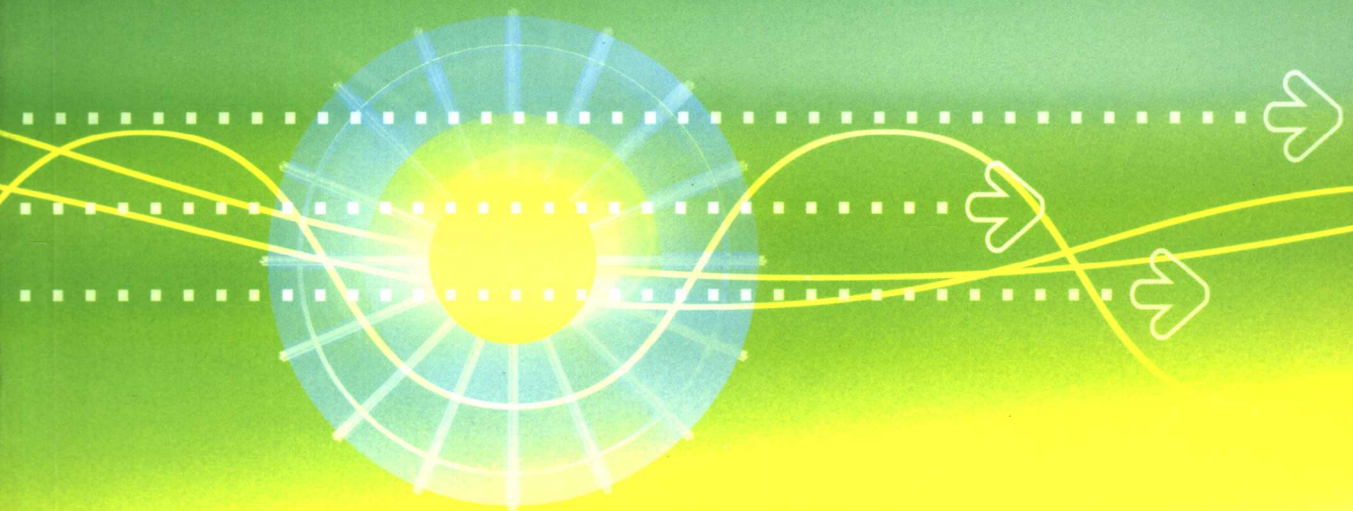


放射性废物安全通论

陈式 等著



原子能出版社

放射性废物安全通论

陈 式 等著

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

放射性废物安全通论/陈式等著. —北京:原子能出版社, 2006. 7

ISBN 7-5022-3693-7

I. 放… II. 陈… III. 放射性废物处置—中国
IV. TL942

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 073502 号

内容提要

本书在跟踪学习和消化国际放射防护委员会、国际原子能机构、联合国原子辐射效应科学委员会、经济合作发展组织核能机构的有关出版物的基础上, 尝试用防护与安全、安全与发展等基本观点, 总结我国放射性废物安全, 特别是放射性废物处置安全、核与辐射设施退役与环境整治安全和相关法制建设的经验教训, 分析、探讨和力求解决实际工作中出现的问题。本书的研究成果涉及废物处理与整备设施的设计和运行安全, 废物处置设施安全, 流出物排放安全, 污染物料回收利用安全, 退役与环境整治安全, 排除、豁免与解控, 废物优化管理和废物最少化, 废物管理的政策、法规和标准, 废物安全监管和安全文化素养等方面。本书可帮助从事放射性废物管理工作的人员, 包括教育、培训、研发、设计、运营、管理、监督、评价和参与法规标准制订及执法人员, 尽快掌握和实际应用放射性废物安全的基础知识。

放射性废物安全通论

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 张琳

责任校对 徐淑惠

责任印制 丁怀兰

印刷 保定市中国画美凯印刷有限公司

开本 787mm × 1092mm 1/16

印张 13

字数 324 千字

版次 2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

书号 ISBN 7-5022-3693-7

经销 全国新华书店

印数 1—5000

定 价 50.00 元

版权所有 侵权必究

网址: <http://www.aep.com.cn>



简 历

陈式，中国辐射防护研究院研究员。
1937年生，江西省清江县人。1957年毕业于北京大学技术物理系放射化学专业。先后在中国科学院原子能研究所和中国辐射防护研究院长期从事放射性废物管理科研工作，为核工业厂矿、核基地、核电站和政府有关部门提供技术支持与服务。主要专长是放射性废物处理、处置和管理，核设施退役和环境整治，环境放射化学，实用辐射防护与安全科学等。曾任中国辐射防护研究院三废治理研究室主任，中国辐射防护研究院副院长兼科技委主任，国家核环境专家委员会委员，辐射防护标准化技术委员会副主任，核化学与放射化学学会环境放射化学专业组负责人。1990年获得国家级有突出贡献中青年专家称号。

