

洪水预报系统关键技术 研究 与实践

◎ 水利部水文局 章四龙 著

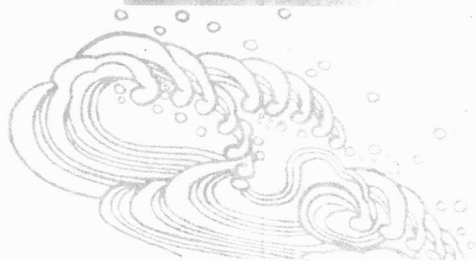


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

洪水预报系统关键技术

研究与实践

◎ 水利部水文局 章四龙 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书基于洪水预报工作的实际需要,针对洪水预报系统开发中预报模型库、洪水预报方案构建、通用模型参数率定、交互式洪水预报等关键技术问题,研究提出了相应的技术方案,建立了通用化洪水预报系统开发的技术体系。并依据此技术体系,开发研制了中国洪水预报系统,系统具有功能强大、操作简便、通用性强等特点,已在我国防灾减灾中发挥了重要作用。

本书分上、下两篇。上篇为技术部分,主要内容包括:洪水预报系统开发方法,洪水预报模型库建立技术,洪水预报方案构建技术,模型参数率定技术,交互式作业预报技术。下篇为实践部分,主要内容包括:中国洪水预报系统介绍,系统管理介绍,系统建模介绍,作业预报介绍等。

本书可供从事洪水预报的工程技术及研究人员使用,亦可供相关专业的大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

洪水预报系统关键技术研究与实践/章四龙著. —北

京:中国水利水电出版社,2006

ISBN 7-5084-4037-4

I. 洪… II. 章… III. 洪水—水文预报—研究

IV. ①P426.616②P338

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 106277 号

书 名	洪水预报系统关键技术研究与实践
作 者	水利部水文局 章四龙 著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话:(010)63202266(总机)、68331835(营销中心)
经 售	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	北京市地矿印刷厂
规 格	880mm×1230mm 32 开本 8.25 印张 222 千字
版 次	2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷
印 数	0001—2800 册
定 价	25.00 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

洪水预报系统是各项洪水预报技术的集成，是进行洪水预报工作的软件平台。由于洪水预报系统是一个庞大的系统工程，现有系统在开发过程中存在新旧系统兼容难、重复开发多、系统功能不全的现象。同时，在洪水预见期、预报精度和预报范围方面与防洪减灾的要求仍存在着一定差距。因此，研究建立一套先进的、通用的、全面的洪水预报系统具有非常重要的现实意义。

水利部水文局承担了水利部重点项目“中国洪水预报系统”和 948 项目“交互式洪水预报系统”的建设，目的是结合现有的生产实践经验，基于规范化、标准化的软硬件环境和数据库管理系统，采用模块化结构，研究开发一套具有通用性强、功能全面、操作简便的洪水预报系统，在实测降雨及未来天气形势分析的基础上，能分别完成大江大河干支流主要控制站、防洪重点地区、重点水库和蓄滞洪区具有不同预见期和精度的洪水预测预报，为国家防洪决策提供科学依据。同时，作为一个通用化的软件平台，通过构建、移植、推广至全国各流域机构、省（自治区、直辖市）、地区水文部门，以便迅速建立相应的洪水预报系统，满足各地防洪抗灾工作对洪水预报的需求。

本书分为上、下两篇。上篇主要是基于洪水预报工作的实际需求，针对洪水预报系统开发中预报模型库、洪水预报方案构建、通用模型参数率定、交互式洪水预报等关键技术问题，研究提出相应的技术方案，建立通用化洪水预报系统开发的技术体系，以指导“中国洪水预报系统”和“交互式洪水预报系统”的开发。上篇共分 6 章，第 1 章介绍了洪水预报系统的现状；第 2 章分析了研究系统关键技术的方法；第 3 章介绍了预报模型库的建立技术；第 4 章介绍了洪水预报方案构建技术；第 5 章介绍了人工试错和自动优选相耦合的模型参数率定技术；第 6 章介绍了人机交互作业预报技术。

