

洪水预报系统

张恭肃等 著

水利电力出版社

洪水预报系统

张恭肃 朱星明 杨小柳 安波 周森林 著

水利电力出版社

洪水预报系统

张恭肃 等著

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市地质局印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 5.25印张 113千字

1989年12月第一版 1989年12月北京第一次印刷

印数 0001—3240册

ISBN 7-120-01060-3 / TV · 349

定价5.50元

内 容 提 要

本书以近代洪水预报模型扩充为重点,应用关系数据库原理,进行历史的和实时的水文数据预处理;用约束优化和人工经验调试相结合的方法率定预报模型参数;用时序分析技术建立误差序列实时校正模型,由在线或离线最小二乘递推算法识别其参数;用图形技术实现各种彩色的雨、水情实况图象显示。通过编制软件,最终在微型机上建立具有数据处理、参数率定、预报计算和实时校正四位一体功能、完整而实用的洪水预报系统。并给出了它的应用实例。

本书可供从事水文预报科研、防汛、工程管理人员阅读,亦可供有关院校师生参考。

前 言

近年来,我国有关部门为增强重要水库、水电厂和堤防的抗洪能力,相继兴建了一批水情自动测报系统,并在有关防汛预报部门配置了小型计算机或微型机,藉以改进洪水预报方法,提高预报精度,增长有效预见期。

洪水预报调度是一项非工程性措施,由于它投资少、见效快和效益高,已越来越被人们所重视。

1984~1986年间,水利水电科学研究院水资源所受原水电部生产司、科技司的委托,承担了洪水预报调度系统课题的研究,采用最新技术,实现了在微型机上完成洪水预报的数据处理、参数率定、预报计算和实时校正等四位一体的功能。在吉林、浙江、广西等省、自治区水文总站、福建漳州水文分站、北京防汛办、安砂、流溪河、黄龙滩、富春江、新安江等水电厂同志的通力合作下,使上述洪水预报系统日趋完善,并已先后在九个流域上应用,均获得了良好的效益。

随着计算机在水文、水资源学科领域内的广泛应用,可以相信,水文科学技术应用实践,必将发展到一个新水平。为适应生产实践需要,决定将上述科研成果加以总结和出版,以便应用。本着探索和科学的科学精神,我们愿意和同行们为早日实现我国江河、城市防洪现代化共同努力。

在推广应用这项科研成果中,得到了能源部通讯调度局李明宗高级工程师、水利部水文水利调度中心主任王厥谋高级工程师的热情支持。本书又承河海大学赵人俊教授、河海

大学兼职副编审、水利部水文司刘金清高级工程师的细心审阅，提高了书稿的质量，在此，我们一并表示诚挚的谢意。

参加本项研究的还有王露同志。

著 者

1989年2月于北京

目 录

第一章 概述	1
第一节 引言	1
第二节 发展综述	3
第三节 洪水预报系统	9
第二章 系统运行环境	12
第一节 硬件基础知识	12
第二节 软件基础知识	16
第三节 系统运行环境	21
第三章 系统输入信息	23
第一节 站网布设	23
第二节 数据采集和接口	32
第四章 数据预处理	37
第一节 数据库概说	37
第二节 关系数据库的使用	40
第三节 历史水文数据处理子系统	47
第五章 流域预报模型	59
第一节 流域模型的一般概念	59
第二节 流域水文模型参数的确定	62
第三节 新安江模型及其参数率定子系统	67
第四节 暴雨径流关系和变雨强单位线	75
第五节 评述	84
第六章 实时联机洪水预报	93
第一节 实时数据处理	93
第二节 实时数据显示	96
第三节 实时校正概说	105
第四节 误差序列实时校正模型	111

第五节	实时预报子系统	125
第七章	系统应用实例	130
第一节	在水情自动测报系统中的应用	130
第二节	在水情电报系统中的应用	146
第三节	编制洪水预报方案	153
参考文献		158

第一章 概 述

第一节 引 言

“水文预报就是事先估算未来状态中实时水文要素。它包括把水文学科和非水文学科，如站网设计、资料处理、水文分析和综合（模拟）、遥测技术、电讯、计算机的操作使用等综合在一起的技术性工作。根据这一观点，水文预报的内容不能被认为是一种具体的水文技术，而应该被认为是一种运用多门技术发展的经济活动。”^[1]这是世界气象组织（WMO）水文水资源部主任 J.涅迈茨教授给近代作业预报实时水文系统下的定义。洪水预报是水文预报学科中的主要组成部分，本书所指的洪水预报系统，就是洪水作业预报的一个实时水文系统。

