

江苏省“十二五”重点图书
中国东部防洪减灾系列丛书

流域城市化 与洪涝风险

*Flood Risk Under
Watershed Urbanization*

许有鹏 等编著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

江苏省“十二五”重点图书
中国东部防洪减灾系列丛书

流域城市化与洪涝风险

许有鹏等 编著

东南大学出版社
· 南京 ·

内 容 简 介

流域洪涝灾害防治是人类面临的一项长期而艰巨的任务,洪涝灾害风险分析与评价研究是防洪减灾研究中的重要内容,对洪涝风险的科学评估是防灾减灾对策制定的重要依据。

本书针对当前流域城市化快速发展而使得洪涝灾害风险日趋加大的问题,在对国内外洪涝灾害风险研究现状进行综合分析的基础上,重点以长江三角洲地区为例,首先分析了城市化对流域下垫面土地利用/地表覆盖变化以及河流水系的影响,探讨了流域城市化的水文效应以及洪涝孕灾环境的变化,揭示了长三角地区洪涝灾害特点及其形成机制;其次开展了变化环境下流域洪水模拟与预警分析,探讨了平原区洪涝淹没模拟计算以及流域洪水风险图系统的制作方法;再次,采用综合分析评价的方法,针对长三角地区城市化发展下流域洪涝灾害系统的基本特性,结合孕灾环境、致灾因子以及承灾体特征,构建流域洪涝灾害风险评价的指标体系以及评价计算方法;在此基础上,探讨了城市化对流域洪涝灾害风险的影响,揭示了长三角地区城市化发展下的流域洪涝风险时空变化规律。最后介绍了流域防洪减灾决策支持的系统及其应用,以期为流域防洪减灾提供支持。

该书可供地理、水利、生态、环境科学、资源与可持续发展等相关领域的科学研究人员、工程技术人员、管理决策人员及大专院校、科研院所师生应用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

流域城市化与洪涝风险/许有鹏等编著. —南京:
东南大学出版社, 2012. 8

中国东部防洪减灾系列丛书

ISBN 978 - 7 - 5641 - 3055 - 8

I. ①流… II. ①许… III. ①城市—水灾—风险管理
IV. ①P426. 616

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 218332 号

流域城市化与洪涝风险

出版发行 东南大学出版社

出 版 人 江建中

社 址 南京市四牌楼 2 号

邮 编 210096

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏兴化印刷有限公司

开 本 700 mm×1000 mm 1/16

印 张 14.25 彩插:4

字 数 277 千字

书 号 ISBN 978 - 7 - 5641 - 3055 - 8

版 次 2012 年 8 月第 1 版

印 次 2012 年 8 月第 1 次印刷

印 数 1—1500 册

定 价 36.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025-83791830)

前言

洪水灾害目前已成为我国频繁发生、损失严重并且影响较大的自然灾害。同时随着经济的发展,城市化的快速推进,洪涝灾害损失也渐趋增加,因此开展防洪减灾研究已成为当前面临的迫切任务。由于影响洪水的因素错综复杂,就目前人类的认识水平,尚无法完全预知未来相当长时期内洪水发生的确切时间和真实过程,对未来洪水发生过程还不能做出完全准确的模拟预测,因此通常是将洪水灾害的发生作为随机事件加以分析处理,引进洪涝灾害风险评估方法,定量评估某一地区出现某种类型洪涝灾害的可能性。虽然人们可以通过各种工程性和非工程性措施来减少洪水泛滥的频次和程度,但由于自然和经济方面的原因,洪水灾害目前还难以彻底防范或根本消除,洪水风险总是伴随人类的日常生活而存在,因此开展洪水风险分析具有十分重要的意义。

为此,本书在对国内外洪涝灾害风险分析研究现状进行综合分析的基础上,重点以长江三角洲地区为例,首先分析了城市化的发展对流域下垫面土地利用/地表覆盖变化以及河流水系的影响,探讨了流域城市化的水文效应以及流域洪涝孕灾环境的变化,揭示了长三角地区洪涝灾害特点及其形成机制;其次开展了变化环境下流域洪水模拟与预警分析,探讨了平原区洪涝淹没模拟计算以及流域洪水风险图及其管理系统制作方法;再次,采用综合分析评价的方法,针对长三角地区城市化发展下流域洪涝灾害系统的基本特性,重点选择了降雨、径流、水位等洪涝的主要影响因素,进行洪水的风险分析,结合研究区孕灾环境、致灾因子以及承灾体特征,构建流域洪涝灾害风险评价的指标体系以及分析计算方法;在此基础上,探讨了城市化对流域洪涝灾害风险影响,分析了不同洪涝背景下的洪涝风险等级和区域分布特征,揭示长三角地区城市化发展下流域洪涝风险时空变化规律;最后介绍了流域防洪减灾决策支持系统及其应用,以期为流域防洪减灾提供支持。

