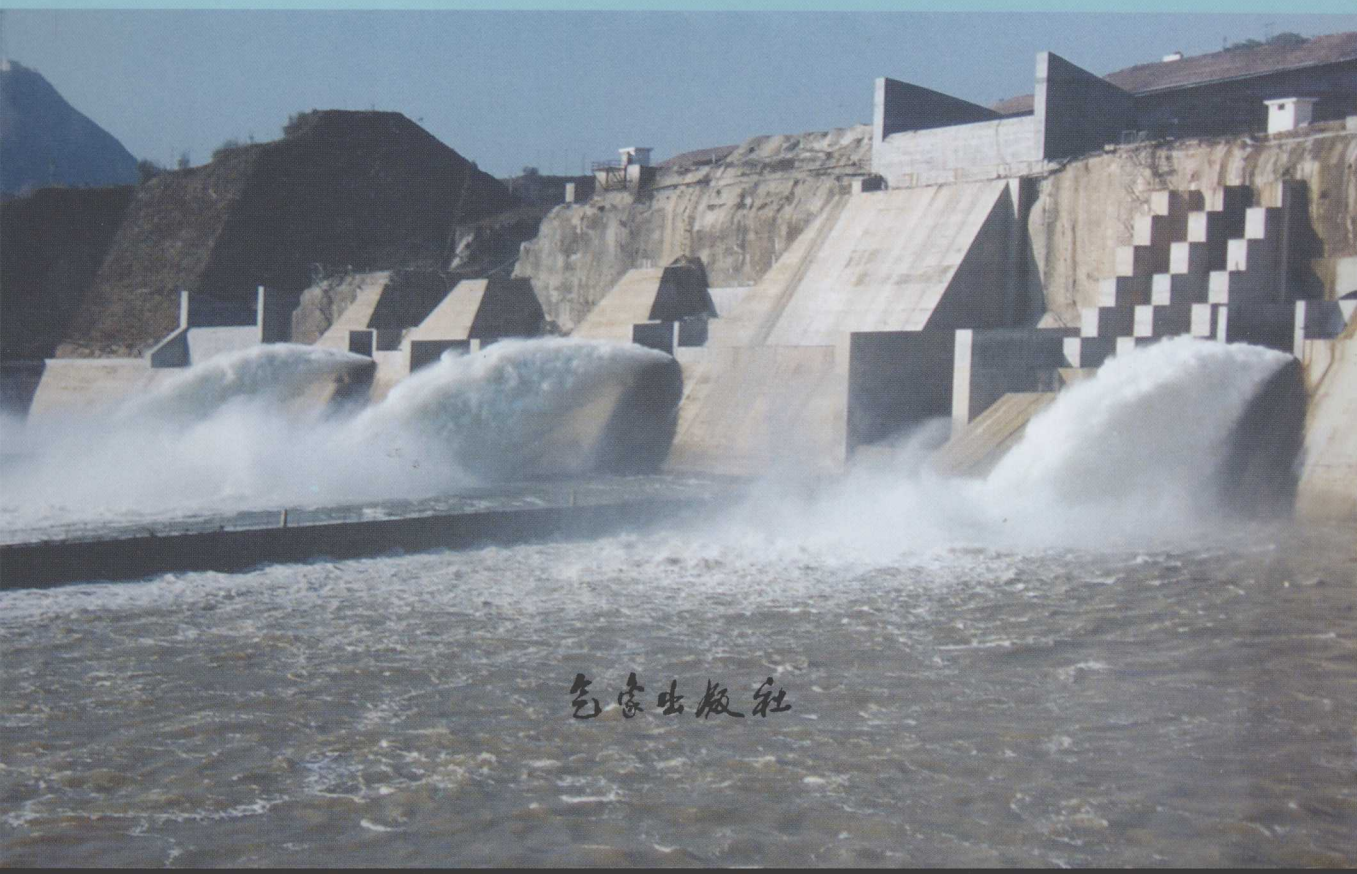




气象水文耦合暴雨洪水 预警技术研究

QIXIANG SHUIWEN OUHE BAOYU HONGSHUI YUJING JISHU YANJIU

董官臣 陈怀亮 杨向辉 等 编著



气象出版社

内容简介

气象水文耦合暴雨洪水 预警技术研究

董官臣 陈怀亮 杨向辉 等 编著

1. 式... II. 董... III. 暴雨洪水-预警

系统研究 IV. P331.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第038419号

地址:北京市西城区中关村大街27号

邮编:100081

总编室:010-68407112

发行部:010-68407112

出版者:气象出版社

网址: <http://cma.gov.cn>

E-mail: publish@126.net

责任编辑:吴晓芳

封面设计:吴晓芳

封面设计:吴晓芳

责任编辑:吴晓芳

印刷厂:北京中印伟业印刷有限公司

发行者:气象出版社

开本:787×1092 1/16

版次:2007年1月第1版

印次:2007年1月第1次印刷

印数:1-1000册

定价:35.00元

气象出版社

内 容 简 介

本书针对小浪底水库入库洪水预报问题,较全面系统地介绍了气象与水文学科结合,综合应用数值预报、洪水预报、卫星遥感、地理信息系统等先进技术,开展黄河三门峡—小浪底区间暴雨和洪水预报技术研究的一些成果。主要包括暴雨天气形势客观分型、物理量场诊断分析、美国中尺度 MM5 模式本地化处理、多种数值预报集成、水文分区及分区产汇流模型构建、区域地理信息系统建设,以及集 GIS、数据库、多个预报模型和用户界面于一体的小浪底水库暴雨致洪预警系统,该系统可直接提供给气象、水文业务单位使用,也可为黄河流域乃至其他河流洪水预报提供借鉴经验。

本书可供从事气象、水文相关业务及科研工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

气象水文耦合暴雨洪水预警技术研究/董官臣,陈怀亮,
杨向辉等编著. —北京:气象出版社,2007. 4

ISBN 978-7-5029-4294-6

I. 气… II. ①董…②陈…③杨… III. 暴雨洪水-预警
系统-研究 IV. P331. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 032849 号

出版者:气象出版社

网 址:<http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail:qxcbs@263.net

责任编辑:吴庭芳

