能存在没有运营管理者的情况。例如,辐射可能不是任何人类活动引起的,或一个活动可能已经被放弃,以及业

主们可能已经不复存在。在这些情况下,国家监管机构,或某个其他指定部门,将不得不接受通常由运营管理者承担的一些责任。

(307)在所有组织中,责任与相关权限的委托取决于涉及职能的复杂程度。这种委托的执行情况应定期审查。然而,组织的管理仍然是负责提供足够的放射防护,任务和责任的委托,不能减轻责任追查(accountability)。必须有一个清楚的责任追查体系直到各组织的最高层。各种各样不同的组织之间还有相互影响。咨询与监管机构应对其建议和施加的任何要求负责。

(308) 要求、操作程序、监管批准与许可证,以及其他行政管理,其本身并不足以保证达到适宜的放射防护标准。在一项活动中的每一个人,从工作人员个人及其代表到高级管理层,都应把防护与应急预防作为其日常职能中不可分割的部分。在这些方面的成败至少是与他们在该项活动中的主要职能一样重要。

(309) 施加一般性要求及接受建议,并不能减轻运营组织的责任或责任追查,原则上,对于指令性要求也是这样,在这里监管机构将详细地规定如何维持防护标准。然而有关运行行为的指令性要求,将导致一个从使用者向监管机构的责任和责任追查的事实上的转移。最终它们也会减弱使用者自我改进的动力。因此,通常最好是采用一个监管体制赋予使用者更加明确的责任,促使使用者让监管机构确信他们已经应用并维持了适宜的防护方法和标准。

(310) 因此,指令性要求的应用应当总是要仔细地考虑其是否正当。在任何一个事件中,绝不能把防护的最优化过程视为一个可有可无的事。不管工厂和操作的特点而把设计或运行限值或目标值随意取为剂量限值的几分之一,是不能令人满意的。

6.6.2 外部专家评价与建议;权限的委托

(311) 涉及电离辐射任务的放射防护与辐射安全的主要职责在于运营组织。为了担当起这个责任,运营组织需要放射防护专门知识。要求运营组织内部有可以利用的专门知识不会总是必要或合理的。作为一种选择,对于运营组织利用顾问和咨询组织是可以接受的也是可取的,尤其是如果运营组织较小且其放射防护问题的复杂程度是有限的。

(312) 这样一种安排将不能以任何方式减轻运营组织自身的责任。顾问或咨询组织的作用仅仅是提供必要的信息和建议。根据这些建议做出决策并采取行动仍然是运营管理者的责任,并且雇员个人总是需要坚持“安全文化”,并常常询问他们自己是否为可合理地实现安全操作做出了所有努力。

(313) 同样地,顾问或咨询组织的利用也将不能以任何方式减少或改变监管机构的责任。此外,如果监管机构也利用顾问,这些顾问(与咨询事项)没有任何利益冲突且能够提出公正建议将是尤其重要的。也还应当记住决策过程的透明性要求。

6.6.3 事件报告

(314) 在应急预防中,事故和事件的用户反馈报告程序是必不可缺少的。为了这样一个系统的运转及实现其目标,相互信任是必要的。颁发许可证本身就意味着监管机构对使用者信任的正式确认。然而,运营组织也需要能够信任监管机构。一个基本要求是以公正、公平的方式对待所有的使用者。对问题立即采取行动纠正该情况的诚实报告,应当是鼓励而不是惩罚。

6.6.4 管理要求

(315) 实施委员会建议的第一个实际步骤,在许多方面也是最重要的一步,就是使涉及从设计到退役的所有各种操作的每个人均建立一个“立足于安全”的态度。这只能通过培训的殷实承诺与对安全属个人责任且是高级管理层所至为关注问题的共识来实现。

(316) 应当通过最高管理层的书面政策声明阐明安全组织的明确承诺,包括建立处理放射防护问题的正式管理结构、发布清晰的运行指令,以及对工作场所和环境的放射防护负直接责任的那些人员明确和可信的支持(第 75 号出版物,ICRP,1997a)。为了把这个承诺转化为有效行动,高级管理应确定适宜的设计和运行准则,决定组织安排,赋予实施这些政策的明确责任,并在组织内建立一种文化,使所有人都认识到限制电离辐射的正常和潜在照射的重要性。

(317) 应当有处理事故和应急的计划。这些计划应进行定期评审

和练习,并应形成书面的管理要求。应急事件的计划应当是正常运行程序的一个组成部分。责任的任何改变,例如,从日常的指挥方式到一个应急控制者,都应当提前计划。应当建立实施汲取教训的要求或机制。