导 言

电离辐射防护与辐射源安全是研究辐射照射的源项、途径、剂量、效应及其有效控制的综合性科学。它的理论基础,涉及物理、化学、生物、医学、数学、工程与工艺学、气象、水文、地质、生态学、伦理学和管理科学等领域内一系列专门学科,例如辐射剂量学、放射生物学、环境放射化学及其他;它的实用性内容,可包括职业照射、公众照射、潜在照射、应急照射、持续照射、医疗照射和天然照射的防护技术,以及核安全、辐射安全、放射性废物安全和放射性物质运输安全方面的技术;此外它还包括防护与安全的法规标准、管理制度和监测与评价能力建设等与完善国家基础结构有关的内容,以及普遍提高安全文化素养方面的要求。

本书所要讨论的放射性废物安全,是辐射防护与辐射源安全科学同放射性废物管理技术相互作用的一个产物。在国际上,放射性废物安全已经成为辐射防护与辐射源安全科学发展的前沿领域之一,上世纪九十年代以来在我国也得到传播和发展。本书在理论的学习和应用方面,先有《国际放射防护委员会 1990 年建议书》和 1988 年国际原子能机构《核动力厂的基本安全原则》,后有 1997 年《国际电离辐射防护和辐射源安全的基本安全标准》和 1995 年国际原子能机构废物安全基本法则《放射性废物管理原则》;到 2002 年我国也相继制定了自己的国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》和修订了国家标准《放射性废物管理规定》。在实际经验的总结和提高方面,本书比较系统地研究了放射性废物处置安全,核与辐射设施的退役与环境整治安全,以及相关的法制建设等方面的问题;此外还有大亚湾核电站废物管理经验的学习与研究,中国辐射防护研究院开发可燃放射性废物焚烧装置时对废物管理设施安全的体会等个例。上述两条线的交织,构成了本书的主要特色。

放射性废物安全最根本的问题是放射性废物管理工作如何实际运用和体现防护与安全、安全与发展等完整思想体系的要求。在工作中发生的许多问题和争论几乎都与此有关。尽管这些先进的思想武器来自国外,但在本书中它们已被适当地“乡土化”和综合化了。孔子曰:“吾道一以贯之。”我们力求学习中国传统思维方式的优点,在放射性废物管理的研究和实践中,用防护与安全、安全与发展这样一些最根本的道理贯穿到底。换句话说就是用这些根本性的思路来引领技术的发展和指导技术的应用,以避免在枝节问题的争论中迷失方向。出版此书的目的就是想为从事放射性废物管理相关工作的同志,如教育、培训、研发、设计、运营、管理、监督、评价和参与法规标准制定及执法的人员,提供一种具有贯穿性的可供实用参考的资料,帮助他们更快地熟悉放射性废物安全的基础知识。本书的框架性内容包括放射性废物管理的九项原则,放射性废物安全的理论基础,放射性废物管理和核与辐射设施退役及环境整治的防护目标,放射性废物管理和核与辐射设施退役及环境整治的技术安全要求,放射性废物的优化管理和放射性废物最少化,运营单位的放射性废物管理制度,国家对放射性废物的安全监管制度,放射性废物管理相关法规和标准,放射性废物安全文化素养等几个方面。可以说这是近二十年来我们在此领域进行学习、思考、实践、讨论和总结的一个记录。

作为一本研究放射性废物安全的专著,本书的核心思想可以概括为以下几点:

(1) 防护与安全

防护与安全是辐射防护与辐射源安全科学中的两个基本概念,其范畴大致相同,都有庞大的理论和实用体系,而且相互兼容。只不过不同人群有不同的使用习惯,例如辐射防护工作者更喜欢用防护,并以防护包容安全;法律工作者更喜欢用安全,并以安全包容防护。但是这两个概念体系的侧重点是不同的,了解这些侧重点将使我们学会更全面地分析问题和处理问题。防护的概念侧重于人的防护和环境的保护,强调目标,重视对不同辐射照射类型的分类管理;安全的概念侧重于“辐射源和实践”的安全,强调过程,重视对不同设施分类管理。放射性废物管理工作常讲废物安全,但它的实际含义应当是对防护与安全同样看重,应当在实际工作中兼顾这两方面的要求。从现状看,我国放射性废物管理存在的倾向性问题更多地还是对安全的忽视,这是需要我们保持警惕的。

