

港口及海岸环境安全

比较风险评估和多目标决策分析在管理中的应用

Environmental Security in Harbors and Coastal Areas:

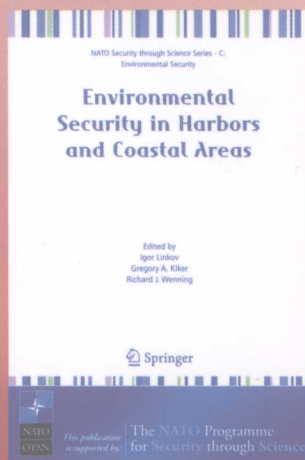
Management Using Comparative Risk Assessment and
Multi-Criteria Decision Analysis

[美] 伊戈尔·林科夫 (Igor Linkov)

[美] 格雷戈里·A·凯克 (Gregory A. Kiker) 主编

[美] 理查德·J·温宁 (Richard J. Wenning)

方景清 邵超峰 鞠美庭 等译



天津市科技支撑计划重点项目——天津绿色港口建设及港区海洋
生态保护规划研究 (07ZCGYSF01900) 资助

港口及海岸环境安全

比较风险评估和多目标决策分析在管理中的应用

Environmental Security in Harbors and Coastal Areas:

Management Using Comparative Risk Assessment and
Multi-Criteria Decision Analysis



化学工业出版社

· 北京 ·

全书共分为5章。第1章介绍了对环境安全及港口环境挑战的基本认识,并总结了利益相关者参与决策的不同方法。第2章详细回顾了港口和沿海地区面临的挑战。第3章回顾了不同的多目标决策分析方法和工具评估天然及人为环境敏感目标的应用情况,包括化学品生产厂、发电厂、运输网络和位于市区及沿海港口的其他重要基础设施。第4章讨论了相同的问题,但侧重于风险评价工具的应用。第5章是案例研究。

本书可供环境科学工作者、生态环境工程师、自然资源的规划和管理人员、政府机构管理人员阅读使用,还可作为我国高等院校环境类、生态类及安全类专业研究生相关课程的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

港口及海岸环境安全/[美]林科夫(Linkov, I.),
[美]凯克(Kiker, G. A.), [美]温宁(Wenning, R. J.)
主编;方景清等译. —北京:化学工业出版社, 2009.9
书名原文: Environmental Security in Harbors and
Coastal Areas
ISBN 978-7-122-06286-4

I. 港… II. ①林…②凯…③温…④方… III. ①港口-
环境保护-研究②海岸带-环境保护-研究 IV. X55

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第117370号

Environmental Security in Harbors and Coastal Areas, 1st edition/by Igor Linkov,
Gregory A. Kiker, Richard J. Wenning
ISBN 978-1-4020-5801-1

Copyright©2007 by Springer, The Netherlands, as a part of Springer Science+Business
Media. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Springer

本书中文简体字版由 Springer, The Netherlands, as a part of Springer Science+Business
Media 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分,违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2008-4443

责任编辑:满悦芝

文字编辑:荣世芳

责任校对:蒋宇

装帧设计:郑小红

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京市彩桥印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张16 1/2 字数435千字 2009年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:68.00元

版权所有 违者必究

译者序

.....

改革开放以来,我国港口建设实现了快速发展,根据《2008年公路水路交通行业发展统计公报》,全国港口数量为413个,拥有生产用码头泊位31050个,港口货物吞吐量持续快速增长,2008年全国港口完成货物吞吐量70.22亿吨,完成集装箱吞吐量 1.28×10^8 TEU。港口吞吐量和集装箱吞吐量均居世界首位。随着港口规模的不断扩大,运输、储存物质的种类与数量不断增加,港口和海岸的环境风险事故的发生概率及其影响也随之加大。

我们之所以选择Igor Linkov、Gregory A. Kiker和Richard J. Wenning编写的这本《港口及海岸环境安全》进行翻译,一是因为该书详细讨论了港口和沿海地区面临的环境安全挑战,提出了运用比较风险评价、多目标决策分析进行管理的思路;二是该书重点讨论了流域尺度沉积物的风险管理,并结合实际案例系统地介绍了风险分析和多目标决策工具的应用。我们认为该书对于从事区域环境风险评价和管理的相关人员能够发挥指导作用,对我国港口/海岸环境安全和生态保护研究能够提供借鉴。

本书由方景清(国家海洋信息中心)、邵超峰(南开大学)和鞠美庭(南开大学)主译并统稿,南开大学的张生光、马春、赵天心、陈书雪、韦茜、胡翠娟、刘沁哲等参与了翻译工作。

本书得以翻译出版要特别感谢化学工业出版社的大力支持。

由于时间及水平所限,翻译可能存在错误、疏漏之处,希望得到专家、学者及广大读者的批评指教。

译者

2009年8月

于天津

序 言

.....

回顾世界历史，一旦地区或区域自然资源的消耗达到一定程度，环境的修复或补偿能力无法满足需求时，大量的城市和国家就会瘫痪或失去其优势地位。Diamond (2005)^① 给出了影响社会瓦解的五个因素：气候变化、敌对的邻居关系、贸易伙伴（即必需品来源的方案选择）、环境问题和对于环境问题的最终响应。Diamond 认为，这些因素以不同的组合形式对社会的变化产生影响，而最重要的因素则是一直以来缺乏对环境问题的认识或没有对此做出正确的反应。

进入 21 世纪，现代文明也来到这样一个十字路口，和早期人类历史一样面临同样的挑战和选择。世界近 75% 的人口居住在距海洋环境 100 公里的范围内。我们对能量和原材料的需求从来没有像现在这样巨大——向陆地、空气、水和海洋索取大量资源，并危及地球上共生的植物和动物群体。历史上，由于人类的需求大大超出了自然供给能力，引发了资源和政治的冲突。而目前人们普遍认为，科学技术可以征服早期那些导致社会瓦解的环境问题，这种过分的信赖或者说错误的信念，也许仅仅能延缓这种不可避免的冲突而已。因此，Diamond (2005) 指出，我们必须关注给古代和现代社会带来挑战的如下环境问题：自然生境破坏（主要指森林采伐）；野生食物减少；生物多样性降低；土壤侵蚀；自然资源枯竭；淡水污染；光合作用受到抑制；毒素和外来物种的环境入侵；人为引发的气候变化以及人口膨胀。

