

核科学技术丛书

中国核工业 辐射水平与效应

潘自强 等著

原子能出版社



ISBN 7-5022-1464-X/TL7 定价:28.00 元

中国核工业辐射水平与效应

潘自强 等著

原子能出版社

北 京

核科学技术丛书

编辑工作委员会

主任：孙家辉

副主任：乐俊楚

委员：(以姓氏笔画为序)

乐俊楚 孙家辉 李 镁 李盈安

张本东 赵守林 姜 樾

编辑工作小组

组长：乐俊楚(兼)

副组长：李 镁

成员：乐俊楚 李 镁 徐淑珍

《中国核工业辐射水平与效应》

编审委员会

主 编：潘自强

副主编：孙世荃 李玉成

编 委：(以姓氏笔画为序)

王芸芳	邓志诚	白 光	孙世荃
宋兰英	李玉成	李延义	陈如松
陈绍嘉	郭明强	谢建伦	董柳灿
潘自强	潘英杰		

序

核科学技术,是一门新兴的尖端科学技术,包括核物理、核化学等基础学科以及为实现核裂变和核聚变直接相关的核资源勘查、核原料开采与加工、同位素分离、核燃料元件制造、核反应堆、乏燃料后处理、加速器、核动力和同位素与辐射技术等应用核技术。

自从 1896 年发现天然放射性,1934 年发现人工放射性和 1938 年发现核裂变以来,核科学技术发展速度惊人,成果辉煌:1942 年建成第一座核裂变反应堆,紧接着,于 1945 年美国爆炸了第一颗原子弹,1952 年氢弹试验成功,1954 年苏联建成了世界上第一座核电站,1959 年美苏核动力船只先后下水……目前全世界有 400 多座核电机组正在运行,其发电量占世界总发电量 17%;非动力核技术也为人类健康、经济发展和社会进步做出了巨大的贡献。

我国核科学技术,自 1955 年以来,经过近 40 年的努力,发展迅速,成绩卓著,蜚声中外。1964 年 10 月 16 日,我国第一颗原子弹爆炸成功,1967 年 6 月 17 日氢弹试验成功,紧接着,我国第一艘核潜艇下水,我国自行设计建造的秦山核电厂并网发电,广东大亚湾核电站建成发电,投入商业运行,受控核聚变研究取得可喜成果,同位素与辐射技术广泛应用于科学研究、医学诊断与治疗 and 农业生产。

我国核科技事业的发展,推动和促进了整个科学技术和国民经济的发展,大大增强了我国综合国力,提高了我国的国际地位。

我国广大核科技工作者,尤其是老科学家、老专家,为我国核科学技术和核工业,做出了突出贡献。在中国核工业总公司领导和

支持下,原子能出版社在经费十分拮据的情况下,千方百计筹措资金,组织出版这套《核科学技术丛书》,总结他们毕生从事核科技事业所做出的贡献、经验和智慧,大力宣传推广核科学技术,纠正人们头脑中核科学技术只与核武器相联系的不正确想法,消除公众对核科技不必要的疑虑,使核科学技术在我国核工业第二次创业中发挥出巨大的力量,这是难能可贵的了不起之举。我衷心祝贺《核科学技术丛书》的出版。

王淦昌

1994年9月19日

前 言

中国核工业创建与发展 40 年来,取得了举世瞩目的辉煌成就。但是,核工业辐射安全状况如何?是人们普遍关注的问题。我们编写本书的目的,就是对核工业辐射水平与效应进行全面评价,总结经验和吸取教训,促进核电的开发利用,保证核工业的稳步发展。

本书主要包括天然辐射本底水平、职业性辐射照射剂量、辐射环境评价、辐射效应实验研究、辐射健康危害评价、医学监督,以及对核工业辐射水平与效应综合分析评价等。

本书收集的资料,多是核工业行业有关单位 1959~1987 年积累的生产实践经验和科学研究成果的总结,并与国外文献资料有所比较。从我国核工业发展的历史表明,核工业的安全记录是好的,对职业性工作人员和公众安全是有保障的,对环境的影响微不足道。

本书内容丰富,具有较高的学术理论和实用价值。可供从事核工业,特别是从事核电建设与发展,以及核技术与放射性同位素推广应用的广大科技人员和管理人员参考。本书还可供从事核安全与环境保护的科技工作者参考,并可作为对职业性工作人员和公众进行辐射安全教育训练的生动教材。