终 审:纪乃晋

封面设计:大气洋流

责任技编:都平

印刷者:北京中新伟业印刷有限公司

发行者:气象出版社

开 本:787×1092 1/16 印 张:7.75 字 数:185 千字

版 次:2007 年 4 月第一版 2007 年 4 月第一次印刷

书 号:ISBN 978-7-5029-4294-6

印 数:1—1000 册

定 价:25.00 元

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮 编:100081

总编室:010-68407112

发行部:010-62175925

气象水文耦合暴雨洪水 预警技术研究

主 编 董官臣 陈怀亮

副主编 杨向辉 田万顺 马浩录 张胜军

编 委 邹春辉 李 丽 郑世林 刘道芳

翁永辉 郭其乐

前 言

小浪底水库是黄河干流上最后一个大型峡谷水库,位于三门峡至郑州花园口之间,水源主要取自三门峡—小浪底区间(以下简称三小间)降水和三门峡水库。黄河三小间夏季多暴雨,暴雨一般历时短,强度大,历来是黄河防洪的重点之一。黄河三小间地形又非常复杂,沟深坡陡、产汇流条件好,暴雨一旦发生,将会对小浪底水库乃至黄河下游的安全构成较大威胁。因此开展暴雨和洪水预报技术研究,研制开发可供业务应用的小浪底水库暴雨致洪预警系统,对保障水库安全运行意义重大。

保障小浪底水库安全,最重要的手段是提高黄河三小间致洪暴雨和洪水预报精度,延长洪水预见期。这个复杂且难度又大的课题,涉及气象和水文两个学科领域。目前,随着气象、水文和信息技术的较大发展和应用,气象学和水文学有机结合解决这个难题已成为可能,而且是最有效的途径。为此,河南省气象科学研究所联合黄河水利委员会水文水资源科学研究院、中国气象科学研究院、黄河水利委员会信息中心、河南省气象台等单位向国家科技部申请立项,开展“小浪底水库暴雨致洪预警系统研究”。项目于2002年获得国家科技部社会公益研究专项资金资助,项目编号为2002DIB20073。

项目综合运用卫星遥感、数值天气预报、分布式水文模型、地理信息系统和数字高程模型等先进技术,通过对历史资料的分析研究、遥感解释等手段,依托详细的地形、土壤、植被等下垫面地理信息,采用数值预报模式与分布式产汇流预报模型相耦合的方法,建立一个气象与水文学学科结合、基于地理信息系统平台的暴雨致洪预警系统,为小浪底水库优化调度决策和三门峡、小浪底水库联合调度决策提供科学依据。项目主要包括五个方面的研究内容:(1)黄河三小间水文下垫面遥感调查和地理信息系统建设;(2)黄河三小间水文—大气耦合致洪暴雨数值预报技术研究;(3)暴雨集成预报和面雨量预报技术方法研究;(4)在遥感调查基础上进行水文分区,再基于分布式产汇流模型,进行洪水过程预报技术研究;(5)以地理信息系统为平台,建立可视化的暴雨致洪预警系统。

