

金融学论丛

区域水灾风险评估 的理论与实践

刘新立 著



Theory and Practice for
Regional Flood Risk Assessment



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

000000

金融学论丛

区域水灾风险评估 的理论与实践

刘新立 著

Theory and Practice for
Regional Flood Risk Assessment



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

区域水灾风险评估的理论与实践/刘新立著. —北京:北京大学出版社, 2005.9

(金融学论丛)

ISBN 7-301-09683-6

I. 区… II. 刘… III. ①水灾—风险分析—长江流域 ②水灾—风险分析—湖南省 IV. P426.616

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 104683 号

北京市社会科学理论著作出版基金资助(HJ)

书 名: 区域水灾风险评估的理论与实践

著作责任者: 刘新立 著

责任编辑: 张慧芹 马 淮

标准书号: ISBN 7-301-09683-6/F·1214

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752926

电子信箱: em@pup.pku.edu.cn

排版者: 北京高新特打字服务社 82350640

印刷者: 北京原创阳光印业有限公司

经销者: 新华书店

650 毫米×980 毫米 16 开本 10.75 印张 197 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究

内 容 简 介

本书在对国内外区域水灾风险评估的研究现状进行综述的基础上,对区域水灾风险评估进行了理论和实践两个方面的探讨。

理论上,本书完整地构建了水灾风险评估的科学体系和模型体系,包括基于随机不确定性和模糊不确定性的水灾风险定义、水灾风险形成过程的概念模型、水灾风险因素分析的定量方法以及应用于完备数据以及不完备数据条件下的水灾风险估算数学模型。在实践部分,本书选取长江流域与湖南省这两个典型区域,应用前一部分构建的理论、模型及指标体系对其进行水灾风险的评估。

作者简介

刘新立,理学博士,北京大学经济学院风险管理与保险学系副教授,国家社科基金青年项目“中国农业水灾保险与风险管理研究”课题主持人,教育部人文社科项目“中国水灾风险管理的制度研究”课题主持人,北京市社科“十五”规划项目“加入 WTO 对首都保险业的影响及风险管理研究”课题主持人。长期致力于巨灾风险管理的研究,现主讲课程有,“风险管理”、“保险精算”、“概率统计”。曾获北京大学“安泰”项目奖。

前 言

水灾是世界上发生频率最高、损失最大的自然灾害之一。在过去的10年里,美国水灾损失平均每年达30亿美元,而对于1993年的特大洪水,官方宣布的损失则高达160亿—200亿美元。在中国,约有40%左右的人口、35%左右的耕地、一百多座大中城市以及70%的工农业总产值分布在遭受水灾威胁的地区。1991年江淮大水造成苏皖两省直接经济损失400亿元,1998年大洪水造成全国经济损失高达2642亿元。因此,如何减少水灾给全社会造成的损失是许多国家的政府及学术界都十分关注的一个重大问题。

减灾就是通过工程性措施和非工程性措施的综合运用,限制和削弱灾害源和灾害载体,对易损的承灾体实施保护和提高综合抗灾能力的过程。但实际上,在未来若干年中人类还不可能控制灾害源和灾害载体,只有通过对承灾体的保护以及减轻承灾体的易损性来减少自然灾害对人类生命财产造成的损失。而由于资金等条件的限制,人类又不可能无止境地减少易损性,这就必须探索怎样能以最少的投入获得最大的安全保障,这些工作的基础就是风险评估。美国政府在其减灾计划中指出:“减灾始于风险评估。为了迎接面前的挑战,我们国家必须作出三个主要政策变化:(1)预测与评估风险,而不是简单地对灾害作出反应……(2)增强风险评估以指导减灾。减灾的未来方向就是自然灾害风险评估……”(U. S. Government Printing Office, 1997)《中华人民共和国减轻自然灾害报告(1993)》中制定的我国减灾十年的三个目标,第一个就是“对全国自然灾害风险进行综合评估”。由此可见自然灾害风险评估在减灾中的重要性。

本书的选题与研究就是建立在这样一个背景之上的。水灾风险评估是一个比较新的方向,国外的研究偏重实践,已经形成了一系列方法,而国内还只处在引进、探索阶段,本书试图建立起系统的理论与方法体系,对风