(2) 防护原则与安全原则

在《国际电离辐射防护和辐射源安全的基本安全标准》绪论的基本原则一节中,曾经比较全面地概述了防护与安全的原则。简略地说就是实践的正当性、个人剂量和危险限值、防护与安全最优化、干预的正当性和最优化、安全的主要责任、安全文化素养、纵深防御、优质管理等八项原则。通俗地说前四项是防护原则,后四项是安全原则。可是从目前的普及程度来看,只有较多的人对实践的“辐射防护三原则”有较好的了解,这不能不说是普及工作中的一种片面性。就拿企业法人应该承担防护与安全的主要责任的原则来说,我国的法律体系和管理体制对此并未做好充分的接纳准备,在法制理念和管理观念上依然停留在“各负其责”,出了事却往往找不到责任人。一个真正有效的法律规定或管理规定应当杜绝逃脱责任的一切遁词,这只有明确主要责任人才能做到,因此改革是必要的和迫切的。再如纵深防御,这是技术安全的最高原则,所有放射性废物管理工作都应把它奉为金科玉律。但是我们看到,在废物治理技术的研发工作中,往往不注意安全性和可靠性的研究,以致所得到的技术或装置经不起实际考验。中国辐射防护研究院的马明燮研究员是幸运的,因为他在负责废物焚烧装置的研发过程中,仔细研读和遵循了《核动力厂的基本安全原则》、《放射性废物焚烧设施的设计与运行导则》和《放射性废物焚烧设施的安全分析要求》中提出的技术安全要求,因而做得比别的同行更好。安全性和可靠性问题也发生在其它技术领域,如中辐院的加速器辐照装置,在建设过程中曾多次通不过安全分析报告的院内审查,迫使当事人用了近两年的努力,在安全屏蔽、安全连锁和安全管理方面做出了许多改进,达到了较高的安全水平。无论是自觉的还是强制的,防护与安全原则都应当得到普遍的遵守。

(3) 安全观与可持续发展观

防护与安全原则的表述比较专业,而《放射性废物管理原则》在把防护与安全原则应用于废物管理时做了通俗化的表述。例如,保护人类健康、保护环境、考虑境外影响、保护后代等都是讲防护的,废物管理设施安全是讲安全的。值得注意的是,废物管理的九项原则把安全观和可持续发展观结合起来,增添了不给后代留下不适当负担、放射性废物最少化、放射性废物产生与管理各步骤之间的相互依赖(暗含优化思想)等部分地超越了防护与安全概念的原则,并用建立国家法律框架的原则将安全因素与非安全因素统一起来,从而表明实现安全的程度不是无限制的,而是受非安全因素影响的。事实上,在防护与安全最优化原则中,特别是在采用多属性分析方法时,已部分地考虑了技术、经济和社会因素的影响,但还不够。放射性废物管

理原则从更广泛的角度引进了非安全因素(详见后文),有利于可持续发展。安全第一,谋求发展,这就是我们对废物管理九项原则基本精神的把握。放射性废物管理原则的另一个特点是,在使用这些原则时更容易把不同的安全防护任务与不同类型辐射照射引起的问题联系起来。例如,保护人类健康大量涉及公众照射和职业照射的管理;保护环境主要与持续照射问题有关,同时还涉及人类以外物种的保护;放射性废物管理设施安全则主要与潜在照射和应急照射问题有关。

(4) 发展促进与安全控制

上文已从安全的角度讨论了安全和发展关系,本节将从发展的角度更完整地讨论发展和安全的关系。早在上世纪八十年代初,在国际原子能机构的文献中已经明确地区分了促进和控制的概念。发展促进和安全控制存在辩证的关系,发展是多因素的(也包含安全因素),因而是综合的和全面的;为了发展,必须保证安全。这种相互依存又相互制约的关系,既体现在法律上,也体现在有关部门的分工上。在法律上,我国正在建立以安全、环保为主题的《放射性污染防治法》的法规系列,也将要建立以发展为主题的《原子能法》的法规系列;在部门之间的关系上,上至国家机关有行业主管机构与安全监管机构之分,下至企业内部有运营机构与监管机构之别。处理好发展促进和安全控制的关系,对放射性废物管理的重要意义是不言而喻的。

本书反映了国家正在通过实施《放射性污染防治法》来解决放射性废物的统一安全监管问题,包括几个安全控制相关机构的协同问题。在放射性废物管理的发展方面,国家也要通过《原子能法》的制定和实施,逐步形成以核行业主管机构牵头的统一的发展促进机构,负责制订国家的放射性废物管理发展规划和计划;合理利用资源,加强发展能力建设,促进环保产业市场的发育;强化安全责任制度与安全文化建设,确保放射性废物管理的安全;军民兼顾,服务全国。同时,国家还要建立适当的机制与程序来实现发展促进和安全控制两大部门之间的沟通与协调。做到了以上三点,才算真正理顺了放射性废物的管理体制和运行机制,才能使全国所有放射性废物问题都有人管,而且都能管好。以上是从国家的角度来说的。对一个从事放射性废物管理的专业研发机构或安全监管机构来说,如果忘记了《放射性污染防治法》规定的保证安全以促进核能和核技术利用发展的大目标和全局,一味追求本单位眼前的经济利益,那就会在工作中迷失方向。由于本书的重点是研究防护与安全的,因此对发展促进问题未进行深入的讨论。但可持续发展观始终是本书所有研究工作的出发点之一。

