

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

放射性物品 安全运输概论

刘新华 主编



科学出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

放射性物品安全运输概论

刘新华 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是我国第一本全面系统介绍放射性物品安全运输相关知识的专业书籍。全书共分 11 章和 4 个附录，第一章为放射性物品运输基础知识，第二、三章介绍国际和国内放射性物品运输管理规则，其他章节为实用的放射性物品运输专业知识，附录为相关法规、基本限值和名词术语等。

本书内容从基础理论到通用实例，丰富翔实，图文并茂，条理清晰，理论结合实际，可供放射性物品运输行业的从业人员、研究人员和监管人员等参考使用，也可作为放射性物品运输行业从业人员的专业培训教材和大专院校相关专业的参考教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

放射性物品安全运输概论 / 刘新华主编. —北京: 科学出版社, 2015.6

(环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书)

ISBN 978-7-03-044537-7

I. 放… II. 刘… III. 放射性物质-危险货物运输-安全运输 IV. TL93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 121941 号

责任编辑: 沈红芬 / 责任校对: 胡小洁

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 无极书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 6 月第一次印刷 印张: 18 1/2

字数: 400 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

丛书编委会

顾 问 吴晓青

组 长 熊跃辉

副组长 刘志全

成 员 禹 军 陈 胜 刘海波

本书编写人员

主 编 刘新华

副主编 邵明昶

编 委 (按姓氏笔画排序)

马 力	马成辉	马静娴	王 庆
王学新	刘新华	汤荣耀	李国强
张 敏	张永新	张红见	张建岗
邵明昶	周启甫	赵永康	曹芳芳
潘玉婷			

编写人员 (按姓氏笔画排序)

马 力	马文娟	马成辉	马静娴
王 庆	王 悦	王任泽	王学新
方贤波	冯宗洋	庄大杰	刘 畅
刘天舒	刘新华	汤荣耀	孙洪超
吴 浩	李国强	杨亚鹏	杨海峰
初起宝	张 亮	张 敏	张永新
张红见	张建岗	邵明昶	周 舟
周启甫	赵永康	赵善桂	洪 哲
徐潇潇	曹芳芳	詹乐昌	潘玉婷

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

序 言

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略；2012年，环境保护部召开第二次全国环保科技大会，出台了《关于加快完善环保科技标准体系的意见》，全面实施科技兴环保战略，建设满足环境优化经济发展需要、符合我国基本国情和世界环保事业发展趋势的环境科技创新体系、环保标准体系、环境技术管理体系、环保产业培育体系和科技支撑保障体系。几年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项实施顺利，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；现行国家标准达1300余项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制修订工作，确立了技术指导、评估和示范为主要内容的管理框架。

环境科技为全面完成环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”以来，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 439 项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域，共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与，逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案，形成一批环境监测预警和监督管理技术体系，研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术，提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议，为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”以来环保公益性行业科研专项经费项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版环保公益性行业科研专项经费系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，可以说是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

吴晓青

2011 年 10 月

前 言

放射性物品运输活动与核能开发和核技术的广泛应用相伴随，是核能开发和核技术应用中普遍存在且必不可少的一个重要环节。随着我国能源政策的调整，核能已经进入快速发展时期，六氟化铀、新燃料和乏燃料等放射性物品运输活动越加频繁。随着我国经济的快速发展，核技术在工业、农业、医学、科研、教育及军事等领域的应用日益广泛，密封放射源等放射性物品运输活动正在急剧增加。放射性物品运输路程常常较长，且经常是国际间的活动，运输的地域范围跨度非常大。放射性物品运输作为一项移动的核与辐射实践活动，相对于核设施等固定辐射源，其辐射风险的预防和控制措施具有特殊性。

鉴于国际间运输活动的普遍性，世界各国都遵从联合国等国际组织的运输规定。联合国《关于危险货物运输的建议书——规章范本》将放射性物品列为第七类危险物品，并给出了放射性物品的定义和特性：“放射性物质的危险性在于辐射污染，最终使人受到辐射伤害。放射性物质是自发和连续地放射出某种类型辐射（电离辐射）的物质，这种辐射对健康有害，但却不能被人体的任何器官（视觉、听觉、嗅觉、触觉）觉察到。”规章范本要求首先考虑其放射性特性（即辐射特性），即使其他危险特性更突出。当然，放射性物品运输应首先遵守危险物品运输的基本安全要求。