目前，由于人类对于清洁空气、土地、水的需求和全球经济快速增长的发展要求之间存在脆弱的平衡，迫切需要决策工具来支持环境管理，尤其是在沿海地区。而处理环境威胁并确定减轻威胁的对策，就需要了解基本的风险评价范例和风险分析工具，用以评价、解释和表达风险。此外，由于世界上不同国家和地区存在独特的政治和生态问题，也需要对风险实例本身进行修正，这些定量和定性的信息组成复合矩阵。

在过去五年里，本书作者和同事们举办了一系列会议，对环境安全和管理方面的课题进行探讨。每个研讨会都设法论证风险评价和决策分析作为决策手段的效力，并建议决策者们应当运用这一方法来处理更大范围内的复杂环境问题。专家们认为，风险分析为表达和解决复杂问题提供了相对客观、公正和理性的方法，它采用严谨的定量手段，与在情景分析和案例研究基础上制定环境建议的方法形成了鲜明对比。

系列会议中第一个研讨会的议题为“环境风险评价和管理：费用-效益方法及其应用”^②（葡萄牙里斯本，2000 年 10 月），确认风险评价能够作为一个平台，为针对各种环境问题制定合理、高效的管理政策、策略和解决方案提供科学的基础。第二个研讨会的议题为“比较风险评估和环境管理”^③（意大利 Anzio，2002 年 5 月），探讨比较风险评估（CRA）的发展和應用以及环境管理中其他的风险决策分析手段。当各种社会、政治和经济活动共同竞争有限的环境资源时，运用 CRA 就能推动决策的制定。第三个研讨会议题为“地中海地区环境安全和应急预案中风险评价的作用”^④（以色列埃拉特，2004 年 4 月），集中处理中东的环境

① Diamond, J., 《崩溃：社会如何选择成功或者失败》，维京图书，纽约，2005。

② Linkov, I., Palma Oliveira, J. M 等，《环境风险的评价与管理》，Kluwer，阿姆斯特丹，2001。

③ Linkov, I., Ramadan, A. B 等，《比较风险评估和环境决策》，Kluwer，阿姆斯特丹，2001。

④ Morel, B., Linkov, I. 等，《环境安全：风险评价的角色》，Springer，阿姆斯特丹，2006。

安全挑战并阐明风险评价如何解决这些地区日益紧迫的环境需求。

本书以 2005 年 3 月希腊萨洛尼卡第四个研讨会上的讨论和论文为基础，其议题为“港口安全、重要基础设施和可持续性的管理工具”。来自 11 个国家的 55 名国际科学、风险评价、决策、环境模拟和工程方面的专家，对港口和沿海地区的环境安全问题、多目标决策分析（MCDA）的运用进行讨论，结合风险评估，识别、界定了环境威胁，详细阐述了应对威胁的相应措施，并评估不同措施对削减威胁的有效性。本次研讨会同先前那些一样，由风险分析学会和北大西洋公约组织联合发起。

本书由五部分组成。第一部分介绍了对环境安全及港口环境挑战的基本认识，并总结了利益相关者参与决策的不同方法。第二部分详细回顾了港口和沿海地区面临的挑战，环境安全这一关键问题正逐渐引起政府和国际组织的重视，城市发展和增长的需求以及人们对环境的日益关注对当前相关环境保护和管理的策略提出了挑战。第三部分回顾了不同的多目标决策分析方法和工具评估天然及人为环境敏感目标的应用情况，包括化学品生产厂、发电厂、运输网络和位于市区及沿海港口的其他重要基础设施。在当前环境管理的框架体系中，评估这些方法和工具的有效性对于确定其适宜程度、确定环境安全的未来需求非常重要。第四部分讨论了相同的问题，但侧重于风险评价工具的应用，以补充或传达多目标决策分析程序。第五部分是案例研究。

本书收集整理文章验证了研讨会的结论：沿海地区的环境资源在今后几十年中将会面临巨大的挑战。假设世界经济和人口膨胀以当前的速度持续或者增加，产生社会冲突的可能性会很大。在不同沿海地带建立、维持或增强环境安全的意识，以及在沿海地区改进重要基础设施的管理，需要：①合理配置人类需求及现有环境资源；②识别环境安全威胁和基础设施敏感目标；③识别能够防止自然灾害并将灾害、科技事故和恐怖行动最小化的措施的应用范围。这三点要求综合考虑不同利益相关者的观点，并考虑来自社会政治、环境、经济大范围内定量及定性的信息。

本书强调了我们一个理念：只要运用一种或更多有效的风险评价方法和决策工具，就可以收集到政治家、科学家、工程师和普通公众等完全不同的观点，并且通过同样的规律可以汇集那些不可预测的和有限的信息。为了避免重复前人的老路，我们还有很多工作需要完成，并且必须要完成。

Igor Linkov, Gregory A. Kiker, Richard J. Wenning

2006 年 9 月

致 谢

在此十分感谢 Drs. Boris Yatsalo、Abou Bakr Ramadan、Jacques Ganoulis、David Belluck、Jongbum Kim 和 Todd Bridges 为组织本次研讨会所提供的帮助，同时还要感谢研讨会的参与者对本书的贡献和原稿的同行评议。感谢 Deb Oestreicher 的全力投入及出色的编辑和技术支持，是他指导了本书的完成。还要感谢 Katie Quartano、Mindy Kiker、Bryce Biggs、Kyle Satterstrom、Eugene Linkov 和 Elena Belinkaia 在研讨会期间所做的努力。研讨会日程由风险分析学会（SRA）和美国陆军工程兵团共同策划。北大西洋公约组织为研讨会提供了主要的财政支持，资助者还包括美国陆军工程兵团、剑桥环境有限公司和环境国际公司（三电）。