(5) 废物管理的防护目标与技术安全要求

这是放射性废物安全最核心的内容之一,也是放射性废物安全标准和规范最核心的内容之一。在审管体系中,按照预防为主方针,废物管理设施和退役与环境整治活动的防护目标与技术安全要求是直接应用于研发项目、工程设计和安全评审的,因此它必须尽量具体化、定量化和条理化。对防护目标与技术安全要求的学习、研究和掌握,是废物管理相关科技人员的基本功。国内在中低放废物的预处理、处理、整备、贮存、运输和处置,气载与液体流出物的排放等方面,已经对防护目标与技术安全要求积累了相当丰富的经验;而在控制废物产生,高放废物与 α 废物的整备、运输、中间贮存和最终处置,废密封放射源处置,污染金属回收利用,放射性废物解控,核与辐射设施的设计与运行中考虑方便退役,退役与环境整治,核技术利用产生的废物管理,伴生放射性矿开发利用产生的废物管理等方面,对于防护目标与技术安全要求的研究则还存在许多薄弱环节。

在废物管理和退役与环境整治的防护目标方面,本书总结了工作中如何选择和应用“实

践”与“干预”原则的一般思路,这就是根据工作项目的情况和性质,确定可能遭遇的辐射照射类型;根据辐射照射的类型,选择适用的防护与安全原则;根据所选的原则,找准适用的防护与安全标准。这一方法可以大大减少防护与安全工作中的失误。例如,对不同的污染情况,当分别归属于职业照射、公众照射、潜在照射、应急照射或持续照射时,所采用的防护与安全原则是不同的;对不同的持续照射情况,当分别应用实践或干预原则时,所采用的防护目标标准是不同的。本书还汇聚了国内在核与辐射设施的退役与环境整治工作中的某些经验教训,提出了分别建立普适性的安全防护标准和针对性的安全防护标准的重要建议,并对其中一些经验教训做了分析和总结,如污染土壤清除控制值的导出,表面去污安全目标的分类,极低放废物活度浓度上限值的导出,豁免和解控标准的选择与应用等,丰富了防护目标的内容。

从本书的一些文章可以看出,为了打下放射性废物安全的扎实功底,有必要重点对国际放射防护委员会的相关出版物进行学习、消化和吸收,吃透其精神方能灵活应用。例如,根据对《用于长寿命固体放射性废物处置的辐射防护建议》等出版物的学习写成的、讨论高放废物地质处置防护目标和安全评价方法学的研究报告,以及根据对《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》等出版物的学习写成的、讨论退役与环境整治的环境安全准则的研究报告,都花费了长时间的学习、消化和吸收,并结合我们自己的实践经验和体会,才真正有所收获。特别是后一个出版物比较难懂,在国内误解甚多,消化以后才发现该文件具有一种内在的逻辑美,真正体现了“对具体事物进行具体分析”的辩证方法,对于正确掌握退役与环境整治的防护目标具有较高的实用价值。

废物管理和退役与环境整治的技术安全是与从事废物管理工作人员关系更为直接的方面。确定技术安全要求是实现防护目标的技术保证。中低放废物处置的技术安全要求是本书一项比较重要的研究内容。本书总结了中低放废物近地表处置的多重屏障技术安全准则,并应用于处置场选址、工程设计和运营管理中(详见陈式、马明燮等著《中低水平放射性废物的安全处置》一书)。高放废物地质处置的技术安全研究面临重大的发展机遇,本书区分了对处置系统总体的安全评价和对处置系统各组成部分的技术性能评价两个概念,并对高放废物地质处置技术性能评价的作用进行了较详细的分析,技术性能评价其实就是对能否满足技术安全要求的评价,而安全评价则是对能否满足防护目标的评价。在其它废物管理设施的技术安全方面,本书通过对可燃废物焚烧装置安全的实例分析,讨论了纵深防御原则在废物管理设施的安全性和可靠性研究中的具体应用。在国内的退役与环境整治工作中,也已经积累了不少技术安全方面的经验,盼望有关人员尽早进行总结。但是限于目前国内拆卸解体技术的发展水平,在强辐射场和高浓度气溶胶发生条件下如何保证职业工作人员的安全还有大量工作要做。总之,退役与环境整治的技术安全方面是今后研发的重点之一。

(6) 废物管理的防护与安全最优化和技术经济学意义上的优化

第(3)节曾指出放射性废物管理原则从更广泛的角度引进了非安全因素。研究表明,这个角度就是放射性废物的优化管理。本书所阐述的优化涵盖了防护与安全最优化和技术经济学意义上的优化两种概念在内。在辐射防护领域早就产生了在技术经济学意义的优化基础之上实施防护与安全最优化的思想。技术经济学意义的优化是在保证实现既定的安全防护水平的前提下,着重考虑技术同经济的关系,目标是使费用为最少。防护与安全最优化是在追求更高层次的安全防护目标的要求下,着重考虑技术、经济与社会因素同安全防护水平的关系,目标