险的概念与性质、风险的形成、风险评估的模型进行深入探讨,并在此基础上对一些典型区域进行实例分析。希望这项工作能为推动区域水灾风险评估的理论与实践作出一份贡献。

刘新立

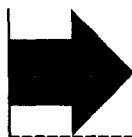
2004年8月

第一章 风险与风险评估	/ 1
一、风险评估研究的发展历程	/ 1
二、风险的定义	/ 2
三、风险的分类	/ 6
四、风险评估的程序	/ 6
第二章 水灾风险评估的研究现状与展望	/11
一、区域水灾系统	/11
二、区域水灾灾情	/13
三、区域水灾损失评估的内容与方法	/16
四、区域水灾风险评估的理论	/19
五、区域水灾风险评估的实践	/24
六、问题与展望	/30
第三章 区域水灾风险的不确定性	/33
一、水灾概述	/33
二、水灾风险的概念	/42
三、水灾风险的不确定性	/44
第四章 区域水灾风险的形成	/53
一、区域水灾风险因子	/53
二、区域水灾风险空间	/55
三、区域水灾风险承受体	/59
四、水灾风险事件的累积效应	/61
第五章 区域水灾风险因素分析模型	/63
一、概述	/63
二、区域水灾风险因素的定量分析	/65
第六章 区域水灾风险估算模型	/68
一、基于不完备数据的风险估算模型	/69
二、基于马尔科夫链及蒙特卡罗模拟的风险估算模型	/74

目录

区域水灾风险评估的理论与实践

三、水灾风险评价	/80
四、损失曲线分析	/82
第七章 长江流域水灾风险评估	/87
一、长江流域水灾概况	/87
二、数据基础	/89
三、模型选择与数据预处理	/90
四、基于马尔科夫链的风险估算模型	/92
五、基于蒙特卡罗模拟的风险估算模型	/95
第八章 湖南省水灾风险因素的定量分析	/98
一、湖南省水灾概况	/98
二、风险因素数据提取及预处理	/99
三、风险因素的相关分析	/103
四、风险因素的独立分析	/114
第九章 湖南省洞庭湖区农业水灾风险评估	/118
一、洞庭湖区水灾概况	/118
二、数据基础	/121
三、基于时间不完备数据的农业水灾风险评估	/121
四、基于空间不完备数据的农业水灾风险评估	/128
附录1 湖南省水灾风险因素的正交旋转因子载荷	/131
附录2 几个区域水灾风险估算模型	/136
参考文献	/144
后记	/164



第一章

风险与风险评估

一、风险评估研究的发展历程

人类在很早以前就有了风险意识的萌芽。

风险评估最早出现在经济领域,起初只是定性分析。随着工业革命的诞生,社会化生产程度提高,稍有疏忽大意就可能产生巨大的经济损失,20世纪30年代的世界性经济危机促使人们思考:怎样才能控制风险?以利润最大化为直接动力的企业认识到,只有全面了解其所面临的风险,才能制定出一系列应对措施,实现以最小支出获得最大效益的目标。这种对风险的全面了解过程就是风险评估,它的研究对象是经济风险,认为风险是指从事某项活动的结果的不确定性,这种结果包括损失、盈利、无损失也无盈利三种情况。^① 博弈论、不确定性经济学(Economics of Uncertainty)等都是重要的研究方法。

定量性质的风险评估研究最早可以追溯到1736年,即贝叶斯概率理论诞生之时。随着概率论与数理统计以及其他相关应用数学分支学科的发展,风险评估的方法也越来越充实,越来越成体系。风险评估作为一个正式的学科是在20世纪40年代到50年代之间,伴随着核工业的兴起而出现的,随后迅速应用到各个方面,例如,评估一些投资的效益与费用、新的药物的效益—风险评估、工程选址评价、比较各种补救措施的潜在影响,设定其对于相关行动的优先级别、针对一种特定事件的不同位置的人员及财产的安全性评估等,这些工作使得这些领域中原来传统的安全评价转变为现代的风险评估。在这里,研究的对象只是与损失有关的不确定性,并不考虑盈利的情况。