(318) 组织方法应当包括所有工作人员的参与和参加。通过有效的沟通和能力的提升,使所有雇员保持对健康与安全的努力能够做出可靠和应有的贡献。高级管理者鲜明和积极的领导能力对于建立和维持有助于健康与安全管理的文化是必要的。目的不是简单地防止事故,而是激发并使人们能够安全地工作。管理能保证工作人员可以对放射防护问题提供反馈意见,并全身心地投入到为发展确保剂量可合理地达到的最低水平的方法的机制有效是重要的。

(319) 运营管理者另外一个共同责任是提供涉及防护与健康职业服务的途径。防护服务应当提供专家建议,并应安排与操作复杂程度及其潜在危害相称的任何必要的监测措施。防护服务的领导应有权直接向高级运营管理者报告。职业健康服务的主要作用与其他任何职业是相同的。

6.6.5 预期防护标准符合情况的检查

(320) 辐射剂量的测量或评价是放射防护实践的基础。无论器官的当量剂量还是有效剂量都是不能直接测量的。这些量的数值必须在模型的帮助下推导得到,通常涉及环境、新陈代谢和剂量学模型。理想上讲,这些模型及其选择的参数值应是现实的,因此给出的结果可以视作“最佳估计”。如果可能的话,应当对这些结果本身存在的不确定性进行估计与讨论(参见 4.4 节)。

(321) 有关放射防护的所有组织都应当有职责验证它们是否符合它们自己的目标与程序。运营管理者应当建立一个类似财务审计的体系来评议其组织结构与程序。国家管理部门应进行类似的内部审计,并且还应加上一项职责和职权用于评价运营管理者达到的防护水平与符合监管规定的程度。所有这些验证程序都应包括对潜在照射的考虑,这需要通过对安全规章的验证。检查步骤应包括对质量保证计划的评议与某些形式的视察。但视察仅仅是一种形式的抽样——它不可能覆盖所有的意外情况。最好是把它视为一种机制,让被视察组织建

立自己的监察记录并保持好。

6.7 参考文献

- Darby, S. , Hill, D. , Deo, H. , et al. , 2006. Residential radon and lung cancer—detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scand. J. Work Environ. Health* 32(Suppl. 1), 1-84.
- IAEA, 1996. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series 115. STI/PUB/996. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (国际原子能机构. 国际电离辐射防护与辐射源安全基本安全标准,安全丛书 115. 维也纳,1997).
- IAEA, 2000a. Legal and Governmental Infrastructure for Nuclear, Radiation, Radioactive Waste and Transport Safety. Safety Requirements; Safety Standards GS-R-1. STI/PUB/1093. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- IAEA, 2000b. Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment. Safety Guide WS-G-2. 3. STI/PUB/1088. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- IAEA, 2002. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, Safety Requirements, Safety Standards Series No. GS-R-2. STI/PUB/1133. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- IAEA, 2004. Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3) (国际放射防护委员会第 60 号出版物,国际放射防护委员会 1990 年建议书. 李德平、孙世荃、陈明焮、周永增、郭裕中译,李树德、魏履新、吴德昌、陈丽姝校. 北京:原子能出版社,1993).
- ICRP, 1991c. Radiological protection in biomedical research. ICRP Publication 62, Ann. ICRP 22 (3).
- ICRP, 1992. Principles for intervention for protection of the public in a radiological emergency. ICRP Publication 63, Ann. ICRP 22 (4) (国际放射防护委员会第 63 号出版物,放射应急中保护公众的干预水平. 陈慧莉,张延生译. 北京:原子

能出版社,1997).

ICRP, 1993a. Protection from potential exposure; a conceptual framework. ICRP Publication 64, Ann. ICRP 23 (1) (国际放射防护委员会第 64 号出版物,潜在照射的防护. 陈竹舟译. 北京:原子能出版社,1997).

ICRP, 1993b. Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65, Ann. ICRP 23 (2) (国际放射防护委员会第 65 号出版物,住宅和工作场所氡-222 的防护. 李素云译,周永增校. 北京:原子能出版社,1997).

ICRP, 1994b. Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 68, Ann. ICRP 24(4).

ICRP, 1997a. General principles for the radiation protection of workers. ICRP Publication 75, Ann. ICRP 27(1) (国际放射防护委员会第 75 号出版物,工作人员辐射防护的一般原则. 张延生、张静译,潘自强校. 北京:原子能出版社,2000).

ICRP, 1997b. Protection from potential exposures; application to selected radiation sources. ICRP Publication 76, Ann. ICRP 27 (2).

ICRP, 1997d. Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. ICRP Publication 77, Ann. ICRP 27 (Suppl) (国际放射防护委员会第 77 号出版物,放射性废物处置的放射防护政策. 赵亚民译,潘自强校. 北京:原子能出版社,1999).

ICRP, 1998b. Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81, Ann. ICRP 28(4). (国际放射防护委员会第 81 号出版物,用于长寿命固体放射性废物处置的辐射防护建议. 赵亚民译,潘自强校. 辐射防护,2001, 21(增刊): 1-18).