是使剂量或危险水平尽量低。显然,防护与安全最优化体现了一种比较讲现实的安全观,而技术经济学意义上的优化则体现了可持续发展观对非安全因素的直接关照。两者的结合可获得安全考虑与非安全考虑之间更合理的平衡。总的要求就是形成综合的优化概念,灵活地运用两种优化技术。

放射性废物的优化管理和放射性废物最少化是本书一项比较重要的研究内容。本书的优化研究起因于对大亚湾核电站废物管理经验的学习和对田湾核电站早期三废系统国外设计的批评。这些研究产生了一些富于启发性的结果,并推广到退役与环境整治研究中去。本书将放射性废物产生与管理各步骤之间的相互依赖原则发展为放射性废物优化管理原则,并用废物的系统化管理、以处置和排放为核心、追求废物管理整体优化和全过程优化的递进式表述方式将此项原则写入国家标准《放射性废物管理规定》中。这些研究的一个副产品是加深了对放射性废物最少化原则的理解,表明废物最少化是优化思想在废物管理中的应用和发展,它对核企业有天然的吸引力。大亚湾核电站的废物管理就是以废物最少化为目标进行目标管理,并在废物最少化取得显著成绩后,产生了进一步实施废物优化管理的推动力。这里需要说明,废物最少化不可能完全替代废物的优化管理。

(7) 废物管理的末端控制与全过程控制

废物管理的末端控制与全过程控制是同防护与安全各自的侧重点存在某种对应关系的两个概念。在现场防护体系中,它们直接应用于废物管理系统的安全运行,因而也是放射性废物安全最核心的内容之一。废物管理的末端控制是本书一项比较重要的研究内容,它涉及对废物处置、流出物排放、废物解控、污染物料回收利用、退役与环境整治后场址与环境的重新开放或使用等最终可能导致放射性物质进入环境和社会的末端作业的控制。本书对末端控制的研究起始于对中低放废物处置的地位和作用的研究,并达到一定的理论深度,总结为释放源项控制论、管理工具论和桥梁论。本书对全过程控制的研究,则发端于对国外经验和大亚湾核电站废物管理经验的学习。大亚湾核电站改变了核企业过去对放射性废物分散管理的格局,建立了统一的三废管理协调组织和前后端作业相互衔接的管理制度,充分发挥了团队精神,实现了在核企业内部对放射性废物运营管理系统的全过程控制。在末端控制与全过程控制中所采取的各项有效措施,既是实现防护目标的管理保证,也是废物管理相关科技人员的基本功。

(8) 废物管理的外部安全监管与内部安全监管

在末端控制与全过程控制研究的基础上,本书进一步研究了国家对放射性废物的安全监管制度。研究表明,根据国外放射性废物安全监管的经验和发展动向,应当区分外部安全监管和内部安全监管,才能更好地定位和协调企业与政府各部门的工作。在一般情况下,政府的安全监管部门负责废物管理的外部安全监管,企业自身负责废物管理的内部安全监管。在以国家投资为主的某些行业,情况稍有不同,例如按照目前我国的管理体制,国家环保总局(国家核安全局)是国家核安全主管部门,应负责核军工废物的外部安全监管;国防科工委(国家原子能机构)是国家核行业主管部门,当然也应负责核军工废物的内部安全监管。外部安全监管侧重于末端控制,因为末端控制具有“一票否决”的性质,而且末端控制有较低的费效比;为了保证末端控制的有效性,外部安全监管也要求对全过程实行跟踪性和追溯性的监督检查。而内部安全监管则侧重于全过程控制,因为它需要更全面地考虑安全、技术、经济、社会、政治和可持续发展等诸多问题,以追求全过程控制的优化。在核军工情况下,外部安全监管侧重于建立普适性的安全法规和标准。而部门内部的安全监管则侧重于建立针对性的安全规章和标

准。全面地、自上而下地建立并完善国家的法律、条例、部门规章与管理导则等法规体系,以及国家标准与行业标准等技术标准体系,是实现防护目标的法制保证。综上所述,废物管理的原则是外部安全监管与内部安全监管相结合,末端控制与全过程控制相结合,普适性的法规标准与针对性的规章标准相结合。

(9) 废物管理的安全监管与安全文化素养

本书的研究表明,放射性废物安全的实施问题,最重要的是依法搞好安全监督管理和大力倡导安全文化素养,即强制性与自觉性相结合。这两个方面都存在很大的能动性,需要克服过去的惰性,需要大量的创新思维,更需要生动活泼的实际经验总结。在安全监管方面,主要问题是实现政府职能转变。在安全文化素养方面,主要问题是在全社会(特别是在运营单位)培育一种新的价值观,形成人人重视安全的风气或习惯。

