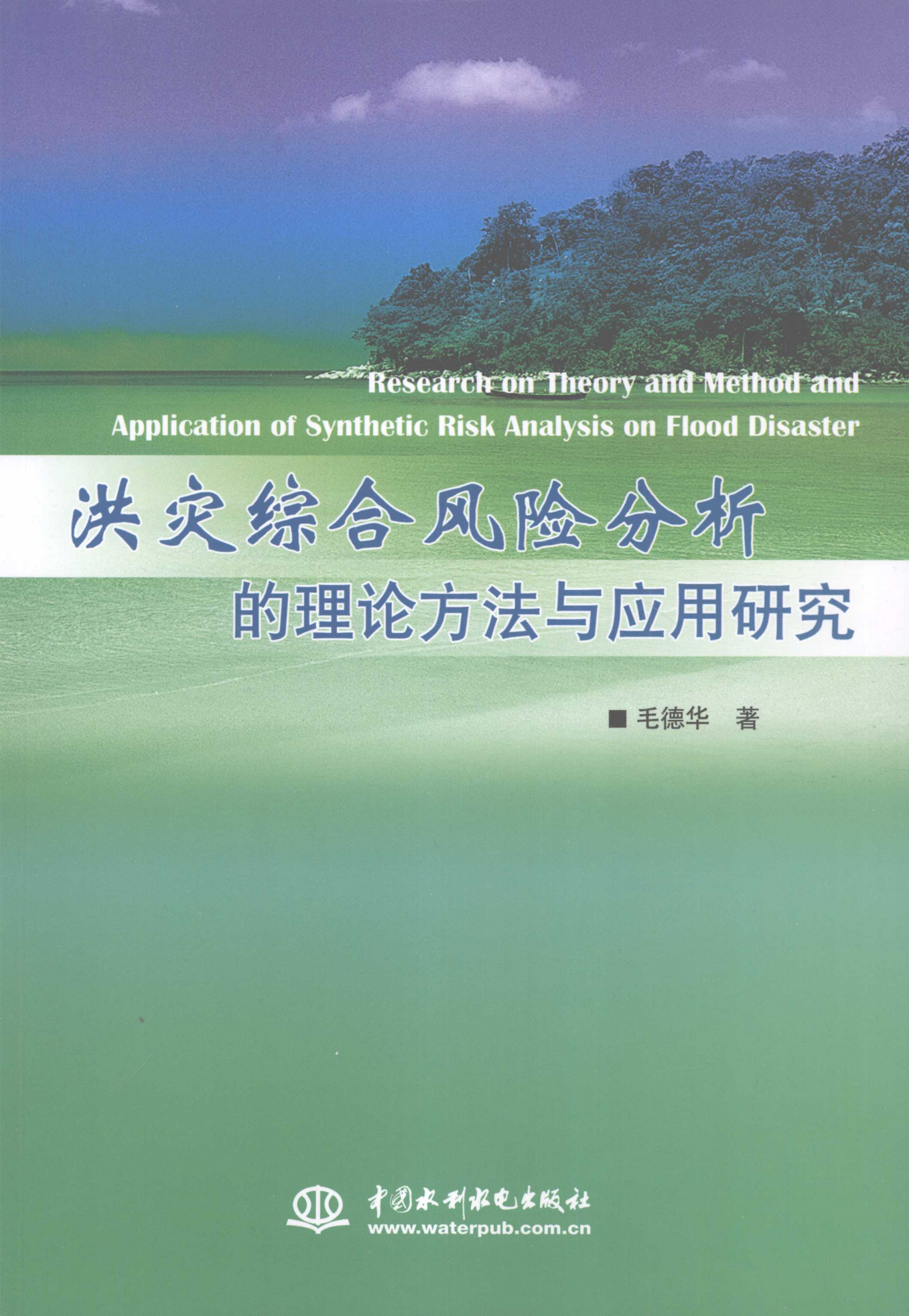




Research on Theory and Method and
Application of Synthetic Risk Analysis on Flood Disaster

洪灾综合风险分析 的理论方法与应用研究

■ 毛德华 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

湖南师范大学出版基金

湖南省自然科学基金 (06JJ2061)

湖南省教育厅重点科研项目 (05A041) 联合资助

洪灾综合风险分析的理论方法 与应用研究

■ 毛德华 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书构建了洪灾综合风险分析的系统化研究体系,在洪灾综合风险分析和对策研究中运用了多种新理论方法:如小波分析、R/S分析、遗传算法与投影寻踪方法、混沌动力学理论方法、灰色系统理论、博弈论等。并率先在洞庭湖区进行了系统的应用。将丰富和发展水文学、水力学、灾害学、风险管理等的理论与方法;创新复杂河网地区洪灾综合风险分析的理论与方法;指导其防洪减灾实践,对维系洞庭湖区和长江流域的防洪安全、粮食安全、生态安全与经济安全具有重要的作用;为洞庭湖区乃至长江流域社会经济的可持续发展作出贡献。

本书可供从事水利水电工程、水文学、水资源学、环境学、地理学、资源科学、灾害学、经济学、金融学以及有关专业的师生、科研人员、管理人员和工程技术人员阅读,也可作为相关专业的本科与研究生参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

洪灾综合风险分析的理论方法与应用研究/毛德华著.