^① [美] 保罗·萨缪尔森,威廉·诺德豪斯著,萧琛等译,微观经济学,北京:华夏出版社1999年版。

表 1.1 列出了在风险评估发展过程中的一些重大事件。^①

表 1.1 风险评估发展过程中的里程碑事件

时 间	事 件
1938 年	美国开展了联邦食品、药物与化妆品行动 (Federal Food, Drug, and Cosmetic Act)
20 世纪 40 年代—50 年代	概率论在原子能、航空领域中得到发展与应用 (失败模式、事故树分析)
1975 年	WASH-1400 (美国著名的核反应堆安全报告) 的公布
1981 年	风险分析学会主办的刊物《风险分析》(<i>Risk Analysis</i>) 创刊
1986 年	规范了风险评估的标准
1988 年	“日本风险研究会”成立, 风险评估扩大到跨学科研究领域和国际间交流的范围

在风险评估与风险管理最发达的美国, 国家环保局 (EPA)、食品与药物管理委员会 (FDA)、职业安全与健康管理委员会 (OSHA)、交通部 (DOT)、农业部 (USDA)、能源部 (DOE)、核管理委员会 (NRC)、联邦紧急事物管理局 (FEMA) 等众多联邦机构都在使用风险评估。

随着研究的不断深入以及各种技术, 尤其是计算机技术的应用, 风险评估正日益成为整个现代决策、经济评价和预测的真正组成部分。自然灾害风险评估即是在这个大背景下逐渐发展起来的^②, 它属于安全风险范畴, 考虑的是一种可保风险, 只研究不利后果, 不涉及获利的情况。

二、风险的定义

风险根植于我们每一天的生活和每一项决策的制定过程, 我们大多数人似乎对灾害与风险有一种天生的意识, 但由于风险涉及自然科学、政治以及经济生活等众多方面, 风险的定义又有很多不同的表述, 具体如表 1.2 所示。

^① Rao V. Kolluru, Steven M. Bartell, Robin M. Pitblado, and R. Scott Stricoff, *Risk Assessment and Management Handbook*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1996.

^② David Alexander, The study of natural disasters, 1977 – 1997: some reflections on a changing field of knowledge, *Disasters*, 2(4), 1997.

表 1.2 风险的不同定义

定 义	解 释
风险	风险是可使未来的管理遭受损失的不确定因素;风险是指发生不幸事件的概率;风险就是一个事件产生我们所不希望的后果的可能性(蒋维金磊, 1992)。
风险	风险是指损失的可能性(定性), 或者说是损失的机会和概率(定量)(林义, 1998)。
投资风险	投资风险是一个投资事件产生不期望后果的可能性(吴国富等, 1998)。
灾害风险	灾害风险指的是灾害活动及其对人类生命财产破坏的可能性。具体而言, 就是指某一地区某一时间内可能发生哪些自然灾害, 其活动程度和破坏损失有多大(国家科委 国家计委 国家经贸委 自然灾害综合研究组, 1998)。
防洪风险	下游设计断面的防洪风险即为指定的洪水频率(Parsons M. L., 1995)。防洪泄洪系统的风险是指洪峰流量超过该系统泄洪能力的概率(陈凤兰等, 1996)
风险	工程在使用期间的失事机率(周成虎, 1993;李清富 江见鲸, 1995)。
风险	风险是一种客观存在的、损失的发生具有不确定性的状态(孙祁祥, 1996)。
风险	在自然界与社会生活中, 有许许多多的不确定因素, 有些可以为人们带来收益, 有些也可以给人们造成损失。我们把这种不确定因素称为风险(王晓军等, 1995)。
风险	保险中假定风险可以表达为一个金额值随机变量的概率分布, 这个随机变量可以理解为通常所说的损失(谢志刚, 1997)。
风险	对某一事件不可预想后果的潜在认识, 包括后果大小及事件发生的概率(WHO, 1978)。
风险	目前对风险没有统一的定义, 就风险的含义来说, 应包括以下三个方面: 第一, 指事故发生的可能性或事故发生的不确定性; 第二, 指事故本身; 第三, 指事故发生的条件、情况、原因和环境等(赵恒峰 邱菀华 王新哲, 1997)。
农业风险	农业风险为在农业生产过程中, 由于农业决策及环境变化的不确定性而可能引起的后果, 此后果与预测目标发生多种负偏离的综合(杜鹏李世奎, 1998)。
风险	在给定情况下和特定时间内, 那些可能发生的结果间的差异。如果仅有一个结果是可能的, 则这种差异为 0, 从而风险为 0; 如果有多种结果是可能的, 则风险不为 0。这种差异越大, 风险就越大(小阿瑟·威廉姆斯 理查得·M. 汉斯, 1990)。
风险	没有完全正确的风险定义, 因为没有一个定义适用于所有的风险问题(James E. Dooley, 1990)。