下篇主要介绍基于上篇所提出的技术方案和建立的技术体系，开发研制了功能全面、操作简便、通用性强的洪水预报系统。下篇共分 7 章，第 7 章介绍了系统安装配置；第 8 章介绍了系统管理功能；第 9 章介绍了系统信息查询功能；第 10 章介绍了系统建模的功能；第 11 章介绍了实时作业预报功能；第 12 章介绍了常用预报模型库；第 13 章介绍了预报专用数据库。

目前，中国洪水预报系统已成功应用于全国许多水文部门，并在近年来的防洪工作中，提供了大量预见期长、精度高的洪水预报成果，为防汛决策提供了科学依据，为提高我国实时洪水预报技术和水平起到了巨大的推动作用。

由于时间仓促，加之作者水平有限，书中难免存在不足和局限性，敬请广大读者和同行批评指正。

水利部水文局 章四龙

2006 年 2 月

目 录

前 言

上 篇

第 1 章	绪论.....	3
	1.1 防洪减灾与洪水预报.....	4
	1.2 洪水预报系统关键技术现状.....	9
	1.3 研究思路.....	17
第 2 章	开发方法关键技术研究.....	19
	2.1 洪水预报系统组成.....	19
	2.2 洪水预报系统总体目标.....	21
	2.3 通用化洪水预报系统研究方法.....	22
	2.4 基于构件的洪水预报系统软件开发.....	27
第 3 章	预报模型库关键技术研究.....	32
	3.1 概述.....	32
	3.2 模型库的基本概念.....	33
	3.3 预报模型库的基本性质.....	35
	3.4 模型库管理系统.....	36
	3.5 预报模型构件数据接口定义.....	37
	3.6 数据文件格式定义.....	38
	3.7 模型库管理系统.....	43
	3.8 模型库建设.....	47
	3.9 应用举例.....	48

第 4 章	洪水预报方案构建关键技术研究	52
	4.1 概述.....	52
	4.2 现有预报方案构建技术.....	54
	4.3 预报方案要素.....	61
	4.4 洪水预报方案存储管理.....	63
	4.5 预报方案运行机制.....	67
	4.6 应用举例.....	68
第 5 章	通用模型参数率定关键技术研究	72
	5.1 概述.....	72
	5.2 模型参数率定方法.....	73
	5.3 目标最佳拟合法的最优化技术.....	74
	5.4 优化算法简介.....	75
	5.5 数据接口定义.....	80
	5.6 应用举例.....	85
第 6 章	交互式作业预报关键技术研究	92
	6.1 概述.....	92
	6.2 开发设计原则.....	94
	6.3 常用图形交互技术.....	94
	6.4 人机界面交互技术.....	96
	6.5 水位流量过程交互式修正技术.....	111
	6.6 单位线交互式修正技术.....	117
	6.7 水位流量过程退水预测技术.....	118

下 篇

第 7 章	系统安装配置	123
	7.1 系统安装.....	123

	7.2 注册码·····	127
	7.3 数据库设置·····	128
	7.4 系统启动·····	129
	7.5 软硬环境·····	129
第 8 章	系统管理·····	130
	8.1 用户管理·····	130
	8.2 模型管理·····	131
	8.3 方案管理·····	133
	8.4 水位流量曲线·····	141
	8.5 自动预报·····	143
	8.6 站点管理·····	145
	8.7 图层管理·····	147
	8.8 预报数据管理·····	148
	8.9 数据库连接·····	149
第 9 章	信息查询·····	150
	9.1 水文要素查询·····	150
	9.2 地图表格混合查询·····	162
	9.3 实时水情查询·····	168
	9.4 工具栏·····	171
第 10 章	系统建模·····	175
	10.1 构造方案·····	176
	10.2 历史资料处理·····	187
	10.3 率定计算·····	189
第 11 章	实时作业预报·····	193
	11.1 选择预报站点·····	193
	11.2 预报·····	194

