

中小河流洪水

预警指标确定与预报技术研究

水利部水利信息中心◎编著



科学出版社

水利部公益性行业科研专项经费资助项目(201201058)

中小河流洪水 预警指标确定与预报技术研究

水利部水利信息中心◎编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书针对当前我国中小河流预警预报技术难题和业务需求,介绍了中小河流洪水预警指标确定和预报技术研究及应用,包括国内外中小河流洪水预警预报技术研究进展,中小河流洪水预警指标及确定方法,中小河流洪水预警预报模型和方法选择原则及步骤,湿润地区、半湿润地区和半干旱地区中小河流洪水预报模型及应用,分布式水文物理模型 GBHM 及 TOPKAPI 在中小河流洪水预报中的应用研究,无资料地区水文预报的经验方法以及集合预报、实时校正与模型不确定性分析等内容。

本书可供水文水资源、水利工程、气象、环境等学科的科研人员、大学教师和相关专业的研究生以及从事水利工程或防洪减灾管理专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中小河流洪水预警指标确定与预报技术研究 / 水利部水利信息中心编著.
—北京:科学出版社,2016

ISBN 978-7-03-049089-6

I. ①中… II. ①水… III. ①洪水预报 IV. ①P338

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 142082 号

责任编辑:李 敏 杨逢渤 / 责任校对:钟 洋

责任印制:张 倩 / 封面设计:铭轩堂

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 7 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016 年 7 月第一次印刷 印张:17 3/4 插页:2

字数:360 000

定价:148.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《中小河流洪水预警指标确定与预报技术研究》

编委会

主 编

刘志雨 李致家 杨大文 侯爱中 巨兴顺

成 员

刘志雨 侯爱中 胡健伟 尹志杰 孙 龙

李致家 姚 成 黄鹏年 安 冬 姜婷婷

刘玉环 刘开磊 杨大文 杨汉波 缪清华

巨兴顺 张艳玲 陶林威

研究组成员

刘志雨 侯爱中 胡健伟 尹志杰 孙 龙

赵兰兰 李 磊 李致家 姚 成 黄鹏年

安 冬 姜婷婷 刘玉环 刘开磊 顾玮琪

韩 通 梁 珂 杨大文 杨汉波 缪清华

徐翔宇 李 哲 张树磊 巨兴顺 张艳玲

陶林威 顾 钊

前 言

近年来，由局地强降水造成的山丘区中小河流（3000km²以下）洪水频繁发生，引起的泥石流、滑坡等山区性洪水（简称山洪）灾害防不胜防，造成的死亡人数占全国洪涝灾害死亡人数的比例通常高达2/3以上。2010年，甘肃舟曲等地暴发特大山洪泥石流灾害，当年全国因中小河流和山洪灾害造成2824人死亡，占洪涝灾害死亡总人数的87.6%。中小河流洪水及其引发的山洪灾害是当前我国自然灾害中造成人员伤亡和经济损失的主要灾种，严重制约着广大山丘区经济社会的发展和人民群众的脱贫致富，影响全面建设小康社会目标的实现。

由于中小河流洪水、山洪灾害的严重性，加上影响因素比较复杂，目前尚难以完全治理，因此开展中小河流洪水、山洪灾害的监测预警预报工作，使处于灾害危险区的居民可以及时得到预警信息，从而提前采取预防措施，减轻灾害损失，对于保障山区人民的生命财产安全具有重要的现实意义。2010年起，国家先后启动了全国山洪灾害防治县级非工程措施项目（一期、二期）、全国中小河流水文监测系统建设项目，计划用3~5年，初步建成覆盖山洪灾害易发区和重点防治区县的工程措施体系，全面提高我国山洪灾害防御能力；使有防洪任务的5186条重点中小河流在发生洪水时能及时预警，为我国中小河流防洪减灾提供决策依据。如今，这些项目正在发挥着作用，为山丘区民众的生命安全设置山洪警戒线。