ICRP, 1999a. Protection of the public in situation of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82, Ann. ICRP 29 (1-2) (国际放射防护委员会第 81 号出版物,在持续辐射照射情况下公众的防护——委员会辐射防护体系应用于由天然源和长寿命放射性残存物引起的可控制辐射. 叶常青译,夏益华校. 辐射防护,2001, 21(增刊): 19-89).

ICRP, 2000c. Prevention of accidental exposure to patients undergoing radiation therapy. ICRP Publication 86, Ann. ICRP 30 (3).

ICRP, 2001a. Dose to the embryo and embryo/fetus from intakes of radionuclides by the mother. ICRP Publication 88, Ann. ICRP 31 (1-3).

ICRP, 2003a. Biological effects after prenatal irradiation(embryo and fetus). ICRP Publication 90, Ann. ICRP 33 (1/2).

- ICRP, 2004b. Release of patients after therapy with unsealed sources. ICRP Publication 94, Ann. ICRP 34 (2)(国际放射防护委员会第 94 号出版物,非密封源治疗后患者的出院考虑. 刘长安、梁莉、郭鲜花、邓君译,王作元、周舜元校. 北京:北京大学医学出版社,2007).
- ICRP, 2005a. Protecting people against radiation exposure in the event of a radiological attack. ICRP Publication 96, Ann. ICRP 35 (1)(国际放射防护委员会第 96 号出版物,放射攻击事件中人员的辐射照射防护. 潘自强、陈竹舟、叶常青、龚贻芬译校. 北京:原子能出版社,2005).
- ICRP, 2005b. Prevention of high-dose-rate brachytherapy accidents. ICRP Publication 97, Ann. ICRP 35 (2).
- ICRP, 2005c. Radiation safety aspects of brachytherapy for prostate cancer using permanently implanted sources. ICRP Publication 98, Ann. ICRP 35 (3).
- ICRP, 2006a. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public and The optimisation of radiological protection; Broadening the process. ICRP Publication 101. Ann. ICRP 36 (3).
- Krewski, D., Lubin, J. H., Zielinski, J. M., et al., 2006. A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer. J. Toxicol. Environ. Health Part A 69, 533-597.
- Lubin, J. H., Wang, Z. Y., Boice Jr., J. D., et al., 2004. Risk of lung cancer and residential radon in China; pooled results of two studies. Int. J. cancer 109 (1), 132-137.
- NEA, 2005. Nuclear Regulatory Decision Making. Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France.
- UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. II: Effects. United Nations, New York, NY (电离辐射源与生物效应,联合国原子辐射效应科学委员会 2000 年报告 (I, II 卷),潘自强、孙世荃总审校,冷瑞平、修炳林、郭裕中、杨华庭、赵亚民、杨茂春、岳保荣、贺青华、马吉增、魏康、穆传杰、孙全夫、温晋爱、李元敏等译,潘自强、胡遵素、刘洪祥、魏可道、张延生、唐仲雄、陈家佩、韩佩珍、周继文、周永增、陶祖范、吴德昌等校. 太原:山西科学技术出版社,2002).
- UNSCEAR, 2008. Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York, NY.

7. 患者、抚育者、照顾者 及生物医学研究志愿者的 医疗照射

(322) 医疗照射主要施予接受放射诊断检查、介入程序或放射治疗的人员(患者)。其他照顾或者抚育患者的人员也会受到照射。这些人员包括患者的父母和其他有关人员,通常包括其家庭成员和亲密朋友,这些人员可能在诊断过程中帮扶儿童,或在患者接受放射性药物后、或在近距离治疗期间可能接近患者。出院患者有时也会对一般公众成员造成照射,但这类照射一般总是很小。此外,生物医学研究中的志愿者往往经历与患者相似的涉及辐射的医学程序。医疗照射包括上述所有这些类型的照射。本章主要包括如下内容:

- 接受诊断、介入和治疗的人员所受的照射,包括处在妊娠或哺乳期的患者在接受医疗照射期间使胚胎或胎儿及婴儿所受到的照射。
- 无论是在医院还是在家里,在知情并自愿情况下,家庭成员或亲密朋友等在陪护或者探视接受放射诊断或治疗的患者的过程中所受到的照射(职业照射除外)。
- 志愿者所受的照射是生物医学研究项目的一部分,志愿者并不从中直接受益。

(323) 患者的医疗辐射照射需要的防护方法,不同于其他计划照射情况下的放射防护方法。这种照射是为了患者的直接利益有意而为之的。在放射治疗中,用大剂量辐射的生物效应(例如杀死细胞)治疗癌症或其他疾病,为患者获取利益。委员会建议在辐射的医学应用方面提供单独的指导,为此,本章论述患者的医疗照射。