北京:中国水利水电出版社,2009

ISBN 978-7-5084-6442-8

I. 洪… II. 毛… III. 洪水-水灾-风险分析-研究

IV. P426.616

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 050972 号

书 名	洪灾综合风险分析的理论方法与应用研究
作 者	毛德华 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 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 10.5 印张 249 千字
版 次	2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷
印 数	0001—1500 册
定 价	48.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言



从“洪水控制”到“洪水风险管理”，是国内外防洪减灾形势发展的必然要求和发展趋势，洪灾综合风险分析的理论与方法研究为洪灾风险管理提供科学依据，是当今的一个研究前沿和热点问题。洞庭湖是世界名湖，南纳四水、吞吐长江，河网密布，这一方面使得洞庭湖区水情复杂，灾情严重，风险巨大；另一方面使得洞庭湖区与广泛的地区有着物质、能量、信息的交换。导致洞庭湖区洪灾典型和形成机理复杂、防洪减灾涉及问题多样且复杂。洞庭湖区又是全国商品粮、鱼、棉等生产基地，工业原料的供应基地，经济地位重要。

本书构建了洪灾综合风险分析的系统化研究体系，在洪灾综合风险分析和对策研究中运用了多种新理论方法，如小波分析、R/S分析、遗传算法与投影寻踪方法、混沌动力学理论方法、灰色系统理论、博弈论等。并率先在洞庭湖区进行了系统的应用。将丰富和发展水文学、水力学、灾害学、风险管理等的理论与方法；创新复杂河网地区洪灾综合风险分析的理论与方法；指导其防洪减灾实践，对维系洞庭湖区和长江流域的防洪安全、粮食安全、生态安全与经济安全具有重要的作用；为洞庭湖区乃至长江流域社会经济的可持续发展作出贡献。

本书主要内容有：对国内外研究现状进行评述，探讨洪灾风险分析研究的趋势。运用灾害系统论的理论与方法，从防洪减灾过程与洪灾形成机制等纵横联系提出洪灾风险分析的系统化研究体系。选取四水流域年洪峰流量实测时间序列，运用小波分析法、Mann-Kendall检验法、R/S分析法、突变分析法、G-P算法研究了四水流域年洪峰流量序列的周期性、趋势性、趋势的持续性与逆持续性与混沌特征，从而揭示洞庭湖区洪灾孕灾环境变异性特征。根据建立的近500年洪涝灾害序列，运用统计方法、周期图分析法、公度性分析与容量维计算等方法，进行洞庭湖区洪水危险性分析。运用遗传算法

和投影寻踪方法对洞庭湖区以堤垸为单元进行易损性评估。运用混沌动力学中的时间序列重构相空间技术计算关联维数和 Kolmogorov 熵, 进行 R/S 分析等来研究洞庭湖区洪灾灾情的混沌特征及灾情预测, 运用灰色系统理论和连环替代法等方法进行灾情评估分析。水文学方法与水力学方法相结合, 选取典型堤垸堤段对包括堤防漫顶、边坡失稳和渗透变形等堤防风险进行综合分析。运用市场价值法、影子工程法、碳税法、替代费用法等方法评估洞庭湖生态服务价值, 基于评估结果和恢复生态学原理, 提出其生态恢复对策系统。以退田还湖、移民建镇对策为例, 探讨其涉及到多个决策主体的相互作用的情况, 运用博弈论进行分析。提出了有待进一步解决的问题和今后的研究方向。

本书的特点是: ① 新颖性, 本书首次构建了洪灾综合风险分析的系统化研究体系, 在洪灾综合风险分析和对策研究中运用了小波分析、R/S 分析、遗传算法与投影寻踪方法、混沌动力学理论方法、灰色系统理论、博弈论等多种新理论方法; ② 系统性, 内容涉及到孕灾环境的变异性、洪灾危险性、洪灾易损性、灾情评估、工程风险、洪泛区管理和洪灾防治对策等, 系统全面; ③ 综合性, 综合运用多种新的理论方法, 又如, 堤防工程风险分析包括了堤防漫顶风险和边坡失稳风险和堤身渗透变形风险等综合风险的分析; ④ 理论与实际相结合, 新的理论方法都运用到洞庭湖地区的各种风险分析中, 而不是空洞的介绍。

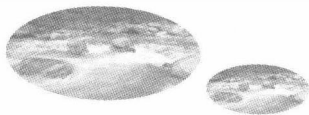
本书主要在作者的博士论文“洞庭湖区洪灾风险分析与博弈对策研究”的基础上撰写而成, 在此衷心感谢我的指导老师——我国著名的水文学与水资源学专家夏军教授。在写作过程中还得到了徐宗学、陈进、程海云、张文华、宋星源、谢平、雒文生、邵东国、张翔等教授的指导; 在研究过程中, 还得到了贺新光博士以及我曾指导的研究生周钢、皮红莉、王立辉等的协助; 同时本书的研究工作得到了湖南省自然科学基金(06JJ2061)和湖南省教育厅重点科研项目(05A041)的资助。在此对他们一并表示衷心感谢。

本书可供从事水利水电工程、水文学、水资源学、环境学、地理学、资源科学、灾害学、经济学、金融学以及有关专业的师生、科研人员、管理人员和工程技术人员阅读, 也可作为相关专业的本科与研究生参考教材。由于综合风险分析的研究方兴未艾, 涉及内容广泛复杂, 以及作者水平的局限性, 书中的一些观点和方法可能留有争议, 恳请同行专家和读者给予批评指正。

作者

2008 年 11 月

目 录



前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究现状	5
1.2.1 洪水为害风险分析	5
1.2.2 防洪工程风险分析	11
1.2.3 防洪投资风险分析	14
1.2.4 防洪风险决策分析	15
1.2.5 博弈论的应用研究	16
1.3 现状评述及研究趋势分析	17
1.3.1 洪灾风险分析的综合化研究趋势	17
1.3.2 洪灾风险分析的系统化研究趋势	19
1.3.3 新技术、新方法的不断开拓与应用	20
1.4 研究方案与主要创新点	20
1.4.1 研究内容与研究方法	20
1.4.2 技术路线	21
1.4.3 主要创新点	21
第 2 章 洪灾风险分析的系统化研究	23
2.1 基本概念辨识	23
2.2 洪灾风险分析的系统化	25
2.2.1 洪灾风险分析与管理	25
2.2.2 洪水灾害与减灾系统	27
2.2.3 洪灾风险分析系统化	29
2.3 本章小结	29
第 3 章 洞庭湖区洪灾孕灾环境变异性分析	31
3.1 资料来源及其基本分析	31
3.1.1 资料来源	31

