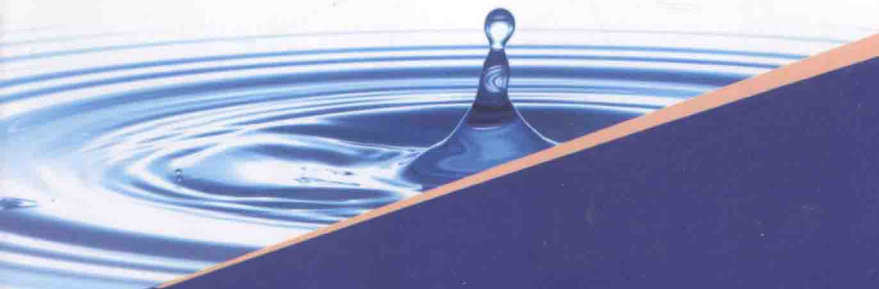


调水工程运行风险管理研究丛书



调水工程水文风险管理 理论与实践

赵 勇 翟家齐 康 玲 肖伟华 著

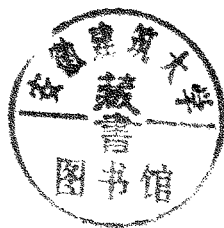


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

调水工程运行风险管理研究丛书

调水工程水文风险管理 理论与实践

赵 勇 翟家齐 康 玲 肖伟华 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书阐述了我国水文风险管理研究和应用现状,提出了一套较为完整的水文风险管理理论、识别、评价和管理体系,反映了我国水文风险研究的最新成果。针对南水北调这一大型调水系统工程,本书分析了工程潜在的水文风险特点,探讨了水文风险因子的识别、分析、评价和应急管理策略,在此基础上,从供水水文风险、需水文水文风险、暴雨洪水风险、丰枯遭遇风险四个方面对东线、中线工程的水文风险进行了系统分析与评价,并结合典型水文风险制订了详细的水文风险应急管理预案。

本书可供从事社会经济发展规划、水文水资源等相关专业的科研和管理人员参考使用,也可供大专院校有关专业师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

调水工程水文风险管理理论与实践 / 赵勇等著. —
北京:中国水利水电出版社, 2014. 2
(调水工程运行风险管理研究丛书)
ISBN 978-7-5170-1721-9

I. ①调… II. ①赵… III. ①调水工程—水文分析—
风险管理—研究 IV. ①TV68

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第019412号

书 名	调水工程运行风险管理研究丛书 调水工程水文风险管理理论与实践
作 者	赵勇 翟家齐 康玲 肖伟华 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 17.25印张 409千字
版 次	2014年2月第1版 2014年2月第1次印刷
印 数	0001—1100册
定 价	56.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

Preface



水资源短缺已经成为制约经济社会发展和影响社会稳定的重要因素之一，这种现象在西北和华北地区尤为突出。南水北调工程是缓解我国北方水资源严重短缺、优化水资源配置、改善生态环境的战略举措，对于保障和促进我国北方地区的经济发展、环境改善和社会稳定都具有十分重要的战略意义。南水北调中线工程从汉江调水，主要任务是向京津华北平原城市生活、工业供水。南水北调东线工程从长江下游调水，主要供水目标是解决调水线路沿线江苏、安徽和胶东地区的城市及工业用水，改善淮北地区的农业供水条件，并在北方需要时提供生态和农业用水。南水北调工程对于保障沿线城市供水具有重要作用。然而，如何科学、合理、高效地保障调水工程的安全运行与管理，减少调水过程中各种潜在的风险损失，最大限度地发挥调水工程的经济、社会、环境等综合效益是当前亟待解决的问题。目前，水文风险管理研究在洪水风险管理领域取得了一定的进展，但是还没有形成一个较为完善的水文风险管理理论体系，对暴雨洪水、供水、需水、缺水等综合水文风险的认识还有待进一步深入。可见，开展调水工程运行的水文风险管理研究是十分必要的。基于此，在“十一五”国家科技支撑计划重大项目——南水北调工程运行风险管理关键技术研究的的基础上，作者开展了调水工程水文风险管理的研究工作。

由于自然地理条件与水文系统的不确定性、调水工程系统的复杂性，以及工程涉及区域社会、经济、人文等多种因素的影响，水文风险不仅仅是自然过程作用的结果，而且与人类社会息息相关。因此，在掌握水文自然转化过程的基础上，考虑人类活动的影响，对调水工程的水文风险进行综合评价才能符合管理实践的需求。调水工程运行水文风险管理研究的目的是在对水资源的自然变化、人类的需求过程科学认识的基础上，分析识别水文过程与人类活动干扰过程中潜在的水文风险因子，评价这些风险因子对南水北调供水、需水、暴雨洪水、丰枯遭遇风险的影响，进而找出主要的风险因子和水文风险较高的区域，并制定相应的水文风险管理预案，实现调水工程效益的