此外,以研究风险问题著称的美国学者威雷特认为:“风险是关于不愿发生的事件发生的不确定性之客观体现。”美国经济学家奈特认为风险是可测的不确定性。日本学者武井勋认为风险是在特定环境中和特定期限内自然存在的导致经济损失的变化。中国台湾地区学者郭明哲则认为:“风险是指决策面临的状态为不确定性产生的后果。”

还有更加抽象的,韦伯字典中将风险定义为“遭到伤害或损失的可能性”[Risk is the chance (probability) of encountering injury or loss]^①,这种可能性用概率来描述。也有研究将风险定义为“给定时间内不期望事件发生的可能性”(the likelihood of something undesirable happening in a given time)^②这两个定义意思是相同的,并且都将风险限定为纯粹风险,即只考虑损失,不考虑盈利。还有一类概念上的定义:风险是在给定情况下和特定时间内,那些可能发生的结果之间的差异。^③这个定义既包含纯粹风险,又包含投机风险,既考虑损失,又考虑盈利的情况。尽管这些定义在概念上非常简洁,应用起来却很困难,因为它们并没有提供一种全面感知风险的具体线索。

在对风险作彻底的研究时,几乎每个人都会问:“我们面临的风险究竟是什么?”而单独的一个答案却无法回答这个问题,因为它还包括很多小问题,例如,风险属于什么类型、死亡风险、伤害风险、疾病风险、财政方面的损失,还是受保护的物种灭绝?什么时候?在何处?谁应该对这些风险负责?将这些小问题概括起来,就会得到风险的三个方面:发生的有害事件是什么?发生的可能性有多大?如果发生,引致的后果如何?这三者构成了评估风险的基础。

针对这一情况,凯博兰和盖瑞克在《风险分析》创刊号上发表文章^④,认为风险不是一个数字,也不是一条曲线或是一个向量,它应该是一个三联体的完备集,即

$$\text{Risk} = \{ \langle s_i, l_i, x_i \rangle \}_c \quad (1.1)$$

其中 Risk 代表风险, s_i 表示第 i 个有害事件, l_i 表示第 i 个有害事件发生

① Anon, *Webster's Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language*, Gramercy Books, New York, 1989.

② Rao V. Kolluru, Steven M. Bartell, Robin M. Pitblado, and R. Scott Stricoff, *Risk Assessment and Management Handbook*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1996.

③ 威廉姆斯著,陈伟等译,《风险分析与管理》,北京:中国商业出版社 1990 年版。

④ S. Kaplan, and B. J. Garrick, On the quantitative definition of risk, *Risk Analysis*, 1(1), 1981.

的可能性(likelihood), x_i 表示第 i 个事件的结果, 是一种损失指标; 脚标 c 表示这个集合是一个完备集。集合中的元素, 即三联体 $\langle s_i, l_i, x_i \rangle$ 只是风险的一个答案, 整个集合才是全部风险。

在 1997 年风险分析学会的大会报告中, 凯博兰进一步完善了这种完备集风险的定义。^①他从一百多年来学术界对概率定义的争论出发, 指出可能性有三种表述方式, 即频率(Frequency)、概率(Probability)和频率的概率(Probability of Frequency), 其中频率的概率是最有说服力、最适用的, 基于这种认识, (1.1)式转化为

$$\text{Risk} = \{ \langle s_i, p_i(\varphi_i), p_i(x_i) \rangle \}_c \quad (1.2)$$

其中 s_i 依然表示第 i 个有害事件, φ_i 表示第 i 个事件发生的频率, 即可能性, $p_i(\varphi_i)$ 表示第 i 个事件发生的可能性为 φ_i 的概率, x_i 表示第 i 个事件的结果, $p_i(x_i)$ 表示第 i 个事件的结果为 x_i 的概率, 它是一个向量, 与时间不独立, 不确定。如果已知频率曲线和损失曲线, 就可以作出各种风险图。此外, 凯博兰还证明了风险评估中经常使用的另一种风险定义——强度反应曲线也可以归结为上述形式。