全书共分为10章:第1章主要介绍了流域洪涝风险的概念,分析当前洪涝风险的研究现状;第2章主要介绍了长三角地区城市化发展下流域下垫面以及河流水系的变化;第3章在分析城市化水文效应的基础上,开展城市化对洪涝孕灾环境影响的综合分析;第4章主要介绍了长三角地区洪涝灾害的特点与形成机制,分析了形成流域洪涝灾害的气象与下垫面因素的特点;第5章开展了流域洪水模拟模型参数确定问题的研究,介绍了流域洪水模拟与预警的方法与途径;第6章主要开

展流域中下游地区洪涝淹没模拟方法与实例研究分析;第7章主要介绍了流域洪水风险以及洪水风险图制作方法;第8章主要以长三角为例介绍了流域洪涝灾害风险的综合评估方法;第9章开展了城市化发展下流域洪涝灾害风险时空变化特点与影响规律分析;第10章主要介绍了流域防洪减灾决策支持系统的有关问题。

本书将推动我国东部地区流域城市化地区洪水模拟预测与预警、流域洪涝风险评估以及流域防洪减灾的决策支持系统的开发研究,为流域防洪减灾,提高全民防洪意识提供支持,同时可促进城市水文学发展,亦可为其他城市化高度发展地区提供借鉴和参考。

本书系国家自然科学基金重点项目(资助号 40730635)“长江三角洲城市化对河流水系与水文过程影响”研究、水利部水利公益专项(项目编号 200701024, 201201072)“长江三角洲城市化对洪水孕灾环境的影响”研究、“改善长三角水系统结构与河湖连通研究”、江苏省自然科学基金面上项目(BK2006133)和教育部中国高校博士点研究基金(20060284019)的综合研究成果,是在多篇博士与硕士论文基础上的一个综合汇总,也可以说是南京大学近十多年来在长江三角洲地区洪水模拟预测、洪涝风险评估以及防洪减灾系统开发等方面的一个总结。

本书由许有鹏主编,其主持负责了各时期书中各章节内容研究,确定了全书章节安排,同时有多位老师和研究生在不同时期先后参与本书各章节内容的研究。目前本书各章主要编写人员为:第1章由许有鹏、潘光波编写;第2章由邵玉龙、许有鹏编写;第3章由许有鹏、邵玉龙、叶正伟、李国芳编写;第4章由叶正伟、潘光波、许有鹏编写;第5章由许有鹏编写;第6章由周峰、葛小平、罗贤、许有鹏编写;第7章由许有鹏、周峰、葛小平、罗贤编写;第8章由潘光波、李国芳等编写;第9章由潘光波、徐光来、石怡、余铭婧编写;第10章由许有鹏编写。王柳艳、马爽爽、杨明楠、韩龙飞、丁瑾佳、尹义星、王一秋等博士及硕士研究生也参与了本书研究工作。全书最终由许有鹏审校定稿,潘光波、周峰、邵玉龙参加了全书的审校工作。此外,都金康、张立峰、王慧敏等也参与了本书的研究分析。同时全书还得到了刘国伟教授的支持和帮助。长三角有关流域单位和人员在资料收集、野外实验以及流域考察等方面也给予了大力支持和帮助。书中还部分引用了国内外同行学者一些研究成果,在此一并致谢。

本书虽然在我国东部城市化下流域洪涝灾害风险特征与变化规律、洪涝风险评估、洪水淹没与风险图编制等研究方面取得了一些进展,但由于影响流域暴雨洪水过程与洪涝风险变化要素错综复杂,涉及自然、社会经济以及生态环境等多方面因素,不同地区洪涝风险具有不同的特点和规律。因此,本书分析成果还有待进一步的完善,城市水资源与水环境问题仍亟待深入研究。

由于作者水平与时间限制,本书目前的分析只是初步成果,许多方面的分析还有待进一步深入和完善,一些不妥之处敬请批评指正。

许有鹏

2011年11月

目 录

1	综 述	(1)
1.1	洪水与洪水风险	(1)
1.1.1	洪水与洪水灾害	(1)
1.1.2	洪水风险研究	(2)
1.2	洪水风险分析	(3)
1.2.1	风险与洪水风险概念	(3)
1.2.2	洪灾系统及其特性	(4)
1.2.3	洪水风险的识别与估计	(5)
1.3	当前国内外研究状况	(6)
1.4	研究意义	(10)
2	长三角城市化下流域下垫面与水系变化	(12)
2.1	引言	(12)
2.2	区域城市化进程分析	(13)
2.2.1	区域概况	(13)
2.2.2	城市化发展分析	(14)
2.3	城市化背景下下垫面变化分析	(15)
2.3.1	下垫面遥感信息提取	(15)
2.3.2	下垫面变化特征分析	(16)
2.4	水系变化特征分析	(17)
2.4.1	水利分区	(17)
2.4.2	区域水系变化特征	(18)
2.4.3	水系演变的影响因素	(20)
3	长三角城市化对洪涝及孕灾环境影响	(21)
3.1	引言	(21)
3.2	长三角地区城市化发展下洪涝灾害分析	(21)
3.2.1	长三角地区流域洪涝特性分析	(21)
3.2.2	长三角各典型区域洪涝特性分析	(22)
3.3	城市化发展对洪涝灾害的影响分析	(26)
3.3.1	城市化发展对降雨的影响	(26)