3.1.2	样本特征分析	31
3.2	年最大流量序列周期性分析	34
3.2.1	小波分析概述	34
3.2.2	方法介绍	34
3.2.3	计算结果	35
3.2.4	周期对比	37
3.2.5	曲线拟合	38
3.2.6	结论	39
3.3	年最大流量序列趋势分析与持续性研究	39
3.3.1	趋势分析	39
3.3.2	持续性研究	43
3.3.3	结论	44
3.4	年最大流量序列混沌特征初步分析	45
3.4.1	分形理论概述	45
3.4.2	理论与方法	46
3.4.3	结果分析	47
3.5	本章小结	49
第4章	洞庭湖区洪灾危险性分析	50
4.1	洞庭湖区洪灾危险性特征分析	50
4.1.1	洞庭湖区洪灾发展的阶段性	52
4.1.2	洞庭湖区洪灾发生的持续性	52
4.1.3	洞庭湖区洪灾发生的可公度性与周期性	53
4.2	洞庭湖区洪灾危险性形成机制分析	54
4.2.1	洞庭湖区特大洪灾对厄尔尼诺的响应机制	54
4.2.2	洞庭湖区特大洪灾年大气环流特征	55
4.2.3	洞庭湖区洪灾区域联系机制	56
4.3	本章小结	57
第5章	基于遗传投影寻踪法的洞庭湖区洪灾易损性评价分析	59
5.1	洪灾易损性评价的内涵	59
5.2	基于遗传算法的投影寻踪评价模型	60
5.2.1	PPCE-RAGA 的建模过程	61
5.2.2	基于实数编码的加速遗传算法	62
5.3	洞庭湖区洪灾易损性评价及分析	65
5.3.1	洞庭湖区洪灾易损性评价指标体系	65
5.3.2	洞庭湖区洪灾易损性评价方法	67
5.3.3	洞庭湖区洪灾易损性评价结果及分析	67
5.4	本章小结	68

第6章 洞庭湖区洪涝灾情的混沌特征及其评估分析	69
6.1 洞庭湖区洪涝灾情的混沌特征分析	69
6.1.1 关联维数和 Kolmogorov 熵的计算方法以及 R/S 分析原理	69
6.1.2 洞庭湖区洪涝灾情的混沌特征分析	73
6.2 洞庭湖区洪涝灾度及影响机制分析	75
6.2.1 灰色聚类分析的原理与方法	75
6.2.2 洞庭湖区洪涝灾度评定及影响机制分析	76
6.3 洞庭湖区洪涝综合灾情指数及影响因素分析	84
6.4 本章小结	86
第7章 洞庭湖区堤防工程综合风险分析	88
7.1 洞庭湖区堤防工程现状概况	88
7.1.1 堤防防洪标准不高	88
7.1.2 堤线长,堤身质量差,险情多	89
7.2 洞庭湖区堤防工程综合风险分析模型	89
7.2.1 堤防工程风险概论	89
7.2.2 风险率模型建立的基本概念	90
7.2.3 堤防工程综合风险率计算模型	93
7.3 洞庭湖区堤防工程综合风险分析实例	102
7.3.1 洞庭湖区堤防工程地质分区和主要地质问题	102
7.3.2 洞庭湖区堤防工程综合风险分析实例	103
7.4 本章小结	106
第8章 基于洞庭湖湿地生态系统服务价值评估的洪泛区管理	107
8.1 国内外生态系统服务价值评估研究现状	107
8.2 洞庭湖湿地生态系统服务价值的类型与评估方法	109
8.2.1 湿地生态系统服务价值类型	109
8.2.2 湿地生态系统服务价值评估方法	109
8.2.3 洞庭湖湿地生态系统服务功能类型及其相应评价方法	111
8.3 洞庭湖湿地生态系统服务价值评估	111
8.3.1 直接经济价值评价	111
8.3.2 间接经济价值评价	112
8.3.3 非使用价值评估(即遗产价值或存在价值)	113
8.4 基于价值评估结果的洞庭湖洪泛区管理对策	114
8.4.1 洞庭湖湿地生态系统服务价值评估结果分析	114
8.4.2 洪泛区管理对策	115
8.5 本章小结	121
第9章 洞庭湖区洪灾防治对策的博弈分析——以退田还湖对策为例	122
9.1 洞庭湖过度围垦的博弈分析	122

9.2	退田还湖过程中各利益主体之间的博弈	124
9.2.1	中央政府和地方政府间的博弈	124
9.2.2	地方政府之间的博弈	126
9.2.3	政府与农民间的博弈	127
9.3	退田还湖过程中有关移民问题的博弈	130
9.3.1	移民工作现状及移民中存在的问题	130
9.3.2	上级政府与移民接纳区之间的博弈	130
9.3.3	有关移民数量的博弈	132
9.4	本章小结	133
第 10 章	总结与展望	134
10.1	研究总结	134
10.2	研究展望	137
参考文献		138

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景与意义

洪水灾害是世界范围内最严重的自然灾害，据国际红十字会与红新月会对 1990～2001 年期间的世界灾害的统计（WDR，2002），除死亡人口外（干旱与饥荒居第一位），在发生次数、受灾人口、直接经济损失等方面，洪水灾害在所有自然灾害中占第一位：全世界发生的大规模洪水灾害共有 1111 次，占所发生的自然灾害总次数的 33.84%；洪灾死亡人数 106089 人，占有死于自然灾害总人数的 14.2%；受灾人口达 15.56 亿人，占有所有自然灾害受灾人口的 64.88%；直接经济损失 3021.74 亿美元，占自然灾害总直接经济损失的 40.9%。