(324) 在诊断和介入程序中,这就意味着避免不必要的照射,而在放射治疗中要求将需要的剂量授予待治疗的靶体积中,以避免健康组

织受到不必要的照射。

(325)目标是医疗程序的正当性和防护的最优化要符合医疗目的。委员会在第 73 号出版物(ICRP, 1996a)中给出的医疗领域中放射防护和安全的建议仍然有效。建议指出放射防护体系在医疗领域中的实施与在其他两类照射(职业照射和公众照射)中的实施之间有着重要差异。这些差异包括:

- 正当性原则适用于第 7.1.1 节所述的三个医疗层次。
- 在应用患者防护的最优化原则时,利益与危险被患者同一个人接受,患者所受剂量主要根据医疗需要来决定。对患者的剂量约束是不适用的,尽管在职业照射和公众照射中剂量约束是很重要的。但对患者的照射需要进行某些管理,第 73 号出版物中推荐使用诊断参考水平^①(ICRP, 1996a),并在支持导则 2 (ICRP, 2001b)中给出了进一步的指导。
- 不建议对患者个人实施剂量限制,因为这可能会影响患者的诊断或治疗的效果,使得弊大于利。因此,重点在于医疗程序的正当性和防护的最优化。

(326)在下列一系列出版物中,对第 60 号出版物(ICRP, 1991b)中所建立的放射防护基本框架做了进一步阐述。这些出版物中的建议、导则和观点仍然有效,成为委员会不断增长的医疗照射信息库中的一部分[也参见第 105 号出版物(ICRP, 2007b)]。

(327)对患者的照射是经过深思熟虑的。除放射治疗以外,目的不是施予剂量,而是利用电离辐射来提供诊断信息或进行介入程序。剂量是经过深思熟虑给定的,并且不能被无限制地减少,以保证不影响预期的效果。辐射的医学应用在本质上是自愿的,伴随着对患者个人直接健康利益的期望。患者或法定监护人同意或认同使用伴有辐射的医疗程序。这种决定是在不同程度的知情认同情况下做出的,不仅包括预期的利益,也包括潜在的危险(包括辐射)。为获得知情认同而提供的信息量大小,既依据受照水平(如是否采取诊断、介入放射学和放射治疗),也依据辐射照射可能引起的急性并发症。

^① 我国的 GB-18871 中诊断参考水平为指导水平——译者注。

(328)参与患者照射程序的医师和其他卫生专业人员,应始终接受放射防护原理的培训,包括物理学和生物学的基本原理培训。对患者医疗照射的最终责任在于医师,因此医师应当熟知所采用程序的危险与利益。

(329)外照射对患者的医疗照射,一般只关心身体的有限部位,医务人员充分了解照射野中正常组织的剂量是非常重要的。在此情况下必须谨慎,以避免发生不希望的组织反应。

7.1 医疗程序的正当性

(330)对患者的医疗照射,需要一种不同的、更加细致的正当性判断方法。辐射的医疗应用应当是正当的,就像其他计划照射情况一样,尽管医疗照射的正当性通常依赖于医疗专业人员而非政府或监管机构。医疗照射的主要目的是对患者带来的利大于弊,其次要考虑对放射学工作人员和其他人员的辐射照射危害。对某个特定程序的应用进行正当性判断,是相关开业医生的职责。因此,医疗程序的正当性仍然是委员会建议的主要内容。

(331)在辐射的医学应用中,正当性原则适用于以下三个层次:

- 在第一层次上,接受辐射的医学应用,因为对患者带来的利大于弊。本层次的正当性目前可以认为已为人们所接受,下文不做进一步讨论;
- 在第二层次上,确定具有特定目标的特定程序,并作出正当性判断(例如,对已显现相关症状的患者的胸部 X 射线照相,或其危险状况是可以被探知或处置的一组人员的胸部 X 射线照相)。第二层次的正当性的目标,是要判断放射学程序通常是否会提高诊断或治疗水平,或提供受照人员的必要信息。
- 在第三层次上,应用于患者个体的医疗程序应当是正当的(即应判定对个体患者的具体应用是利大于弊)。因此,应当在考虑到照射的具体目的和所涉及人员的特征的基础上,事先对所有人员的医疗照射的正当性做出判断。

下面讨论第二和第三层次的正当性判断。

7.1.1 一个确定的放射学程序的正当性(第二层次)

(332)放射学程序的正当性判断,是国家和国际专业团体,以及国家卫生和放射防护主管部门和相应国际组织的事情。还应当考虑意外照射或无意照射的可能性。应时常对所做决定进行评审,因为对于现有程序和新程序的危险和效能,可以利用的信息在不断增多。

7.1.2 个体患者医疗程序的正当性(第三层次)