3.3.2	城市化发展对径流的影响	(28)
3.3.3	城市化发展对水位的影响	(29)
3.4	流域洪涝孕灾环境	(31)
3.4.1	流域洪涝孕灾环境内涵	(31)
3.4.2	城市化与洪涝灾害孕灾环境分析	(32)
3.4.3	流域洪涝灾害系统分析	(33)
3.5	长三角地区城市化对孕灾环境的影响	(34)
3.5.1	城市化下孕灾环境变化的分析	(34)
3.5.2	降雨径流的孕灾环境影响	(35)
3.5.3	土地利用与河湖水系的孕灾环境影响	(36)
4	长三角地区洪涝灾害成因分析	(38)
4.1	长三角暴雨洪涝天气系统分析	(38)
4.1.1	暴雨形成条件	(39)
4.1.2	暴雨洪水特征分析	(39)
4.1.3	暴雨的环流背景	(41)
4.2	影响洪涝的下垫面因素	(44)
4.2.1	土地利用/覆盖变化的影响	(44)
4.2.2	湖泊水面率的变化	(45)
4.2.3	水系结构特征的变化	(45)
4.2.4	经济发展导致地下水开采的影响	(46)
4.3	长三角地区洪涝灾害特征分析	(46)
4.3.1	流域洪涝灾害影响因子分析	(46)
4.3.2	太湖流域洪涝成因分析	(47)
4.3.3	里下河地区洪涝成因分析	(50)
5	流域洪水模拟与预警研究	(59)
5.1	流域洪水模拟模型参数研究	(59)
5.1.1	模拟模型参数分析	(59)
5.1.2	遥感和GIS信息在水文动态模拟中的应用	(63)
5.1.3	遥感和GIS在洪水过程模拟中的应用	(69)
5.2	流域实时洪水模拟与预警	(74)
5.2.1	实时洪水模拟与预警分析	(74)
5.2.2	实时洪水预警模型及参数分析	(77)
5.2.3	实时水文模型参数自动确定	(80)
5.3	实时洪水校正预报方法	(84)
5.3.1	kalman 滤波计算方法	(85)

5.3.2	校正预报方法的选用	(86)
5.4	模型应用成果的检验	(87)
6	流域洪水淹没模拟研究	(92)
6.1	流域洪水淹没方法	(92)
6.1.1	地貌学法	(92)
6.1.2	实际洪水法	(93)
6.1.3	地理信息系统(GIS)方法	(93)
6.1.4	水文水力学方法	(97)
6.2	二维水动力数值模拟	(98)
6.3	基于GIS的洪水淹没实例分析	(103)
6.3.1	实验流域概况	(103)
6.3.2	淹没模拟	(103)
6.4	基于二维洪水演进淹没模拟实例分析	(106)
6.4.1	流域概况	(106)
6.4.2	设计暴雨计算	(107)
6.4.3	设计洪水分析	(107)
6.4.4	不同风险等级洪水的淹没计算	(108)
7	GIS支持下流域洪水风险图研究	(113)
7.1	流域洪水风险图分析	(113)
7.1.1	洪水风险图的内涵	(113)
7.1.2	洪水风险图的作用	(114)
7.1.3	洪水风险图的类型	(115)
7.1.4	洪水风险图应用与发展	(116)
7.2	洪水风险图的编制方法与步骤	(116)
7.3	洪水风险图编制应用分析	(120)
7.3.1	基于GIS的洪水风险图编制	(120)
7.3.2	基于实时模拟的洪水风险图编制	(121)
7.4	洪水风险图查询管理系统	(123)
7.4.1	系统的基本框架	(123)
7.4.2	系统的主要功能	(124)
8	流域洪水灾害风险评价	(133)
8.1	洪灾风险识别	(133)
8.1.1	致灾因子	(133)
8.1.2	孕灾环境	(134)
8.1.3	承灾体	(135)