由于我国大部分中小河流洪水、山洪灾害易发区地处山丘区，历史观测水文资料缺乏，中小河流洪水及山洪灾害具有暴雨强度大、洪水历时短、突发性强、难预报、难预防的特点，因此山区中小河流洪水和山洪灾害的预警预报和防御已成为目前防洪减灾工作中突出的难点。为加强我国中小河流洪水和山洪灾害的监测、预警、预报技术研究，在财政部、水利部等有关部门的支持下，水利部水文局（水利信息中心）组织开展了“中小河流突发性洪水监测与预警预报技术研究[水利部公益性行业科研专项经费资助项目（200701001）]”，并主要参与了“山洪灾害监测预警系统标准化研究[水利部公益性行业科研专项经费资助项目（201201058）]”工作。

项目总目标是针对当前各地在山洪灾害防御非工程措施和中小河流洪水监测预警预报系统建设中遇到的洪水预警指标确定方法与分级标准不统一，洪水预报方法与模型选择缺乏技术指导的问题，研究适合我国国情的山区中小河流洪水预

警指标体系与确定方法,研制开发适合我国不同气候、不同下垫面条件下的中小河流洪水预报方法与模型,为我国山区中小河流洪水的防洪管理提供关键技术支持。为此,本书选择南北方不同气候区、不同下垫面条件下的多个山区中小河流流域为研究示范区域,开展山洪预警指标体系及确定方法研究,并根据典型区域的资料数据,提出适合我国的中小河流洪水预报办法与模型并进行数值计算模拟,对研究成果进行总结并提出了有关建议。

本书旨在总结国内外中小河流洪水和山洪灾害预警预报技术研究进展,介绍山区中小河流洪水预警指标确定、洪水预报模型与方法选择,不同气候区中小河流洪水预报模型应用以及无资料地区水文预报方法、集合预报与洪水实时校正等方面的研究成果。全书共分11章,第1章由胡健伟、陶林威编写,第2章由侯爱中、杨大文及巨兴顺编写,第3章由刘志雨、侯爱中编写,第4章由尹志杰、李致家、安冬、姜婷婷编写,第5章由尹志杰、李致家、姚成、黄鹏年编写,第6章由孙龙、李致家、安冬编写,第7章由杨汉波、缪清华、侯爱中编写,第8章由张艳玲、孙龙、刘玉环编写,第9章由韩通、梁珂编写,第10章由刘开磊、顾玮琪、胡健伟编写,第11章由刘志雨编写。全书由侯爱中统稿,刘志雨审定。

本书研究工作得到了水利部有关部门和地方相关省份防汛、水文单位的支持和帮助。陕西省水文水资源勘测局、江西省水文局、湖南省水文水资源勘测局、中国水利水电科学研究院等单位为本书研究提供了大量宝贵的资料和意见。本书部分研究成果得到国家自然科学基金(41130639、51179045)的资助。在此向对本书研究工作给予关心、支持、指导和帮助的所有领导、专家和同行朋友表示衷心的感谢。

由于本书内容的广泛性,研究问题的复杂性,加之作者时间和精力有限,不当之处敬请广大读者批评指正。

编著者

2015年8月于北京

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 中小河流洪水预警预报研究背景与意义	1
1.2 国内外中小河流洪水预警预报研究进展	4
1.3 中小河流洪水预警预报研究目标与内容	8
第 2 章 中小河流洪水预警指标确定方法	15
2.1 预警指标体系	15
2.2 指标确定方法	16
2.3 指标确定示例	21
2.4 预警雨量指标评价	33
2.5 小结	34
参考文献	34
第 3 章 中小河流洪水预警预报模型与方法选择	36
3.1 预报模型与方法选择原则	36
3.2 选择步骤	36
3.3 预报模型与方法	38
3.4 小结	43
参考文献	43
第 4 章 湿润地区中小河流洪水预报模型应用	46
4.1 新安江模型	46
4.2 TOPMODEL 模型	54
4.3 BP-KNN 模型	71
4.4 模型在山洪预报中的应用	75
4.5 小结	79
参考文献	79
第 5 章 半湿润地区中小河流洪水预报模型应用	83
5.1 河北雨洪模型	84
5.2 增加超渗产流的新安江模型	87
5.3 新安江-海河模型	92