对于这种形式的定义, 克鲁路认为, 在某种意义上这种形式回避了定义的问题, 因为它仍然没有告诉风险评估者什么是“有害”、什么因素可以使某个事件变得有害, 以及怎样度量结果的严重程度。^②它认为定义风险应该包含三个步骤:

- (1) 通过认识一个组织的目标和受到威胁的资源来定义“有害”;
- (2) 认识那些能够威胁资源价值的事件;
- (3) 度量影响的严重程度。

后果的严重程度要用价值函数来衡量, 以提供一个具有公共单位的标准, 这个公共单位综合了所有风险的维数, 如经济学中的效用函数等, 这个标准应由风险管理目标来确定。当评估的对象包含不同种类的风险时, 每一类风险的价值函数应配以不同的权重, 在通过独立性检验后, 综合这些不同风险而得到一个行动的全面的风险影响。克鲁路还指出, 在风险评价阶段要对风险的可接受程度给出一种评价指标, 要能够对比风险, 即对风险的高低给出一个评价准则, 这就要对三联体集合形式的风险有一个综合提

① S. Kaplan, The words of risk analysis, *Risk Analysis*, 17(4), 1997.

② Rao V. Kolluru, Steven M. Bartell, Robin M. Pitblado, and R. Scott Stricoff, *Risk Assessment and Management Handbook*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1996.

炼,提炼出所需的指标。互补累积分布函数(Complementary Cumulative Distribution Function, CCDF)是一个评价风险容忍度的典型的综合指标;而损失期望(Expected Risk Consequence)则是一个很好的评价风险高低的指标。

三、风险的分类

风险的分类方法很多,按照研究内容的不同,风险可以归为五类:^①

(1) 安全风险。特点是发生概率小,后果严重,具有偶然性,其核心是人类的安全与损失。核事故风险和巨灾风险都属于这一类。

(2) 健康风险。特点是发生概率大,后果较轻,具有不间断性,如各种疾病风险。其核心是人类的健康。

(3) 生态/环境风险。特点是复杂的相互作用,潜伏期长,核心是生态系统。

(4) 公共福利/信誉风险。核心是价值。

(5) 金融风险:包括各种企业生产、流通风险,保险公司的精算风险,投资风险等,核心是经济。

在这里虽然金融风险被单列为一类,实际上所有类型的风险都涉及金融的含义,即金钱的度量。

四、风险评估的程序

虽然各种类别的风险在被称为风险的可度量的现象方面有根本不同,但风险评估本身还是有一个相对一致的程序的,它就是回答“我们面临的风险是怎样的”的过程。它通过一系列研究,回答“什么会变得有害?”“为什么会变得有害?”“可能性有多大?”“最大会有害到什么程度?”这些问题,以得到一个对风险的全面具体的理解,为风险管理能够最终回答“我们应该怎么做”提供一个科学的支撑。

^① Rao V. Kolluru, Steven M. Bartell, Robin M. Pitblado, and R. Scott Stricoff, *Risk Assessment and Management Handbook*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1996.

现在国际上普遍采用的风险评估程序是依照美国国家科学院国家研究委员会于 1983 年公布的具有开创性影响的报告“联邦政府的风险评估”(National Research Council, 1983)中所制定的四个步骤,如图 1.1。^①