8.2	洪灾风险指标体系	(135)
8.2.1	指标因子的选择	(135)
8.2.2	指标因子的量化	(138)
8.2.3	指标权重的确定	(144)
8.3	长三角地区城市化发展下洪涝灾害风险分析	(147)
8.3.1	长江三角洲地区洪涝灾害风险的空间变化	(147)
8.3.2	长江三角洲地区洪涝灾害风险的时间变化	(149)
9	城市化下流域洪灾风险时空变化	(153)
9.1	洪灾风险的空间分布	(153)
9.1.1	苏锡常地区洪灾风险的空间差异	(153)
9.1.2	其他地区洪灾风险的空间差异	(161)
9.2	洪灾风险变化的空间差异	(167)
9.2.1	洪灾风险变化的研究方法 with 指标体系及其权重	(167)
9.2.2	苏锡常地区洪灾风险变化的空间差异	(169)
9.2.3	其他地区洪灾风险变化的空间差异	(178)
9.3	城市化对洪灾风险的影响	(181)
9.3.1	城市化水平的综合分析	(182)
9.3.2	城市化与洪灾风险的相关分析	(183)
10	流域防洪减灾系统的应用	(186)
10.1	流域防洪减灾决策支持系统	(186)
10.1.1	决策支持系统概述	(186)
10.1.2	决策支持系统的结构分析	(187)
10.1.3	GIS 支持下的防洪减灾决策支持系统	(188)
10.2	防洪减灾决策支持系统的总体结构与功能	(189)
10.2.1	系统总体设计分析	(189)
10.2.2	防洪减灾系统的结构功能	(189)
10.3	防洪减灾决策支持系统组成	(191)
10.3.1	防洪减灾数据库系统	(191)
10.3.2	防汛地理信息库	(194)
10.3.3	防洪减灾模型库	(196)
10.4	流域防洪减灾决策支持系统的应用	(198)
10.4.1	研究区防汛决策支持系统的建设	(199)
10.4.2	流域洪水模拟预警系统	(202)
10.4.3	研究区洪水风险图查询评估分析	(204)
10.4.4	实时洪水淹没及防洪决策调度分析	(206)
	参考文献	(210)

1.1 洪水与洪水风险

1.1.1 洪水与洪水灾害

洪水灾害(也称为洪涝灾害)是当今世界上发生最为频繁和危害最大的自然灾害之一,其损失占各类自然灾害所造成损失的40%以上。随着人类经济的发展与城市化的快速推进,洪水灾害带来的损失越来越大。洪水灾害的频繁发生还导致了严重的水土流失及生态环境恶化等问题,并已严重危及到人类的生存环境,因此洪涝灾害问题应引起我们的高度重视。

洪水通常是指河水的超大径流漫溢天然水体或人造堤防而出现的大水泛滥现象,分为当地暴雨致涝型与过境洪水致洪型。洪峰流量、洪水总量、洪水历时是描述洪水的三个要素。按洪水成因和地理位置的不同,洪水常分为暴雨洪水、冰川融雪洪水、冰凌洪水、溃坝(堤)洪水和沿海型洪水(如起因风暴潮、海啸等洪水),而我国大部分地区以暴雨洪水为主。按洪水发生流域地点差异又可分为山区型洪水、平原洪涝型洪水,其中,山区型洪水的特征是洪水历时短,流速大,洪水过程陡涨陡落且涨落幅度大,洪峰形状尖瘦;平原型洪水的特征是历时较长,流速小,洪水过程涨落缓慢且涨落幅度小,洪水和涝水交织在一起,洪峰形状较为平缓。

洪水是人类自古以来就不断关心和研究的问题,人类要在水源丰富的江河两岸或洪泛平原上生产和生活,就必须面对不断发生的洪水泛滥问题。在与洪水的不断抗争中,人类逐渐适应了不断发生的洪水,避害趋利,求得人类的生存和发展。

影响洪水特性的主要自然因素是流域气候条件、下垫面地形地貌特征等。洪水能否造成灾害,还与人类社会经济活动有密切关系。我国幅员辽阔,河流水系众多,受季风气候和地理格局的影响,降雨的年际变化和年内分配过程变化十分剧烈,洪涝灾害是对我国人民生活威胁最大、最为频繁的一个主要自然灾害。同时由于我国气象特征与地理类型多样和复杂,因此引发的洪水也具有多种不同类型。

我国东部地区基本是我国主要江河的下游地区,由于地势平缓,河段纵比降小,流域上游洪水一旦进入下游地区往往是峰高量大,通常会大大超过下游河道泄洪能力,如果再加上潮水顶托,即会产生较大的洪涝灾害。我国东部平原地区集中

了全国 1/3 的耕地、40% 的人口和 60% 的工农业总产值,人口密度一般为 300~500 人/km²,最高达 900 人/km²(骆承政,1996),是我国重要的政治经济文化中心。同时由于江河、湖泊水域附近城镇密集,河道行洪断面日益缩小,使得行洪能力不断下降,洪水来量与泄量矛盾越来越突出,因此该区域也是洪涝灾害最为集中的地区。