5.4	基于网格的蓄满与超渗空间组合的水文模型	97
5.5	模型在山洪预报中的应用	108
5.6	小结	122
	参考文献	122
第6章	半干旱地区中小河流洪水预报模型应用	124
6.1	超渗产流模型	124
6.2	SAC 模型	128
6.3	IHACRES 模型	131
6.4	模型在山洪预报中的应用	136
6.5	小结	143
	参考文献	144
第7章	GBHM 模型在中小河流洪水预报中的应用	145
7.1	GBHM 模型的建立	145
7.2	水文模拟及模型参数	153
7.3	GBHM 模型在山洪预报中的应用	155
7.4	小结	191
	参考文献	191
第8章	TOPKAPI 模型在中小河流洪水预报中的应用	193
8.1	TOPKAPI 模型的建立	194
8.2	资料需求及基本参数	203
8.3	模型的率定和验证	204
8.4	模型应用的尺度问题	205
8.5	TOPKAPI 模型在山洪预报中的应用	213
8.6	小结	230
	参考文献	231
第9章	应急水文预报实用方法	234
9.1	降雨径流区域规律	234
9.2	流域汇流预报	242
9.3	小结	247
	参考文献	248
第10章	水文集合预报应用	249
10.1	概述	249
10.2	集合预报	250
10.3	实时校正	258

10.4 模型的不确定性分析	262
10.5 小结	268
参考文献	268
第 11 章 主要研究成果与展望	271
11.1 主要研究成果	271
11.2 展望	272

第 1 章 绪 论

1.1 中小河流洪水预警预报研究背景与意义

1.1.1 中小河流洪水和山洪灾害

我国幅员辽阔，中小河流众多。除大江大河外，流域面积在 100km^2 以上的河流约有 5 万多条，流域面积在 200km^2 以上有防洪任务的中小河流（包括大江大河支流、独流入海河流和内陆河流）有 9000 多条，这些河流大多分布在重要城镇及广大农村地区，其中 85% 的城市濒临中小河流。由于长时间缺乏系统地治理，我国中小河流普遍防洪标准偏低，洪灾损失严重。据统计，一般年份中小河流的水灾损失占全国水灾总损失的 70% ~ 80%，近 10 年水灾造成的人员死亡人口有 2/3 以上发生在中小河流。

山洪灾害是指山丘区由降雨引起的中小河流洪水灾害、泥石流灾害和滑坡灾害。我国主要处于东亚季风区，山丘区暴雨频发，地形地质条件复杂，加之人类活动的影响，导致山洪灾害发生频繁。近年来，由局地强降水造成的中小河流突发性洪水频繁发生，引起的泥石流、滑坡等山洪灾害防不胜防，已成为人员伤亡的主要灾种，严重制约着广大山丘区经济社会的发展和人民群众的脱贫致富，影响全面建设小康社会目标的实现。据统计，1950 ~ 2010 年洪涝灾害死亡人数为 26.3 万，其中山丘区死亡人数为 18 万，占总死亡人数的 68.4%；2010 年以后因中小河流洪水和山洪灾害造成的死亡人数占全国洪涝灾害死亡人数的比例较高，特别是在 2010 年这一比例达 87.6%（图 1-1），中小河流洪水和山洪灾害仍是人员死亡的主要原因，随着山洪防治、中小河流治理等项目的开展，2010 年后因山洪灾害造成的死亡人数占全国洪涝灾害死亡人数的比例逐年降低，但比例仍超过 2/3。