本书在编写过程中,得到中国核工业总公司有关部门和单位的领导和专家的指导与帮助,在此表示衷心的感谢。

编者

1995 年 1 月

于中国核工业总公司

目 录

第一章 绪论	(1)
一、目的	(1)
二、核工业辐射防护的发展	(2)
(一)辐射防护规定与标准	(2)
(二)辐射监测方法	(4)
(三)辐射防护评价	(8)
(四)辐射防护管理	(10)
(五)辐射效应研究	(11)
参考文献	(12)
第二章 中国天然辐射本底水平	(17)
一、天然辐射源	(17)
(一)宇宙射线	(18)
(二)原生辐射	(19)
二、陆地 γ 辐射	(19)
(一)室外环境 γ 外照射辐射水平	(19)
(二)室内 γ 外照射辐射水平	(21)
三、氡、氡及其子体的水平	(23)
(一)室外氡、氡及其子体的浓度	(23)
(二)室内氡、氡及其子体的浓度	(24)
四、环境介质中天然放射性核素水平	(28)
(一)不同水体中天然放射性核素浓度	(28)
(二)土壤中天然放射性核素水平	(37)
五、食品中天然放射性核素水平	(43)
六、天然本底辐射对人体产生的剂量	(43)
(一)外照射剂量	(43)
(二)内照射剂量	(44)

(三)人体所受天然辐射总剂量	(45)
参考文献	(45)
第三章 职业性辐射照射剂量	(48)
一、引言	(48)
二、职业性辐射照射个人监测	(49)
(一)个人监测目的	(49)
(二)个人监测概况	(50)
(三)数据来源	(51)
三、剂量分布特征和个人剂量评价指标	(53)
(一)剂量分布特征	(53)
(二)个人剂量评价指标	(53)
四、剂量数据统计和分析	(54)
(一)核燃料循环	(54)
(二)放射性同位素研制和生产	(81)
(三)事故性辐射照射	(83)
(四)核工业职业性辐射照射剂量数据	(89)
五、简要总结	(96)
参考文献	(97)
第四章 环境评价	(98)
一、引言	(98)
二、环境评价方法	(99)
(一)评价区域	(99)
(二)评价方法与评价指标	(100)
(三)评价模式	(100)
三、系统概况	(101)
(一)概述	(101)
(二)三废来源与治理措施	(102)
四、环境监测	(106)
(一)概述	(106)
(二)监测方案	(106)

(三)主要监测结果与分析	(106)
五、正常运行对环境的影响	(111)
(一)源项	(111)
(二)剂量估算与评价	(114)
六、事故工况对环境的影响	(129)
(一)事故概述	(129)
(二)后果估算与评价	(129)
七、环境治理措施的代价-效益分析	(130)
八、结论与讨论	(133)
(一)基本结论	(133)
(二)改善环境质量的措施	(134)
参考文献	(136)
第五章 辐射效应的实验研究	(137)
一、概述	(137)
二、放射生物学研究	(138)
(一)辐射致造血功能效应	(138)
(二)辐射生化效应	(139)
(三)辐射免疫效应	(141)
(四)辐射生殖效应	(142)
(五)辐射皮肤效应	(143)
三、放射毒理学研究	(144)
(一)铀	(144)
(二)钚	(147)
(三)钋	(149)
(四)放射性碘	(152)
四、辐射致癌效应实验研究	(153)
(一)外照射致癌的实验研究	(153)
(二)内照射致癌的实验研究	(155)
五、总结与展望	(164)
参考文献	(166)