洪水灾害的源和载体在于自然,而承受者则为人类社会和与其密切相关的生态系统(称为承灾体),灾害的形成是自然因素和社会因素综合作用的结果。由于洪水灾害的最终承受客体是人类社会,因而只有对人类社会的部分或整体造成直接或间接损害的洪水才能称为灾害性洪水或洪水灾害。洪水不仅对经济带来重大损失,还影响到社会、环境以及人身安全和生产生活,随着人口和国民经济的不断增长和发展,在同样防洪能力的情况下,洪涝灾害损失将愈来愈大。如 1991 年淮河、太湖流域的暴雨洪水比 1954 年小,但经济损失远远超过了 1954 年。因此,洪水威胁作为中华民族的心腹之患,应当与国防建设一样,予以高度重视。

对于洪水灾害的研究,需要广泛调查搜集洪水灾害和社会经济基本资料,分析研究自然条件、江河、湖泊演变,社会、经济因素对洪水灾害的影响程度,同时还需要分析研究洪水灾害对社会经济发展和生态环境带来的后果,在此基础上不断深化对洪灾发生、发展规律的认识,总结防洪减灾的历史经验,提出今后防洪减灾的对策与措施(骆承政,1996)。

1.1.2 洪水风险研究

由于影响洪水的因素错综复杂,目前人们还未能对洪水形成机制作出全面认识。因此,在流域防洪减灾过程中,在对未来洪水预测和预警的同时,还需要对洪水风险及危害程度作出评价,以便实施正确的防洪减灾措施。洪水风险一般是指某一地区可能造成灾害的洪水发生的可能性。由于目前人类的认识水平尚不能完全预知未来相当长时间内洪水发生的确切时间和真实过程,因此人们虽然可以通过各种工程和非工程性措施减少洪水泛滥的危害程度,但是洪水灾害目前还难以彻底防范和根本消除,洪水风险总是伴随人类的日常生活而存在(徐向阳等,1999)。开展洪水风险分析,定量评价流域洪水发生可能性,将为人们防御洪水灾害,减轻洪水灾害损失提供有力的帮助,其已成为防洪减灾的一项重要非工程性措施,并在世界各地加以推广应用。

洪水风险的存在是客观和确定的,而风险的发生是不确定的。洪水风险分析是指在防洪措施中引进概率的概念,定量地估计某地出现某种类型洪水的可能性,也可视作为超长期洪水概率预报。洪水风险分析是防洪减灾问题的一种宏观战略评价,作为一项防洪的非工程性措施,可使洪泛区居民了解自己所处位置的洪灾风

险概率和受灾的严重程度,提高防洪意识,并可提高洪泛区管理水平。它是平原洪泛区规划方案及项目设计的基础,是进行建设开发可行性评估的依据。洪水风险分析还是防汛调度运用和防洪决策的科学依据之一,任何防洪设施可获得防洪效益,同时也存在一定的失败风险,效益与风险并存。因此为取得防洪减灾的最好效益,必须要进行洪水的风险分析。

1.2 洪水风险分析

1.2.1 风险与洪水风险概念

由于自然界和人类社会活动中客观存在的不确定性以及人的认识水平的局限性,人们很难对未来事件(如洪灾)的概率和后果进行准确的预测,有时实际结果往往在人们的意料之外。因此可以说,不确定性是风险发生的原因,没有不确定性就没有风险可言,甚至可以认为风险就是对非期望事件的不确定性的客观体现。也就是说,风险发生的不确定性决定了风险所致损失发生的不确定性,风险发生的概率越大,损失出现的概率也越大,反之亦然。风险通过损失表现出来,其大小可通过所致损失的概率分布特性来描述。

由于风险是指一定时空条件下发生的非期望事件,因此,首先,风险是不以人们的意志为转移的客观存在,它与随机性因素有关,其大小可度量。根据概率论,风险大小取决于所致损失概率分布的期望值和标准差。其次,风险伴随着人类的活动而存在,若没有人类的活动,就不会有什么期望,也就不存在风险,这是风险存在的前提。它的发生直接危害了人类的利益、健康和环境安全,是不幸事件,其后果违背了人们的意志。第三,风险与一定的时间、空间条件有关,当这些条件发生变化时,风险也可能发生变化。