项目组坚持边研究、边应用、边完善的原则,及时将阶段性研究成果应用于业务。研制开发的“小浪底水库暴雨致洪预警系统”2006年汛期开始在河南省

气象台投入业务试运行,并定时向小浪底水库建设管理局提供暴雨预报和洪水预报。应用表明,该系统对水库科学调度决策具有显著的参考价值,并具有广阔的推广应用前景。但是,由于精细化的暴雨预报和洪水预报、特别是二者之间的耦合预报技术目前在国内外还是一个难点,“暴雨致洪预警系统”的预报精度还有待于进一步提高。

本书是项目组三年研究的主要成果荟萃,以期起到抛砖引玉的作用。全书共分十章:第一章由董官臣、陈怀亮编写;第二章、第八章由杨向辉、李丽编写;第三章由张胜军、陈怀亮编写;第四章由马浩录、刘道芳编写;第五章、第九章由邹春辉、董官臣、陈怀亮、郭其乐编写;第六章由张胜军、翁永辉编写;第七章由田万顺、郑世林编写;第十章由董官臣、田万顺、郑世林、郭其乐编写。全书由董官臣、陈怀亮统稿,参加本书编写工作的还有陈海波、王加虎、厉玉昇、张雪芬等。

由于水平有限,错误之处在所难免,敬请同行专家和读者批评指正。

作者

2006年11月

目 录

前 言

第一章 概述	(1)
1.1 项目目的意义	(1)
1.2 主要研究内容与关键技术	(2)
1.3 项目研究的特点与创新	(3)
1.4 研究成果的应用前景和社会经济效益	(4)
第二章 黄河三小间区域概况	(5)
2.1 自然地理概况	(5)
2.2 降水特点	(6)
2.3 洪水特性	(6)
2.4 水利工程概况	(7)
参考文献	(7)
第三章 黄河三小间夏季降水量年际变化及水汽形势分析	(8)
3.1 资料及诊断方法	(8)
3.2 夏季降水的年际变化分析	(10)
3.3 夏季多、少雨年水汽形势分析	(11)
3.4 黄河三小间水汽输送关键区	(13)
3.5 结论	(15)
参考文献	(15)
第四章 黄河三小间水文下垫面遥感调查分析	(17)
4.1 水文下垫面的概念	(17)
4.2 水文下垫面遥感调查的内容和方法	(19)
4.3 三小间水文下垫面遥感调查	(21)
4.4 遥感技术在洪水预报中的应用前景	(33)
参考文献	(33)
第五章 黄河三小间地理信息系统	(34)
5.1 地理信息系统的建立	(34)
5.2 系统的主要功能	(37)
参考文献	(40)
第六章 水文—大气耦合致洪暴雨数值预报	(41)
6.1 黄河三小间中尺度暴雨模式系统设计	(41)
6.2 中尺度非静力模式 MM5 简介	(42)

6.3	模式中参数的确定及数值预报结果	(47)
6.4	与水文模型的耦合	(51)
	参考文献	(51)
第七章	黄河三小间暴雨集成预报和面雨量预报	(52)
7.1	暴雨天气形势分型	(52)
7.2	暴雨诊断分析与判别预报	(56)
7.3	数值预报模式降水预报检验	(59)
7.4	降水集成预报	(63)
7.5	面雨量预报	(64)
7.6	降水预报系统	(69)
	参考文献	(70)
第八章	黄河三小间洪水预报	(72)
8.1	国内外研究现状	(72)
8.2	降雨径流关系与水文分区	(73)
8.3	三小间区域分布式水文模型	(78)
8.4	参数率定和模型检验	(88)
	参考文献	(91)
第九章	小浪底水库暴雨致洪预警系统	(94)
9.1	系统组成	(94)
9.2	系统主要功能	(98)
9.3	系统操作与支持环境	(101)
第十章	系统预报质量分析	(104)
10.1	集成预报结果评价	(104)
10.2	洪水模型预报结果验证	(106)
10.3	入流量、水位预报结果检验	(108)
结 语		(113)

第一章 概 述

本项目以提高暴雨和洪水预报精度、延长洪水预报预见期为目的,综合运用数值预报、洪水预报、卫星遥感等先进技术开展暴雨致洪预警技术研究,并以地理信息系统为平台,建立可业务化的小浪底水库暴雨致洪预警系统,为水库调度决策提供科学依据。

1.1 项目目的意义

小浪底水库位于三门峡和郑州花园口之间,其水源主要为三小间区域降水和三门峡水库。三小间区域支流众多、沟深坡陡、河道比降大、产汇流条件好,因而洪水预见期短。暴雨中心位于区域西部时,预见期只有 1.5~2.0 h;而当暴雨中心位于区域东部时,则几乎无预见期。而且,三小间与三门峡以上的渭河中下游气候条件相似,同属于一个天气气候区,有可能遭遇形成较大洪水。三小间一旦发生暴雨或特大暴雨,就会对小浪底水库安全构成较大威胁。所以,针对该区域的暴雨和洪水过程开展预报技术研究,研究开发天气预报与洪水预报相结合的暴雨致洪预警系统,延长洪水预见期,对保障水库安全意义重大。