目 录

第 1 章 环境安全：调节需求和工具	1
1.1 环境安全、重要基础设施和风险评价：定义及当前趋势	1
1.2 环境安全：方法和工具	10
1.3 比较风险评估和多目标决策分析的整合：棘手问题及其对策	19
1.4 港口与海岸环境安全：比较风险评估和多目标决策分析框架的应用	27
第 2 章 沿海地区：挑战和对策	39
2.1 以色列的环境安全和环境调控	39
2.2 流域沉积物的风险管理：复合决策支持下的欧洲框架	41
2.3 多目标决策分析和战略不确定性	48
2.4 MCDA 在受污染环境中有效对策分级的应用	55
2.5 公众与其他相关利益团体的参与	60
2.6 水生生态系统管理的风险和决策方法：入侵物种和濒危物种的考虑	62
2.7 消费者偏好诱导	75
2.8 决策树和模糊专家评价法在人工海洋系统多目标风险/费用分析中的应用	83
2.9 布沙尔-120 和 Chalk Point 溢油应急：目标及效果指标	90
第 3 章 多目标决策分析应用	102
3.1 受污染沉积物管理中几个多目标决策分析工具的对比分析	102
3.2 SMAA-TRI; ELECTRE TRI 的一种参数稳定性分析方法	112
3.3 环境多目标决策问题中不确定标准及利益相关者偏好信息的处理	121
3.4 沿海地区风险评价的模糊数学方法与概率法	130
3.5 受污染场地管理的决策支持系统：多目标方法	138
3.6 环境决策中帕累托边界的可视化	142
3.7 复杂决策的空间种群模型：鱼类、家畜及决策分析	151
第 4 章 风险评价的应用	160
4.1 港口及沿海地区侦察和预防恐怖袭击的风险评价	160
4.2 暴露于电离辐射、化学污染和其他有害源的复合健康风险分析和评价	164
4.3 风险评价在环境安全规划与决策中的作用	170
4.4 腐殖质作为自然因素对降低海湾生态风险的分析	177
4.5 克罗地亚风险评价	183
第 5 章 环境安全分析案例研究	190
5.1 以色列海岸含水层废水处理和脱盐工艺影响的风险评价：多目标决策分析与应用	190
5.2 埃及开罗吉萨省附近沙漠农村地区地下饮用水评估	195

5.3	立陶宛海港对环境及局部生态系统稳定性的影响	205
5.4	里海地区油气开发项目的环境安全与风险评价	213
5.5	土耳其恰纳卡莱海峡（达达尼尔海峡）的淡水排放研究	219
5.6	地中海南岸可持续发展项目：环境和人类发展的风险	224
5.7	亚美尼亚塞凡湖安全发展策略的社会经济分析	229
5.8	多目标决策分析和 Tar Creek Superfund Site：初期调查结果	235
5.9	用于港口巡逻的无人驾驶海洋运载工具：加强海岸安全的低成本方案	244
参与人员名单		255

第1章

环境安全：调节需求和工具

.....

1.1 环境安全、重要基础设施和风险评价：定义及当前趋势

D. A. BELLUCK FHWA/USDOT, 美国华盛顿特区, S. W. 400 第七大街, 20590

R. N. HULL Cantox 环境有限公司, 加拿大安大略省, 米西索加 L5N3C9, 明尼苏达 Court, 130 栋, 1900

S. L. BENJAMIN 美国农业部农业服务司, 华盛顿特区, S. W. 独立大道 1400 号, 20501

J. ALCORN SAIC, 美国弗吉尼亚州, 雷斯頓 Roger Bacon Dr. 11251 号, 20193

I. LINKOV INTERTOX 有限公司, 美国马萨诸塞州, 布鲁克林温彻斯特大街 83 号 1 栋, 02446

摘要 人口增长、必要的经济发展以及为保护人类健康和生态、环境安全而改善相关基础设施带来的社会压力, 使得制定系统而透明的环境决策成为一项复杂而困难的工作。评估复杂的技术数据、发展可行的风险管理办法要求程序具有灵活性, 而现有评估结构往往不具备这些特点。经验表明, 风险评价和风险管理框架(如美国和欧盟开发的框架)直接用于那些社会、法律、历史、政治和经济条件不大适合或没有准备接受这些方法论的区域, 可能并不适用。灵活的决策(包括在基础设施风险评估中批判性地应用和发展可接受或者不可接受的风险水平)可看作是风险管理者进行决策的潜在辅助方法。不幸的是, 在环境安全和重要的基础设施相关性的讨论中尚未出现该领域统一的综合处理方法。因此, 本文将描述并给出这些名词的定义, 为后续文章中关于人类健康和生态风险评价及风险管理的讨论打好基础。本文回顾了风险评价领域中的一些基本概念, 并将其适用性扩展到环境安全和重要基础设施保护领域。

1.1.1 环境安全的界定

很多趋势表明社会的稳定性存在潜在的威胁, 因此政府及其军事机构对环境安全的关注日益增加。这些潜在的威胁包括: 世界人口将从 2000 年的 61 亿达到 2015 年的 72 亿; 水资源缺乏和配给将对某些政府形成挑战; 地下水枯竭; 当代环境问题将持续恶化; 以长期的金融动荡和日益扩大的经济差异为标志, 全球化问题举步维艰; 耕地退化严重; 热带雨林大面积丧失; 温室气体排放量大幅度增加; 生物物种加剧下降; 城市化进程加快; 城市空气和水质问题日趋严重; 全球气候变化引发冰川融化、海平面上升、风暴频率增加^[22,32]。