(333)对个人照射的正当性判断,应当核实所需信息是否存在,拟定的检查对于提供所需临床信息是否是最合适的方法。对于大剂量的检查,如复杂诊断和介入放射学程序,个人的正当性判断是特别重要的,应考虑所有可利用的信息。这包括拟定程序和备选程序的细节、患者个人的特性、患者的预期剂量、以往或拟定检查或处置的信息的有效性。事先确定参考规范和患者类别往往能够加快正当化过程。

7.2 医疗照射防护的最优化

(334)在与源相关的防护中,委员会目前采用相同的概念方法,而不论源的类型如何。在诊断和介入医疗程序的照射中,使用**诊断参考水平**来达到防护最优化的目的,而不采用对个体或者剂量实行约束的办法。这一机制是通过管理患者剂量来使其与医疗目的相适应的(参见7.2.1)。

7.2.1 诊断参考水平

(335)诊断参考水平应用于在进行医学成像程序时患者所受到的辐射照射。它们不适用于放射治疗。诊断参考水平与委员会的剂量限值或剂量约束在数值上没有直接的联系。实际上,参考水平的数值是根据观察到的患者或参考患者的剂量分布的某个百分数而选定的。这些数值应由专业的医疗团体在与国家卫生和放射防护主管部门的协调下来选定,应定期对这些数值进行评审,评审周期的选定应能反映必要的稳定性与所观察到的剂量分布的长期变化之间的某种折衷。所选定

的数值只适用于某一国家或地区。

(336)在医学成像中使用诊断参考水平,是为了显示在通常条件下由某一个给定的成像程序所给予患者的剂量水平或给药的放射性活度(放射性物质的总量),对于该程序来说是否高得或低得不正常。如果情况果真如此,则应启动一个区域评审来确定防护是否已充分优化,或者是否需要采取纠正措施(ICRP,1996a)。诊断参考水平应被表述为在特定程序中容易测量的、与患者剂量相关的量。对于诸如在一般人群中无症状妇女的乳腺 X 射线摄影这类普查程序,所采用的诊断参考水平可能要与类似的诊断方法在临床应用中的有所不同。此外,在第 105 号出版物(ICRP,2007b)和支持性导则 2(ICRP,2001b)中还给出了专门的指导。

(337)原则上有可能选择一个较低的诊断参考水平,在此水平之下,剂量水平太低,不能提供足够好的图像质量。然而,这种诊断参考水平是很难确定的,因为除剂量之外的其他一些因素也会影响医学影像的图像质量。然而,如果所观察到的剂量或给药的放射性活度始终远低于诊断参考水平,应对所获图像的质量进行区域评审。

(338)第 85,87 和 93 号出版物(ICRP,2000b,2000d,2004a)中分别给出了在荧光透视导引下施行介入放射学程序、计算机断层扫描成像和数字化放射学检查中患者剂量管理方面的广泛信息。

7.2.2 放射治疗

(339)在放射治疗中,最优化不仅涉及将处方剂量施予肿瘤,而且还涉及如何保护靶体积之外的健康组织。在第 44 号出版物(ICRP,1985a)中考虑了此类放射治疗问题。

7.3 医疗照射中的有效剂量

(340)工作人员的年龄分布和一般人群(有效剂量是针对这类人群导出的)的年龄分布,与接受电离辐射医疗程序的患者的总体年龄分布可能存在很大的差异。不同类型的医疗程序之间的年龄分布也是不同的,这取决于在被评估医疗条件下占优势的人员情况。基于上述原因,

对电离辐射的医疗诊断和治疗的危险进行评价,最好使用针对有危险的个体组织以及接受医疗程序的人员的年龄及性别分布方面的适当的危险因数。若参考患者或患者人群在年龄和性别方面是相似的话,那么,对于不同诊断程序中相对剂量的比较,和在不同医院和国家中类似技术和程序的使用情况的比较,以及使用不同技术进行相同医疗检查的比较来说,有效剂量会是有价值的。

(341)当器官和组织只有一部分接受照射,或接受很不均匀的照射时,这种情形在诊断和介入放射学程序中是很典型的,对患者的医疗照射采用有效剂量来评价和解释是有问题的。

7.4 妊娠患者的医疗照射

(342)在使用任何电离辐射医学程序之前,确定女性患者是否怀孕是非常重要的。由于发育中的胚胎或胎儿对电离辐射的敏感性,对妊娠期间医疗照射的可行性和效能需要给予特殊的考虑。

(343)由大多数正确实施的诊断程序所产生的的出生前剂量,不可能引起可测量到的出生前或出生后死亡、包括畸形在内的发育障碍危险的增加、或者高出上述人群精神发育损害本底发生率危险的增加。假定宫内受照之后终身癌症的危险与儿童期早期受照的危险是类似的。涉及诸如放射治疗程序的大剂量受照,有可能导致发育损害(参见 3.4 节)。