最大化和风险的最小化,保障工程沿线城市用水安全。

本书共分8章,第1章介绍了我国水文风险研究的现状,提出了研究调水工程运行水文风险管理的必要性,并基于国内外水文风险研究的进展,总结了水文风险管理研究存在的问题,提出了本文的研究框架和技术路线。第2章阐述了水文风险识别的目的、意义、原则和基本思路,并详细介绍了几种常用的水文风险因子识别方法。第3章概述了水文风险分析与评价的基本内容,介绍了水文风险分析和评价的基本程序、变量筛选、指标体系和常用方法。第4章是在水文风险识别理论与方法的基础上,以南水北调工程为例,分析识别了南水北调东、中线工程供水、需水、供需协调和输水沿线暴雨洪水的风险因子,并对主要风险因子的作用机理进行了剖析。第5章以南水北调中线水源区——丹江口水库以上区域为例,采用SWAT模型模拟分析了不同气候、土地利用状况下丹江口水库的入流过程,综合分析了降水、气温、下垫面变化、上游人工取水及调水工程对丹江口水库可调水量的影响,以此为基础,运用贝叶斯网络分析了丹江口水库供水水文风险发生的概率,最后对丹江口水库的供水水文风险进行了评价。第6章分析了南水北调东、中线沿线受水城市的规划需水情况,预测了东、中线受水文影响较大的农业和生态需水量,在此基础上对其需水风险进行风险分析和评价。第7章主要分析了南水北调东、中线水源区与各受水区近500年的历史旱涝情况及最近45年的径流丰枯遭遇情况。第8章简述了中线输水沿线的暴雨洪水特点和频率,分析了“75.8”等特大洪水情景下典型河流交叉建筑物的损毁风险概率,评价了主要输水段的暴雨洪水风险大小,最后针对暴雨洪水风险问题提出风险应急调控方案。

水文风险管理包括了风险因子识别、风险分析、风险评价、风险预警、风险反馈等一系列过程,而不仅仅是制定风险管理的措施。概括起来,本书研究主要在以下几个方面取得了新的进展:①提出了一套完整的水文风险管理理论和方法,从水文风险识别、水文风险因子作用机理、水文风险分析与评价、水文风险调度预案制定几个方面提出了完整的水文风险管理体系,在南水北调运行的水文风险管理实践上迈出了第一步;②基于水文模型分析了气候变化、下垫面变化等风险因子对调水工程运行水文风险的影响;③应用贝叶斯网络分析方法和模糊综合评价方法分析了调水工程的风险概率与风险等级;④针对中线工程建成后的运行管理问题,分别制定了干旱、暴雨洪水及丰水年相应的风险调度预案,为管理和决策部门提供了参考。

目前，水文风险管理研究仍处于探索研究阶段，本书研究仅是抛砖引玉，水文风险管理的内容还需要不断充实完善。由于作者水平所限，书中难免存在不当之处，恳请读者批评指正。

作者

2013年11月

目 录

前 言

第 1 章 水文风险管理概论	1
1.1 风险管理概述	1
1.1.1 风险的定义及内涵	1
1.1.2 风险管理的起源与发展	2
1.1.3 风险管理在水利工程管理领域的应用	4
1.2 水文风险概述	12
1.2.1 水文风险的定义及内涵	12
1.2.2 水文风险的分类	12
1.2.3 水文风险的特性	15
1.3 水文风险管理概述	16
1.3.1 水文风险管理基本内涵	16
1.3.2 水文风险管理内容	17
1.3.3 水文风险关键控制技术	20
1.3.4 水文风险控制实施路径	21
1.4 水文风险防控措施	22
1.4.1 水文风险防控预案的制定原则	22
1.4.2 水文风险预警与应急响应	22
1.4.3 水文风险防控预案体系	23
1.4.4 水文风险防控预案实施流程	24
第 2 章 水文风险识别	25
2.1 水文风险识别概述	25
2.1.1 水文风险识别的目的和意义	25
2.1.2 水文风险识别的原则	25
2.1.3 水文风险识别的基本思路	26
2.2 水文风险识别方法	27
2.2.1 故障树分析法	27
2.2.2 贝叶斯网络分析法	31
2.2.3 德尔菲法	34
2.2.4 情景分析法	40