	11.3 区域管理·····	213
	11.4 预报结构框图·····	215
第 12 章	预报模型·····	216
	12.1 SMS_3——三水源蓄满产流模型·····	216
	12.2 P_RZHR——降雨径流相关图法·····	222
	12.3 LAG_3——三水源滞后演算汇流模型·····	224
	12.4 UH_B——流域汇流经验单位线模型·····	228
	12.5 MSK——马斯京根河道分段连续演算模型·····	230
第 13 章	预报专用数据库·····	233
参考文献·····		251
后记·····		256

上

篇

第 1 章

绪 论

自然灾害是全人类的共同大敌，人类发展的历史就是不断同自然灾害作斗争的历史。据美国减轻自然灾害十年委员会 1987 年的统计，在过去的 20 年中，诸如地震、洪水、飓风、龙卷风、滑坡、海啸、火山喷发和自然大火等自然灾害，已在世界范围内造成近 300 万人死亡，受影响的人口多达 8.2 亿，直接经济损失据不完全统计为几千亿美元以上。鉴于此，1987 年，经前美国科学院院长、著名的地球物理学家 F.Press 提议，42 界联大一致通过了 169 号决议，把 1990~2000 年定为“国际减灾十年”（International Decade for Natural Disaster Reduction, IDNDR），标志着人类在努力减轻自然灾害损失方面达成共识。

洪水灾害是当今主要自然灾害之一。表 1.1 是联合国有关部门公布的 1963~1992 年，在全世界 179 个国家里所发生的 5000 多件重大自然灾害，包括洪水、热带风暴、干旱、地震、暴风雨、火灾、火山爆发等损失的统计情况。从中可以看出，无论受灾人数、死亡人数，还是灾害的经济损失上，洪水灾害在各灾种中都占据首位或次首位。

我国幅员辽阔，河流水系众多，由于受季风气候与自然地理条件影响，我国降水的时空分布极不均匀，洪涝灾害频繁发生，有 10% 国土面积、5 亿人口、5 亿亩耕地、100 多座大中城市，全国 70% 的工农业总产值受到洪水灾害的威胁。每年因洪水灾害造成的直接经济损失达数百亿元，尤其进入 20 世纪 90

年代以来,随着国民经济和社会的快速发展,洪灾损失正日趋严重(见表 1.2),仅 1998 年大水的直接经济损失就高达 2466 亿元之巨。洪涝灾害已成为制约我国经济社会可持续发展的主要因素之一,防洪减灾的任务艰巨而迫切。

表 1.1 1963~1992 年全球重大自然灾害

损失中各灾种所占百分数

单位: %

项 目	洪 水	干 旱	热带风暴	地 震	其他灾种
经济损失	32	22	30	10	6
受灾人数	32	23	20	14	11
死亡人数	25	3	19	13	40

表 1.2 20 世纪 90 年代以来洪涝灾害统计表

年 份	受灾面积(万亩)	成灾面积(万亩)	直接经济损失(亿元)
1990	17706	8407	
1991	36894	21921	749.08
1992	14135	6696	412.77
1993	24581	12915	641.74
1994	28288	17234	1796.60
1995	21550	12001	1653.30
1996	30914	18918	2208.36
1997	19702	9772	930.11
1998	38700	23800	2466.00
1999	14408	8084	930.23
2000	13568	8394	711.63

1.1 防洪减灾与洪水预报

1.1.1 防洪减灾措施

洪水灾害每年给人类带来的巨大生命财产损失,严重妨碍社

会发展, 防洪减灾是实现社会可持续发展的重要保证。

防洪减灾措施主要包括工程措施和非工程措施。工程措施是指以蓄、泄、分、滞等方式, 调度控制洪水的各种设施, 提供削减成灾水量, 改变其有害的时空分布, 提高当地泄滞排涝能力, 来达到减少灾害发生频次和减轻灾害严重程度的目的, 其本质是“使洪水为人让路”。工程措施主要包括堤防、水库、蓄滞洪区、水土保持、河道整治等措施。非工程措施是指通过合理规划管理、搬迁安置、预报预警、防洪保险等方式, 调度可能受灾害影响的人、物和资产, 以减轻对洪灾的敏感程度, 提高抗御灾害的能力, 其本质是“使人为洪水让路”。非工程措施主要包括洪水监测、预报与预警、应急措施的制定、洪泛区土地利用的规划与管理、洪水保险、民众教育与防洪演练等。