1.1.2 全国山洪灾害防治非工程措施建设

我国山丘区因降雨引发的山洪灾害问题日益突出，每年都造成大量的人员伤亡，严重影响山丘区的社会安定和经济发展。为了全面落实国家实施可持续发展

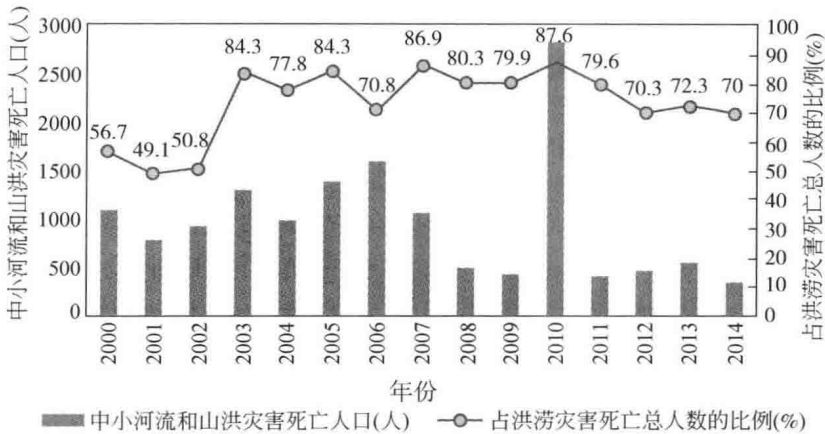


图 1-1 2000 ~ 2014 年中小河流和山洪灾害死亡人口及其占洪涝灾害死亡总人数的比例

战略的要求，保障山丘区人民生命和财产安全，实现我国经济社会的全面发展，2010年11月水利部会同财政部、国土资源部、中国气象局全面启动了全国山洪灾害防治县级非工程措施建设项目，计划用3年左右的时间，在有山洪灾害防治任务的1836个县级行政区，初步建成以监测预警为主的防灾非工程措施体系，尽快提高基层防御山洪灾害能力，最大程度地减少人员伤亡和财产损失，尤其是有效避免群死群伤事件的发生。

山洪灾害防治县级非工程措施建设内容主要包括如下几方面。

1) 山洪灾害普查。普查所有小流域自然和经济社会基本情况、人口分布情况、山洪灾害类型、历史山洪灾害情况、受山洪灾害威胁的人口及主要经济设施分布情况。

2) 划定危险区。根据普查的结果，划定山洪灾害防治区内危险区、安全区，并以自然村或小流域为单位，标绘在预案图件上。

3) 确定临界雨量 and 水位等预警指标。根据历史降雨及山洪灾害情况，结合地形、地貌、植被、土壤类型等，确定每个小流域或乡村各级临界雨量、水位等预警指标，并在实际运用中修订完善。

4) 建设雨水情监测站点。包括自动雨量站建设、简易雨量站建设、自动水位站建设和简易水位站建设。同时，充分利用气象、水文等部门此前已经建设的站点信息，提高暴雨洪水的监测密度。

5) 建设县级监测预警平台。县级平台应用软件具有基础信息查询、水雨情监测查询、气象国土信息服务、水情预报服务、预警发布服务、应急响应服务、系统管理等功能。同时建设国家、省、市山洪灾害监测预警管理系统，自下而上实现雨水情和灾害管理信息的联网共享。

6) 配备必要的预警设施。预警方式除采用手摇报警器、人工敲锣、鸣哨等传统方法外,还包括电话、传真、短信、无线预警广播、电视等。

7) 建立群测群防体系。建立县、乡(镇)、村、组、户五级山洪灾害防御责任制体系,完善乡(镇)、村一级的群测群防组织指挥机构,明确各级责任人员和相应职责;按照《山洪灾害防御预案编制大纲》要求编制基层防御预案;落实基层责任制、开展宣传培训演练等。