2.2.5 SWOT 分析法	43
第3章 水文风险分析与评价	45
3.1 概述	45
3.1.1 水文风险分析概述	45
3.1.2 水文风险评价概述	45
3.2 水文风险分析	45
3.2.1 水文风险分析基本程序	45
3.2.2 水文风险变量筛选	47
3.2.3 水文风险分析计算方法	47
3.3 水文风险评价	55
3.3.1 水文风险评价基本框架	55
3.3.2 水文风险评价指标体系	55
3.3.3 水文风险等级划分标准	57
3.3.4 水文风险评价方法	58
第4章 调水工程水文风险因子识别	68
4.1 调水工程水文风险概念界定	68
4.1.1 水源区供水水文风险	68
4.1.2 受水区需水水文风险	69
4.1.3 水源区与受水区供需协调风险	69
4.1.4 输水沿线暴雨洪水风险	69
4.2 调水工程水文风险因子作用机理	69
4.2.1 供水水文风险因子作用机理	69
4.2.2 需水水文风险因子作用机理	76
4.2.3 供需协调风险因子作用机理	81
4.2.4 暴雨洪水风险因子作用机理	82
4.3 南水北调工程水文风险因子识别	85
4.3.1 南水北调工程概况	85
4.3.2 供水水文风险因子识别	88
4.3.3 需水水文风险因子识别	90
4.3.4 供需协调水文风险因子识别	93
4.3.5 输水沿线暴雨洪水水文风险因子识别	94
第5章 调水工程水源区供水水文风险评估	96
5.1 水源区供水水文风险因子分析	96
5.1.1 南水北调中线水源区概况	96
5.1.2 水源区供水水文风险因子变化分析	99
5.2 基于贝叶斯网络的水源区供水水文风险概率	105
5.2.1 供水水文风险的贝叶斯网络模型构建	105

5.2.2	水源区供水水文风险概率分析	109
5.3	水源区供水水文风险多情景模拟分析	110
5.3.1	SWAT 模型概述	110
5.3.2	中线水源区 SWAT 模型构建	116
5.3.3	模型参数率定与验证	122
5.3.4	供水水文风险多情景模拟	125
5.4	水源区供水水文风险综合评价	132
5.4.1	供水水文风险评价因子	132
5.4.2	供水水文风险综合评价	134
5.5	水源区供水水文风险应急防控	135
5.5.1	指挥体系及职责	135
5.5.2	风险预警	137
5.5.3	风险应急响应	137
5.5.4	后期处置	138
5.5.5	保障措施	138
第 6 章	调水工程受水区需水水文风险分析	140
6.1	需水计算方法	140
6.1.1	农业需水计算方法	140
6.1.2	生态环境需水计算方法	147
6.2	南水北调中线受水区需水水文风险分析	148
6.2.1	中线规划需水	148
6.2.2	中线需水水文风险分析	153
6.2.3	中线需水水文风险评价	160
6.3	南水北调东线受水区需水水文风险分析	162
6.3.1	东线规划需水	162
6.3.2	东线需水水文风险分析	164
6.3.3	东线需水水文风险评价	173
第 7 章	调水工程水源区与受水区丰枯遭遇风险分析	178
7.1	丰枯遭遇分析方法	178
7.2	南水北调中线水源区与受水区丰枯遭遇分析	178
7.2.1	资料及研究分区	178
7.2.2	旱涝变化分析	180
7.2.3	旱涝遭遇分析	186
7.2.4	径流丰枯遭遇分析	190
7.2.5	丰枯遭遇风险评价	195
7.3	南水北调东线水源区与受水区丰枯遭遇分析	197
7.3.1	资料及研究分区	197

7.3.2	旱涝变化分析	199
7.3.3	旱涝遭遇分析	206
7.3.4	径流丰枯遭遇分析	210
7.3.5	丰枯遭遇风险评价	219
7.4	受水区连旱风险应急防控	222
7.4.1	指挥体系	222
7.4.2	风险预警	223
7.4.3	风险应急响应	223
7.4.4	后期处置	224
7.4.5	保障措施	225
第8章	调水工程输水沿线暴雨洪水风险分析	226
8.1	暴雨洪水风险的产生及影响	226
8.1.1	暴雨的形成及特性	226
8.1.2	洪水的形成及特性	229
8.1.3	暴雨洪水对中线工程的影响	230
8.2	交叉建筑物暴雨洪水风险分析	232
8.2.1	基于贝叶斯网络的暴雨洪水风险模型	232
8.2.2	“63.8”特大暴雨洪水风险分析	233
8.2.3	“75.8”特大暴雨洪水风险分析	240
8.3	南水北调中线工程暴雨洪水风险评估	245
8.3.1	风险评价因子	245
8.3.2	确定评价因子的权重	248
8.3.3	暴雨洪水风险综合评价	249
8.4	输水沿线暴雨洪水风险应急防控	252
8.4.1	指挥体系及职责	252
8.4.2	风险预警	254
8.4.3	风险应急响应	254
8.4.4	后期处置	254
8.4.5	保障措施	255
参考文献		256

第1章 水文风险管理概论

1.1 风险管理概述

1.1.1 风险的定义及内涵

自古以来,风险的现象就一直存在。风险是一个广泛的概念,也是复杂系统中的重要概念,最早明确提出是在保险交易中。随着对风险的研究不断深入,风险应用的范围日益扩大,在经济、社会、生态环境、健康、信息、金融、水利等诸多方面都有广泛的应用。由于不同领域对风险的定义及其内涵都有不同的理解,关注的问题也各不相同,因而对“风险”尚无统一的定义。