“环境安全”是一个没有确切定义的术语^[20], 具备两个关键要素: 对支持人类生命和环境道德价值的环境破坏进行修复, 以及防止人类各种形式的恶习对环境的破坏^[5]。目前, 环境安全有很多定义, 这表明经过二十多年的讨论, 其概念仍未取得广泛一致的认可^[20]。如:

- “环境安全(生态安全或其他术语)反映一个国家或社会抵御环境资产稀缺、环境风险或不利变化, 或与环境有关的紧张或冲突的能力。”^[4]

- “在科学的案例研究基础上, 将自然科学与政治经济的要求相融合, 作为一种媒介, 它可以预测将来处理环境退化时可能出现的冲突。”^[20]

- “为本地或跨国的环境危险提供安全的行动和政策, 包括自然的或由于愚昧、事故、

管理不善或蓄意图谋的人为行为造成的环境危险。”^[5]

- “环境安全是一个目标群体状态，无论个人、集体或国家，从愚昧、事故、管理不善或蓄意图谋引发的不适当生态过程造成的环境风险中受到系统性保护。”^[1]

- “环境安全是指与人类生存息息相关的自然资源和生态环境处于良好状态，对社会发展过程中威胁人类健康、生存环境的各种不利因素采取有效的防护措施。”^[1]

- “环境安全是保护个体、社会、自然环境切身利益免受人为和自然环境影响威胁的一种状态。”^[1]

“环境安全”既不是单一的安全问题，也不是单一的环境问题^[4]。然而，环境问题往往是安全的关注点，因为即使没有直接导致公开的冲突，仍然可以导致环境扰动或造成现状不稳定，使区域、国家和地方政治、社会、经济和个人安全受到损害^[32]。

环境安全的关注点大致可分为三类^[1]：①环境安全本身是有益的；②环境变化可能引起社会动荡和冲突；③环境变化（如水资源短缺、空气污染等）将威胁到个体的物质福利^[1]。环境安全定义的共同要素包括：由自然因素或愚昧、事故、管理不善以及蓄意图谋的人为因素造成环境危险所引发的公共安全问题；改善自然资源匮乏的现象；维持健康的的环境；改善退化的环境；预防社会动乱和冲突（促进社会稳定）等^[13]。

环境安全关注环境中化学品/物质的泄漏，因为全世界约有四分之一到三分之一的疾病可归因于环境因素^[11]。泄漏到环境中的化学品/物质或环境变异引发实际的或可感知的健康风险，这可能导致对环境扰动持有支持或反对观点的双方产生社会冲突。

1.1.2 重要基础设施的界定

重要基础设施是一个具有多种定义的复杂社会系统^[39]。例如：

- “民用的和关键的基础设施系统，如交通、通信、电力和金融系统为现代社会提供了基础。”^[26]

- 依照美国国防部的定义，重要基础设施就是那些“对规划、动员、部署和维持军事行动以及过渡到快速冲突军事行动时提供必要的系统和资产，其丧失或退化将危及国防部执行国家军事战略的能力。”^[30]

- “公路运输系统的重要基础设施（或资产）包括其所有组成部分，包括实体的和基于网络的组件，用于实现国际、区域和地方的运输服务功能。具体实例包括物理结构（道路、桥梁、隧道）、设施（停车区、通行税站点）、ITS（智能交通系统）、组件（标志和信号、网络、控制中心）和各个组织部分（人员、程序、通信）。”^[15]

- 在澳大利亚昆士兰省，“重要基础设施定义为一旦被破坏、毁坏或长期无法使用，将极大影响社会或经济福利或国家安全防卫的设施。”^[29]

- 美国爱国者法案将重要基础设施定义为：“是有形的或无形的、对于美国不可缺少的系统和资产，一旦这些系统和资产失效或被毁坏，将会削弱国家经济安全，给国家公众健康或安全带来不利的影响。”^[21]

不论如何定义重要基础设施，显然可以看出“我们的社会和现代生活方式依赖这样一个具备重要基础设施的复合系统”^[35]。

重要基础设施、环境安全、风险评价和风险管理的共同点随着人们的了解而变化，这些领域有着不可分割的关联，需要在多目标基础上作为风险管理程序的一部分进行综合决策。为了充分理解其相关性，我们需要了解可接受风险概念的发展历程、风险评价和风险管理的的应用，以及其与环境安全和重要基础设施的关系。本文其余的部分将深入探讨这些相互关系。

1.1.3 风险评价、风险管理和环境安全

为了生存和繁荣，人类必须改造环境并使用环境资源。随着现代社会人口的增长，人类必须增加可再生和不可再生资源的使用以为他们提供必需品、服务和经济安全。人口和经济增长迫切要求新建农场、住宅、工厂和交通网络，使用化学品/物质，并且有目的地、意外地或偶然地向环境释放化学品/物质。风险评价领域正处于发展阶段，其目的在于解决上述人为风险。

1.1.3.1 风险评价和风险管理的起源

化学品和化学物质的释放以及由此引起的环境变化往往受到政府机构的监控或管制。政府机构使用行政手段来评估化学品/物质的泄漏及其对环境的影响。常用的一种方式就是量化风险评价，即“用来描述和估计化学品暴露于环境时对健康造成不良影响程度的一个有组织的过程”^[28]。

定量风险评价在美国和其他许多地方都是首选方式，用以规范或评估向环境中释放化学物质的设施、活动或过程。大约 25 年前，白宫内部机构监管联络小组及科学技术政策办公室组织了一系列以“危险源辨识”、“风险表征”、“风险削减”为主题的活动。1983 年，国家研究委员会出版了《联邦政府的风险评价：过程管理》^[24]一书，即“红皮书”^[7,25]。目前，人类健康与生态风险评价过程分为四个步骤：危险源识别、剂量-效应评价、暴露评价和风险表征^[28]。针对人类健康及生态环境风险评价，我们将风险评价的数值结果与风险管理和政策基础上的风险可接受水平进行了比较（如单个点的风险水平或风险范围），以确定是否存在重大或不可接受风险发生的可能性。