第六章 辐射健康危害评价	(171)
一、核工业辐射流行病学调查结果	(171)
(一)铀矿勘探与开采井下作业的氡子体照射与矿工肺癌	(171)
(二)核工厂作业人员的辐射流行病学调查结果	(178)
(三)核工业职业性照射致癌危险估计	(186)
(四)核工厂职业照射人员子代遗传性和先天性疾病的危险	(193)
二、用辐射细胞遗传学作为生物剂量计的研究	(198)
(一)用染色体畸变分析进行的研究	(198)
(二)其他细胞遗传学方法在辐射照射研究中的应用	(206)
(三)辐射细胞遗传学的动物实验研究	(208)
(四)细胞遗传学研究小结	(209)
三、职业性照射的确定性效应	(210)
参考文献	(214)
第七章 辐射工作人员的医学监督	(220)
一、辐射工作人员医学监督工作的简要回顾	(220)
二、辐射工作人员医学监督的内容和程序	(225)
三、辐射工作人员的健康评价	(227)
四、过量受照人员的医学处理	(239)
五、结语	(247)
参考文献	(248)
第八章 核工业辐射水平与效应综合分析评价	(251)
一、辐射剂量水平	(251)
(一)工作人员所受职业性照射	(251)
(二)公众所受照射	(254)
(三)核工业生产对工作人员和公众产生的总照射	(256)
二、辐射防护与健康评价	(258)
(一)辐射防护评价	(258)
(二)健康评价	(260)
三、辐射防护的基本经验	(261)
(一)依法管理	(261)

(二)建立完整的辐射防护监测体系	(262)
(三)辐射安全评价	(262)
四、提高辐射安全的可能途径	(263)
(一)加强风险管理	(263)
(二)切实执行辐射防护最优化原则	(264)
(三)强化放射性废物管理	(265)
五、结语	(266)
参考文献	(266)

第一章 绪 论

一、目 的

中国核工业已经走过了 30 多年的历程,现在进入了一个新的发展时期。我国秦山核电站和大亚湾核电站已投产发电,辐射和同位素应用的发展更为广泛。核辐射及其可能的危害引起了更多的人关心。切尔诺贝利核电站事故引起了人们对核能安全性的极大的关注。中国核工业的辐射安全状况如何?自然成为人们关心的问题。因此,有必要对核工业的辐射安全状况,即辐射水平与效应进行全面的评价。这不仅是为了回答上述的问题,有利于建立公众对发展核电的信心。更重要的是总结过去的经验,以便更好地保证核工业的发展。

从 70 年代开始,辐射防护学科的发展很快,1977 年国际放射防护委员会(ICRP)发表了第 26 号出版物,在 10 多年的实践和科学发展的基础上,1990 年 ICRP 发表了第 60 号出版物。在这些出版物中,提出了许多新的概念,剂量限值又进一步降低了。1991 年国际原子能机构(IAEA)提出了制定国际核安全规范的建议。在这种形势下,我国辐射防护工作如何适应这种新的发展趋势,是摆在我们面前的一个新问题。借鉴国际核工业实践的发展经验,研究和分析我国辐射水平和效应,总结已有的经验,是制定今后辐射防护发展计划的基础。

二、核工业辐射防护的发展

中国核工业辐射防护是随着核工业的创建而发展起来的。大体可分两个阶段,第一阶段,从 50 年代末期到 70 年代中期,在这一阶段的主要工作是:制定辐射防护规定和标准,研究并建立个人、环境和工作场所监测方法,建立辐射防护运行体系等。第二阶段,从 70 年代末期到现在,主要工作是:修改和完善辐射防护标准,提高辐射监测水平,开展监测质量保证工作,建立辐射防护评价体系,注意并开展辐射防护最优化的研究,加强放射性废物的管理,建立事故应急准备和响应方法等。30 多年来,基本形成了一个较为完整的辐射防护体系。

(一)辐射防护规定与标准

在我国发展核工业的初期,国家就十分关心职工和居民的安全和健康。1960 年国务院颁布了《中华人民共和国卫生防护暂行规定》^[1],在此同时国家科委和卫生部联合颁布了《电离辐射的最大容许量标准》和《放射性同位素工作的卫生防护细则》^[1]。上述标准和细则基本上是参照苏联有关规定制定的。在执行过程中曾发现有些条文值得进一步研究和商榷^[2]。1965 年卫生部和二机部在总结国内经验和研究国际放射防护委员会推荐书的基础上,提出了“标准”和“细则”的修订稿,后因文化大革命开始没有颁布执行。1973 年国务院环境保护办公室组织有关人员,在吸取我国辐射防护研究成果和实践经验,参考国际放射防护委员会推荐书的基础上,制定了国家标准《放射防护规定》^[3],1974 年由国家计划委员会等四个部门联合发布执行。