目前,很多关于风险的论著和文献资料都对风险的定义进行了探讨,分别从不同层面就风险的定义及内涵进行了一些阐释。例如,联合国人道主义事务部给出的风险定义是指在一定的区域或给定的时间段内,由于特定的致灾因子而引起的人们生命财产和经济活动的期望损失值;美国学者 A. H. Willett 把风险看作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 F. H. Knight 则提出风险是可测定的不确定性;日本学者武井勋从损失的角度提出风险是在特定环境中和特定期间内自然存在的导致经济损失的变化。Terje Aven 等(2007)给出了风险的一般定义:风险是以下两个基本方面的总和,一方面是可能的结果(或影响);另一方面是与之相关的不确定性。这个定义与 ISO(2002)的标准一致。比较经典的风险定义是美国著名词典编纂家 Webster(2008)在词典中给出的解释:“风险是遭受损失的一种可能性。”另外,从风险量化分析与计算的角度入手,通常把风险定义为:在一定时期产生有害事件的概率与有害事件后果的乘积(Megill, 1977; Hertz, 1983),或者限定风险为损害(Hazard)和损害暴露度(Exposure)两种因素的综合。

在国内,不同学者对于风险的理解和解释也不尽相同。从不确定性的角度,风险主要是指损失发生的不确定性,是人们因对未来行为的决策及客观条件的不确定性而可能引起的后果与预定目标发生偏离的综合(沈建明, 2003)。罗云等(2004)结合工业系统,将风险定义为特定危害事件发生的概率与后果的结合。另外,还有学者认为,风险是未来结果的不确定性产生损失的可能性(丁义明, 2001),或者是某一种事业预期后果估计中较为不利的一面(郭仲伟, 2001)。

综上所述,本书认为:风险是指某一特定的研究对象在一定时空范围内,不能达到预定目标的概率、偏离目标的程度以及由此产生不利后果的综合。风险是风险事件、风险事件发生的概率和风险造成的后果三个部分的集合。其数学表达式为:



$$R=W(x_i, P_i, C_i) \quad (1.1)$$

式中： R 表示风险； x_i 表示风险事件； P_i 表示风险概率； C_i 表示对应风险所产生的不利后果。

从定义可以看出，风险主要包含了以下四个方面的含义：①客观条件的变化及不确定性是风险的重要成因；②风险意味着损失，或者是与预期目标发生偏离，并且这种偏离是不利的，是不期望发生的；③风险可以通过概率来反映其出现的程度，但是不能确定其是否出现；④风险的大小是与可能发生的损失程度相联系的。

1.1.2 风险管理的起源与发展

由于客观世界的复杂性和人类认识客观世界的局限性，人类的一切决策和活动总是伴随着不确定因素的困扰，因而不可避免地冒一定的风险，例如洪水、台风、地震、战争等各种自然或人为的灾害与危险，以不定时间、不定地点、不同程度始终影响或威胁着人类世界。可以说，人类存在了多久，风险就跟随了人类多久，人类对风险的认知就有多长的历史。因此，广义上讲，风险管理的思想可以追溯到远古时期。自古以来，人类为了生存和发展，面对自然灾害、疾病和外部侵扰时，就通过部落联盟等形式互助互济，共同承担责任，并对各种风险提供保障的方式，渗透着最朴素的风险管理意识和简单的风险管理实践。与风险抗争的长期实践，使人们明白了“居安思危”、“防患于未然”的道理，由此产生了早期风险意识和风险管理行为。例如，古代中国、巴比伦、埃及、希腊和罗马等文明古国，很早就有互助共济、损失分摊的风险处理方法，并逐渐演变成现代保险。但是，总体来看，尽管古代人类已经具备了一些基本的风险意识和实践，但是对于风险的认知一直处于比较朦胧的状态，并未形成较为系统的理论方法。

直到 18 世纪产业革命之后，生产力的飞速发展在推动人类文明进步的同时，也面临着越来越多的风险问题。与此同时，自然科学、数学等基础科学理论的突破性发展也为风险管理理论的诞生奠定了坚实的理论基础。法国学者 Henri Fayol 在其著作《一般管理和工业管理》一书中提出，经营主体要对保障的客体进行风险辨识、风险估算，在风险分析的基础上，提出风险保障的目标，按目标的要求选择抗御风险的方式。这也是风险管理思想的萌芽时期。