要延长预见期,最重要的手段是提高暴雨预报和洪水预报的预报时效和准确度。目前,在气象方面,数值天气预报技术得到迅速发展,卫星、雷达等手段越来越多地用于暴雨的监测和预报,天气预报的可靠性和可用时效得到了很大提高。在水文方面,分布式水文模型已应用于径流预报,地貌单位线技术已用于汇流计算,利用数字高程模型计算出口流量过程已成为可能,洪水预报精度有望进一步提高。因此,气象与水文结合使洪水预报预见期延长、精度提高成为可能。

近年来,气象、水文两者都在向数字化、定量化发展,利用气象模式和水文模式耦合进行洪水预报已成为一种发展趋势。国内,水利部水文局、长江水利委员会等初步建成了以流域图为平台的洪水预报系统;美国、意大利等国也在开展定量降水预报与洪水预报耦合的应用及推广工作。但是,像本项目综合运用数值预报、洪水预报、卫星遥感、数字高程模型及地理信息系统等先进技术开展工作的,国内外还不多见。以往应用的产汇流计算方法,如新安江模型、包夫顿下渗模型、降雨径流关系等,存在一个主要问题,就是由于下垫面资料的缺乏和模型自身的局限性,对流域下垫面变化的处理多是以笼统概化的手段,比较粗化,信息量不够,造成预报结果不够稳定。而本研究充分利用卫星

遥感监测技术, 获取了黄河三小间区域下垫面各种致洪因素空间分布信息, 并利用数字高程模型 DEM 和大量的自然水系电子地图提取地形、河网等地理信息, 在此基础上建立洪水预报模型, 预报精度可进一步提高。

在遥感调查及水文分区的基础上, 利用数值天气预报、面雨量预报、洪水预报等技术手段, 建立的小浪底水库暴雨致洪预警系统, 实现了定量降水预报与洪水预报的结合, 从而延长了暴雨与洪水的预见期。该系统能直接应用于水文、气象部门, 为小浪底水库调度决策提供科学依据, 同时也会对河南省及黄河下游防灾、减灾、水资源合理调配与利用, 带来巨大的经济效益、社会效益和生态效益。

1.2 主要研究内容与关键技术

1.2.1 主要研究内容

以提高暴雨和洪水预报精度、延长洪水预见期为目标, 综合利用卫星遥感、数值预报、面雨量预报、分布式水文模式、地理信息系统等先进技术, 通过对历史资料的分析研究、遥感解译及野外考查等手段, 依托详细的地形、土壤、植被等背景地理信息资料, 采用暴雨预报与分布式产汇流预报相耦合开展暴雨致洪预警技术研究。最终建立一个以地理信息系统为平台、可供业务应用的小浪底水库暴雨致洪预警系统。主要研究内容为:

(1) 黄河三小间水文下垫面遥感监测及遥感信息解译

以 Landsat5 TM 和 Landsat7 ETM+ 卫星遥感影像资料为主要图像数据源, 通过专业遥感图像处理, 结合常规资料和野外调查, 在水文下垫面主要因素分类的基础上, 建立解译标志。采用人机交互方式提取三小间区域地貌、土壤、植被、土地利用等信息, 并根据需要进行统计和空间分析, 为洪水预报模型和数值预报技术研究提供信息支持。

(2) 黄河三小间地理信息系统建设

以 ARCGIS 为支撑软件, 利用三小间区域最新资料, 建立包括行政区划、地形高程、河流、公路、土地利用、植被类型、土壤类型、地貌及部分气象信息的地理信息系统, 为小浪底水库防洪调度提供辅助决策支持。

(3) 黄河三小间水文—大气耦合致洪暴雨数值预报技术研究

采用美国 MM5 中尺度数值天气预报模式, 结合黄河三小间区域高分辨率的地形、陆面状况及水文站降水资料, 调试选取适合该区域的物理参数化方案, 并耦合国家气象中心的 T213 预报模式, 对该区域做高分辨率 (5~10 km) 的降水预报。

(4) 黄河三小间暴雨集成预报和面雨量预报技术研究

利用多年降水资料和 T213 数值预报资料, 研究建立天气形势分型、物理量诊断暴雨预报判别指标; 以 MM5 模式为主, 研究基于多种数值预报模式的降水集成预报方法; 根据地形特点, 将研究区域划分成若干个子流域, 试验确定面雨量计算方法, 建立流域面雨量预报模型。