放射性物品安全运输的重要性得到世界各国和国际原子能机构（IAEA）的关注和重视。IAEA 作为联合国核安全和辐射安全专职机构，将广义的核安全分为核安全、辐射安全、运输安全和废物安全四大领域，并对应设立了核安全标准委员会、辐射安全标准委员会、运输安全标准委员会和废物安全标准委员会，组织相关安全标准的制定和审查，为世界各国核与辐射安全提出管理依据和安全保障建议。IAEA 将放射性物品运输安全作为一个专门的安全领域，足以证明放射性物品运输安全对整个核能开发和核技术利用领域的重要性。

IAEA 从 20 世纪 50 年代开始放射性物品安全运输的研究，并逐步制定了一系列放射性物品运输安全标准。放射性物品运输安全标准制定的宗旨是：把与放射性物质运输有关的人员、财产和环境受到的辐射危害、临界危害和热危害控制在可接受水平。

1961 年, IAEA 制定并首次出版了安全丛书第 6 号《放射性物质安全运输条例》, 适用于国家和国际间以一切运输方式运输放射性物品, 推荐有关国际运输组织和成员国使用。IAEA《放射性物质安全运输条例》是国际上最重要、最权威的放射性物品运输安全标准。到 1969 年, 该条例已被几乎所有与运输有关的国际组织所采用, 并被 IAEA 的许多成员国采用。IAEA 还陆续制定了系列配套安全导则和详细的行动计划, 督促各成员国尽快制定行政法规, 推动 IAEA《放射性物质安全运输条例》在成员国国内的实施。

我国放射性物品运输安全管理经历了漫长的过程, 形成了较完善的放射性物品安全运输监管体系。

我国放射性物品的运输始于 20 世纪 50 年代末期。在 20 世纪 60~80 年代, 放射性物品(主要是核燃料循环中的产品)运输几乎都按军品运输。基于当时的国家体制, 没有设立独立的政府监管机构。1989 年, 我国将 IAEA《放射性物质安全运输条例》等同转化为国家标准《放射性物质安全运输规定》(GB 11806-89)。GB 11806 是我国放射性物品运输史上的第一部安全标准, 是规范我国放射性物品运输的技术依据, 也对我国开展放射性物品安全运输的实践和理论研究起到指导作用。我国现行的《放射性物质安全运输规程》(GB 11806-2004) 为 2004 年修订版, 等同采用了 IAEA《放射性物质安全运输条例》2003 年修改版。

2009 年 9 月 7 日, 国务院第 80 次常务会议审议通过了《放射性物品运输安全管理条例》, 并于 2010 年 1 月 1 日实施。我国《放射性物品运输安全管理条例》的发布, 是我国放射性物品运输行业的一个重要里程碑, 是快速发展我国核能和核技术应用的需要, 是完善放射性物品运输安全管理制度的需要, 是加强放射性物品运输安全监管的需要, 开启了我国放射性物品运输安全管理的新篇章。我国《放射性物品运输安全管理条例》发布后, 作为国务院核与辐射安全监管部门, 环境保护部(国家核安全局)制定发布了一系列配套法规文件, 形成了比较完善的放射性物品运输安全监管体系。

放射性物品安全运输的核心理念是采取可行的方式将放射性物品安全地从启运地运送至目的地。放射性物品运输安全可以采用不同的方式来实现。正确理解放射性物品安全运输的基本理念必须完全理解一个包装组合: 放射性内容物+包装容器=货包, 以及运输安全控制的三个层次: 固有安全性、被动安全性和主动安全性。

固有安全性是指放射性物品(包装组合中的放射性内容物)自身的固有安

全特性，即在放射性物品的物理和化学形态设计时考虑运输环节的各种可能情景，并将能抵制各种危险的能力设计成放射性物品的固有属性，如特殊形式放射性物质、低弥散放射性物质等。如果放射性物品有良好的固有安全性，将减少因人为因素和人为犯错误的倾向而导致放射性物品运输事故的发生，并且能保证即使所有的外部控制和约束手段失效，放射性物品也不会对工作人员、公众和环境造成不可控制的不利影响。为保证放射性物品安全运输，必须从放射性物品形态设计上充分保障放射性物品的固有安全性。依赖放射性物品的固有安全性是保证放射性物品运输安全的第一道防线。