风险管理真正开端及发展是在一战之后。当时由于空中交通和空中失事的增多，要求制订飞机性能的可靠性准则和必要的安全规范。以保证飞行成功为出发点，对单发动机和多发动机进行了比较，提出了对每飞行小时事故发生率的要求。这一需求直接推动了风险分析、可靠性分析等管理技术的发展。另外，战败的德国为了解决通货膨胀造成经济衰竭的问题，率先将风险管理理念运用于企业经营管理。风险管理的理论形成和大发展则主要得益于美国对风险管理的贡献。1929—1933 年，美国卷入了 20 世纪最严重的世界性经济危机，造成的巨大损失促使管理者积极采取各种措施来控制风险、处置风险，以减少风险给生产带来的影响。1931 年，美国管理协会保险部首先提出风险管理概念，之后以学术会议及研究班等各种形式集中探讨和研究风险管理问题，从而出现了风险管理的研究与咨询活动。随着研究与实务活动的深入开展，有关的基本理论、基本观点和基本方法、理论模型和求解问题的框架等内容逐步被管理专家认同和约定，风险管理的思想逐渐形成并得



到快速的发展。

关于风险管理的定义及内涵,不同的专家学者有着不同的理解和阐述。美国风险管理的权威解释者威廉姆斯和汉斯(1990)在《风险管理与保险》一书中认为,风险管理是通过对风险的识别、衡量和控制,以最小的成本将风险导致的各种不利后果减少到最低程度的科学管理方法。英国特许保险协会编写的风险管理教材认为,广义上的风险管理是为了减少不确定性事件的影响,计划、安排、控制各种业务活动和资源,即为了消除不确定性事件的不利影响而作出的一些努力。我国台湾学者袁宗慰在《保险学》一书中指出,风险管理是旨在对风险的不确定性及可能性等因素进行考察、预测、收集分析的基础上,制订出包括风险识别、衡量、积极管理风险、有效处理风险和妥善处理风险所致损失等一整套系统而科学的管理方法。这也是目前针对风险管理较为完整的定义之一。

在推动风险管理理论形成及发展的过程中,风险分析技术和可靠性分析技术的进步功不可没。风险分析和可靠性分析是从正反两个方面去研究问题,单从概率角度看,它们存在着互补关系。风险分析是研究系统在一定条件下完成其预定功能所承担的风险,包括确定系统的失事概率和失事后果;而可靠性分析是研究系统在一定条件下完成其预定功能的能力,即确定系统的可靠度。最早使可靠性量化分析的动力来自飞机工业。初期的研究集中于各元件的效能,后期扩大到研究元件失效对于其所组成的各级组织系统的影响。到了发展洲际导弹和其后的“水星”和“双子星座”等载入火箭计划的时代,加速提出了“必保成功”的要求,将风险管理发展到了顶点。

20世纪70年代,伴随着产品责任制、环境约束,以及政府部门大规模干预工厂的设计、建造和运转程序等各种情况所提出的问题,风险分析技术得到快速发展。由于其文献繁难且数学方法比较少见,使得它的传播普及速度缓慢。1974年美国原子能委员会主持完成核电站风险评估《WASH-1400反应堆安全性研究》,N. Rasmussen教授和他的工作小组分析了大量的核事故概率,对故障定量地分等排列,然后评估其对公众可能有的后果。研究中所使用的事件树、故障树和风险后果分析技术,现已被广泛应用于化学工业和其他工业中。N. Rasmussen式的研究在美国、欧洲和亚洲迅速推广。随着公众对有关工业公害抗议的增长,再加上消费主义和环境主义的呼吁,欧美等国很快出现了一大批要求一切新工厂在建造之前必须进行主要风险分析的立法。到70年代后期这一技术逐步向水资源经济评价领域渗透,并最早在美国水资源开发中得以应用。

1980年,美国风险分析协会成立,成为不同学术团体交流思想的焦点论坛,后来又相继成立了许多风险分析协会的分支机构,其中比较有代表性的有:1988年11月在奥地利成立风险分析协会欧洲分会,这次大会吸引的主流人群仍然是社会科学家和政策分析家,只有少数工程师、医学统计学家、毒品学家等参与进来,但会议的收效明显,大家达成一个共识,多学科方法在风险分析领域越来越重要;1992年欧共体形成共同欧洲市场,更是需要把风险分析和安全标准规范化,欧洲风险分析得到进一步发展。相对欧洲和一些发达国家而言,风险分析在亚洲,特别是一些发展中国家因其政治、经济等诸方面的原因开展较晚。

发达国家在风险管理方面的丰硕成果对发展中国家的新兴工业有着很强的吸引力。随着跨国公司的扩张和垄断资本的输出,以及发展中国家社会经济迅速发展,风险管理研究

从美、英、德、日等发达国家向发展中国家扩展。例如,1994年非洲沿海国家尼日利亚对全国的高速公路建设项目进行了系统的风险分析,风险管理在实践中的应用日益广泛。1991年,J. O. Irukwu出版的*Risk Management in Developing Countries*系统阐述了风险管理的基本理论,并结合发展中国家国情进行了剖析和说明。1987年,为推动风险管理在发展中国家的推广和普及,联合国出版了关于风险管理的研究报告*The Promotion of Risk Management in Developing Countries*。风险管理的应用范围逐步扩展,在医学、经济学、保险学、政治科学、管理科学、企业管理、工程管理等诸多领域都有广泛而深入的应用。从国外风险管理与控制技术的发展水平来看,美国、欧洲和日本走在前列,其他国家地区相对落后。