美国国土总面积的 7%（约合 3885 万 hm^2 ）受到洪水威胁，1/6 的城市处在百年一遇的洪泛平原内，2 万个社区易受洪灾。从生命财产损失和发生频率来看，洪灾也是美国最严重的自然灾害（姜付仁等，2000）。为了防治洪灾，美国曾进行大规模的防洪工程建设，然而随着巨额资金的投入，洪灾并未得到有效控制，相反洪灾损失不断增加，见表 1.1（姜付仁等，2003）。按 1999 年价格水平计算，年均损失额从 20 世纪初的 13.6 亿美元，上升到 20 世纪末的 55.6 亿美元，增长 4.1 倍，年均增长率为 1.58%。究其原因，一方面由于社会经济的发展，人口和财富密度增加，灾敏性增强；另一方面，在社会经济发展中土地开发利用与经济布局等不考虑洪水风险，以及防洪减灾体制不完善。同时，美国通过水灾本身也深刻认识到，以防洪为目的修建的工程，改变了河流湖泊的水文特征，城市的发展更使河流湖泊的自然属性发生了变异，从而加重了水灾（毛德华等，2000a）。美国陆军工程兵团曾根据国家防洪与发展航运的需要，实施“堤防万能（levee only）”的“遏制（contain）洪水”政策，然而 1927 年密西西比河下游的特大洪水，冲毁了“堤防万能”的神话，迫使在 1928 年国会通过了防洪法，并采用综合利用水库调蓄、蓄滞洪区、河道整治、开挖泄洪道来控制（control）洪水的政策。1964～1965 年的洪水促进了灾害救济法的颁布，并开始研究非工程防洪与灾害援助措施。由于联邦灾害救济费用的急剧攀

表 1.1

美国 20 世纪各年代洪水损失情况表

单位：亿美元

年 份	年均洪水损失（当年价格）	年均洪水损失（1999 年价格）
1903～1909	0.21	13.6
1910～1919	0.37	22.4
1920～1929	0.67	20.0
1930～1939	1.04	29.5
1940～1949	1.31	23.8



续表

年 份	年均洪水损失（当年价格）	年均洪水损失（1999 年价格）
1950～1959	3.47	34.8
1960～1969	3.67	21.8
1970～1979	17.32	48.9
1980～1989	22.00	33.2
1990～1999	49.50	55.6

注 数据来源：USA Hydrologic Information Center。

升，地方政府又难以有效地管理洪泛区，为此美国于 1968 年颁布了洪水保险法，开始实施国家洪水保险计划。从此美国的防洪政策开始重视非工程措施（谭徐明，1998）。1979 年，对频繁发生的水灾、持续上升的灾害损失和居高不下的灾区拨款，美国众议院就水灾问题质询政府。次年，国会指示国家科学基金会全面评估国家减灾政策行为，集合了全国 20 多个科研和管理部门的 60 多位专家，经过两年多的研究，提交了美国第一部关于国家防洪经典文献《美国防洪减灾总报告》（NSF，1980），这部文献向公众公开了国家防洪减灾的国策、水灾历史和现状以及对亟待解决的重大问题的建议。至此，防洪减灾进入了新时期，即工程措施—非工程措施演进到减灾行为社会化的时期。这些方面的成功经验为加拿大、日本、印度和西欧各国所注意并因地制宜地加以应用。1983 年美国国家科学基金会提出了《美国的洪水及减灾研究规划》，规划指出对防洪减灾行为有 4 个方面须进行评估：

（1）从联邦政府到地方政府对洪水及其灾害各自承担的责任和救灾中的相互关系，即界定各级政府在防洪减灾行动中的职权范围，对防洪减灾行为的监督，防洪减灾经费来源。

（2）国家洪水保险项目的评估，应考虑对防洪意义重大的蓄滞洪区现在和今后的运行方式，以及对防洪减灾项目实施的影响。

（3）防洪方针由工程防洪转向非工程措施防洪，对政策评估应侧重于蓄滞洪区管理、蓄滞洪区范围确定、滨海地区防洪管理、洪水警告系统、水灾疏散与社区迁移、洪水保险和洪泛平原土地取得方式。这些防洪减灾措施相对于工程防洪更多的是公共行为，其法规更具有广泛的社会性。

（4）近年来，灾害应急系统发展迅速，在遭受自然灾害时应应急救援是最重要的行动，联邦和州政府有关机构的水灾救援手段非常重要。应急救援也是评估的重要方面。

根据以上国家防洪减灾行为的 4 个主要方面来考虑防洪减灾的科研方向，可将目前国家防洪策略用“转移”这个词来概括，它表现在：①防洪减灾的责任由联邦转移到州和地方；②联邦洪水保险，国家与个人共同分担灾害损失；③从工程防洪转向非工程防洪；④灾害救援，社会共同承担责任。防洪减灾行为和政策的完善需要科研先行和实施中的不断配合，依此确立研究方向，对于今后 20 年或更长时间将是十分有意义的。

1993 年美国发生了历史上最严重的大洪水，经济损失高达 163.7 亿美元。1993 年创纪录的大洪水使美国人认识到 150 多年来的政府“控制洪水（flood control）”的政策是失



败的：洪水不可能完全被控制住，洪水风险也不可能完全消除，美国未来的洪水政策应该从“洪水控制”走向“洪水管理（flood management）”。1993年的大洪水促使美国政府出台了国家洪泛平原管理统一规划，开始了“制定更全面、更协调的措施保护并管理人与自然系统，以确保长期的经济和生态环境的可持续发展”。