必须指出,放射性废物安全的实践经验,不仅是辐射防护与辐射源安全科学实际应用所产生的结果,它对于进一步发展辐射防护与辐射源安全科学本身也具有重要的启示意义。在国际上,国际放射防护委员会目前正在制订一个新的建议书以改进 1990 年建议书,其出发点之一就是放射性废物管理实践经验的思考。例如,退役与环境整治的实践经验提出了如何在可承受经费的支持下实现个人防护的问题;放射性废物处置的实践经验更看重个人剂量和危险约束。前任国际放射防护委员会主席 Roger H Clarke 先生认为,新的建议书可能反映从强调社会的价值向个人的公平政策的转变。

本书的出版,恰逢辐射防护与辐射源安全科学发展的一个阶段行将结束和新阶段即将来临之际,因此本书对于国内放射性废物安全的发展可能具有承上启下的作用。作为阶段性研究成果,本书以文集形式出版。本文集分编为废物安全综述、废物处置安全、退役与环境整治安全、相关法制建设研究等四个部分,每个部分所收录的文章均按发表时间顺序排列,收录时只做了少量的修改,以保留思想发展的轨迹和展示研究逐步深入的过程。写作的时间跨度从 1985 年至 2005 年。主要作者是陈式,参与写作的其他同志还有(按文章排列的顺序排名):杨立基、李学群、阎克智、王志雄、汪佳明、郭明强、张清轩、郭择德、范智文、毋涛、马明燮、王旭东、孙庆红等,已在各篇文章后面一一注明。由于广泛地吸收了现场获得的经验教训,以及在安全评审、安全检查、安全培训、安全法规标准制订和各种学术讨论活动中许多同志发表的意见,因此本文集实际上是集体经验的结晶;李德平、潘自强两位院士通过他们的著作、讲话和对文集中某些文章的修改,对作者进行了深入的指导。对于本书的出版,程理给予了很大支持,朱久法和张彩虹提供了许多帮助,在此一并感谢。本着文责自负的精神,我们欢迎读者对本文集的缺点和错误提出批评。无论在理论上还是在实践经验上,放射性废物安全都在继续向前发展。随着时间的推移,某些观点的陈旧化或边缘化是不可避免的,这只会进一步激励人们对放射性废物安全的执著追求。

编者

2005 年 11 月 2 日

目 录

第一部分 废物安全综述	1
我国放射性废物治理的历史回顾和展望	3
放射性废物管理与辐射防护新进展	10
辐射防护新概念对放射性废物管理的启发意义	15
我国放射性废物管理标准研制概述	21
放射性废物管理基础知识	29
我国放射性废物的优化和最少化管理未来十年展望	42
放射性废物安全纵横谈(一)	52
放射性废物安全纵横谈(二)	59
放射性废物安全纵横谈(三)	68
放射性废物管理和核设施退役中几个问题的讨论	73
第二部分 废物处置安全	79
中低放固体废物管理和处置政策探讨	81
关于中低放废物处置安全性研究的若干问题	84
核电厂中低放固体废物的厂外运输与处置问题	91
中低放废物的安全处置与评价	96
核电厂中低放废物处置的全面技术准备	105
环境放射化学研究中几个问题的讨论	109
放射性废物管理的现代理论与中低放废物处置	113
中低放废物处置的技术发展和技术安全准则	119
放射性废物如何处置	130
对高放废物地质处置安全评价研究的讨论	132
第三部分 退役与环境整治安全	141
对铀矿冶设施退役工程辐射防护标准问题的讨论	143
持续照射的防护原则及其在核设施退役中的应用	147

关于核设施退役与废物管理的环境标准问题.....	152
退役与环境整治标准问题的某些经验教训.....	155
对改进退役标准研制和使用的讨论.....	161
对核设施退役环境安全问题的讨论.....	164
第四部分 相关法制建设研究	169
放射性废物宏观管理问题的思考.....	171
我国放射性废物管理方针政策研究述评.....	177
我国放射性废物管理的环境政策研究要点.....	182
放射性污染防治法的覆盖范围与政府监管的理念.....	189
建立有针对性的退役与废物治理安全规章和标准系列.....	191
对放射性废物安全管理法规标准框架体系的初步设想.....	194

第一部分

废物安全综述

我国放射性废物治理的历史回顾和展望

放射性废物是核能利用不可避免的伴生物。它是在核工业、核动力、核爆炸和核技术应用中产生的液态、气态和固体废物,通常含有裂变产物、活化产物、铀镭系和钍铀系天然放射性核素或超铀元素等多种放射性物质。

在核安全和辐射防护领域内,放射性废物的治理占有重要的地位。因为在核能利用中所产生和所利用的所有天然和人工放射性物质,除了衰变掉的以外,最终都将以放射性废物的形式存在。它们不仅直接威胁职业工作人员的安全,而且是构成生态环境的放射性污染的主要污染源,对广大居民及其子孙后代的健康产生有害的影响。因此放射性废物治理是发展我国核能事业的先决条件之一,是从根本上保护国土环境和保障人民健康的防护措施,它历来受到我们党和政府的重视。二十多年来,我国在放射性废物治理的方针政策、管理体制、法规标准、发展规划以及有关教育、科研、设计和治理设施的建设等各个方面的工作都有了很大的发展,为核能事业做出了应有的贡献,但仍存在相当多的问题。现在正当我国的核能事业发展到一个新阶段的时候,回顾和总结历史的经验教训,正是为了使今后的放射性废物治理工作在技术和管理两个方面更上一层楼以适应新时期的需要。