工程措施由于在防洪减灾中的显著效益, 一直受到人们的青睐, 尤其是进入近现代以来, 各国不遗余力地修建堤防、水库等防洪工程, 提高防洪标准, 希望能驾驭洪水。但一方面是巨大的防洪工程资金投入, 另一方面却是难以遏制的洪灾发生频率增加, 洪灾损失持续上升的趋势。鉴于此, 美国于1968年以后开始通过一系列法规, 确立了以洪水预报警报、洪水保险、洪泛区整治、防洪工程管理为主的非工程措施防洪减灾的政策。在我国, 自20世纪50年代以后, 进行了历史上前所未有的大规模防洪工程建设, 40年来, 已修建防洪堤24.7万km, 大、中、小型水库8.4万座, 有效地减缓了洪灾可能带来的经济损失, 产生巨大的防洪效益, 但总体上洪灾损失仍呈上升趋势。与美、日等发达国家相比, 我国防洪标准还显著偏低。美、日等国大江大河的防洪标准已达200年一遇, 甚至500年一遇以上的水平, 而我国一般只有10~20年, 个别地段仅50年一遇的水平。且我国国力有限, 目前尚难以大规模提高防洪标准。因此, 非工程防洪措施应在我国防洪策略中占重要地位。近年来, 尤其是1998年长江、松花江、嫩江大洪水后, 加强非工程防洪减灾措施已日益得到重视。

1.1.2 洪水预报预警在防洪减灾中的作用

非工程防洪减灾措施包括洪水预报与警报、分蓄洪区管理、实施洪水保险、避洪安全措施及转移设施等。

洪水预报预警是预测江河未来洪水要素及其特征值的一门应用技术科学,是根据洪水形成和运动的规律,利用过去和实时的水文气象资料,对未来一定时段内的洪水发展情况进行预测预报分析,是防洪抗灾决策的重要依据,是一项重要的防洪非工程措施。根据洪水预报,可以事先对防洪工程(水库、闸坝)进行合理调度,及时拦洪、泄洪、削减洪峰、与下游区间洪水错峰,有效控制洪水。根据洪水预报,可以有计划地运用分蓄洪区拦蓄超额洪水,牺牲局部、保护全局,减少洪灾损失。根据洪水预报,可以事先组织群众进行防洪抢险,加高加固堤防,组织分洪区群众转移,保障人民生命财产的安全。

近年来,为适应我国经济社会发展新形势,为全面建设小康社会提供支撑,保障经济社会可持续发展,我国防汛抗旱工作提出了坚持防汛与抗旱并举,实现由控制洪水向洪水管理转变,由单一抗旱向全面抗旱转变的新思路。防汛抗旱工作的新思路对水文情报预报提出了新要求。两个转变体现了坚持以人为本、尊重自然规律、实现人与自然和谐相处的治水新理念。防汛抗旱工作的两个转变,要求为防汛抗旱工作及时提出准确的水文情报预报信息。特别是向洪水管理的转变,核心就是要加大洪水资源化利用,就是要加强洪水的风险调度,这无疑对洪水预报提出了更高的要求。为此,努力延长洪水的预见期,提高预报精度,紧紧围绕洪水调度、抢险救灾和灾后重建的需要开展水文预测预报,为洪水资源化提供准确的水情预报信息,推进水资源的可持续利用。

作为防汛斗争的“耳目”和“参谋”,及时准确的洪水预报,为正确作出防汛决策提供科学依据,在历次抗洪斗争中取得了巨大的经济效益和社会效益,据统计,仅 1998 年水文情报预报的直接经济效益超过 800 亿元。