在联合国“国际减灾十年”（IDNDR）活动即将结束之时，1999年11月24日，联合国54届联合国大会通过了A/C.2/54/L.44号决议（王月译，2000），同意将“国际减灾十年”活动发展为“国际减灾战略”（ISDR）活动，这成为了下一阶段国际社会共同行动的基础。其目标是提高社会对灾害的抗御能力，并将原来对灾害的简单防御变为对风险的综合管理。并确定了“使21世纪成为一个更安全的世界：减轻灾害和降低风险”的21世纪减灾战略（李双成译，1999）。

我国是世界上洪水灾害频繁且严重的国家。据不完全统计，从公元前206~1949年共2155年间，我国发生过较大水灾1092次，大约每两年就发生1次（国家科学技术委员会，1990）。迄今，我国仍有1/10的国土面积、5亿人口、5亿亩耕地、100多座大中城市和全国70%的工农业总产值受到洪灾的威胁（国家科委全国重大自然灾害综合研究组，1994）。因此，在我国有“治国先治水”之说。目前，全国累计新筑、整修和加固不同标准的堤防超过27万km，建设海堤超过1万km；修建大中小型水库8.5万座，总库容5184亿m³，有效地控制了洪水；在长江、黄河、淮河、海河等主要江河上开辟蓄滞洪区97处，总面积达3.0万km²，总容积约1078亿m³，可在遇超过堤防标准洪水时，有效地保证中下游重点地区的安全；对主要江河水系进行了疏浚、整治，扩大了淮河和海河入海出路，对部分城市和南方圩区，改建和整修圩垸和围堤，建设了大量的排灌设施，排灌总装机容量达到41570MW，大大提高了排涝除涝能力；累计初步治理水土流失面积约70万km²，减少了进入江河的泥沙量。经过50年来的防洪建设，初步形成了大江大河大湖的防洪除涝工程体系，为国家经济发展、人民安居乐业、社会稳定和生态环境改善提供了基本保障（程晓陶，2002）。

20世纪50~80年代，全国年均水灾损失约为200亿元，重大水灾年份可达400亿元（1990年价格）。然而，1991年水灾损失接近了800亿元，1994年突破1000亿元，1996年突破2000亿元，1998年达到2484亿元。全国平均洪灾单位面积损失值，20世纪50年代为2190元/hm²，60年代为3255元/hm²，70年代为5880元/hm²，80年代为12120元/hm²（国家防汛抗旱总指挥部办公室等，1997）。全国平均洪灾单位面积损失值均呈现了急速上升的局面，水灾损失占GNP的比重高居于1%~4%之间，约为美国、日本等发达国家的10~20倍。

洞庭湖区是全国商品粮基地和工业原料供应地，经济地位重要，如洞庭湖区面积1.52万km²，仅占湖南全省总面积的7%，却生产出了占全省26%的粮食、74%的棉花、46%的油料、80%的苎麻、77%的甘蔗、81%的蚕茧、51%的水产、24%的出栏肉猪、55%的渔业产值和30%的农业总产值。但洞庭湖区又是全国洪涝灾害频繁、严重的地区，洞庭湖区饱受洪涝灾害之苦。据1950~1998年统计（表1.2）：累计成灾面积337.6万hm²，年均成灾面积6.89万hm²；累计直接经济损失1085.9亿元，年均直接经济损失22.16亿元（按1998年不变价格计算）。1950~1959年与1990~1998年比较，洪涝平均



成灾面积由 8.57 万 hm^2 增加到 13.44 万 hm^2 ，年均直接经济损失由 15.57 亿元增加到 76.54 亿元。1998 年特大洪涝灾害直接经济损失 197 亿元，1954 年损失为 117 亿元（按 1998 年不变价格计算，当年价计算为 21 亿元），1998 年是 1954 年的 1.7 倍。1996 年损失为 303 亿元，是 1954 年的 2.6 倍。因此，洞庭湖区洪涝灾害日趋严重。而且，防洪减灾面临新的严峻形势：由于泥沙淤涨，形成了湖（河）高垵低的严重局面，大堤越修越高、越高越险；洪灾未得到根本遏制，涝灾却越来越严重；蓄洪区人口经济大发展，而安全设施建设严重滞后；自然和人为因素的综合影响，原规划的蓄洪量将不能满足要求（毛德华，2000b）。

表 1.2 洞庭湖区不同年代洪涝灾情表

年 份	洪灾成灾面积 (万 hm^2)		涝灾成灾面积 (万 hm^2)		洪涝灾合计 (万 hm^2)		洪涝直接经济损失 (亿元)	
	年平均	合计	年平均	合计	年平均	合计	年平均	合计
1950~1959	32.933	3.293	52.800	5.280	85.733	8.573	155.698	15.570
1960~1969	11.933	1.193	34.600	3.460	46.533	4.653	65.832	6.580
1970~1979	2.000	0.200	18.533	1.853	20.533	2.053	62.319	6.240
1980~1989	6.067	0.607	57.800	5.780	63.867	6.387	113.228	11.320
1990~1998	30.533	3.392	90.400	10.044	120.933	13.436	688.818	76.540

注 洪涝直接经济损失以 1998 年不变价格计算。

面对我国和洞庭湖区的严峻局面，迫使我国减灾研究工作者从社会、经济、生态、环境、技术、资源与国土安全等角度对于防洪问题应作更为全面、深入地探讨。为此，我国在 21 世纪应选择“有风险的洪水管理模式”，我国的防洪体系建设必须作出重大的战略性调整，防洪战略调整中本质性的转折是从“确保安全”的防洪体系建设转变为“风险管理”的防洪体系建设（程晓陶，2002）。