(5) 黄河三小间洪水过程预报技术研究

利用遥感调查及其他水文资料,进行研究区的水文分区;根据历史资料、遥感及其他地理信息资料建立各水文区的分布式产汇流模型;根据降水预报结果,利用分布式产汇流模型预报洪水过程,同时考虑三门峡出库流量过程,最终建立三小间入库洪水预报模型,并估算洪水对水库水位和蓄水量的影响。

(6) 建立小浪底水库暴雨致洪预警系统

在暴雨、洪水预报技术研究基础上,利用计算机和网络技术,研究开发系统集成软件、服务软件及实时气象资料自动接收处理软件等,以地理信息系统为平台,将暴雨预报模型、洪水预报模型、面雨量预报模型及资料接收处理模块等融合一起,建立可视化的小浪底水库暴雨致洪预警系统。系统可以图形、表格等方式向有关决策部门提供降水及洪水等预报预警信息。

1.2.2 关键技术

随着数值天气预报技术的迅速发展和中小尺度天气系统监测手段的不断改进,暴雨天气预报水平有了很大提高。但是,由于暴雨天气系统尺度小、发展快,较准确的定量定点预报国内外仍是个难点。另一方面,三小间区域小、地形地貌复杂,暴雨预报难度更大,同时也给产汇流模型建立带来了困难。因此,本研究关键技术是:①针对三小间区域特点,确定数值预报模式参数和物理参数化方案,将美国中尺度模式 MM5 实现本地化;②基于多种数值预报模式,研究最佳集成预报方法,提高暴雨预报精度;③充分利用卫星遥感等地理信息资料,建立一个能够客观反映区域下垫面变化状况的分布式产汇流预报模型。

1.3 项目研究的特点与创新

与国内外同类研究比较,本研究的特点和先进性主要是:

(1) 气象与水文学科结合,且技术方法先进。

本研究采取气象与水文两个学科结合,并综合运用数值预报、洪水预报、卫星遥感、数字高程模型和地理信息系统等先进技术,提高了研究水平。

(2) 采用数值预报模式和分布式产汇流预报模型单向耦合,实现了天气预报与洪水预报的结合,延长了洪水预见期。

将天气预报与水文预报相结合,进行洪水预报,国内外先后都有些研究,但类似本研究中充分利用数值天气预报模式与水文模型耦合进行洪水预报的还不多见。如,美国 20 世纪 80 年代就建成了国家河流预报系统,输入的降水资料为卫星估算降水、雷达测量降水和地面采集降水合成资料。国内方面,水利部水文局、珠江水利委员会等初步建成了以 GIS 为平台的洪水预报系统,但并没有和暴雨预报模式有机结合。

(3) 分布式产汇流模型研究,充分利用了卫星遥感监测等信息,预报模型客观实用。

流域洪水的产汇流过程,主要受具有空间分布特征的各种地理、地质和地貌等下垫面因素的制约。而模型的模拟精度很大程度上也受降水输入空间分布的影响。以往,由

于模型本身和信息采集技术的限制,模型未能充分考虑下垫面和区域降水的空间变化。现在,随着信息采集技术和数值天气预报技术的发展,可以充分利用各种致洪因素的空间分布信息,建立洪水预报模型,大大提高洪水预报的精度和预见期。为了对洪水预报模型建立提供符合规范、详细的地理环境信息支持,收集了大量的卫星遥感影像资料及土壤图、植被图、土地利用图、地貌图等常规资料,并对这些资料进行了处理和分析。同时,利用数字高程模型 DEM 和大量电子地图的水系要素提取地形、河网等流域特征。在此基础上,研究水文分区,建立分布式产汇流模型。

(4) 结合区域地形地貌复杂的特点,将美国中尺度模式 MM5 实现本地化。

黄河三小间区域小,地形和陆面状况复杂,为满足洪水预报所需的高分辨率的降水预报,建立了天气形势分型、物理量场诊断暴雨预报判别指标,对中尺度暴雨预报模式 MM5 中各物理过程的参数选择进行了测试,确定了适合该区域的参数和物理参数化方案。

1.4 研究成果的应用前景和社会经济效益

近 20 年黄河未发生特大洪水,随着时间的推移,其发生的概率在不断增大,小浪底水库面临洪水的威胁也越来越大。因此,建立小浪底水库暴雨致洪预警系统十分必要。它的建立,能直接应用于水文、气象部门,为小浪底水库优化调度、安全渡汛提供决策服务,同时必将对河南省及黄河下游防灾、减灾、水资源合理调配和利用带来巨大的经济效益。小浪底水库入库洪水预报系统可作为黄河洪水预报系统的一部分直接发挥作用,以地理信息为基础的三小间分布式产汇流模型则能够为黄河流域乃至其他河流提供借鉴经验。因此,研究开发的小浪底水库暴雨致洪预警系统具有广泛的推广应用前景。