风险管理有多种定义，“为了削减风险而对活动进行分析、选择、实施和评估的过程”以及“……识别、评估、选择和采取措施以削减对人类健康和生态系统造成风险的过程”^[28]，还有定义为“……决策过程包括考虑相关风险源的政治、社会、经济和技术因素，开发、分析和比较规范性与非规范性的选项，并选择和实施应对风险源的最佳措施^[9]。风险管理的目标是在考虑社会、文化、伦理、政治和法律的情况下制定科学、健全、符合费用-效益的综合性行动，以削减或规避风险”^[28]。

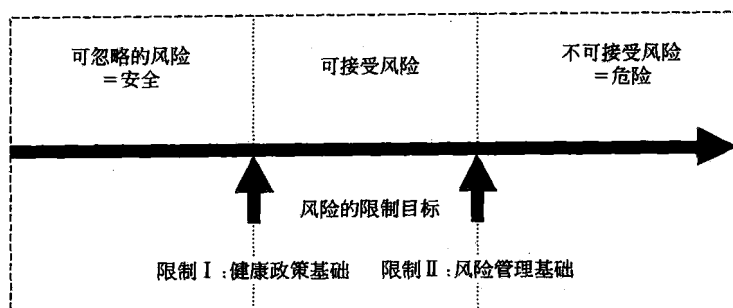
风险可接受和不可接受的数值水平（及其同义语）可能会因政府单位或法令的不同而不同。风险管理模式允许政府的各级风险管理者运用风险管理决策程序，即使发现超出适用的风险可接受水平，仍然允许化学品/物质向环境中排放。这一类型的风险管理决策采用定量风险表述作为决策的出发点，而并非有明确的界限。如何做到这一点以及为何接受这样的决定，将在后文详细论述。首先简要介绍可接受风险概念演化的历史。

1.1.3.2 可接受/不可接受风险的概念

假设 20 世纪初期美国制定的食品添加剂化学品风险管理法案可以保护公众健康。至 1958 年，一项关于美国食品、药品和化妆品的法案修正案提出：某些化学物质可能具有无毒性阈值，并且禁止添加任何可以致癌的化学物质。人们同时认识到，不可能完全消除食物中的致癌物质，因此美国食品和药物管理部门颁布法案，假设在无阈值条件下其风险低于某一值，则可认为有效去除了食物中的致癌物。在实践中几乎无法通过监管限制致癌风险的安全剂量（一亿分之一或 10^{-8} ），对此建议食品添加剂的替代水平为百万分之一（ 10^{-6} ），这对于大多数人来说是可以忽略的。20 世纪 60 年代后期及 70 年代初期当美国社会认可暴露在环境中的致癌风险时，该水平成为可接受风险的标准。到 90 年代，百万分之一的风险水平是公认的而且非常严格的标准，同时还引入了较小的风险水平——万分之一（ 10^{-4} ）。一般认为高于万分之一的风险就已经超过界限。1990 年《清洁空气法修正案》将风险范围从 10^{-4} 变到 10^{-6} 。因此，“如果判断致癌风险为重大的或不可接受的，那么通常希望采取一些

行动削减或消除风险。相反，最小的或实质上可以忽略的风险由于太微不足道而不需要采取行动。即使判定风险是无关紧要的或可接受的，也未必表明风险最小或者可以忽略”^[16]。

界定风险的可接受性与不可接受性是确定减缓措施或介入风险管理要求以削减预期风险的基础。关于可接受或不可接受风险的各种定义讨论如下：其概念如图 1.1 和本文末尾附注所示。化学品释放能够导致人类或生态暴露并引发随之而来的危险或风险。人类和生态的风险评价方法通常用来计算潜在的暴露受体的风险和危险。可接受危险或风险水平因地而异，例如人类对于致癌物的可接受风险水平可设定为某一特定水平（如百万分之一）或某一范围（如百万分之一到万分之一）。加拿大的联邦政府一般不推荐可接受风险水平^[16]，各省采用 10^{-4} 或 10^{-5} 作为癌症可接受水平的阈值。非致癌化学品的可接受危险水平与单一化学品（如危险系数为 0.2 或 1.0）或复合（如风险指数为 1.0）化学品有所不同。生态风险评价的可接受风险可以是单个有机体的个体值（如毒性指数小于 1）和种群值（如不超过 20% 的种群暴露于基准值之上的概率是 10%）。



资料来源于参考文献^[3]，本文稍做修正。

图 1.1 可接受风险和风险范围的描述

Vrijling 等^[40]认为，“复杂社会系统作为一个整体，就像一个国家，对于职业、交通和消费各个方面的风险，通常以年死亡率在 $(1 \times 10^{-5}) \sim (3.1 \times 10^{-4})$ 之间变化的个体风险作为度量。个体风险在一年的时间里被社会风险替代。尽管没有为极小的风险设定一般个体风险标准，人们倾向于衡量那些与 10^{-6} 或 10^{-5} 的年死亡率最小值相对的风险……这表明对于任何个体来说，人们可以接受潜在的较低风险水平。在某些情况下，基础设施如高速列车连接站点，荷兰设定了相应的个体风险标准……”“区域规划也是如此，危险化学品设备和居住区之间，设定个体风险为 10^{-6} 的年死亡率等高线……”“有时也需对重要基础设施核算社会风险。对于社会或团体风险，随着对潜在结果（多为死亡）度量的增加，接下来的步骤是制定方案。超过一定死亡数量的累计概率（或频率）来源于所有促使该特定死亡数量的方案的联合概率。”“社会可接受风险是通过国家统一标准来判断的，即为每年每个活动预计事故死亡数量设置上限。”