1.1.3 风险管理在水利工程管理领域的应用

1.1.3.1 应用概况

20世纪70年代末,风险管理开始在水文及水资源研究领域中得到应用,美国最早将其运用于水资源开发这一实践活动。随后,这一技术逐渐被引入大型水利工程建设、工程运行管理、防洪减灾、干旱缺水评估等领域。以大型工程建设管理为例,不仅需要在建成后对工程可能存在的安全性进行风险分析和风险管理,在工程建设的过程中同样离不开风险管理措施,以保障工程建设的顺利实施,例如在水利工程建设中,施工导流工程的设计是工程建设前期就需要遇到的一个技术类决策问题,其依据是实测资料信息及分析预测成果,但仍然会存在诸多不确定性,如发生超标准的大洪水等,这样就给导流工程建设带来诸多风险问题,确定导流的标准就成为一项典型的风险决策问题。通过采取风险概率分析,计算模拟和评估存在的各种不确定性,分析不同情景对应的导流方案可能面临的风险及其后果,并以此综合确定导流工程的设计和实施标准。在防洪减灾领域,风险问题研究由定性描述向定量分析发展,研究领域从水文风险一直拓展到水力、经济、社会、环境、运行管理、保险等一系列风险问题,取得了较为丰硕的成果。

在中国,现代意义上的风险分析与管理技术在水利工程及水文水资源领域的研究应用相对较晚。在20世纪70年代,我国许多水利工程建设只进行较为简单的可行性研究,虽然也开始引进国外项目管理的基本理论、先进方法与程序,但是由于缺乏基础,在对于人员损失的预测、经济损失的评估、失事概率的计算、社会及政治影响、商业可靠程度及可接受的安全指标等方面的风险评估几乎没有涉及。到了20世纪80年代中期,随着中国经济社会的不断发展,国外各种风险管理的理论与方法才开始较为普遍地引入和应用到项目管理中,尤其是大型水利和土木工程建设项目的管理,例如上海地铁和广州地铁在项目实施过程中就成功地运用了项目风险管理方法。直到20世纪80年代末至90年代初,对水利工程建设进行可靠性研究才逐渐兴盛起来,通过采用概率论、数理统计、随机分析方法、贝叶斯理论、极值统计理论等各种理论方法对工程建设及运营期的不确定因素进行量化分析,并将分析评估成果进一步转化运用到水利工程建设的管理实践中。随着风险管理的日益普遍,在水文水资源领域的研究和应用也逐渐增多,对我国水利事业发展具有重要的推动作用。

总体来说,目前国外在风险分析、风险估算、风险规避、风险评价、风险管理等方面

已经形成了比较完整和成熟的风险管理体系,我国仍处于快速发展阶段。在风险管理理论和方法的基础上,结合不同类型风险的具体特点,采用先进的监测手段,能够实现对风险的有效控制,从而规避和减小风险。但总体来说,在水利风险研究领域仍然有很多领域需要不断研究和完善,例如,如何科学计算风险率,如何正确评估工程失事损失,如何把水文风险和结构风险进行组合,如何建立科学合理的结构维护和维修决策模型,如何结合气候、工程、经济、社会、生态、环境等多层次多系统的综合风险评估等一系列问题,都需要持续不断地开展深入的研究工作。

1.1.3.2 洪水风险研究进展

风险分析是研究洪水等水文极值事件的一个有效工具,通过引入洪水风险率的概念,从而对洪水风险事件有了新的认识 and 把握。这对于水利工程的运行管理、水文基础理论的拓展研究以及水工建筑物的规划设计都有重要的意义。

1. 洪水风险基础理论及方法研究方面

在风险计算模型和方法等基础理论方面,国内外学者都相继开展了一些研究工作,从“洪水控制”转向“洪水风险管理”已经成为国内外防洪减灾形势发展的必然要求(毛德华,2009)。Todorovic P 等(1970)基于极值理论,借助 POT 模型,最先对季节性洪水风险的变化情况进行了描述。Archer(1981)研究了季节性变化对年度洪水风险变动的影响及评估问题。Diaz-Granados 等(1984)对降雨强度和土壤水分如何影响洪水风险大小进行了研究。Wood(1975)将水文过程的不确定性分为3种类型:水文过程的随机特性引起的内在不确定性、数据资料有限产生的模型的不确定性、模型参数的不确定性,并采用贝叶斯方法处理这些水文不确定性。Rasmussen 等(1989)基于超定量频率序列,对数据匮乏条件下设计洪水的风险估计问题进行了研究,引入了“期望风险”概念,并以蒙特卡洛方法验证了其应用。Ettrick TM(1987)和 Futter M. R.(1991)针对短期洪水风险预报问题,从模型假定、所需数据及精确性等方面入手,对比研究了 Cox 回归模型和条件分布模型。Fernandez 和 Sales(1999a, 1999b)从重现期和失事风险的定义入手,提出了可以适用于彼此相关的年径流系列、水库水位系列的通用洪水风险分析方法。Clarke(1999)分析了水位—流量关系曲线的模糊不确定性,对它所引起的估计年均洪水(主要是断面最大流量)的不确定性问题进行了研究。Sen Z.(1999)采用一阶 Markov 过程对具有线性相关结构的水文系列风险进行计算。