第二章 黄河三小间区域概况

黄河三小间位于华北平原与黄土高原交接地带，基本为土石山区，地形复杂，而且降雨集中、强度较大、时空分布不均匀。该区域下垫面及降水特征这些基本情况，是建立分布式产汇流预报模型和确定数值预报模式参数及物理参数化方案的重要依据。

2.1 自然地理概况

黄河三小间位于东经 $111^{\circ}22'$ ~ $112^{\circ}22'$ 、北纬 $34^{\circ}40'$ ~ $35^{\circ}30'$ 之间，流域面积 5734 km^2 ，为南岸的秦岭余脉崤山和北岸的中条山、王屋山所环绕，森林覆盖面积约 2000 km^2 ，主要分布在北岸板涧河以西的中条山南麓、允西河以东的几条较大支流的上游。该区基本上为土石山区，特点是地势陡峻、土层较薄、植被良好、径流系数较大，利于产流。

三小间干流河长 132 km ，为黄河最后一个峡谷河段，河谷上段较窄，下段较宽，河床比降为 1.23% ，水面宽一般 $200\sim 300\text{ m}$ ，河床多为砂卵石覆盖。两岸支流众多，大小支流共 18 条，其中较大的有畛水、大峪河、东洋河、西洋河、允西河、亳清河、板涧河、

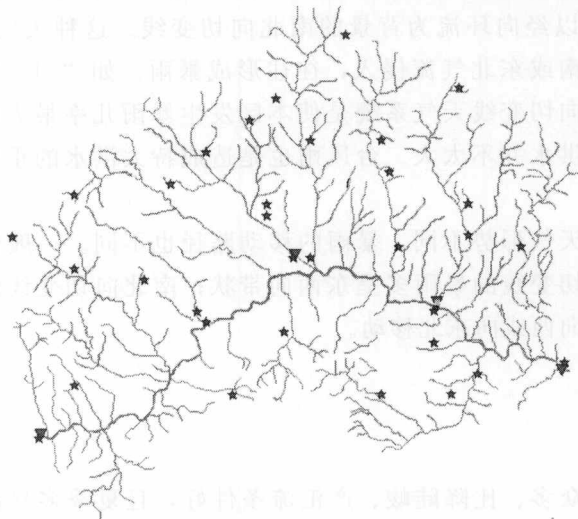


图 2-1 三门峡—小浪底区间水系与雨量站分布图
(图中★表示雨量站，▼表示水文站)

五福涧河等 8 条,多分布在北岸和下段(见图 2-1)。这些支流流程短、比降大,大体上呈羽毛状注入黄河,汇流迅速。

2.2 降水特点

三小间多年平均降水量为 646 mm,属黄河流域雨量较丰沛的地区,降雨年际变化很大。以垣曲站为例,1958 年(最大年)年雨量为 1249 mm,1955 年(最小年)年雨量为 352.9 mm,最大年雨量约为最小年雨量的 3.5 倍。

降水分布由南向北递减。降水量的年内分配极不均匀,6—8 月的雨量(多年平均值)为 409.2 mm,约占年降水量的 63.3%。

三小间暴雨主要是由南北向切变线加低涡或台风间接影响所致,其特点是降雨集中、强度较大、时空分布很不均匀。暴雨历时一般为 1~3 天,面积一般为 2~3 万 km²,暴雨中心在三小间的垣曲和八里胡同一带,雨量由河谷向两岸分水岭递减,支流入口与源头同一场降雨雨量有可能相差 10 倍以上。1996 年 8 月洪水毫清河皋落站 5 日降雨量 212 mm,而下游的王茅站仅 65 mm,两站相差 3 倍以上。1958 年 7 月中旬暴雨,垣曲站 16 日一天的雨量达 366.5 mm,涧河任村日雨量达 650 mm。降雨分布极不均匀,有时雨量站不能反映实际降雨,一场暴雨常常降在两雨量站之间,如 1958 年 7 月畛水流域的一场洪水,平均降雨只有 19.5 mm,而仓头站实测径流深却有 165 mm 之多。