被动安全性是指依赖于使用包装容器(运输容器)获得的安全性。在放射性物品运输领域，最认可的被动安全性是包装容器。根据放射性物品特性，考虑预计运输过程可能的情景，设计针对性的包装容器。包装容器必须具有一定的结构强度(包容放射性物品)、辐射屏蔽能力(控制外表面辐射剂量水平)、防止核临界事故措施(防止核临界事故发生)、散热能力(控制货包外表面温度在人可接触范围)，使得装有放射性物品的货包能承受各种可能的事故情景，保证放射性物品不发生泄漏或泄漏率的大小在可接受范围内，不对工作人员、公众和环境造成不利影响。包装容器的使用，在运输过程中可不必要专门针对放射性物品进行单独操作和处理，只需对装有放射性物品的包装容器进行操作，从而减少运输工作人员的辐射剂量。为保证放射性物品安全运输，原则上使用越坚固的包装容器越能保证运输安全。但在很多情况下，相对于放射性物品的价值，包装容器的成本是极其高昂的，需要根据放射性物品危害程度不同，对包装容器进行分级。放射性物品的潜在危害越大，包装容器应越坚固。依赖包装容器的被动安全性是保证放射性物品运输安全的第二道防线。

主动安全性是指依赖于实施装运活动管理获得的安全性。在放射性物品的固有安全性和被动安全性都合理可行的基础上，通过实施装运活动管理进一步保证运输安全。装运活动管理除了包括通用的运输活动管理外，还包括辐射监测、安保措施、应急准备和质量保证等。国内外放射性物品运输法规标准中均给出了明确的装运管理要求。依赖于装运活动管理的主动安全性是保证放射性物品运输安全的第三道防线。

为确保运输安全及保护人员、财产和环境免受运输过程中产生的辐射影响，放射性物品运输必须满足下列基本安全要求：

包容放射性物品——采取适合的包装容器，包容待运输的放射性内容物，

避免放射性物品扩散到环境中;

控制外表面辐射水平——限制装有放射性物品的货包和运输工具的表面辐射水平和污染水平,防止对工作人员、公众及环境造成辐射危害;

防止核临界发生——设计、制造和选择合适的运输容器,防止易裂变材料在运输过程中发生核临界事故;

防止热损害——防止放射性内容物的衰变热对货包和人员造成危害。

应在考虑放射性物品固有安全性的同时,积极使用被动安全性和主动安全性,以满足上述基本安全要求,确保放射性物品的运输安全。应制定放射性内容物(即放射性物品)放射性活度的基本限值,包括:①豁免水平,区分是否属于放射性物品的界限;②货包内容物限值,例如,区分A型和B型货包的 A_1 和 A_2 限值,其中 A_1 限值用于特殊形式放射性物品(具有较高的固有安全性); A_2 限值用于非特殊形式放射性物品(具有较低的固有安全性)。应根据放射性内容物的危害程度,制定货包设计的性能标准。应制定货包的设计、制造、使用和维护要求。应制定装运活动管理要求。

本书第一章简要介绍放射性物品运输基础知识,包括放射性物品基本知识、放射性物品运输主要特点、放射性物品运输方式简介、放射性物品运输基本要求和放射性物品运输基本限值等,目的是使读者了解放射性物品运输的基本常识。

本书第二章和第三章分别介绍国际和国内放射性物品运输基本管理要求,包括国际危险货物运输规则、IAEA放射性物品运输管理规章、ISO放射性物品运输标准、美国和其他国家运输管理规则概述、我国危险物品运输法规标准、我国放射性物品安全运输条例、环境保护部和交通运输部有关放射性物品部门规章及放射性物品运输中最重要的标准——《放射性物质安全运输规程》(GB 11806-2004),旨在使读者对国内外放射性物品的安全管理体系和主要要求有系统的了解,为更好地执行放射性物品安全运输法规标准提供基础。

本书随后以放射性物品安全运输的基本理念和基本要求为主线,在第四、第五和第六章分别详细介绍了放射性物品运输容器的设计、制造和维护及放射性物品装运活动管理等保障运输安全的主要要素。运输容器是放射性物品安全运输的关键设备,运输容器的设计、制造和维护是保证放射性物品安全运输的基础。放射性物品装运活动是一项复杂的系统工程,装运活动管理涉及方案制

定、装载、运输过程及卸载各实施环节作业控制、辐射防护和质量保证等方面。通过这三章的详细介绍，可使读者深刻了解放射性物品安全运输的主要内容。

鉴于放射性物品的辐射危害特性，放射性物品运输辐射影响评价是放射性物品装运实践活动中一项非常重要的工作，是放射性物品运输核与辐射安全分析的主要内容。我国《放射性物品运输安全管理条例》中明确规定，“托运一类放射性物品的，托运人应当编制放射性物品运输核与辐射安全分析报告书”。辐射影响评价包括正常运输辐射影响评价和运输事故辐射风险评价。正常运输辐射影响评价是对放射性物品运输工作人员、沿线公众和环境的辐射影响进行评价，通过评价对可能出现的问题，提出切实可行的改进措施，以保障运输安全，将运输工作人员和公众的辐射剂量控制在可合理达到的尽可能低的水平；放射性物品运输风险评价是对放射性物品装运期间发生的可预测突发性事件或事故（一般不包括人为破坏和自然灾害）引起放射性物品泄漏，以及由泄漏物质产生新的有毒有害物质对人员、环境、财产等造成的影响和损害进行评估，提出防护、应急与减缓措施。本书第七章和第八章分别详细介绍正常运输辐射影响评价和运输事故分析及辐射风险评价。