中国地处中纬度，是一个汛期暴雨集中、强度很大、山区洪水陡涨陡落的国家。1963年8月和1975年8月相继在海河、淮河流域上游，发生了近数百年来少有的、难以抗衡的特大暴雨洪水，给国家建设事业造成了无法估量的损失，并给人们留下了极其惨痛的教训。近几年来，1981年7月安康大水，1982年8月、1983年8月四川大水，1986年8月、1987年8月辽河大水等也都给生产建设带来了重大的损失。1987年8月26日凌晨，历时数小时300余mm的暴雨，给济南市带来了洪水灾难，市区积水深达1~2m，局部达2.4m，积水排除长达4~5天，交通、通讯、供水、供电一度中断，据估计，全市三县五区直接经济损失达3.7亿

元。众所周知，中国首都北京，历史上曾经多次受到永定河官厅山峡区间暴雨洪水的袭击而泛滥成灾，造成重大损失。建国以来，虽然修建了堤防和分洪区，但未能完全免除洪水威胁，一旦遇有较大洪水，如左堤溃决，将淹没大部城区，若在右岸采取分洪措施，短短几个小时，分洪区内也将受淹村镇 97 个、人口 14 万、耕地 17 万亩；同时，中国南北交通大动脉的京广铁路、供给北京市区的 10 条输水、油、气管线也将被迫中断或冲毁，其经济损失和社会影响是难以估计的。

为了作好防汛抗洪，发挥现有防洪设施的作用，减轻分洪损失，需要加强洪水预报调度和预警系统的研究工作。

洪水预报调度是水利水电工程建设中一项重要的非工程性措施，它对确保工程的安全运行和施工建设起着重要的作用。同时，它又是重要城市防洪或水工建筑物进行水科学管理的必要手段；正确及时的预报可以使工程合理调度，可以有计划采取分、蓄洪措施，及时采取防洪抢险、逃洪疏散等紧急行动，力求使灾害损失限制到最低程度。因此它是目前世界各国十分重视的一项投资少、效益大、见效快的重要经济活动。

洪水预报是当今水资源水文学科中一个重要的分支。它是根据流域上发生的暴雨或河流上游的来水，经过水情信息采集、传输、存贮、处理和一系列的科学计算，最终预估在流域出口断面或河流下游水文站即将发生的实际洪水过程。由于洪水预报要求预报洪水准确、及时，因此，它又是一门技术性很强的应用性学科。

由于洪水预报与人类的经济活动密切相关，其预报技术和方法发展很快。近十多年来，特别是近代计算技术的应用

和其它电子工业的渗透，在水情信息的传输、预报技术和预报方法上都较以往传统的做法有所突破，明显地提高了预报精度，增长了有效预见期。中小流域水文自动测报系统在一些重要河段和大中型水库、水电站所属流域内陆续兴建，是当代水文预报技术发展的一个重要标志。

水文自动测报系统，大体上由情报和预报两部分组成。降雨、水位（或流量）实时信息的采集、传输与接收，遥测站、中继站和调度站的配置等属于前者；后者则包括水文数据预处理、预报模型及其参数的率定、实时校正模型以及实时联机预报等。本书所指的洪水预报系统，则是对后者的总称。

第二节 发 展 综 述

作为洪水预报一个实时系统，正如 J.涅迈茨教授所指出的，它是一门包含有水文和非水文学科多门技术发展的经济活动，涉及的领域和知识面很广。现仅就水文数据采集、水文数据预处理、预报模型、实时校正、计算机应用等几个主要技术环节的发展进行概述，读者可从中了解到本系统研制的现有水平及其发展方向。

一、水文数据采集

数据的采集是整个洪水预报系统的信息源，它由传感器和数据传输两部分组成。传感器指自记雨量计、水位计、闸位传感器以及其它水文要素测量仪器等。数据传输以往通过有线电话、拍发专用电报等手段，信息传递速度较慢；遇大风大雨，线路中断，通讯受阻时有发生，因而可靠性低。随着近代通讯技术的发展，目前在中小流域上采用超短波进行

数据传输，或利用测雨雷达采集面雨量信息；在大范围区域内，则可利用卫星和流星余迹等先进通讯方式进行数据的传输。由于实时信息传递加快，可靠性增强，并随之带来水文资料采集时距的加密，这些无疑对提高预报精度、增长有效预见期都十分有益，从而促进预报技术和预报方法的突破。

二、水文数据预处理

历史水文资料是进行洪水预报、编制预报方案或确定预报模型参数的重要依据。几十年来，在水文学中对于暴雨洪水资料的摘选、统计计算、制表绘图等均采用人工整理，由于资料数据量多且繁杂，不但费时耗工，质量不高，一旦计算时段改变，重复计算、绘图的工作量也很大。60年代后期，由于计算机硬件和软件技术的发展，尤其是大容量外存储设备的发展，国外已开始使用文件管理系统或数据库管理系统^[2]进行水文资料的存储和处理。70年代末，数据库技术又开始推广使用到微型机上，其应用范围也从一般的人事、财务和文献管理逐步地扩充到专业技术应用领域。水文数据具有时序性和数据间多半呈树型关系结构等特点，加上它的处理量大，由计算机自动处理效率极高，不但可节省人力财力，而且可保证资料整理成果的质量，争取了时间，很适合在紧张繁忙的防汛预报上应用。从80年代起，中国一些单位开始研制计算机自动翻译水情电报，研制历史或实时水文数据的存贮、检索、统计、计算、绘图和显示等处理系统。可以认为，当前应用计算机自动处理水文数据来替代以往的手工劳动，建立数据库，科学而有效地管理众多的水文数据，标志着水文领域中资料存取、整理的基础正在发生根本性变化。