三小间属于东亚季风区气候。每年春季以后太平洋副热带高压显著加强并向北推进,水汽大量输入,与西北高压交绥,加上台风影响常降暴雨。由于大气环流形势不同,影响西北高压和太平洋副热带高压交绥的相对位置、强弱和对峙时间,而产生不同的降雨天气系统。造成本区降雨常见的天气系统有移动性低槽、低涡、东西向切变线、南北向切变线、三合点、台风等类型。据 1953—1972 年 41 场较大暴雨资料统计造成本区特大洪水的天气形势主要是以经向环流为背景的南北向切变线。这种天气系统持续时间较长,本区地形又有利于东南或东北气流侵入,往往形成暴雨。如“54.8”、“58.7”、“82.8”暴雨均属此类。东西向切变线天气系统是使本区发生暴雨几率最大的一种天气系统,占 50%以上,但形成的洪水并不太大。台风雨也是造成特大洪水的重要因素,但出现几率较小。

随着产生暴雨的天气形势不同,暴雨的移动路径也不同。一般低槽过境的雨量多自西向北移出;东西向切变线的暴雨多呈东西向带状;南北向切变线的暴雨则呈南北向带状;台风雨多自东南向西或向东北移动。

2.3 洪水特性

三小间区域支流众多、比降陡峻、产汇流条件好,且夏季多暴雨,是黄河下游洪水的主要来源区之一。其主要特点是产汇流紧靠黄河下游,源短流急,洪水涨势猛,洪水过程相对尖瘦,洪峰高,含沙量小,预见期短。当暴雨中心在西部时,用降雨径流模型

进行预报, 尚可有 1.5~2.0 h 的预见期, 而当暴雨中心位于东部时, 几无预见期可言。

2.4 水利工程概况

黄河三小间的水利工程很少, 除小浪底水库外, 现有水库多为小 II 型水库, 控制面积 546 km², 占三小间面积的 9.5%, 总库容 0.344 亿 m³, 所拦区间径流深仅 3 mm, 在小浪底水库建成之前基本上属于无人类活动影响区域, 降雨径流关系很好。

2001 年 12 月完工的小浪底水利枢纽位于河南省洛阳市以北 40 km 处的黄河干流上, 上距三门峡水利枢纽 130 km, 下距郑州花园口站约 130 km。坝址控制流域面积 69.4 万 km², 占花园口以上流域面积的 95.1%。小浪底水库的开发任务是以防洪 (防凌)、减淤为主, 兼顾供水、灌溉、发电。水库设计正常蓄水位 275 m (黄海标高), 万年一遇校核洪水位 275 m, 千年一遇设计洪水位 274 m。设计总库容 126.5 亿 m³ (包括拦沙库容 75.5 亿 m³, 防洪库容 40.5 亿 m³, 调水调沙库容 10.5 亿 m³)。兴利库容可重复利用防洪库容和调水调沙库容。不仅能拦蓄三小间的全部洪水, 而且还可以拦蓄三门峡水库所不能控制的来自三门峡以上的部分洪水。与三门峡、陆浑、故县水库联合运用, 将黄河下游防洪标准由原来的 60 年一遇提高到了千年一遇。

参考文献

- [1] 陈先德主编. 黄河水文. 郑州: 黄河水利出版社, 1996. 10.
- [2] 史辅成, 易元俊, 高智定主编. 黄河流域暴雨与洪水. 郑州: 黄河水利出版社, 1997. 12.
- [3] 水利部黄河水利委员会水文局编. 黄河水利科技成果与论文选集 (2). 郑州: 黄河水利出版社, 1996. 6.
- [4] 黄河防总办公室编. 黄河防汛基本资料. 2002. 6.

第三章 黄河三小间夏季降水量年际变化及水汽形势分析

黄河起源于青藏高原，流经青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、河南、山东等地，最后汇入渤海，是横贯中国东西部的大河，其流域的大部分地区资源丰富、人口稠密、经济比较发达。然而根据中国重要灾害频度分析^[1]表明：黄河流域旱涝灾害发生频繁，已成为中国之心腹大患之一。

长期以来，气象学家对其旱涝成因及规律进行了充分深入的研究。叶笃正等做了长江、黄河流域旱涝规律和成因研究^[2]，胡鞍钢等研究了长江、黄河流域近 40 年大旱大涝时空特点及 1990 年代趋势预测^[3]，卢敬华等研究了长江、黄河流域上、中、下游汛期重旱涝的气候特征^[4]，杨志刚等更是对近年来黄河下游断流的干旱背景进行了分析^[5]。

尽管如此，黄河流域旱涝灾害的防御依然是严峻的，尤其是黄河下游“二级悬河”的存在，更是给下游人民群众的防洪、抗洪带来极大的影响。随着 2001 年黄河小浪底水库的建成，配合其上游三门峡水库，黄河下游防洪标准由 60 年一遇提高到千年一遇，因此小浪底水库成为防御黄河下游特大洪水的重要工程选项，是黄河下游防洪的一张“王牌”。因此，做好黄河三小间的降水监测与预报，将有利于小浪底水库的储、排水调度，以及防洪、防凌、减淤、兼顾供水、灌溉、发电等各方面的综合利用。