1 我国核能事业初创时期的放射性废物治理工作

由于社会主义的新中国对职工安全和人民健康的关怀,也由于吸取了西方国家和前苏联早期忽视辐射防护带来恶果的教训,我国在20世纪50年代后期,随着核能事业的创建,同时开始了放射性废物治理工作。截止至60年代初期,是我国放射性废物治理的初创时期。在这一时期中,我们建立了本专业工作的管理体制,培养锻炼了一大批专业人才,为后来的发展奠定了良好的基础。在此发展阶段的早期,我们曾经得到前苏联专家的帮助,这对于我国放射性废物治理专业的创立起了一定的作用。后来我们又不得不克服1960年前苏联专家撤走所造成的困难,在自力更生精神的指引下,把放射性废物治理工作更好地开展了起来。

从事放射性工作需要具备相应的三废处理条件,放射性废物的排放不得超过规定的标准。这些治理放射性废物的基本原则,作为我国最早的有关法律规定,被写进了1960年1月经国务院批准由卫生部和国家科委颁发的《放射性工作卫生防护暂行规定》中,以及同时颁发的《放射性同位素工作的卫生防护细则》中。1960年10月又经国务院批准,二机部(即后来的核工业部)和卫生部联合成立了工业卫生局,负责统一管理辐射安全防护工作,其中包括放射性废物治理工作。

早在1958年,二机部面临着我国核工业正在起步,前苏联援建的中国科学院原子能研究所第一期工程(包括实验性重水反应堆、质子回旋加速器和核物理与放射化学实验大楼)即将竣工的形势,适时地做出了“生产未动,防护先行”的决策,并于1958年至1959年间,分别在原子能研究所和设计院建立了全国第一批放射性废物治理专业研究小组和设计小组。1959年

原子能研究所还成立了“防护线”，成为二机部第七研究所(辐射防护研究所的前身)。

原子能所的放射性废物治理科研工作，在所长钱三强亲自组织下发展迅速，先后开展了超细纤维过滤材料、防护衣具、表面去污、黄土和蒙脱土处理低水平放射性废液等项研究工作。1958年至1964年过氯乙烯合成纤维过滤材料的研制成功，是在放射性废物治理领域内完全依靠自己的力量通过全国大协作所取得的第一个重大科研成果。它使我国在前苏联拒绝提供技术资料 and 停止供应超细纤维过滤材料的情况下仍然能够满足气溶胶净化设备和个人防护口罩的急需。参加该项工作的主要单位有原子能研究所、北京化工研究院，北京合成纤维研究所、长春应用化学研究所、北京合成纤维试验厂等；在建立油雾仪检测系统时曾得到防化兵研究所的支持。该项工作还受到科学院党组书记张劲夫和国家科委的关注。总之，合成纤维滤材的研制是“大力协同”的早期范例之一。1958年黄土去污也曾引起中央领导同志注意；1959—1960年建成了处理低放废液的化学凝聚-蒙脱土吸着两段流程中间试验装置，并研制成了有一定特色的蒙脱土水泥成型粒状无机离子交换剂。

在原子能所第二期建所工程中，由于设计、施工和运行单位的共同努力，先后建成了具有多级过滤的通风净化系统，中低水平放射性废液贮存和处理系统(包括有名的凝聚-蒸发-离子交换三段流程)，固体废物贮存系统等，为以后全国放射性废物治理设施的设计、建造和运转积累了宝贵的经验，并在不断的改进中发展成为放射性废物治理示范场所。

在核工业生产第一线，从铀矿勘探采掘到核燃料制造和使用，随着各厂矿主工艺生产线的加紧建设，同时设计和兴建了各种配套的废物治理设施。在此期间建成的重要治理设施有铀矿山的废石场，水冶厂的尾矿库，还有一些工厂的废物储存库、废水处理车间、零部件清洗车间、天然蒸发池、可燃废物焚烧炉、尾气净化塔、高烟囱和其他通风过滤设施等等，它们基本上是和生产设施同时设计同时施工同时投产的。这些设施对于减少废物排放和控制环境污染起了重要作用。厂矿放射性废物治理工作进展比较顺利是设计、科研和厂矿企业密切合作的结果。1962年二机部第七研究所正式成立时，建所方针即是面向现场、帮助厂矿解决实际辐射防护问题，包括废物治理问题在内。