在前期实施山洪灾害防治县级非工程措施项目的基础上,水利部、财政部又确立了2013~2015年进一步补充完善非工程措施体系、山洪灾害调查评价、重点山洪沟防洪治理建设任务。如今,这些项目正在发挥着作用,为山丘区民众的生命安全设置起山洪警戒线。

1.1.3 全国中小河流水文监测系统建设

随着我国经济社会的快速发展以及近年来极端天气事件的明显增多,中小河流洪涝灾害频繁发生,已成为我国洪涝灾害损失的主体。为贯彻落实中央一号文件和中央水利工作会议对水文工作的一系列重要决策和部署,加快推进《全国中小河流治理和病险水库除险加固、山洪地质灾害防御和综合治理总体规划》(简称《总体规划》)中监测预报预警体系建设,2011年国家启动全国中小河流水文监测系统建设。

中小河流水文监测系统建设目标:通过充实完善水文站、水位站、雨量站等监测站点,加强巡测能力建设,基本建成覆盖我国中小河流的水文监测体系。对《总体规划》中确定的流域面积在200~3000km²的5186条中小河流水文监测控制率达到100%,提高中小河流水文信息的采集、传输、处理水平和预警、预报能力,确保水雨情信息在20分钟内到达各级水文信息中心站,为我国中小河流防洪抗旱减灾、中小水库的安全运行、水资源管理以及水生态与环境的保护修复等提供决策依据。

中小河流水文监测系统建设任务:力争用3年时间完成《总体规划》中确定的水文建设任务。一是水文测站建设与改造,包括建设4697处水文站(其中改造1171处),3553处水位站(其中改造162处),30617处雨量站(其中改造4400处);二是水文巡测与应急监测能力建设,包括229处水文巡测基地和39支应急监测队建设,这39支应急监测队是指各流域水文机构和各省(自治区、直辖市)水文机构都建立一个应急监测队,配备应急测验设备,提高应对紧急或突发事件的快速反应能力;三是水文预报系统建设,建设408处水文中心站和5186个河流水文预报软件系统,为中小河流防洪提供及时、快速、准确的预警预报信息。

近年来,中小河流水文监测系统建设顺利推进,成效初步显现。截至2014

年,全国累计建成水文站 2239 处、水位站 3025 处、雨量站 28 713 处、水文信息中心站 340 处、水文巡测基地 72 处、水文应急监测队 26 支、预警预报软件 866 套,在中小河流雨水情监视预警、防洪指挥决策中发挥了重要的信息支撑作用。

1.1.4 中小河流洪水预警预报研究意义

由于我国大部分中小河流洪水、山洪灾害易发区地处山丘区,历史观测水文资料缺乏,中小河流洪水及山洪灾害具有暴雨强度大、洪水历时短、突发性强、难预报、难预防的特点,因此中小河流洪水和山洪灾害的预警预报和防御已成为目前防洪减灾工作中突出的难点。

针对当前各地在山洪灾害防御非工程措施建设和中小河流洪水预报预警系统建设中遇到的洪水预警指标确定方法与分级标准不统一、山洪预报方法与模型选择缺乏技术指导的问题,急需研究适合我国国情的山洪预警指标体系与分级标准,研制开发适合我国的中小河流洪水预报方法与模型。

为加强我国中小河流洪水和山洪灾害的监测、预警和预报技术研究,在财政部、水利部等有关部门的支持下,水利部水文局(水利信息中心)自 2007 年起先后组织开展了“中小河流突发性洪水监测与预警预报技术研究[水利部公益性行业科研专项经费资助项目(200701001)]”,并主要参与了“山洪灾害监测预警系统标准化研究[水利部公益性行业科研专项经费资助项目(201201058)]”工作。