辐射监测是放射性物品安全运输的重要保证。第九章分别针对运输活动中的启运前监测、运输过程监测、接收监测、个人剂量监测及事故监测，详细介绍了运输监测的目的和要求、监测仪器和方法、监测计划和监测质量保证。

本书第十章详细介绍了放射性物品运输的安保和应急。首先介绍了核安保的概念、核安保与核安全的关系、核安保的基本原则，然后介绍 IAEA 和我国放射性物品运输安保的基本要求，能够使读者在核安保的大背景下了解运输安保的基本要求。鉴于放射性物品运输流动性的特点，运输应急与核与辐射设施的应急有显著的差异，本书详细介绍了放射性物品运输事故的应急特点、应急要求、应急准备与响应。

尽管目前国际和国内均建立了相对完善的放射性物品安全运输的法规体系，并在日益频繁的运输实践中取得了良好的效果，但随着社会经济的不断发展，运输实践变得更加多样化，特别是应吸取福岛事故的教训，因此放射性物品运输的安全管理面临许多新问题和新的挑战，需要不断地进行新技术的开发和应用研究以及安全法规和标准的研究与完善。本书最后（第十一章）主要介绍 IAEA 与国内关于放射性物品安全运输法规标准的发展趋势，以及目前放射性物品运输领域需要进一步研究的主要方面。

为便于读者使用和理解,本书附有我国《放射性物品运输安全管理条例》、《放射性物品运输安全许可管理办法》、基本限值表、名词术语等4个附录。基本限值表和名词术语来自于GB 11806-2004。在名词术语中,增加了活度浓度的定义,修改了比活度的定义。

IAEA 制定的《放射性物质安全运输条例》,自其发布以来,约每3年修订一次,至今已有十多个修订版本,而且IAEA在不同时期采用了不同的编号规则(先后出现过第6号安全丛书、TS-R-1、SSR6等)。我国《放射性物质安全运输规程》(GB 11806)自发布以来先后也有1989版和2004版,且正在修订中。鉴于IAEA制定的《放射性物质安全运输条例》和我国国务院发布的《放射性物品运输安全管理条例》名称相似,容易混淆,在本书中,除需要特别说明引用版本及编号,一般情况下,IAEA制定的《放射性物质安全运输条例》约定为“IAEA-SSR6”,国务院发布的《放射性物品运输安全管理条例》约定为“我国运输条例”,国家标准《放射性物质安全运输规程》(GB 11806)约定为“GB 11806”。

名词“放射性物品”来源于英文“radioactive material”。在我国《放射性物品运输安全管理条例》发布之前,所有涉及放射性物品运输的国内外法规标准都使用“放射性物质”或将“radioactive material”翻译为“放射性物质”。为符合我国运输领域的用语习惯,2009年国务院发布《放射性物品安全运输管理条例》时将“放射性物质”变更为“放射性物品”,其配套的法规文件也使用“放射性物品”。在本书中,凡引用IAEA《放射性物质安全运输条例》和《放射性物质安全运输规程》(GB 11806)等标题或其原文内容时,尊重原文,使用“放射性物质”,其他内容都使用“放射性物品”。附录4“名词术语”中也做了适当的调整。

本书内容体现了环境保护部环保公益科研项目“放射性物品运输安全监管体系研究”(项目编号201209041)的科研成果,并由该项目资助出版,归类于“环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书”。编写组的主要成员是该环保公益项目的研究人员,部分成员来自于国家核与辐射安全监管部门(国家核安全局),他们均为具体从事放射性物品运输监管的专业人员。编写组所有成员均在我国放射性物品运输领域工作多年,具有放射性物品运输的理论基础和实践经验,从而保证了本书具有一定的科学性和实用性。