生态风险评价研究非人类的危险，其复杂性远远超过人类健康风险评价。生境和物种极大的多样性使生态风险研究更具挑战性。根据英国环境、食品和乡村事物部（Defra）2005 年准备的报告^[39]，目前仍然没有相关标准可以用来确定生态风险评级中的生态价值。利益相关者需要进行更多探讨以确定各地必须保护哪些“生态价值”。生态价值必须体现政策目标和社会价值，这涉及重要濒危物种、商业物种或娱乐物种的保护以及基于功能目的（如湿地蓄洪）或美学目的〔如大峡谷景观（能见度）〕而进行的生态系统保护。

评估生态风险可接受或不可接受通常使用定性方法。从最基本的层面来看，重要物种或相似物种的实际毒性数据能够为特定介质（如地表水、底泥、土壤）和生态受体提供生态保

护的风险值。所得特定介质的浓度与个体有机体可接受/不可接受风险的初始风险相关。当已知或计算出的污染物浓度水平与生态保护数值之间的比值超出一致性范围（或负责的政府机构确定的其他值）时，就表明存在潜在的不可接受风险，需要进行更详细的评价或者需要进行风险管理。相反，未超出可接受比值时通常认为生态风险是可接受的。

可接受生态风险的其他措施包括接触人群的比例不得超过一个以毒理学为基础的特定值。在推导特殊介质和受体的初始可接受/不可接受浓度时也运用概率方法和统计模型。不考虑单一物种浓度效应数据的重要原因在于生态风险评价一般不涉及个体生物保护，而是针对种群、群落和生态系统的保护^[23]。

风险评价数值结果并非可以用于准确或精确地估计发病率或死亡率，它们只是在科学、政治、法律和专业判断的基础上进行系统且透明的数值估算。当用这些风险或危险的数值表征可接受或不可接受水平时，决策就不只是一个科学行为，而是一个以政策、指导方针或法令建立的可接受风险水平（如 10^{-6} 或更低的癌症风险是可接受的）或风险范围（如 10^{-4} 到 10^{-6} 的风险范围）为基础的风险管理决定。比“亮线”或“可接受风险范围”更大的风险未必是“不可接受的”，因为当潜在“重大风险”不可接受时，风险管理行动允许在决策中进行管理判断。通常所有类型的过程、活动或设施都使用“亮线”和风险范围。实际上，风险评价人员和管理人员往往将超过亮线或风险范围的风险判定为不可接受风险，除非采取以与计算出的风险值无关的附加因素为基础的风险管理决策。如果考虑这些情况，就可以合理地认为，风险管理技术连同可接受风险的表征也应该具有类似风险评价技术的发展历程。

这一进步对于生态风险的评估尤为重要。生态风险评价采用一种递升排列的方法，这样根据可接受或不可接受风险的结果就可以确定是否进行较高层次的分析或现场补救^[27]。人类健康风险评价认为对风险的保守估计（过分预计）是“可以接受的”或“谨慎的”，与人类健康风险评价不同，很少有人支持对于生态风险过于保守的预测及保守的风险管理决策。生态风险评价的一个优势是无论生态风险预测是否正确（哪怕是不正确的），它都能够通过使用标准生物监测技术进行相对容易的监测。也可将可接受/不可接受生态风险水平定义为在数量上比人体健康风险评价小，并且考虑种群（或群落）在受到某些扰动后保持和修复的可能性^[18]。此外，对于相关利益的生态受体而言，若受扰动区域与适宜的未受扰动生境相当，那么该受扰动区域也可计算在可接受/不可接受范围之内^[34]。

发现可接受或不可接受的风险对削减风险、确定规章制度以及进行复杂昂贵的诉讼具有极大的推动作用。基于这个原因，在重要与非重要基础设施的可接受风险水平的基础上对其定义的理解和明确至关重要。

最后，公众认知和政治决策过程可以确定可接受和不可接受的风险水平。例如 Vogel^[41]指出：“公众与专家对于特殊风险的感知或耐受性往往不同，在民主制度下，前者的偏好（优先选择）和价值往往在政策制定过程中起着重要的作用。因此，政府往往由于过于谨慎而出差错，以避免或减少公众认为的不可接受风险的发生，即使有效的科学证据无法提供有害证据，这在很多市民看来仍然是不可接受的。”Vogel^[41]引用了 T. Christoforou 关于预防原则基本要素方面的研究成果，并指出，公众与专家对于特殊风险的感知或忍耐程度往往不同，在民主制度下，前者的偏好（优先选择）和价值往往在政策制定过程中起着重要的作用。

1.1.3.3 预防原则

制定风险管理决策时通常要遵循一个重要的准则，即预防原则。然而这种观点没有得到普遍认可。预防原则来自于“里约宣言”（1992年）第15条：“具有严重或不可逆转的损害/威胁，不得以缺乏充分的科学确定性为理由，来推迟预防环境退化的成本-效益措

施”^[33]。预防原则被描述为“管理或削减风险最好方式的决策，当潜在风险的信息不完整时，反映一种避免不必要的健康风险而非不必要的经济支出的倾向”^[28]。在美国，预防原则并没有正式的法律效力，没有一个国家在国内法规中完全采用这个原则的实质内容^[41]。相比之下，欧盟正式引入1993年《欧洲联盟条约》（马斯特里赫特 Maastricht）第130条（环保章节）的预防原则法案，在1994~1999年间有27项决议引用这一法案^[41]。

当风险管理者有足够的科学知识制定科学合理的决策时，会出现什么情况呢？风险评价和风险管理总统/国会委员会认为^[28]，“决策者必须平衡获得附加信息的价值与决策需要之间的关系，但这是很难确定的。有时必须根据预防原则制定决策（管理或削减风险最好方式的决策，当潜在风险的信息不完整时，反映一种避免不必要的健康风险而非不必要的经济支出的倾向）。可接受风险的风险管理决策往往涉及安全判断。既然安全不是绝对的，是不可度量的，那么可接受风险意味着决策者必须要对费用（包括绝对费用和相对费用）以及风险做出权衡”^[15]。