3.1 资料及诊断方法

本章所使用的云顶亮温 TBB 为气象卫星辐射亮度温度，是气象卫星红外探测通道获取的云顶和无云或少云区地球表面的向外辐射值，通过应用普朗克函数处理，转换成云顶或地球表面的黑体辐射亮度温度（Black-Body Temperature，缩写为 TBB）。在无云或少云区，TBB 是地表黑体辐射温度；在云区，TBB 是云顶黑体辐射温度，TBB 温度越低，表明云顶越高，对流越旺盛，因此它较好地显示了云的存在以及云处于发展演变中的一些显著特征。国内专家在对大量强对流降水云团的云图特征进行分析发现^[6~8]，降水与云顶温度等云相关特征量有着显著的相关性，而且在夏季和热带地区“ITCZ”通常与 -10°C 对应，可以根据 TBB 的演变推断天气系统的强度、活动以及可能引起的相应天气现象和降水变化，因此可把它作为检验对流分布以及降水的一个指标。另外该资料在中长期天气的诊断分析研究中也得到了较为广泛的应用^[9,10]，而且如果将该资料合理应用到

模式当中可以有效地提高模式的模拟能力^[11~13]。使用的 TBB 资料包括 1980—1997 年数据,时间分辨率为 3 h,空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。在分析中还使用了美国国家环境预报中心(简称 NCEP)和美国国家大气科学研究中心(简称 NCAR)合作收集整理的 NCEP 再分析资料,其水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$,垂直方向上为 17 层,以及 1960—1999 年全国 600 个站月平均降水。在分析中同时引入了提取时间振荡周期的功率谱计算方法、相关系数计算分析方法以及 9 点平滑滤波分析。对于功率谱计算方法,是根据谱密度与自相关函数互为傅里叶变换的重要性质,通过自相关函数做连续功率谱估计。如对一时间序列 x ,最大滞后时间长度为 m 的自相关系数 $r(j)$, $j = 0, 1, 2, \dots, m$ 为

$$r(j) = \frac{1}{n-j} \sum_{t=1}^{n-j} \left(\frac{x_t - \bar{x}}{s} \right) \left(\frac{x_{t+j} - \bar{x}}{s} \right) \quad (3.1)$$

式中 $\bar{x}$ 为序列的平均值, s 为序列的标准差。

由下式得到不同波数 k 的粗谱估计值:

$$\hat{s}(k) = \frac{1}{m} \left[r(0) + 2 \sum_{j=1}^{m-1} r(j) \cos \frac{k\pi j}{m} + r(m) \cos k\pi \right] \quad (k = 0, 1, \dots, m) \quad (3.2)$$

在实际计算中考虑端点特性,一般用下列形式:

$$\begin{cases} \hat{s}(0) = \frac{1}{2m} [r(0) + r(m)] + \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m-1} r(j) \\ \hat{s}(k) = \frac{1}{m} \left[r(0) + 2 \sum_{j=1}^{m-1} r(j) \cos \frac{k\pi j}{m} + r(m) \cos k\pi \right] \\ \hat{s}(m) = \frac{1}{2m} [r(0) + (-1)^m r(m)] + \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m-1} (-1)^j r(j) \end{cases} \quad (3.3)$$

其中 $r(j)$ 表示第 j 个时间间隔上的相关函数,最大滞后时间长度 m 是给定的。在已知序列样本量为 n 的情况下,功率谱估计随 m 的不同而变化。

上述方法得到的谱估计与真实谱存在一定误差。因而对粗谱估计需要作平滑处理,以便得到连续性的谱值。常用 Hanning 平滑系数来进行平滑。

$$\begin{cases} s(0) = 0.5\hat{s}(0) + 0.5\hat{s}(1) \\ s(k) = 0.25\hat{s}(k-1) + 0.5\hat{s}(k) + 0.25\hat{s}(k+1) \\ s(m) = 0.5\hat{s}(m-1) + 0.5\hat{s}(m) \end{cases} \quad (3.4)$$

对谱估计作显著性检验,为了确定谱值在哪个波段最突出,并了解该谱值的统计意义,需求一个标准过程谱以便比较。标准有两种情况:

(1) 红噪音标准谱:

$$s_{0k} = \bar{s} \left[\frac{1 - r(1)^2}{1 + r(1)^2 - 2r(1) \cos \frac{\pi k}{m}} \right] \quad (3.5)$$

其中 $\bar{s}$ 为 $m+1$ 个谱估计值的均值,即

$$\bar{s} = \frac{1}{2m} (s(0) + s(m)) + \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{m-1} s(k) \quad (3.6)$$

(2) 白噪音标准谱: $s_{0k} = \bar{s}$