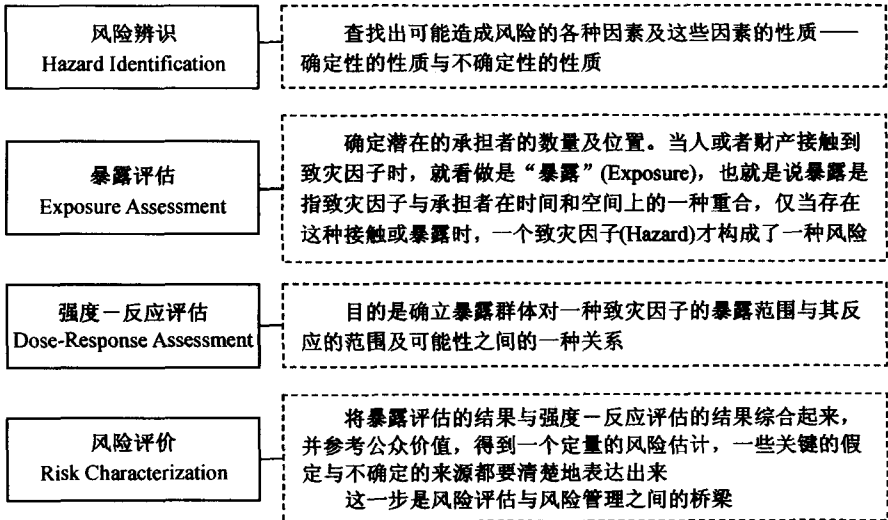


图 1.1 风险评估的程序

在不同领域中应用时,这四个步骤之间的分割会有所不同,表 1.3 列出了安全风险评估、健康风险评估、生态/环境风险评估三个领域中风险评估的步骤分割。其中,安全风险评估的第二步“原因的频率估计”实际上是图 1.1 中第一步的延续,因为在安全风险评估中,风险因素的概率分布是一个贯穿始终的指标,甚至要延续到后面的风险管理中,因此将它单独列为一歩,而第三步则将图 1.1 中的暴露评估与强度-反应评估结合在一起。相比较而言,安全风险评估的结果比较确定,它具体到人员伤亡与经济损失上,不安全事件的影响迅速而清楚,原因与结果之间的关系也比较清晰,如灾害风险评估。而由于较长的潜伏期等原因,健康风险与生态风险中却有着相当多的不确定性,有的时候影响简直无法预计,似乎只有等到事情发生了才能知道后果是什么,因此,典型的健康与生态风险评估都是单点的、确定性的分析。

^① National Research Council, and National Academy of Science, *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*, National Academy Press, Washington, 1983.

表 1.3 三类风险评估的步骤^①

安全风险评估	健康风险评估	生态/环境风险评估
1. 风险辨识 (Hazard Identification)	1. 数据分析/风险辨识 (Data Analysis/Hazard Identification)	1. 问题规范化 (Problem Formulation)
物质、设备、过程,如财产目录、大小、位置,初始事件(设备错误使用、人员的错误、限制失败等)	某地区化学、物理、生物剂的数量与密度;所关心的化学品的选择	所研究范围内受到威胁的种群的调查
2. 原因的概/率估计 (Probability/Frequency Estimation of Causes)	2. 暴露评估 (Exposure Assessment)	2. 暴露评估 (Exposure Assessment)
源自内部原因与外部原因的各初始事件的概率分布	路线,包括敏感子群、暴露比率及时间在内的潜在承担者	路线,承担者的数量,特别是珍稀的受保护的种群;暴露点的集中性
3. 后果分析 (Consequence Analysis)	3. 强度—反应评估 (Dose-Response or Toxicity Assessment)	3. 毒性影响评估 (Toxicity Effects Assessment)
有害影响的性质、程度与概率	强度与有害影响之间的关系	水生、陆生及微生物测试
4. 风险评价 (Risk Evaluation)	4. 风险评价 (Risk Characterization)	4. 风险评价 (Risk Characterization)
将概率与后果综合起来得到安全风险的定量表达	将强度与暴露数据综合起来得到健康风险的定量或定性的表达	将场地调查、毒性与暴露数据综合起来以评价重要的生态风险

在英文中,与风险评估有关的词组有 Risk Assessment, Risk Estimation, Risk Evaluation, Risk Analysis, Risk Management 等。在国内的文献中这些词有时不加区分,但在国外文献中其所指是界定明确的。Risk Assessment 指风险评估;Risk Estimation 指风险评估中的风险估算,也就是安全风险评估中的第二步;Risk Evaluation 指风险评价,即风险评估中的最后一步。我们经常将风险评估(Risk Assessment)与风险分析(Risk Analysis)混在一起使用,实际上很多时候风险分析包含风险管理(Risk Management)的内容,风险管理是基于风险评估之上的决策选择与调整过程,也就

^① Rao V. Kolluru, Steven M. Bartell, Robin M. Pitblado, and R. Scott Stricoff, *Risk Assessment and Management Handbook*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1996.