(344)妊娠患者具有了解由于宫内照射所导致的潜在辐射效应的大小和类型的知情权。如果一次诊断放射学检查从医学角度是需要的,没有接受此程序的母亲所接受的危险一般总是高于对胚胎/胎儿的潜在损伤的危险。然而,有些程序和核医学中使用的一些放射性药物(如放射性碘)可造成胚胎/胎儿的危险增加。委员会在第 84 号出版物(ICRP, 2000a)中给出了详细的导则。

(345)在进行放射治疗和进行一些腹部介入程序之前,确定女性患者是否怀孕是非常重要的。在妊娠患者中,远离骨盆的癌症通常可以采用放射治疗。但制订治疗计划时需要特别地小心。必须估计好对胚胎或胎儿的包括散射成分在内的预期照射剂量。在妊娠期,骨盆部分

的癌症很少能采用放射治疗来有效治疗而不对胚胎或胎儿产生严重的或致死的后果。

(346)由于医疗照射而终止妊娠是个人决定的,这种决定受多种因素影响。在胚胎或胎儿的吸收剂量低于 100 mGy 时,不应当考虑终止妊娠。当胚胎或胎儿的剂量高于此水平时,妊娠患者应接受足够的信息,以便能根据个人的情况,包括估计的胚胎或胎儿剂量的大小,以及对发育中的胚胎或胎儿所受到的严重损伤的危险和剩余寿期内癌症危险而作出知情的决定。

(347)出生前辐射照射的辐射危险在第 90 号出版物(ICRP, 2003a)中有详细的讨论。妊娠患者的受照在第 84 号出版物(ICRP, 2000a)和第 105 号出版物(ICRP, 2007b)中有详细的论述,后者还对辐射照射后终止妊娠时所考虑的事项进行了讨论。生物医学研究中妊娠女性的辐射照射在 7.7 节中讨论。

7.5 外部射线束治疗和近距离治疗中的事故预防

(348)外部射线束治疗和近距离放射治疗中的事故预防,是与设备和机房,以及工作程序的设计密不可分的。事故预防的关键点,很早以来一直是对故障后果采用多重防御的方法。这种方法称为“纵深防御”,其目的在于预防设备故障和人因失误,如果它们发生,则缓解其后果。在减少潜在照射的概率和预防事故方面,委员会已经在第 76,86,97 和 98 号出版物(ICRP, 1997b, 2000c, 2005b, 2005c)中给出了广泛的忠告。

7.6 放射性核素治疗中对患者的 抚育者与照顾者的防护

(349)非密封的放射性核素,以放射性药物的形式被用于诊断和治疗各种疾病,这些放射性药物以注射、食入或吸入的形式施予患者。这些放射性药物可集中在人体组织直到衰变掉或者通过各种途径排出(如排尿)。密封源则被植入患者的身体内。

(350)核医学诊断程序结束后很少需要对公众进行防范,但有些核医学治疗程序,尤其是涉及碘-131的核医学治疗程序可对其他人员产生较高的剂量,特别是对那些参与陪护和照顾患者的人。因此,对在医院或家中抚育这些患者的公众成员需要个别考虑。

(351)第94号出版物(ICRP, 2004b)中提供了使用非密封放射性核素进行治疗后患者出院的相关建议。这些建议包括从放射防护角度(如服从每年1 mSv的公众剂量限值)出发应按公众成员对待的幼儿和婴儿以及没有直接参与抚育或探视的来访人员。对于那些直接参与探视和抚育的非婴幼儿人员,每个疗程(例如治疗后到出院的期间)5 mSv的剂量约束是合理的。需要灵活使用约束值。例如,对于病得很厉害的儿童家长来说,较大的剂量完全可能是合适的。

(352)年龄在15岁之前的人的甲状腺,比成人更具有辐射敏感性,因此应特别小心,以避免婴儿、儿童和孕妇受到接受放射性碘治疗的患者的污染。

(353)应根据个体的情况来决定患者治疗后是住院还是出院,同时还要考虑包括患者体内的剩余放射性活度、患者的愿望、家庭情况(特别是儿童的存在)、环境因素以及现有的导则和规定等在内的多种因素。第94号出版物(ICRP, 2004b)中对使用储尿罐的做法进行了评论,认为那是不必要的。

(354)在候诊室和交通工具内的公众成员所受到的非有意照射通常不是很高,不需要对核医学患者采取特别的限制措施,但接受放射性碘治疗的患者除外(第73,94号出版物,ICRP,1996a,2004b)。