1977 年国际放射防护委员会出版了“ICRP 第 26 号出版物”,这一推荐书与以前的出版物比较,在概念上有较大的变化,明确提

出了辐射防护三原则。为了总结研究和执行我国辐射防护规定的经验,消化和吸取 ICRP 第 26 号出版物中的科学内容,中国核学会辐射防护学会在 1985 年召开了“辐射防护规程”专题学术交流会^[4]。这次交流会反映了我国近 10 年来辐射防护规程的研究成果,其中包括国家环境保护局辐射防护规程编写组安排的多项专题研究。与此同时,对国外辐射防护规程进行了广泛的调查研究,并把其中的一些主要规程汇编为《国外辐射防护规程汇编》,共 12 册^[5]。在上述工作的基础上联合制定了《辐射防护规定》^[6]。经国家环境保护局批准,作为国家标准发布。在此之前,经卫生部批准,还发布了国家标准《放射卫生防护基本标准》。

与其他核设施相比较,核电站离城镇较近,人们对其安全性自然也更为关注。为了研究核电站的辐射防护规定,专门召开了核电站辐射防护规程讨论会^[7],在此基础上,制定了《核电厂环境辐射防护规定》。为了具体贯彻《辐射防护规定》,针对不同核设施和辐射装置,根据辐射防护三原则,特别是辐射防护最优化的原则,相继修改和制定了许多“细则”。表 1.1 列出了已经发布或已经批准即将发布的规定。

表 1.1 已经发布或已经批准即将发布的部分辐射防护规定

标准编号	标准名称
GB 6249-86	核电厂环境辐射防护规定
EJ 316-88	压水堆核电厂厂内辐射分区设计准则
EJ 348-88	铀矿冶辐射防护设计规范
GB 5712-85	粒子加速器辐射防护规定
GB 11924-89	辐射安全培训规定
GB 13367-92	辐射源和实践的豁免管理原则
GB 11930-89	操作开放型放射性物质的辐射防护规定
EJ 429-89	放射性工作场所区划分与管理规定
GB 10252-88	辐射加工用 ⁶⁰ Co 辐照装置辐射防护规定
EJ 377-89	⁶⁰ Co 辐照站辐射安全设计规范
EJ 380-89	开放型放射性实验室辐射防护设计规范
GB 11806-89	放射性物质安全运输规定

(二) 辐射监测方法

1. 个人剂量监测方法

外照射个人剂量监测。个人剂量监测可分为法定个人剂量监测(以下简称个人剂量监测)和即时监测。个人剂量监测的结果应作为工作人员所受剂量的档案。即时监测的目的在早期主要是在存在或可能存在高剂量率场下使用,以防止工作人员受到超剂量限值的照射;在现在则主要是用于实行辐射防护最优化。在 50 年代末期和 60 年代初期,外照射 γ 个人剂量监测均采用胶片佩章^[8]。在 60 年代中期,有些单位研究了荧光玻璃剂量计,并用玻璃剂量计部分代替胶片佩章^[9]。在 60 年代末期和 70 年代初期,一些单位研究了热释光剂量计,并取得了较好的结果^[10],部分单位也逐渐采用热释光剂量计。为了解决手部 β 个人剂量监测,研制了热释光 β 薄膜剂量计^[11]。在中子个人剂量监测方面,在 60 年代初期采用核乳胶^[12],后来研究了固体径迹探测器^[13]和热释光反照率中子个人剂量计^[14]。

用于内照射个人剂量监测的生物样品分析的研究,开始于 60 年代初期,逐步建立了尿中 ^3H , U , Pu , ^{90}Sr 和 ^{131}I 等核素的分析方法^[15~18]。在 1980 年前后,一些单位研制并建立了整体测量仪^[19,20]、肺中钚的监测仪^[21]、伤口钚污染监测仪和 ^{131}I , ^{125}I 甲状腺测量仪^[22,23]等设备,用于直接测量体内放射性活度。为了估算铀矿工人所受氡子体个人剂量,作为第一步,是根据工作场所空气中氡和氡子体数据和曝露时间估算的^[24]。为了验证估算结果的可靠性,选择典型铀矿中部分工作人员佩戴氡个人监测仪^[25]进行监测,并将实际监测结果与估算结果进行比较。结果表明,两者偏差约为 26%。

在事故个人剂量方面,开展了血液中 ^{24}Na 分析^[26]、毛发中 ^{32}P 分析^[27],以及活化剂量计和固体径迹探测器^[28]等方法的研究。外