洞庭湖南纳湘江、资水、沅水和澧水“四水”，北通巫峡，是长江流域十分重要的吞吐性调蓄湖泊，集水面积达 130 万 km^2 ，与广泛地域有着频繁而强烈的物质、能量和信息交流，对维系长江中下游地区的安全有着十分重要的不可替代的作用。但在防洪减灾中，不同决策主体之间（涉及国家、集体、企业和个人之间，长江上中下游之间，流域不同行政区域之间，河湖之间，湖垵之间，蓄洪与建设之间，退田还湖移民建镇与社会经济发展之间等）相互作用、相互影响，关系十分复杂。如何协调如此众多的关系，科学决策，引入博弈论等理论与方法非常必要。

综上所述，从“洪水控制”到“洪水风险管理”，“与洪水共存而不与洪水为敌”（living with floods, rather than fighting them）（The ISDR Secretariat, 2002）是国内外防洪减灾形势发展的必然要求。洞庭湖洪灾的典型性和形成机理的复杂性，防洪减灾涉及问题的多样性和复杂性，决定了进行“洪灾综合风险分析的理论方法”与应用研究的必要性和重要性：将丰富和发展水文学、水力学、灾害学、风险管理、博弈论等的理论与方法；创新复杂河网区风险分析的理论与方法，指导其防洪减灾实践，对维系洞庭湖区和长江流域的安全具有重要的作用；为本区乃至长江流域社会经济的可持续发展做出贡献。



1.2 国内外研究现状

洪灾风险涉及洪水“为害”和“减灾”的各方面和全过程。本书从洪水为害风险分析(包括洪灾危险性分析、洪灾易损性分析、洪灾灾情评估分析)、防洪工程风险分析、防洪投资风险分析与防洪决策风险分析等方面论述国内外研究现状与发展趋势(毛德华等, 2009a, 2009b)。

1.2.1 洪水为害风险分析

1.2.1.1 洪灾危险性分析

洪灾危险性是指洪水灾害系统中孕灾环境和致灾因子的各种自然属性特征的概率分布(魏一鸣等, 2002), 它具有高维性、随机性、模糊性、混沌性等复杂特征(魏一鸣等, 1997; 赵永龙, 1997)。洪水危险性分析, 就是在洪水灾害系统观点的框架下, 从风险诱发因素出发, 研究受洪水威胁地区可能遭受洪水影响的强度和频度(秦德智, 2004; 魏一鸣等, 2002)。洪灾危险性分析研究主要集中在水文频率和风险率计算方法、洪泛区洪水风险分析和区域层次洪水危险性区划等方面。新技术与新方法的应用是当前研究的特色与趋势。

水文频率分析多应用数理统计方法(金光炎, 1964, 1999; 黄振平, 2002), 线型选择和参数估计是其主要研究方面。线型分布依据频率曲线的尾部特征可分为两类: 一类是薄尾分布, 另一类是厚尾分布。前者指所有超过概率在尾端(即流量增大方向)按负指数律递减的分布, 如正态分布、Gumbel 极值分布、P-Ⅲ型和 P-Ⅱ型分布等; 后者指所有超过概率在尾端按负幂函数律递减的分布, 如对数正态分布、对数 P-Ⅲ型分布和 Weibull 分布等。由于负幂函数律比负指数律趋于零的速度要慢得多, 因此厚尾分布对于远离一般点据的特大值, 要比薄尾分布点据拟合得好一些(傅湘等, 2000)。经研究表明, P-Ⅲ型分布比较适合我国有较长系列观察资料(大于 30 年)的洪水特征值分布(《水利水电工程设计洪水计算规范》, 1995), 而美国水资源委员会推荐使用对数 P-Ⅲ型分布(Bobee B., 1975)。

洪水风险率概念的引入, 得以从新的角度去认识和把握洪水设计标准。这无论对于深化水文学基本理论的研究, 还是对于水工建筑物的规划设计都是很有意义的(王栋等, 2002, 2003)。水文过程的不确定性分为三种类型: 水文过程随机特性引起的内在不确定性, 数据有限产生的模型的不确定性以及参数的不确定性(Wood E. F., 1975)。Todorovic P. 等基于极值理论, 借助 POT (Peak Over a Threshold) 模型, 率先描述了季节性洪水的变化情况(Todorovic P. & Zelenhasic E., 1970), 随后对之进行了改进, 使之可以推广到非同分布的随机变量(Todorovic P. & Rousselle J., 1971)。Archer D. R. (1981) 研究了季节性变化对年洪水风险变动的影响及评估问题。Ashkar F. 和 Rousselle J. (1981) 建立了两种进行洪水风险分析的随机模型: 模型一认为超常洪水为相互独立且同分布的随机变量; 模型二认为只在同一季节内同分布; 将结果与 Bayes 法作比较, 建议使用模型二。Kuczera G. (1982) 研究了参数估计可靠性与水文时间序列数据的关系, 考虑了使用前两阶矩并进行偏倚校正和使用于诸如地下水、土壤水等储量函数相应的时间序



列数据的两种改进参数估计可靠性的途径。Stedinger J. R. 和 Taylor M. R. (1982) 研究了随机年径流模型参数的不确定性, 发现即使流量资料长达 50 年, 参数不确定性的影响也相当大。Diaz—Granados M. A. 和 Valdes J. B. 等 (1984) 进一步研究了降雨强度和土壤水分如何影响洪水风险。Rasmussen P. F. 和 Rosbjerg D. (1989) 基于超定量频率序列, 研究了数据匮乏条件下设计洪水的风险估计问题, 引入了“期望风险”概念, 以 MC 法验证了其应用。Futter M. R. 和 Mawdsley J. A. (1991) 就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对 Cox 回归模型和条件分布模型进行了对比研究。王燕生 (1996) 在区间洪水预报时差和幅差的联合概率密度分析的基础上, 建立了预报误差的风险计算模型。Fernandez B. (1999a) 和 Sales J. D (1999b) 从重现期和失事风险的定义入手, 提出了通用方法, 可以适用于彼此相关的年径流系列、水库水位系列等。Sen Z. (1999) 以一阶 Markov 过程为工具对具有线性相关结构的水文系列风险进行计算。陈元芳 (2000) 以所建洪水随机模型为原型, 以统计实验法研究了随机模拟中模型及参数不确定性对推求设计防洪库容的影响。