本书适用于放射性物品运输行业的从业人员、研究人员和监管人员。本书可作为放射性物品运输行业从业人员的专业培训教材，也可作为大专院校相关专业的参考教材。

由于本书涉及面广，加之作者水平有限，书中难免会出现一些问题，真诚希望广大读者提出宝贵意见。

刘新华
2015年3月

目 录

第一章 放射性物品安全运输基本知识	1
1.1 放射性物品	1
1.1.1 放射性物品辐射特性	1
1.1.2 放射性物品运输危害和风险	6
1.2 放射性物品运输特点	8
1.2.1 运输范围	8
1.2.2 运输量	9
1.2.3 运输事故后果	9
1.3 放射性物品运输方式	11
1.3.1 公路运输	11
1.3.2 铁路运输	13
1.3.3 水路运输	14
1.3.4 航空运输	15
1.4 放射性物品运输安全性	16
1.4.1 固有安全性	17
1.4.2 被动安全性	17
1.4.3 主动安全性	18
1.5 放射性物品运输基本限值	18
1.5.1 A_1 和 A_2 值	22
1.5.2 放射性核素豁免水平	24
第二章 国际放射性物品运输管理	26
2.1 国际危险货物运输规则	26
2.2 国际原子能机构规章	27
2.2.1 基本安全原则	28
2.2.2 特定安全要求	29
2.2.3 安全导则	33
2.3 ISO 标准	35
2.4 美国放射性物品运输管理	35
2.4.1 美国核管理委员会	36
2.4.2 美国运输部	38
2.4.3 美国能源部	39
2.4.4 相关标准规范	39
2.5 其他国家放射性物品运输管理	41
2.5.1 俄罗斯放射性物品运输管理概述	41

2.5.2 法国放射性物品运输管理概述	41
2.5.3 加拿大放射性物品运输管理概述	42
第三章 我国放射性物品运输管理	43
3.1 我国危险货物运输法规标准	43
3.1.1 法规	43
3.1.2 标准	45
3.2 我国放射性物品运输法规标准	46
3.2.1 《放射性物品运输安全管理条例》	47
3.2.2 环境保护部门规章	50
3.2.3 交通部门规章	56
3.2.4 《放射性物质安全运输规程》(GB 11806-2004)	56
第四章 放射性物品运输容器设计	58
4.1 设计概述	58
4.1.1 结构设计	58
4.1.2 热工分析	59
4.1.3 包容分析	61
4.1.4 屏蔽设计	63
4.1.5 临界安全	65
4.2 试验验证	70
4.2.1 试验样品	71
4.2.2 9m 自由下落试验	71
4.2.3 1m 击穿试验	72
4.2.4 耐热试验	72
4.2.5 减震器试验	73
第五章 放射性物品运输容器制造和使用	74
5.1 运输容器制造	74
5.1.1 制造的准备	74
5.1.2 关键工艺	74
5.1.3 出厂检验	79
5.2 运输容器使用	81
5.2.1 编码规则	81
5.2.2 运输容器维护	81
5.2.3 定期安全性能评价	87
第六章 放射性物品装运	88
6.1 放射性内容物	88
6.1.1 内容物主要特性	89
6.1.2 运输量	91
6.1.3 放射性内容物实例	91

6.2 运输容器和货包	94
6.2.1 运输容器选择	94
6.2.2 货包类型	97
6.3 运输方式和运输工具	98
6.3.1 各种运输方式管理要求	98
6.3.2 运输方式选择	106
6.3.3 运输工具选择	107
6.3.4 特殊安排和独家使用	107
6.4 货包栓系系统设计	110
6.4.1 货包栓系要求及方法	111
6.4.2 货包栓系计算基本原理	113
6.4.3 货包栓系系统设计实例	119
6.5 运输路线选择	123
6.5.1 运输路线选择原则	124
6.5.2 运输路线比选	125
6.6 装卸操作	126
6.7 辐射防护	126
6.7.1 辐射防护基本原则	127
6.7.2 个人剂量限值和剂量约束值	127
6.7.3 辐射防护措施	128
6.7.4 应急辐射防护	130
6.7.5 个人剂量管理	131
6.8 质量保证	131
6.8.1 质量保证大纲	132
6.8.2 组织机构及其职责	133
6.8.3 质量控制	133
6.8.4 人员培训	135
第七章 正常运输辐射影响评价	136
7.1 剂量评价模式	137
7.1.1 点源剂量估算模式	137
7.1.2 线源剂量估算模式	139
7.1.3 集体剂量估算模式	139
7.1.4 个人剂量估算模式	143
7.2 评价参数选取	144
7.2.1 运输参数	145
7.2.2 装运景象参数	145
7.3 特殊照射情景的考虑	147
7.3.1 运输途中道路拥堵	147