1.1.3 目前洪水预报距离防洪减灾要求的主要差距

虽然洪水预报在防洪减灾中发挥了重要作用，但距离防洪减灾的高要求仍有差距，主要表现在预见期较短、部分项目精度不高、预报范围较少等方面。

一是洪水预报预见期较短。较长的洪水预见期是做好防洪调度决策、生命财产安全转移的前提。目前，我国大部分洪水预报预见期小于2天，有的甚至只有几个小时，致使防洪调度决策仓促，生命财产转移不及时。如长江荆江分洪区的运用需要24小时的决策、转移时间，而目前做出其调度依据站沙市的洪水预报预见期只有9个小时左右，远远满足不了分洪调度要求。

二是有些预报项目精度有待提高。预报精度是做好防洪调度决策的另一重要因素，而尤以水位预报精度最为重要。特别是防洪重点地区的大江大河中下游水位预报精度，表现在流量精度较高，而通过水位流量转换后的水位预报却满足不了要求。如2003年淮河洪水期间，王家坝闸是否分洪需要高精度的洪水预报，为使蓄滞洪区人员和财产安全转移需要更长时间的预见期；在1998年长江、松花江、嫩江大洪水期间，各级领导和防汛部门需要高精度的干流水位预报来组织抗洪抢险，甚至要求误差在0.05m范围内，大大高于水文情报预报规范的要求。

三是预报范围满足不了防汛抗旱的要求。目前，开展的预报范围较少，一般只注重大江大河、重要防洪地区的洪水预报，而随着国民经济的发展，防汛抗旱工作的拓展，大江大河的支流、非重点防洪地区的防洪任务日益繁重，迫切需要开展洪水预报工作；同时开展的预报项目较少，注重洪水预报，而对径流、旱情、山洪、水环境预报关注不够。

1.1.4 造成差距的理论与技术原因

造成洪水预报不能满足防洪决策要求的原因是多方面的，其中洪水预报技术落后是重要的原因之一，主要体现在以下两方面。

(1) 洪水预报方案研制或修订工作严重滞后，制约了洪水预报精度的提高。洪水预报方案是做好洪水预报工作的基础，其

精度如何决定了预报成果的精度。目前,全国大江大河、重点防洪地区建有洪水预报方案,而一般支流、非防洪地区很少有预报方案,因此开展洪水预报的范围不广。洪水预报方案的研制手段大多采用手工制作,耗时较长。采用的方法和模型大多采用降雨径流相关图和水位流量相关图,较先进的数学模型应用较少,制约了多方案多模型对比分析,制约了洪水预报精度的提高。由于技术落后和经费不足,常常造成大水过后洪水预报方案修订工作滞后。

(2) 预报系统不尽完善。预报系统是预报人员的作业平台,可有效提高作业预报的质量和效率。但全国预报系统建设方面存在一些问题,主要表现在:系统低水平重复开发严重,预报模型应用程度不高,预报方法单一,系统功能不全,人机界面图形功能不强,系统技术文档不全,系统开发因人而异,大量现有预报方案没有计算机作业等。预报系统的不足致使预报分析时间过长,分析手段落后,缩短了有效洪水预见期,制约了洪水预报精度的提高。

1.1.5 加强洪水预报系统关键技术研究的可能性和紧迫性

洪水预报系统是各项洪水预报技术的集成,是一项重要的防洪减灾的非工程措施。先进的洪水预报系统的研究建设将有效提高洪水预报精度,增长有效洪水预见期,提高防汛抗旱指挥决策的科学性,更充分地发挥水利工程的减灾效益。

防洪是关系国计民生的大事。洪水的突发性、历史不重复性、社会政治经济环境的复杂性及洪水危害的严重性,决定了防洪决策是难度大、时效性强、风险度高的事前决策。决策的正确、及时与否关系到防洪、抗洪工作的成败,直接影响国民经济发展和人民生命财产安全。防洪调度决策的复杂性和紧迫性迫切需要洪水预报系统实现现代化,其标志应是预报成果精度高,有效预见期长,系统功能全面,系统操作灵活等。

据 2003 年统计,全国流域机构和省(自治区、直辖市)的水情部门共有 26 个单位先后建立了洪水预报系统,多年来为当地的