目前对于风险的概念与内涵的理解,还没有一个统一的认识,一般认为风险的定义有狭义和广义两种。前者指“失事”概率,用来衡量风险事件出现概率的大小,其缺点是没有反映该事件造成损失程度的大小;后者建立在贝叶斯(Bayes)框架下,是指事件发生的后果与预期后果背离的程度及其发生的概率。该定义较全面地反映了风险事件的两个方面,将风险看做是风险率与风险后果的函数,认为风险是两者综合作用的结果,其函数式可表达为:

$$R = f(P, C) \quad (1.1)$$

式中: P 是风险率; C 是风险事件的后果; R 是风险值,是 P 、 C 两者的综合作用结果,表示风险的大小。

狭义的洪灾风险仅指洪水灾害发生的频率,而广义的洪灾风险不仅包括洪水

灾害发生的频率,还包括洪水灾害所产生的不利后果。也就是说,广义的洪灾风险还包括在一定的防洪措施或其他各种可能的条件下,发生洪灾时,人员、经济、社会、环境等因素遭受损失的可能性大小。因此,可以用“积”的概念表示广义的洪灾风险,也就是说,洪灾风险值是风险率与洪灾造成的损失交集,由两者结合而成。

$$R = P \cap L \quad (1.2)$$

或

$$\begin{aligned} R_{LOL} &= P \cap LOL \\ R_{LOS} &= P \cap LOS \end{aligned} \quad (1.3)$$

式中: R 表示洪灾风险; P 表示风险率; L 表示洪灾造成的损失,其主要组成部分为 LOS (人员伤亡数)和 LOL (经济损失数)。

近年来,随着社会和科学的进步,为了确切地分析评估洪水灾害可能造成的损失,更好地制定防灾减灾的对策和措施,人们更加重视洪水风险评估的定量化和实用性研究,主要包括洪水风险定量分析、洪水灾害后果定量评估以及洪水风险图制作及应用等内容。

1.2.2 洪灾系统及其特性

洪水灾害的发生、发展及消亡的整个演化过程都是人与自然关系的一种表现。一般而言,形成洪水灾害必须具有两个条件:一是存在诱发洪水的因素(致灾因素)及其形成灾害的环境(孕灾环境);二是洪水影响区有人类居住或分布有社会财产(承灾体)。致灾因素、孕灾环境、承灾体三者之间相互作用的结果形成了通常所说的灾情。从系统论的观点来看,孕灾环境、致灾因子、承灾体及灾情之间相互作用。相互影响、相互联系,形成了一个具有一定结构、功能及特征的复杂体系,这就是洪水灾害系统(魏一鸣等,1999)。总体上,洪灾系统具有以下特点:

(1) 高维性:洪水灾害系统是由孕灾环境子系统、致灾因子子系统、承灾体子系统及灾情子系统四个子系统组成,而每一个子系统又包括各自的子系统,具有极高的维数。

(2) 复杂性:子系统之间关联复杂,不仅表现在结构上,而且表现在内容上。

(3) 不明确性:洪水灾害的形成受多种因素的影响,表现形式又各不相同,且各因素之间因果表达关系复杂,从而使得系统内部因素间因果层次关系不明确。

(4) 不确定性:概括而言,包括随机性、模糊性、灰色性与混沌性等方面。

(5) 开放性:作为一个“人—自然—社会”相互影响的系统,洪水灾害系统不断地与环境发生着物质、能量和信息的交换。一方面,洪水灾害的形成需要一定的条件,外部环境系统的作用是洪灾发生的必要条件。另一方面,洪水灾害的发生又对

外部环境系统产生影响,甚至产生或引起其他灾害。

(6) 动态性:由于周围环境系统不断地发生变化,系统的输入、输出强度与性质也将不断地变化,从而引起洪水灾害系统随时间而不断地发生变化,并进一步引起洪水灾害系统的结构与功能的变化。

(7) 非线性:洪水灾害系统的输出特征对于输入特征的响应不具备线性叠加性质。

1.2.3 洪水风险的识别与估计

目前,洪水风险的量化主要包括三个方面:①洪水事件的性质和量级;②洪水事件出现的可能性大小;③洪水事件一旦出现后可能造成的损害。洪水事件的性质是指洪水的最高水位、最大流量以及洪水成因,洪水量级是指洪水的最高水位、洪峰流量以及洪水总量的大小。洪水事件出现的可能性一般是指超过一定量级或数值的洪水出现频率或重现期。洪水事件发生后可能造成的损害则主要包括淹没范围、洪灾经济损失以及人员伤亡等多项内容。

洪水风险分析是对洪水发生的各种风险进行风险识别、风险估计、风险评价,并在此基础上优化组合各种风险管理技术来做出风险决策,对风险实施有效的控制,妥善处理风险所致损失的后果,期望以最少的成本获得最大的安全保障。

洪水风险识别就是要找出风险之所在和引起风险的主要因素,并对其后果做出定性的估计和描述。其首要问题是在众多风险中判明哪些风险应该考虑;其次,找出引起该风险的主要原因,即风险因素;最后,分析这些因素可能引起的后果及其严重程度。由于防洪系统涉及面广,影响因素较多,因而存在的风险因素很多,有较为明显的,也有较为隐蔽的,所以必须要找出主要矛盾,从而使问题的分析简化(姜树海等,2005)。风险识别是风险分析中的一个重要阶段,能否正确地识别风险,对风险分析能否取得较好的效果有极为重要的影响。为了做好风险识别工作,必须有认真的态度和科学的方法。