自20世纪90年代以来,国内学者在洪水风险基础理论方面也取得了丰硕的成果。针对洪水过程的随机性特性,徐宗学等(1988, 1989a, 1989b, 1991, 1992)、李景玉等(1988)和邓永录等(1989)研究利用 Poisson 过程、更新过程等分析方法构建了用于洪水风险频率分析计算的 CSPPC 模型、CSPPN 模型、HSPPB 模型、HSPPC 模型,但这些方法的过程及结构比较复杂,在实践应用中还必须满足一定的假设条件,因此推广较为困难。傅湘、纪昌明(1998)应用系统分析方法建立了大型水库汛限水位风险分析模型,并以三峡水库为研究对象,根据调度运行原则,计算出不同汛限水位与最大洪灾风险率的关系,供决策者进行权衡比较,帮助决策者在认真分析比较的基础上作出符合科学原则的风险决策。徐玉英、王本德(2001)将改进的一次二阶矩 AFOSM 法应用于水库洪水预报子系统的风险分析中。在 AFOSM 法框架下,对水库洪水预报子系统的风险做了定义

和描述,并以柴河水库为例,对风险率进行了定量计算,结果表明其方法是可行的。朱勇华(2000)将洪水风险与防洪设施工程风险相结合,提出了以洪水大小及持续时间为标值的二元标值泊松点过程模型,给出了防洪综合风险概率的计算公式。左其亭、吴泽宁等(2003)提出了基于模糊隶属度、灰数和未确知数的风险计算模型,为水资源系统风险规划与管理奠定基础。朱元牲、周全林(2005)在传统防洪效益计算的数学模型基础上,综合分析了水文、水流、工程施工和运行管理等多种不确定性,建立了长江中游防洪系统防洪效益的风险分析模型,并对防洪效益计算的风险因子进行了分析,最终将提出的分析模型和方法应用到三峡工程防洪效益的风险计算当中,对各种效益所对应的风险也有了一定的认识。范子武、姜树海(2005)按照防洪工程漫顶失事的逻辑过程提出了防洪风险率的定量计算方法,引入了人员伤亡预测的经验公式,讨论了制定允许风险标准问题。汪新宇等(2004)将水文风险和工程结构风险视为相容事件,采用复合泊松模型计算防洪体系超标洪水水文风险率,并应用可靠性分析方法分析工程结构可靠度,最后利用选择概率计算综合风险率,进行综合风险分析。李晓粤等(2006)从组合事件的概率理论出发,利用“完全相关”与“相互独立”两种特殊情况,采用模糊集理论,考虑洪峰和洪量对洪水风险的共同作用,建立二参数加权组合概率模型,可用于估计防洪风险及进行防洪水利计算,避免了确定条件概率分布的问题。李梅等(2007)综合择近窗宽法和最优窗宽法的优点,提出一种确定扩散窗宽的多目标综合优化方法,可用于洪水系列的概率密度分布函数和不同重现期的估计,避免信息扩散估计的过扩散与欠扩散问题。解家毕(2011)基于防洪设施体系的可靠性分析方法、脆弱性曲线绘制和溃决洪水模拟,突破传统洪水风险分析只考虑洪水的水文现象或结构可靠性评价的局限性,充分考虑防洪设施在洪水风险管理中的作用,提出了一种流域大尺度洪水风险模拟方法。近年来,随着风险基础理论不断发展,一些新的理论与方法也逐渐开始应用于洪水灾害分析的研究和实践,如模糊数学理论方法(白海玲,2000;黄崇福,2001,2002;左其亭,2003)、灰色系统理论方法(夏军,2000;胡国华,2001;吴泽宁,2002;杨思全,2002)、混沌理论方法(丁晶,1992;周寅康,1998;丁涛,2004;黄国如,2004;王红瑞,2004)、极值分布理论(徐天群,2001)、遗传算法和投影寻踪方法(金菊良,2000;张欣莉,2000;魏一鸣,2002)、人工神经网络方法(胡铁松,1995;冯利华,2000;李鸿雁,2002)等,促进了我国洪水风险分析基础理论研究的发展。