针对洪水过程的随机性特性, 徐宗学等 (1988, 1989a, 1989b, 1991, 1992, 1998)、李景玉等 (1988) 和邓永录等 (1989) 探讨了 Poisson 过程、更新过程、Neyman—Sxott 过程等在洪水风险频率分析中的应用。不过应用中必须满足一些假设, 且模型结构复杂而不易被工程采用。

参数估计的传统方法有矩化、极大似然法、最小二乘法、适线法等。为了提高参数估计的精度, 许多学者探讨了一些新方法的运用, 如单变权函数法 (马秀峰, 1984)、改进的权函数法—双权函数法 (刘光文, 1990)、概率权重矩法 (Greenwood, 1979; 丁晶, 1988; 李松仕, 1989)、贝叶斯方法 (Wood E. F., 1975; Kitaniidis P K, 1986; Lye L M, 1990; 关伯贤, 1994; 周伟军等, 1994; 傅湘, 1999) 和模糊数学法 (邓育仁, 1995; 谢崇宝, 1997; 陈守煜, 1998; Clarke R. T., 1999)。

近年来, 一些新的理论与方法在洪灾危险性分析中得到应用, 促进了风险分析水平的提高, 如模糊数学理论方法 (白海玲等, 2000; 黄崇福, 2001, 2002; Chongfu Huang, 2001; 左其亭等, 2001)、灰色系统理论方法 (夏军, 1988a, 1988b, 1993, 2000; 胡国华等, 2001; 吴泽宁等, 2002; 杨思全等, 2002)、混沌理论方法 (丁晶, 1992; 傅军, 1994; 毛德华, 1998; 周寅康等, 1998; 王良健等, 1998; 杨秀春等, 2002; 谢正练等, 2003; 丁涛等, 2004; 黄国如等, 2004; 王红瑞等, 2004)、极值分布理论 (James H, 1994; Michael J Lenox, etc. 1996; Bier, 1999; Francois M, etc. 2000; 徐天群等, 2001)、遗传算法和投影寻踪方法 (金菊良, 2000a, 2000b; 张欣莉等, 2000; 魏一鸣等, 2002)、人工神经网络方法 (胡铁松等, 1995; 丁晶等, 1996; 冯利华, 2000; 李鸿雁等, 2002; 苑希民等, 2002) 等。

洪泛区因其高风险性而受到特别关注。洪泛区风险分析结果可以通过洪水风险图来体现。洪水风险图的制作常用地貌学法、历史洪水法和水文水动力学法等三种方法。近年来, 因计算机技术的发展, 水动力学方法受到重视, GIS 与水动力学方法结合, 体现其独特功能并反映洪水危险性分析的趋势。

洪水风险图是融合地理、社会经济信息、洪水特征信息, 通过资料调查、洪水技术和



成果整理,以地图形式直观反映洪泛区发生洪水后可能淹没的范围和水深,从而可以预知和分析不同量级洪水可能造成的风险和灾害。地貌学方法是把洪泛区的水系特征与地形起伏特征结合起来进行分析,从而确定洪水风险的分布特征。事实上,洪泛区的地形特征在很大程度上是洪泛区水系长期塑造的结果。日本地理学家 Masahiko Oya 曾根据地图与航空像片绘制了一张反映万象地区湄公河洪水风险的地图(孙桂华,1992)。沙润等对秦淮河的洪水灾害危险性进行了分析(沙润等,1994)。地貌学方法易操作,但估算结果较粗略。

黄诗峰把 GIS 应用于洪水风险分析中,包括基于 GIS 的流域结构特征信息提取模型、GIS 支持下的河网密度特征提取及其与洪水危险性关系分析、DEM 支持下的洪水危险性分析等(黄诗峰,1999,2001),提高了其精度和效率。

历史洪水法是通过历史上发生的大洪水的调查,勾绘历史上大洪水的淹没范围来反映洪水风险。我国有关洪水灾害的历史文献丰富,在历史大洪水调查分析方面做了大量工作(胡明思等,1989,1992),如我国对长江流域 1870 年等的调查,并绘制了洪水淹没范围图(水利部长江水利委员会,2002)。但对于无历史资料或少的洪泛区,历史洪水法受到限制,且精确度不够。尽管如此,基于历史灾情的风险分析仍然取得了许多成果,如以历史灾情数据为依据,采用信息扩散的方法对洪灾进行了风险评估(黄崇福等,1998;黄诗峰,1999),以历史水灾案例数据库为依据,计算了清代中后期分流域不同“受灾比”下的风险值和分析了其时间变化特性(王静爱等,1998;方伟华等,2000)。马建明(1997)对岷江流域按“分县定级、因素权衡、指标连续”的原则进行史料量化,分析了该流域各市、县的区域洪灾风险。还有对一些流域近 500a 洪涝灾害序列进行了分析(沙万英等,1996;周寅康等,1997;毛德华等,2000a)。同时针对不完备样本下的风险分析方法进行了探讨(刘新立等,1998,1999,2000)。