风险估计是在风险识别的基础上,通过对所收集的大量的损失资料加以分析,运用概率论和数理统计方法,对风险发生的概率及其后果做出定量的估计。在洪灾风险中,由于不同大小的洪水发生的概率不同,相应的造成的洪灾损失值也不同,故应对不同洪灾损失及相应发生的概率进行估计,求出不同程度的洪灾损失的概率分布以及可能遭遇的各种特大灾害的损失值和相应的概率,使决策者对该种风险出现的概率、损失的严重程度等有比较清晰的了解。风险估计是风险分析的关键性内容,科学的风险估计是对风险做出合理评估,制定恰当的风险管理措施,进行风险决策的重要依据。

在洪水风险评价与决策中,通过风险识别和风险估计,能对存在哪些主要风

险、产生风险的原因、各类风险发生的概率和后果的严重程度有清楚认识和估计。在此基础上,估计风险大小(等级),确定风险是否在人们所能承受的范围內。若风险不能承受,则进一步研究人们面对风险应该采取什么措施来回避、分散、转换或消除,研究并提出一些有效的处理风险的措施和对策,然后对这些处理方案进行评价,做出风险决策。

在对风险进行了识别、估计及评价,提出了若干种可行的风险处理方案后,需要决策者对各种处理方案可能导致的风险后果进行分析,做出决策,即决定采用哪一种风险处理的对策和方案。因此风险决策从宏观上讲是对整个风险分析活动的计划和安排;从微观上讲是运用科学的决策理论和方法来选择风险处理的最佳手段。

风险问题的决策与一般确定性问题的决策有重要区别。首先,一般确定性问题的决策,各个方案的效果(目标评价值)是确定的,决策者据此可做出选择。而在风险问题的决策中,风险因素是随机性的。在不同随机状况下,各个方案的效果有很大差别,通常不存在一种方案在各种随机状态下的效果总优于其他方案。其次,风险问题的决策者对待风险的态度对方案的选择有重要影响。第三,在确定性问题的决策中,从理论上讲,最优的决策可获得最佳的效果,决策的正确与否可以用效果的好坏来检验。而在风险问题的决策中,由于不能保证所选择的方案在任何情况下都是最好的,决策的正确与否不能简单地用实施能否得到最优的结果来检验(纪昌明等,2000)。

为了定量地评估洪灾风险,必须分别计算不同大小的洪灾损失及其相应发生的概率。在此基础上全面综合地确定风险值,并以此作为防洪安全决策的依据。

1.3 当前国内外研究状况

流域洪涝灾害及其风险研究的内容广泛,全面涉及自然科学领域和社会科学领域,涉及气象学、地理学、水利水电学科以及经济、社会等,问题异常复杂。因此,要为防洪减灾提供科学的决策依据,就必须不断地更新相关技术,充分运用最新的科学成果,加强新技术新方法的探索与应用,并做好相关的流域洪水成因分析、城市化等人类活动对洪水影响、流域洪水模拟与预测预警、洪水淹没与风险图编制、洪水风险评估以及防洪减灾决策支持系统建设等研究。

当前,随着科学技术的发展,我国流域洪水特征和变化规律的研究、洪水预测预警技术方法研究、防洪减灾对策措施的研究有了很大发展。随着电子技术、遥感和遥测技术、计算机模拟技术的发展以及系统科学的理论方法在水文预测预报中的应用,暴雨洪水理论的深入开展,高质量水文模型的不断创立,使我国水文预报

和预警工作有了一个长足的发展。

洪水一般是气象因素和下垫面因素综合作用的结果,而且一些大的洪水往往是多种天气系统的综合作用结果。水文气象研究以及灾害性暴雨研究是洪水研究的重要方面。长期以来,国内外水文学者、气象学者都进行了许多有益探索。影响洪水的因素错综复杂,洪水规律研究也在不断深入之中,新时期下,应从洪水形成规律上,探讨洪水地区分布规律,同时也应从成因角度分析洪水变化特征,为此水文工作者进行了不懈的努力。我国在长江等大江、大河大多已开展了流域地区洪水特性研究,这些研究为地区洪水规律研究创造了条件。国际上,目前较为重视气候变化、大气环流异常对洪水的影响,研究不同尺度水文现象的叠加对洪水过程的影响。