1.2 国内外中小河流洪水预警预报研究进展

近年来,中小河流洪水和山洪灾害的加剧与发展,已引起世界防灾减灾领域关注。面对越来越严重的山洪灾害,很多国家已经或正在研发有效的山洪监测预警预报系统和洪水管理方法,力求使灾害程度达到最小。例如,美国水文研究中心(Hydrologic Research Center, HRC)研发了山洪预警指南系统(flash flood guidance system, FFGS),已广泛应用于美国、中美洲七国、韩国、湄公河委员会成员国(泰国、柬埔寨、老挝、越南)、南非、罗马尼亚等国家和地区;美国马里兰大学与国家河流预报中心研制了分布式水文模型山洪预报系统(HEC-DHM);日本国际合作社(JICA)开发了在加勒比海地区以社区为基础的山洪早期警报系统等。世界气象组织(World Meteorological Organization, WMO)也在积极推进一体化洪水管理理念,并在南亚地区孟加拉国、印度和尼泊尔三国成功地开展了“社区加盟洪水预警与管理”的示范区项目。

目前,国内外山洪预警预报采取的技术途径通常是通过通过对山洪的危险性预测判别,研究山区山洪灾害威胁程度,划分山洪易发区和危险等级;结合先进的监

测和预报技术,实时监视暴雨山洪情况,预测山洪发生的时间和危害程度,从而做出准确预测预报。

中小河流洪水预报可以采用常规的水文气象模型,但由于其具有流速快、预见期短以及资料短缺等特点,所以中小河流洪水预报具有其特殊性,与常规水文预报的思路略有不同。目前,国外常用的中小河流洪水预报预警方法有两种,其一为高分辨率分布式水文模拟法,如意大利 ProGEA 公司开发的基于 TOPKAPI (topographical kinematic approximation and integration) 分布式水文模型的中小河流洪水预报系统、美国马里兰大学与国家河流预报中心共同研发的分布式水文模型山洪预报系统;其二为动态临界雨量值法,如美国水文研究中心研制的山洪预警指南系统。此外,对具有一定水文系列资料的小流域常采用经验方法。例如,可根据历史上本地区内中、小流域特大暴雨条件下的流域面积-量-峰关系的整理与应用,或依据本流域观测资料建立降雨总量与洪峰相关的预报预警方案。

1.2.1 山洪危险性预测判别

山洪危险性预测判别技术主要是在调查历史山洪灾害的基础上,结合气候、水文、地形、地貌、地质条件、人员分布,分析山洪灾害可能发生的类型、程度及影响范围,按照历史洪水位等合理划定危险区,以便政府和人们采取必要的针对性措施,从而达到预警目的。日本、美国、奥地利、瑞典、德国等是国际上较早开展山洪灾害危险区划与预测的国家。

日本采用短历时降雨的有效降雨量和降雨强度等因子来研究山洪和泥石流发生的可能性,据此开展山洪灾害的危险性预测工作。美国加利福尼亚-内华达河流预报中心(California Nevada River Forecast Center, CNRFC)采用打分方法,构建了山洪危险性预测评价的基本框架,选用地形特征、土壤特性、植被覆盖、森林覆盖、土地利用等主要影响因子,采用因子叠加分析、加权平均方法,划分1~10共十个等级,并计算山洪潜在危险指数(flash flood potential index, FFPI),完成了山洪危险度预测评估。瑞典利用危险区图来表示山洪灾害类型的判别和灾害规模的估计,以山丘区的洪水灾害为例,根据危险等级将山洪易发区分为4个不同的危险区,每个区又分为1~5个亚区,从而确定洪水的发生范围。

我国根据山洪的基本特点,用临界雨量系数作为降雨诱发山洪灾害易发程度指标来区划山洪易发区。临界降雨系数即为时段暴雨均值与同时段临界雨量(强)的比例系数。通过绘制全国临界雨量分布图和多年最大6小时点雨量均值等值线图,综合分析计算临界降雨系数并确定全国山洪灾害易发区等级,临界降雨系数大于1.2为高易发区,1.0~1.2为中易发区,小于1.0为低易发区。对于历史上