1.1.4 结论

从上述讨论中明显可以看出，环境安全是一个概念宽泛的术语，涉及各种各样的问题。对本书来说，我们的目的在于通过确保环境安全防止环境恶化，从全球尺度到区域尺度保护人类、物质和自然资源。重要基础设施的概念与环境安全具有直接联系。从环境应用方面来讲，可将重要基础设施定义为：为保证人类健康、保护环境、交通网络、淡水供应、清洁空气、食物供应及其他必需的关键要素，建设及维护人造结构，以维持经济和国家安全。

综合目前的风险评估/风险管理模式来看，现在尚未完全解决的问题是如何权衡基础设施和环境安全的重要性。这一卷发表的许多论文致力于此问题不同方面的研究。举例来说，Belluck 等^[2]基于化学品泄漏、风险评价和风险管理给出环境安全的定义，并建议考虑建立适宜的风险可接受标准，以符合特定类型基础设施的关键性质，并以运用系统化、透明化的风险管理过程为基础，与风险评价的严格性相匹配，这正是我们所需的。然而，历史及当前的研究表明，为更好地表征中东地区一般或特殊的威胁，还需要更多方法与工具来处理风险评估和环境安全中出现的问题。因为这些研究涉及风险评价、风险管理、重要基础设施和环境保护多个领域，所以需要进一步讨论以确定它们之间的相互作用及其对环境保护和调控活动的影响。

1.1.5 附录：风险的定义

- “可接受风险范围——如果对当前和今后的土地利用，基于合理最大暴露（RME）的个体累积致癌风险低于 10^{-4} ，且非致癌危害指数小于1，一般不会批准这样的行动，除非不会对环境造成不利影响。”“注：虽然美国环保局制定风险管理决策时一般使用 10^{-4} ，风险范围的上限在 10^{-4} 处并不是一条离散线。如果可以证明现场的特殊条件合理，则可将大于 10^{-4} 的风险估算视为可接受的。风险管理者也可确定低于 10^{-4} 的基准风险水平是不可接受的，并批准采取补救行动。”^[38]

- “如苯的案例中，法院并没有要求美国国家环保局使用任何特殊的方法以确定哪些风险是可接受的。在候审期间，法院对可能性大小给出一些评论后决定不能仅仅使用任何单一方法来衡量风险是否可接受。相反，采用了一般性的推断，对处于最大暴露的人，大约超过万分之一（ 10^{-4} ）的终生癌症风险认为是可接受风险，并且设立安全限度应该为尽可能多的人削减风险，使个体的终生风险不高于百万分之一（ 10^{-6} ）。”^[8]

- “……已公布的可接受风险水平并不一定代表”安全水平“，而是一个目标水平，并且期望暴露的真正风险小于公布值。”^[12]

- 概括地讲，风险一般会非常小，其后果尽管微不足道但其相关效益（感知的或真实

的)却非常大,以至于社会上的人们或团体愿意去承担或接受这一风险。更具体地讲,随意的一个值表明,人类一生每天暴露在风险中,造成严重不利影响的可能性非常低,与此风险相关的剂量可视为不会对人体健康造成影响。同义词:可承受风险;可忽略风险;风险水平。^[17]

- 首先确定什么是“重大”风险,这是政府的责任。有些风险很明确是可以接受的,而其余的显然是不可接受的。譬如饮用一杯含氯的水,人死于癌症的概率是十亿分之一,显然这不能算作重大风险。另一方面,如果经常吸入含有2%苯的汽油蒸汽,其致命概率是千分之一,人们会很合理地认为风险很大,并采取适当措施以减少或消除此风险(L. U. D. v. A. P. I., 448 U. S. 607, 655)。所以很明显,1/1000 (10^{-3}) 的风险相当大。这是法庭所给范围上限的百万倍,低于这个值,可接受与不可接受风险的边界必然不成立。“……关于致癌物质,对风险的错误认识不是保护不足,而是过度保护,在解释这些数据时,可以自由使用保守假设(448 U. S. at 655, 656)。”“对政府机构进一步指导,评估重大风险,缩小‘苯决策’的百万倍范围,由一项关于职业风险率、法律意图和‘可接受风险’问题的学术文献提供。例如,在采矿、采石等高风险行业,每千名终身就业(45年)的工人中工伤或急性职业相关疾病的平均死亡人数是15.1。所有制造业中,典型职业的死亡风险为1.98%。相对低风险职业如零售业,典型的终生职业死亡风险是0.82%。(这些概率取自1984~1986年美国劳工统计局数据的平均值,对于有11名雇员以上的雇主,适用于每年工作50周并具有45年工龄)。”^[37]

- 可承受风险。该风险水平以下的风险被视为可广泛接受的,除非这些风险是不可削减的,或者不可与其他可接受的风险相比较(见比较风险评估)。可以将可承受风险与可接受风险区分开来:前者是‘仅仅可接受’并不断接受审查的风险。^[36]

- 可接受风险是“……比起可能会因为管理或暴露于特定药剂而受到影响的负面效应来说,这类风险的益处更多的是来自有机体、种群或生态系统”^[9]。

- 这种“可接受”或“可承受”风险水平的确定,可能在风险评价过程开始之前就已经规定好了——例如以环境质量标准或行业派生出来的“规范”的形式,通过社会确定可接受风险水平。在这种情况下,风险管理旨在分析哪些基于风险评价结果的行动选择会产生这些预先确定的风险水平。在可接受风险标准不存在的情况下,风险管理过程将试图在逐个案例基础上引入“可接受”或“可承受”风险。确定“可接受”或“可承受”风险的决策运用了许多方法。可接受风险决策的三个主要方法为:技术专家设计解决办法的专业判断法,历史先例指导决策的步步为营法,以及运用建模问题和计算最佳决策程序为理论基础的形式化分析法^[10]。