在洪水模拟预测和预报研究方面,从径流形成的物理概念和洪水形成规律出发,模拟降雨经过流域调节后形成径流的整个过程是当前洪水模拟的主要发展方向,而探讨适应不同尺度的以流域栅格为基础的洪水预估模型和以栅格为单元的分布式产汇流模型则成为目前水文模型的研究方向(任立良等,2000;黄振平等,2001)。另外,通过概念性模型来模拟降雨径流已取得较好成果,推动了整个水文模型的研究和发展,其中较著名的模型有 Stanford 模型、Sacramento 模型以及我国的新安江模型等。在河道及洪泛区洪水演进研究方面,非稳定流方程和不稳定流数值计算方法随着计算设备的高速发展也得到广泛应用。为提高洪水模拟预测的预见期,将气象与水文模型相耦合,将气象上的降尺度分析结果作为水文模型的输入,是水文模拟的重要发展方向,如 VIC 模型(Variable Infiltration Capacity)。同时将水量平衡与能量相结合进行大尺度水文模拟分析,也已取得了较好研究成果(Liang et al., 2003)。

但目前所采用的概念性模型或系统模型都是利用流域的输入(降水、蒸发、气温等)和输出(径流)资料来率定降雨径流模型的参数,尽管近年有关参数优化方法的研究有所进展,但其根本缺陷并没有解决,参数不独立问题以及异参同效问题等用数学方法无法克服。同时参数率定还取决于率定期的气候条件和土地利用情况。此外,流域模拟面临的主要挑战还有处理空间的不均匀性和尺度转换问题。如何将流域水文、气象、环境、地质融为一体进行洪水模拟,也是需要进一步研究的问题。

在新技术应用上,随着遥感和地理信息系统不断发展,其在防洪减灾中发挥了较大作用。国家科技攻关从“六五”开始就陆续开展这些方面研究。20 世纪 90 年代后期,RS 技术与 GIS 技术的集成应用有了较大的发展,促进了一系列洪灾监测信息系统、洪水灾情分析模型、洪水灾害评估信息系统等的发展,实现了对洪涝灾害的灾中实时评估(周成虎,1993;陈曦川,1997;陈秀万,1997;杨存建等,1998;陈

秀万,1999),极大地提高了洪灾监测、分析及评估的精度和时效性。通过将地理信息系统、对象关系模型数据库、水力演进模型以及三维模拟技术结合,许有鹏等对洪水淹没范围进行了模拟(葛小平等,2002;许有鹏等,2005)。万庆等将地理信息系统技术、计算机模拟技术与交通分配理论应用于蓄洪区灾民撤退过程,实现了对撤退过程的定位、定量的空间动态分析模拟(万庆等,1995)。

利用遥感信息可实时动态监测洪水淹没范围,定时估算灾情损失情况。同时利用遥感信息和GIS可以分析确定流域下垫面高程、不透水面面积,辅助确定模型参数。同时利用定时遥感、遥测信息,借助数字高程模型(DEM),可进行洪水淹没及灾情损失预估,如GIS支持下的分布式流域洪水模拟和淹没分布研究(Chang et al., 2000; Tamura et al., 2000; Zerger et al., 2003)以及美国加州 Sacramento 河洪水预警决策支持系统研究等都为防洪减灾打下了基础。总之,遥感和地理信息系统技术的发展和应用,为其在水文中的应用提供了极大的便利(陈秀万,1997; Lin et al., 2010)。

在流域洪水风险分析与灾害评估研究方面,洪涝风险分析是定量地估计某地出现某种类型洪涝的可能性,是防洪决策的科学依据之一(魏一鸣等,1999;纪昌明等,2000;朱元铎,2001)。随着社会和科学的进步,为了确切地分析评估洪涝灾害可能造成的损失,更好地制定防灾减灾的对策和措施,人们需要更加重视对洪涝风险评估的定量化和实用性研究。

国外的研究主要包括洪涝灾害风险形成机制的揭示,洪涝灾害风险因子的识别,洪灾风险评估模型的建立、控制和减轻洪涝风险的对策研究等方面。洪灾风险分析是防洪减灾的基础和重要技术支撑,有助于相关防洪规划的制定,有助于规范区域开发管理与防洪工程建设,是实施非工程性措施的重要依据,有助于增强全民防洪减灾意识,促进全社会防洪救灾及洪水保险的开展。美国、日本、欧洲等国家和地区在这些方面做了大量工作,并实现了巨大的经济效益(张万宗等,2001;马建明等,2005)。

美国在1933年通过流域管理局对田纳西河流域进行了全面的设计、规划、开发与治理,而在其管理中,重要的前期工作之一就是风险分析。洪灾风险分析为水利工程方案的设计与优化提供了依据,促进了流域整治与综合开发规划的制定,推动了风险区居民的迁移;同时通过洪灾风险评价理论与方法的探讨,开创了自然灾害风险评价的先例(杨郁华,1983)。1968年,美国设立国家洪水保险计划(NFIP),先后投入近100亿美元,绘制了基本覆盖全国的洪水风险图,在居民避难与救助、洪泛区管理以及减灾公共政策的制定等方面得到了广泛的应用,取得了显著的减灾效益,同时还应用到了土地利用开发、城市建设规划中。

日本是一个山多河短、降水丰富的国家,是洪灾多发区。早在1987年日本就