(355)原则上,同样的思路也适用于当患者接受永久性植入的密封源治疗时的情况。但目前得到的资料显示,在绝大多数情况下探视和陪护人员所受剂量仍远低于1 mSv的年剂量,除了极少情况,在这种情况下植入放射源时患者的配偶怀孕,并且怀孕的配偶的预期年剂量超过1 mSv(第98号出版物,ICRP,2005c)。

(356)如果患者在植入密封源后的几个月内死亡,尸体的火化(在一些国家是通常的)可引发如下相关问题:1)放射性物质仍然存在于患者的骨灰中;2)释放到空气中的放射性有可能被火葬场的工作人员或公众成员吸入。有数据显示,植入碘-125在12个月后即可允许火化

(对钷-103 为 3 个月)。如果患者在此延迟期之前死亡,则应采取专门的措施(ICRP,2005c)。

7.7 生物医学研究中的志愿者

(357)志愿者对于生物医学研究有着重要的贡献。一些探索性研究对于疾病调查是有直接价值的;其他一些研究,则可提供药物代谢以及可能从工作场所或环境的污染中吸收放射性核素的代谢信息。并非所有这些研究均在医疗机构进行,但委员会将所有生物医学研究中志愿者的受照归并在医疗照射这一类别之中。

(358)委员会的第 62 号出版物(ICRP,1991c)中阐述了生物医学研究中志愿者的参与在医学伦理和程序方面的问题及其正当性问题。该报告也讨论了不同情形下志愿者的剂量约束,如表 8(第 6 章)给出的简要总结。

(359)在许多国家,作为生物医学研究课题,对妊娠妇女的电离辐射照射是不特别禁止的。但他们参与这些研究的情况是很少的,并且不应当鼓励她们参与,除非怀孕是该研究的不可缺少的一部分。从胚胎或胎儿的防护的角度出发,在此类情况下,应严格控制使用电离辐射。

7.8 参考文献

- ICRP, 1985a. Protection of the patient in radiation therapy. ICRP Publication 44. Ann. ICRP 15 (2).
- ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1 - 3)(国际放射防护委员会第 60 号出版物,国际放射防护委员会 1990 年建议书. 李德平、孙世荃、陈明俊、周永增、郭裕中译,李树德、魏履新、吴德昌、陈丽姝校. 北京:原子能出版社,1993).
- ICRP, 1991c. Radiological protection in biomedical research. ICRP Publication 62. Ann. ICRP 22 (3).
- ICRP, 1996a. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 73. Ann. 136

- ICRP 26 (2).
- ICRP, 1997b. Protection from potential exposures; application to selected radiation sources. ICRP Publication 76. Ann. ICRP 27 (2).
- ICRP, 2000a. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84. Ann. ICRP 30 (1).
- ICRP, 2000b. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30 (2).
- ICRP, 2000c. Prevention of accidental exposures to patients undergoing radiation therapy. ICRP Publication 86. Ann. ICRP 30 (3).
- ICRP, 2000d. Managing patient dose in computed tomography. ICRP Publication 87. Ann. ICRP 30 (4).
- ICRP, 2001b. Radiation and your patient; A guide for medical practitioners. ICRP Supporting Guidance 2. Ann. ICRP 31(4).
- ICRP, 2003a. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). ICRP Publication 90. Ann. ICRP 33 (1/2).
- ICRP, 2004a. Managing patient dose in digital radiology. ICRP Publication 93. Ann. ICRP 34 (1).
- ICRP, 2004b. Release of patients after therapy with unsealed sources. ICRP Publication 94. Ann. ICRP 34(2) (国际放射防护委员会第 94 号出版物, 非密封源治疗后患者的出院考虑. 刘长安, 梁莉, 郭鲜花, 邓君译, 王作元, 周舜元校. 北京: 北京大学医学出版社, 2007).
- ICRP, 2005b. Prevention of high-dose-rate brachytherapy accidents. ICRP Publication 97. Ann. ICRP 35(2).
- ICRP, 2005c. Radiation safety aspects of brachytherapy for prostate cancer using permanently implanted sources. ICRP Publication 98. Ann. ICRP 35(3).
- ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37 (5).

(364)因此,委员会认为,为了评估照射与剂量的关系、剂量与效应的关系及这些效应的后果,对于非人类物种需要在共同的科学基础上建立一个更加清晰的框架。这个问题首次在第 91 号出版物(ICRP, 2003b)中进行了讨论,结论是从建立保护人类的系统性框架中汲取教训是必要的。这个框架以极广范围的知识为基础。委员会试图把该框架改变为实用性建议,这在管理不同照射情况时将是有帮助的;需要记住的是这里存在较大的误差和不确定性,以及各种数据库的知识缺乏。

(365)这样一个综合性和系统性方法的优点是,当出现需要改变体系的某一部分时(由于获得了新的科学数据,或对社会态度的变化,或因在其实际应用中获得的经验而简化),则考虑这一改变的后果对该体系内其他部分及整个体系的影响是可能的。除非它是根据包括一些基本参考点的数值化框架,否则这种方法是不能用的。