水文和水力学方法通过对洪水演进的数学模拟,能够计算出任意给定频率洪水,在某种洪水调度或工程失事情况下,可能淹没范围、深度、流速和历时等要素。因此,它是三种方法中精度最高的,随着计算机技术的发展,其优越性更加突出。这方面的研究国外开展较早,国外从 20 世纪 70 年代就已开始编制全国洪水风险图,在媒体公开发表,或在商店公开出售。据民意调查,有 60% 以上的被调查者看过洪水风险图,有 90% 的人认为公布风险图是有益的(William J Petak et al., 1993; 张旭等,1997; 徐乾清等,2002)。我国从 20 世纪 80 年代初开始这方面的研究。朱元牲(1990)对美国洪泛区洪灾风险分析的方法和风险管理的一些措施进行了介绍。梅亚东(1992)研究了描述洪水在蓄滞洪区内动态演进的一维不恒定流模型和拟二维不恒定模型。刘舒舒等(1992)提出了基于准二维流概念的蓄水量演算模型,但多采用平面二维不恒定水沙模型进行模拟(D. H. Zhao, et al., 1994; 刘树坤等,1999; 李文学等,2002; 施勇等,2002; 李义天等,2004)。在具体应用上,刘树坤、程晓陶、李娜、邢大韦等分别对小清河、蒙洼、北金堤、孙口至艾山河段、东平湖、渭河下游等蓄滞洪区以及广州、沈阳、海口、深圳、天津等城市进行了洪水演进模拟并进行了灾害洪水区划(刘树坤等,1991,1993,1999; 程晓陶,1995; 李娜等,2002; 邢大韦,1997)。Anselmo V. 等(1996)对意大利某洪水易发区进行了洪水风险评估。李义天等(2004)对天津七里海蓄滞洪区、欧阳晓红(1996)对永定河洪泛



区、谭维炎等（1996，1998）和胡四一等（1996，2002）对洞庭湖洪泛区等进行了模拟和风险分析。此外，浙江省和湖南省等分别编制了“城镇洪水风险图”（周毅，1996）和“城镇、大型水库洪水风险示意图”（张硕辅等，2001），并应用于实践。

近些年来，GIS 与水文水力学模拟相接合受到重视（Tineke D，1996；Philip A.，1998）。但起初的接合方式是松散的，GIS 仅作为数据输入和结果显示。后来，荷兰的 Pakes U. 等探讨了 GIS 软件（ARC/INFO）与一维洪水演进模型 SOBEK 的集成问题，美国 Stephen P. 等对 GIS 软件（ARC/INFO）与水文水力学模型 HEC-1 HEC-2 集成也进行了研究。张犁（1995）建立了一个 GIS 支持下的城市洪水过程的分析与模拟集成系统，并在此基础上对福建省三明市进行了洪水风险分析。周孝德（1996）应用 ARC/INFO 技术支持，给出了不同时刻洪水淹没图、淹没水深、流速及洪水风险图的绘制方法。GIS 技术与水文水力学模型接合建立洪水灾害数字地形模型及监测分析方法（张健挺等，1998；张金存等，2001；万洪涛，2002），并实现了三维显示（袁艳斌等，2002）。张超（2003a，2003b）系统总结了 GIS 在洪灾风险管理中的应用；两者结合建立了基于 GIS 的抢险、避险模型，对日本新川破堤后的洪水泛滥进行了模拟，并实现了在广域范围的场景模拟，同时给出了局部场景模拟的方法与实例。

在区域（流域）层面上的洪灾危险性分析主要对洪水危险性的区域差异进行分析，在此基础上进行危险性（风险）区划。在这方面的研究中，既有把洪水灾害作为自然灾害中的一种由对自然灾害的整体研究来体现的（国家科委等，1998），又有对洪灾的单独研究。张丕远等（1992）根据中国各主要自然灾害的地域分异规律、自然灾害类型的地域组合等把全国划分为 45 个组合类型区，在此基础上合并为 7 个区域。随后，张兰生等（1995）、王劲峰等（1995）和李炳元等（1996）等提出了全国自然灾害的不同区划方案。王静爱等（1994，1996，1997）探讨了中国主要致灾因子和 1949 年以来的自然灾害空间分异。潘耀忠等（1997，1998a，1998b）进行了湖南省农业自然灾害区划，王平等（2000）提出了全国农业自然灾害区划方案。《中国水旱灾害》（1997）一书将全国分成东部平原丘陵区、中部高原山区、西部高寒地区 3 个大区（每个大区下又分为若干小区）来探讨洪灾的区域特征。张行南等（2001）进行了中国洪水灾害危险程度区划。周成虎等探讨了 GIS 支持下的洪水风险区划问题，并对辽河流域洪水危险性进行了区划（周成虎等，2001；王诗峰，1999；万庆等，1999）。李吉顺等（1996）根据历史暴雨洪涝灾害分省灾情资料，通过构建“综合危险度”和“相对危险度”两种无量纲量，对全国洪涝灾害的危险性进行评估，并进行了全国暴雨洪涝灾害区划。赵士鹏（1996）根据综合分析的原则、发生的原则和为减灾服务的原则，将全国划分为六个山洪灾害一致性区域。汤奇成等（1997）根据洪灾形成的自然因素（主要采用标准面积最大洪峰流量）和社会因素（分县国民经济总产值），编制了中国以县（市）为单位的洪灾危险程度图，并根据危险程度，把全国划分为 3 个一级区和 9 个二级区。毛德华（2000a）等进行了湖南省洪涝灾害区划，何报寅等（2002）研究了湖北省洪灾危险性的区域差异。姜付仁等（2002）指出目前所采用的区划指标包括洪水发生频率、洪水水力特征（水深、淹没历时、流速、洪水到达时间等）、洪水期望损失等，与此对应，洪水风险区划包括洪水频率区划、洪水致灾特征区划和洪水灾害风险区划等基本层次。黄崇福等（2004）提出：在风险值估不准的情况下，应用多值化的自然灾