发生大暴雨、诱发严重山洪灾害的区域,根据暴雨笼罩范围划为高易发降雨区。据此,编制了全国降雨诱发山洪灾害易发程度分布图,又根据形成山洪灾害的降雨、地形地质和经济社会因素,将山洪易发区划分为山洪灾害重点防治区和一般防治区,以利突出重点,按轻重缓急,逐步实施山洪灾害防治措施。

1.2.2 中小河流洪水预警预报技术

目前,国内外常用的山洪预警预报方法有3种,即山洪临界雨量法、中小河流洪水预报模型与方法、经验预报法。

(1) 山洪临界雨量法

临界雨量法一般主要是根据历史山洪发生的降雨情况分析,结合形成条件,通过回归、统计、水文模型等方法,确定山洪临界雨量。通过天气预报和降水实际情况,以临界雨量为依据,或根据预报模型,确定山洪发生的可能性。山洪的流量大小除了与降雨总量、降雨强度有关外,还与流域土壤饱和程度[或前期影响雨量指数(antecedent precipitation index, API)]密切相关。当土壤较干时,降水下渗大,则产生地表径流小;反之,如果土壤较湿,降水入渗少,易形成地表径流。因此,在确定山洪临界雨量指标时,应该考虑山洪防治区中小流域土壤饱和情况,给出不同初始土壤含水量条件下的临界雨量值,这种方法称为“动态临界雨量法”。土壤含水量指标可以采用土壤饱和度,也可以用前期影响雨量指数(API)表示,其中土壤饱和度可以由分布式水文模型输出。

美国水文研究中心研发的动态临界雨量值法(或山洪预警指南法),即基于动态临界雨量的山洪指南法,其思路是以小流域上已发生的降雨量,通过水文模型计算分析,得到流域实时土壤湿度,并反推出流域出口断面洪峰流量要达到预先设定的预警流量值所需的降雨量,这个降雨量称为“山洪指南值”(flash flood guidance, FFG)或动态的“临界雨量值”。当实时或预报降雨量达到“山洪指南值”时,即发布山洪预警或警示。概言之,在分析当前的土壤湿度时,因为时间允许,运用了水文模型,得到了FFG;在发布未来预报或预警时,因时间仓促,不运行水文模型,只对比当点(或小范围的面)雨量是否达到及超过FFG,决定是否发布预警。

(2) 中小河流洪水预报模型与方法

根据中小河流洪水预报的不同要素(水位、流量)以及流域资料情况,选用不同的预报模型与方法。所运用的模型与方法有降雨径流预报方法、流域水文模型(集中式概念性水文模型、分布式水文模型)、统计回归模型、人工神经网络模型等。对于降雨径流预报方法,产流可根据各地实际情况采用折减系数(径流系数)、降雨径流关系、初损后损等方法计算。汇流根据流域山坡的实际情况,可采

用单位线（经验单位线、瞬时单位线、综合单位线）、汇流系数（曲线）等方法计算。有条件时，可利用数字高程模型（DEM 和 GIS）提取的小流域特征，建立分布式洪水预报模型。

基于分布式水文模型的中小河流洪水预警预报方法的基本思路是利用高精度 DEM 生成数字流域，在每个小的子流域（或 DEM 网格）上应用现有的水文模型（如萨克拉门托模型、新安江模型等）来推求径流，再进行汇流演算（瞬时地貌单位线法、等流时线法等），最后求得每个子流域（或网格）出口断面的流量过程、峰值流量及其出现时间等洪水预报数据；根据实时监测的水文数据，结合计算所得的各小流域（或网格）的降雨径流情况，一旦达到预警限值，通过网络系统和防汛短消息平台向相关责任人员发送预警信息。例如，河南省水利厅 2005 年起通过对美国陆军工程师团 HEC-HMS^① 流域预报模型的深入研究，采用新型地貌单位线等水文分析最新成果，为山丘区无水文资料地区进行洪水预报预警，从技术手段上为山洪灾害防御开辟了新途径。