- “任何普遍可承受的风险都可以认为是可接受的”^[19]。

- “可接受风险水平的定义,对于由风险评估发展而来的风险评价是有意义的。很少有立法、公共政策及司法准则涉及如何定义可接受风险。虽然没有用“安全”来表示零风险(俄亥俄州 v. 美国环保局 997 F. 2d 1520, 1533, D. C. Cir. 1993),法院也未提供:①在哪个风险水平之上必须采取风险管理行动;②如何确定风险是否可接受的具体指导;③可接受或安全风险水平的可行定义。对于暴露于致癌物和危险源为1.0的非致癌物的终生风险,美国环保局目前确定了一个从 10^{-6} (百万分之一)到 10^{-4} 的风险范围。本州的一项调查显示,全州监管机构的可接受风险水平往往可以反映美国环保局的导向”^[6]。

- “残留风险水平,即已被确定为潜在损失/破坏的合理水平”^[21]。

1.1.6 参考文献

1. AC/UNU Millennium Project. No Date. Emerging International Definitions, Perceptions, and Policy Considera-

- tions. Environmental Security Study. <http://www.acunu.org/millennium/es-2def.html>.
2. Belluck DA, Hull RN, Benjamin SL, Alcorn J and Linkov I. 2005. Are Standard Risk Acceptability Criteria Applicable to Critical Infrastructure Based on Environmental Security Needs? In: Linkov, I., Morel, B., eds. Environmental Security and Risk Assessment. Kluwer Academic Publishers (this volume).
 3. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. 1998. Guidelines on Risk Management of the Hazardous Substances Committee Concerning Decisions with Far Reaching Consequences. November 15 1998. http://www.baua.de/prax/ags/ags_guidelines_rm.pdf.
 4. Chalecki, E. L. No Date. Environmental Security: A Case Study of Climate Change. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security. http://www.pacinst.org/environment_and_security/env_security_and_climate_change.pdf.
 5. Cheremisinoff, N. P. 2002. Environmental Security: The Need for International Policies. Pollution Engineering. 5/1/2002. http://www.pollutionengineering.com/CDA/ArticleInformation/features/BNP_Features_Item/0_6649_103962_00.html.
 6. Commission on Geosciences, Environment and Resources. 1999. Environmental Cleanup at Navy Facilities: Risk-Based Methods http://books.nap.edu/books/0309063434/html/37.html#page_bottom.
 7. Commission on Life Sciences. 1983. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health, National Research Council. http://books.nap.edu/nap/cgi/chaphits.cgi?term=acceptable+risk&isbn=03090334_97.
 8. Commission on Life Sciences. 1994. Science and Judgment in Risk Assessment. Committee on Risk Assessment of Hazardous Air Pollutants, National Research Council.
 9. Duffus, J. H. 2001. Risk Assessment Terminology. Chemistry International 23 (2). March 2001. http://www.iupac.org/publications/ci/2001/march/risk_assessment.html.
 10. European Environment Agency. No Date. Environmental Risk Assessment -Approaches, Experiences and Information Sources Environmental issue report No 4. <http://reports.eea.eu.int/GH-07-97-595-EN-C2/en/riskindex.html>.
 11. European Environment Agency. 2003. Europe's Environment: The Third Assessment.
 12. EXTOKNET. 1993. Toxicology Information Briefs. Cooperative Extension Offices of Cornell University, Oregon State University, the University of Idaho, and the University of California at Davis and the Institute for Environmental Toxicology, Michigan State University. September 1993. <http://extoxnet.orst.edu/tibs/carcino.htm>.
 13. Glenn, J. C., Gordon, T. J., and R. Perelet. 1998. Defining Environmental Security: Implications for the U. S. Army. Editor: Molly Landholm. AEPI-IFP-1298
 14. Army Environmental Policy Institute. December 1998. <http://www.aepi.army.mil/Publications/-Defining%20Environmental%20Security%20-%20Implications%20for%20the%20US%20Army.pdf>.
 15. Haimes, Y. Y., Lambert, J. H., Horowitz, B. M., Kaplan, S., Pikus, I. M., Leung, M. F. and A. D. Mosenthal. 2004. Final Contract Report, Risk Assessment And Management Of Critical Highway Infrastructures; Executive Summary. February 2004. Center for Risk Management of Engineering Systems. University of Virginia. Virginia Transportation Research Council (A Cooperative Organization Sponsored Jointly by the Virginia Department of Transportation and the University of Virginia) Charlottesville, Virginia. VTRC 04-CR16. <http://www.virginiadot.org/vtrc/main/online-reports/pdf/04-crl6.pdf>.
 16. Health Canada. 1998. Assessment And Management Of Cancer Risks From Radiological And Chemical Hazards. <http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/ccrpb/publication/98ehd216/chapter4.htm>.
 17. Health Canada. 2000. Health Canada Decision-Making Framework for Identifying, Assessing, and Managing Health Risks. August 1, 2000. http://www.hc-sc.gc.ca/hpfb-dgpsa/hcrisk_11_e.html.
 18. Hobbs, R. J. and L. J. Kristjanson. 2003. Triage: How do we prioritize health care for landscapes? Ecological Management & Restoration 4 (Suppl): S39-S45.
 19. Hunter, P. R. and L. Fewtrell. 2001. Acceptable Risk. World Health Organization Water Quality Guidelines, Standards and Health. Chapter 10.
 20. McNeil, F. 2000. Making Sense of Environmental Security. North-South Agenda. Paper. Thirty-Nine. <http://www.miami.edu/nsc/publications/pub-ap-pdf/39AP.pdf>
 21. National Infrastructure Institute (NI2) Center for Infrastructure Expertise and the University of New Hampshire. 2004, The Center for Infrastructure Expertise Library. July 22, 2004 (accessed). http://www.ni2ciel.org/Glossary/a_glossary.htm.