8.2 参考动物和植物

(366)在人类放射防护的情况下,委员会处理这些问题的方法在很大程度上得到了解剖学和生理学参考模型发展(ICRP, 2002)的帮助。已经得出结论是采用一个类似方法作为开发保护其他物种的进一步建议与指导的基础可能是有益的。因此,针对主要环境中具有代表性的若干典型生物,委员会正在开发一组为数不多的参考动物和植物(Pentreath, 2005)及其相关的数据库。这些实体将构成一个更加结构化的理解照射与剂量、剂量与效应及这些效应的潜在后果之间关系的方法的基础。

(367)参考动物和植物被视为具有明确假定的一种特定类型动物或植物基本生物学特征的假想实体,当在种群分类水平上描述其共性时,它们具有确定的解剖学、生理学、生命史特性。为此,不必把保护参考动物和植物作为直接目标,但是作为参考点,它们应当为做出某些管理决策提供一个基础。目前正在开发各种类型生命循环不同阶段简单的剂量学模型和相关参数集,也正在对可得到的各种类型辐射效应的资料进行评述。

139

8. 环境保护

(360)最近一些年以来,在人类活动的各个方面中人们极大地增加了对环境保护的关注。伴随这种关注已经开发和应用了各种各样的方法来评价和管理诸多形式的人类环境影响。因此,即使这些需求并不是由于人们对任何新的或特别的环境辐射效应的关注而出现的,但是委员会意识到人们对与放射防护相关事务的建议与指导的需求却与日俱增。委员会也认识到在国际上讨论这些涉及放射(环境保护)问题当前还缺乏一致性,为此委员会现在相信一个更加前瞻性的方法是必要的。

8.1 环境放射防护目的

(361)与人类的放射防护相比,委员会承认环境保护的目标是既复杂又难以表达清楚的。然而,委员会的确赞成全球为保持生物多样性的,确保物种的保护,保护自然栖息地、群落和生态系统的健康与现状的需求和努力。委员会也认识到这些目标可以用不同方法来实,电离辐射可能仅仅是一个较小的因素(取决于环境照射情况),为试图实现这些环境保护目标,一种均衡(发展)观是必要的。

(362)委员会本身过去去关心人类环境仅仅是关于放射性核素在人类环境的转移,并且主要涉及计划照射情况,因为这些直接影响到人类的放射防护。在这种情况下,委员会已经考虑到为保护一般公众而需要的环境控制标准将保证其他物种不会处于危险状态,并且委员会会继续相信这可能仍然是这种情况。

(363)然而,委员会考虑现在有必要为所有照射情况提出建议。委员会也相信考虑更宽范围的环境情况是必要的,而不管它们与人类是否有任何联系。委员会也知道,即使在计划情况下也需要一些国家管理部门直接并明确地证明环境正受到保护。

138

(368)为了满足委员会的目标,根据目前对不同类型动物和植物辐射效应的知识水平,为做出判断显然需要某些形式的实用方法。然而,除哺乳动物外,普遍地缺乏能够建立剂量—响应关系合理结论的资料,尤其是在大多数照射情况下相对较低剂量的有关资料。总而言之,实际上大多数动物和植物的辐射效应数据库与关于“化学毒性”研究中的数据不是不相同的,在这里产生给定效应必需的那些(剂量)水平比预期在大多数环境情况下的剂量照射水平要高许多个数量级。

(369)辐射的另外一个参考源,那就是这些动物和植物不断地并“特异地”受到天然本底辐射照射。因此,动物和植物的附加辐射剂量,可以与那些类型动物和植物中已知的或预期的具有确定生物效应的那些剂量率及这些类型动物和植物在它们的天然环境中正常遭受到的剂量率进行比较。

(370)因此,对于环境保护,委员会不打算提出任何形式的“剂量限值”。通过以一种简明的推导方法建立某些参考动物和植物的数据,并据此考虑采取进一步的行动,委员会打算提供比过去更加实用的建议。为了在将来提供更加全面的建议,委员会将利用这个框架收集并解释数据,尤其是关于在不同辐射照射情况下可能值得关注的不同环境的那些方面或特征。

8.3 参考文献

- ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32(3/4).
- ICRP, 2003b. A framework for assessing the impact of ionizing radiation on non-human species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33(3) (国际放射防护委员会第91号出版物,非人类物种电离辐射影响评价框架. 潘自强,陈竹舟译校. 辐射防护,2004).
- Pentreath, R. J., 2005. Concept and use of reference animals and plants. In: Protection of the Environment from the Effects of Ionizing Radiation, IAEA-CN-109, IAEA, Vienna, 411-420.