2. 洪水风险分析应用研究方面

在洪水风险分析的应用研究和实践方面,早在20世纪70年代初期,风险分析已经逐步应用和推广到一些生产实践中去。B. C. Yen (1971)、A. H. S. Ang (1972)、W. H. Tang (1984)等在综合考虑水力不确定性和水文内在随机性的基础上,首先将风险及可靠度分析的可行性应用到雨水排水系统中。Anselmo等(1996)采用水文和水力耦合模型对意大利某个洪水易发区进行洪水风险评估,并详细介绍了其评估过程。Krenzer H. (2000)以洪水风险特征、洪水预警预报情况、人员紧急撤离逃生条件、洪泛区地理条件、洪泛区土地利用情况、洪泛区内人口分布以及其他社会经济因素作为影响生命损失数的主要因素,根据大量历史溃坝和洪水泛滥统计资料,建立了计算生命损失数的经验公式,用于计算洪水风险损失大小。



国内学者利用洪水风险分析在洪水风险图的研究与编制、水库运行调度与管理、洪水保险等方面已经开展了广泛的应用实践。刘树坤等（1991）探讨了洪水风险图的概念、编制方法、编制准则以及在应用中需要注意的问题。张旭等（1997）通过比较国内外洪水风险图在内容、表达形式、编制标准、应用实践等方面存在的差异，探索适应于基于我国水情、国情的洪水风险图形式，为洪水风险图在我国的推广应用提出了很好的建议。张硕辅等（2001）从洪水风险分析对象、数据获取、地理图文信息处理、风险图作用、防洪减灾效益等方面介绍了《湖南省城镇、大型水库洪水风险示意图集》的编制及其应用指导，是洪水风险图在实践中很好的应用案例。许有鹏等（2004）以中国东南沿海甬江流域为例，依据该流域历史洪水和社会经济数据信息，以地理信息系统为平台，通过分析流域空间信息的动态变化，研究了快速准确编制流域洪水风险图的方法和途径，为中小流域防洪减灾快速决策提供了有力支持。张行南等（2005）以上海市为例，考虑江河、道路等现状阻水建筑物和地形、水利区划等地理单元，基于水文学原理以及沿海地区内涝和风暴潮的致灾原理，建立了沿海地区风暴潮洪水淹没、郊区内涝淹没和中心城区内涝淹没计算与评价模型，以地理信息系统和模糊数学分析法为工具，进行不同区划单元洪涝淹没风险的综合计算分析与评价。向立云（2005）介绍了我国洪水风险图在我国的发展历程，总结了洪水风险理论、洪水风险分析方法和模型、洪水风险特征展示与绘制技术、洪水风险图编制规范等领域取得的进步，以及利用二维非恒定流的洪水分析模型研究绘制城市、蓄滞洪区、洪泛区和防洪保护区的洪水风险图的重要价值。杜鹃等（2006）基于致灾因子、孕灾环境和承灾体的自然与社会属性，以县为基本单元，选择降雨量、地形以及历史上洪水灾害发生频次等自然因子，采用地图代数分析法对湘江流域洪水灾害危险性进行评价，选择人口密度、耕地面积百分比、人均GDP和单位面积水库和塘坝容量等社会经济因子，利用模糊综合评判法对湘江流域洪水灾害脆弱性进行评价，最后基于地理信息系统软件编制了湘江流域洪水灾害综合风险等级评价图。林跃翔（2007）探索利用洪水风险图、数字地图和数字地图作为实施供水管理的手段和工具，以解决防洪工程在以往的防洪减灾过程中遭遇的局限性和被动性，提高洪水风险管理的效率和水平。王晓航等（2008）通过采用无结构网格有限体积法模拟溃坝洪水的二维演进过程，然后利用TIN模型将计算结果可视化，实现水深风险图、流速风险图、淹没历时风险图、洪水到达时间风险图的可视化，并将该方法运用于沙河集水库大坝溃坝模拟，对于制定区域防洪应急预案、进行溃坝洪水风险分析具有重要的参考价值。魏永强等（2009）利用ArcGIS强大的空间信息处理及网络发布功能，开发了黄河下游滩区洪水风险图系统，实现了基础图层的管理功能、专题图层的显示功能和防汛信息的查询功能，并通过网络平台实现了洪水风险图的网络查询功能，为防汛信息查询和防洪抢险救灾提供很好的决策工具。

在水库防洪调度方面，田峰巍等（1998）结合黄河干流水库调度，并在调度规则的基础上，对采用的规则在实施运用中的径流用水预报值、误差修正、风险决策等几个关键问题进行了研究，提出依据典型联合概率分布函数的风险决策方法，用于计算水库放水决策的风险率。韩宇平等（2003）为干流多个串联水库与地下水联合对区域供水系统建立风险分析模型。以系统分析的思想为基础，考察来水和用水的不确定性，利用地表水和地下水联合调配数学模型，采用随机模拟技术对串联水库联合供水的风险进行定量描述。姜树