人工神经网络模型是根据神经网络原理，将降雨、流量、水位等水文要素作为训练对象的一种数学模型，可用于缺乏流量观测资料而直接进行水位预报的断面。模型输入应具备降雨、水位或流量等观测资料。将流域前期降雨和预报断面的前期流量（或水位）作为神经网络的输入因子，预报断面当前流量（或水位）作为网络的输出因子。神经网络模型参数采用试算的方法加以确定。一旦网络参数确定，即可运用建立的模型对洪水进行实时预报。

（3）经验预报法

对于上、下游有水位（文）站的河流，则可运用历史水位、流量资料，建立上游水位、流量和下游水位、流量相关关系。对于上游有水位（文）站，下游（或灾害点上游）没有水位（文）站的河流，如果下游可以调查到较大洪水的洪峰水位，则可利用上游的实测水文资料和下游的调查资料，建立上下游水位相关关系。对具有一定水文系列资料的流域，可根据历史上本地区中、小流域特大暴雨条件下的流域面积-量-峰关系的整理与应用，或依据本流域观测资料建立降雨总量与洪峰相关的预警预报方案。

对于流域面积小、汇流时间短的山洪沟，根据实测或调查的降雨量和灾害点上游实测或调查的水位（流量）资料建立流域降雨与灾害点上游的水位（流量）相关关系。

^① HEC-HMS 是美国陆军工程师团水文工程中心（Hydrologic Engineering Center, HEC）研究的流域水文模拟系统（hydrologic modeling system, HMS）。

1.3 中小河流洪水预警预报研究目标与内容

1.3.1 研究目标

针对当前各地在山洪灾害防御非工程措施建设中遇到的山洪预警指标确定方法与分级标准不统一,中小河流洪水预报方法与模型选择缺乏技术指导的问题,研究适合我国国情的山洪预警指标体系与分级标准,研制开发适合我国的中小河流洪水预报方法与模型。基于陕西省3个典型流域(板桥河、灞河、周河)和2个对比流域(屯溪、伊河)的DEM、土地利用、土壤、植被和气象、水文等资料,通过现场调查、资料分析以及分布式水文模型等综合手段,分别构建3个典型流域的GBHM(geomorphology based hydrological model)分布式水文模型,提出乡镇和小流域的山洪预警指标体系(水位、流量和雨量指标)、山洪预警分级标准和推广研究成果的建议。

1.3.2 研究内容

本书主要研究内容包括山洪预警指标体系及确定方法研究、流域间水文相似性规律研究、不同类型水文模型原理和模拟分析对比研究和分布式水文物理模型在山区中小河流洪水预报中的应用研究。

(1) 山洪预警指标体系及确定方法研究

建立山洪预警指标是流域山洪预警系统建设的核心之一。建立山洪预警指标的目的在于,利用流域山洪预报模型,在山洪发生之前协助判断山洪的可能危险性及发生的时间,以便通知受保护地区的人员及时转移避险,最大限度地保护人民的生命安全。为了满足判断山洪灾害发生和通知避险转移的要求,该指标需要考虑两个因素:①多大的降雨量会导致山洪暴发,也就是临界雨量;②从发出预警到山洪暴发的时间是否足以让受保护地区的人员转移,也就是汇流时间。本书主要围绕第一个因素,分析并提出周河流域、灞河流域以及板桥河等流域的山洪预警指标。

(2) 流域间水文相似性规律研究

由于山区性中小河流水文资料一般比较匮乏,常规的水文模型率定缺乏必要的资料,因此必须寻找流域间水文相似性的区域规律。本书主要通过流域或嵌套流域间降雨-径流关系区域规律、流域地貌特征等研究,解决不同流域降雨径流关系的空间移用问题,最终为实现不同流域间降雨径流相关图的移用提供支撑。

(3) 不同类型水文模型原理和模拟分析、对比研究

经过几十年的发展,国内外的水文模型数量庞大,构思也各有千秋。从过往