在铀矿地质和铀矿开采的早期工作中，主要由于经验不足和管理不善，曾经发生“干打眼”操作。带来了惨痛的教训。1962年发现第一批铀矿矽肺病人后，刘杰部长亲自到现场督促检查防尘降氡工作，普遍推广了机械通风、喷雾洒水、隔离密闭等技术措施，并加强了监督管理。为了消除死角，工业卫生局和七所于1964年举办了防尘降氡训练班，1966年又组织了防尘降氡队，深入矿区进行工作。经过几年的努力，防尘降氡工作取得了很大的成绩，以原来矽肺发病率最高的三〇九队十分队和七一—矿为例，自1964年以后下井从事矽尘作业的工人中，20年来没有发现新的矽肺病人。

最早一批从事放射性废物治理的科研、设计、管理和第一线工作人员，几乎全部都是从其他各种专业改行来的。为了适应放射性废物治理工作的需要，清华大学于1960年开办了放射性废水处理专业，1963年开始输送六年制本科大学毕业生和培养三年制研究生。核能教育事业中的其他邻近专业如清华大学、天津大学和中国科技大学等的放射化工专业，北京大学和复旦大学等的放射化学专业，也都为放射性废物治理输送了人才。

各高等院校和所属研究机构对放射性废物治理科研工作也给予了很大的注意。20世纪60年代初期，清华大学开展了混凝沉淀法处理核爆炸产生的大面积污染水的研究，以及蒸发和离子交换法处理低放废液的研究，并在清华大学核能技术研究所建成了低放废液处理车间

和废气净化中心。北京师范大学开展了白土和蛭石等黏土矿物处理放射性废液的研究。哈尔滨建筑工程学院则研究了高岭土和锰矿石对低放废液的净化。还有北京大学、四川大学、安徽医学院、兰州大学、武汉大学,以及中国科学院微生物研究所,水生生物研究所和生物物理研究所,建筑科学研究院市政工程研究所等也进行了放射性废液净化的研究。通过这些研究和实践,对我国放射性废物治理技术的发展做出了重要贡献,也培养了一批既懂科研又懂教育的放射性废物治理专业人才。

2 建立比较完整的核工业体系时期的放射性废物治理工作

1964年10月16日我国第一颗原子弹爆炸,标志着我国核能事业发展到了一个新的历史阶段。在这一阶段中,不仅完成了铀矿地质、采矿、选矿、水冶、精制、加浓、元件制造、反应堆和乏燃料后处理等一整套核燃料循环体系的建设,而且三线建设也取得了巨大成绩。与此同时,放射性废物治理工作相应地得到了全面的发展,技术水平也有了显著的提高。但是由于十年“文化大革命”的严重干扰,许多项目被迫推迟,或者进展受到阻碍。即使在“文革”期间,由于周总理的直接关怀,整个废物治理工作仍在不间断地进行。从1975年开始,特别是在十一届三中全会以后,形势逐渐发生了根本的变化,放射性废物治理的发展速度大大加快了。

法规和标准体系的建立和不断完善对放射性废物治理工作有重大意义。1974年颁发的国家标准《放射防护规定》(GBJ8-74),丰富了1960年《放射性工作卫生防护暂行规定》的内容,它开辟了一章专门对放射性三废的治理和排放做出规定。1970年卫生部、公安部、国家科委颁发了《放射性同位素工作卫生防护管理办法》,对1964年的管理办法做了修订。1973年第一次全国环境保护会议对放射性废物治理工作起了重要的促进作用。尤其是全国人民代表大会常务委员会1979年通过的《中华人民共和国环境保护法(试行)》,1982年通过的《中华人民共和国海洋环境保护法》和1984年通过的《中华人民共和国水污染防治法》都对放射性污染的防治做了规定,标志着放射性废物治理和环境保护正在日益紧密地结合起来。与此相应的,我国还制定了一系列环境质量和排放标准。

在环境保护法中,明确规定了“防止污染和其他公害的设施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产”,既总结了我国三废治理的历史经验教训,也对今后的工作提出了更严格的要求。

1979年至1982年,核工业部也制定了一系列有关厂矿企业的放射防护规定和设计规范的部颁标准,在总结运行管理经验和科研设计成果的基础上对放射性废物的治理和排放做出了详细规定。这些规定对不同类型厂矿的实际工作具有一定的指导作用。

在核工业成龙配套时期,又有一批新的放射性废物治理设施投入使用,如高放和中放废液贮存罐、高放和中放废物贮存库等。原有设施也在不断地革新技术和装备。我国放射性废物治理技术的进步,基本上是靠国内自己的力量通过技术攻关取得的,而这又是与重视发展规划和加强协作的组织工作分不开的。核工业部生产局、科技局和安防局做了许多组织和协调工作。核工业部科学技术委员会于1983年成立了放射性废物处理处置专业组,开始发挥重要的学术咨询和组织作用。近20年来,核工业部组织了有科研、设计、高校和企业参加的几十次大小范围不等的废物治理技术攻关,取得了一批有重要价值的成果,其中相当数量的成果已获得实际应用。

放射性废物治理要同企业的工艺改革、技术改造、综合利用结合起来,努力在生产过程中