三、预报模型

由于资料条件和计算工具的限制，在一个相当长的时间里，预报方法一直处在经验相关的水平上，比较确切的预报成果往往还离不开预报人员经验的直接干预。但是，随着时间的推移，流域上人类活动（如修建水库、森林的砍伐等）改变了产、汇流条件，致使原有的预报方案有可能失灵；加上每场暴雨的生成、发展、移动和消亡等自然现象错综复杂，原有的预报方案也难以全部概括。因此，预报不合格或失误事件时有发生。60年代开始，水文学科领域中引进了数学模拟概念，把流域上实际发生的暴雨洪水产汇流现象，分别用数学方程（如水量平衡、运动方程等）来表达，并通过计算机模拟来实现，这就是当前各种近代流域水文模型。在模型结构的设计中，它要求能基本上体现雨水在产汇流过程中的运动规律，用模型参数来反映各种水文特性的流域（如流域特征、下垫面条件等）。对于水文模型的适应性问题，70年代中期，WMO秘书处公正而客观地对当时比较流行的10个概念性水文模型进行过检验和比较，这10个模型是澳大利亚气象局模型（CBM）；法国海外科技研究办公室的模型（Girardi）；日本国家防灾研究中心的水箱I、II型模型（Tank-I、Tank-II）；罗马尼亚气象和水文所的洪水预报模型（IMHZ-SSVP）；美国陆军工程兵团的径流综合和水库调节模型（SSARR）；美国国家天气局的水文模型（NWSH）；美国国家天气局河流预报中心的萨克拉门托河流预报中心水文模型（SRFCH）；苏联水文气象中心降雨径流模型（HMC）；和意大利帕维亚大学的约束线性系统模型（CLS）。

每个流域用其中6年的输入（降雨、蒸发等）和输出

(流量) 资料提供给 10 个模型研制者予以率定模型参数, 而仅提供另外 2 年的输入资料予以计算模拟流量。然后用几种大家都同意的检验准则, 对各个模型的模拟流量与实测流量进行比较和评价。

1974 年 7 月 WMO 研究了它们的对比结果, 其主要结论对模型的选择具有参考价值, 兹引述如下:

(1) 如果流域处于湿润地区, 就不必过于挑选模型, 简单模型与复杂模型可以取得同样好的效果。但是, 对于干旱与半干旱地区, 就需要仔细选择模型。

(2) 一般来说, 在久旱之中和久旱之后, 计算土壤含水量的模型能较好地模拟河川径流。

(3) 那种不直接计算土壤含水量的模型, 对于流域大小和自然地理特征、气候条件等都具有更好的适应能力与弹性。

(4) 在建立模型时, 如果资料条件不好, 则隐式计算土壤含水量的模型, 特别是系统途径模型, 有可能具有更好的处理这种缺陷的能力, 因而较之计算土壤含水量的模型可能给出更好的预报结果。

关于模型参数的推求, 大多采用人工调试, 通过人工的预报实践经验来最终判别拟合成果的优劣。随着电子计算机的出现, 从 70 年代起, 模型最优化参数的寻求开始引进, 目前这种途径已达到实用水平。藉助于机器自动寻优, 关键在于模型的数学结构和参数间的相互关系, 计算实践表明, 解的多值性和参数间的相关性, 一直阻碍着这种途径的发展。

四、实时校正

众所周知, 流域水文模型是以水文模拟为主要手段而建

立起来的一种流域降雨径流计算方法，由于模型输入信息的量测误差、模型结构对实际水文现象概括的差距等原因，因此，在作业预报时，必然出现预报值与实测值间的误差。其中，既可能有系统偏差，也可能有随机误差。如何消除和降低某些误差，不断提高预报精度，一直是人们寻求探索的一个重要问题。当然，分析误差的来源，不断地完善和改进预报模型是一个重要的方面；但另一方面，我们也可通过某种方法或手段来分析和预测这些误差的变化规律。以往，人们多半采用人工经验外延误差的方法，有时也能取得良好的效果。60年代初期，在通讯和自动控制中提出了维纳和卡尔曼滤波技术，由于它具有预测、滤波和平滑功能，在70年代中期，引入水文预报系统，随后，中国也有类似的应用^[3]。

应用卡尔曼滤波时，首先要把水文预报系统视为动态的线性系统，用状态方程和量测方程作为系统数学模型，把预报变量如水位、流量（或模型参数）当作状态变量，进行上述两个方程的求解。将流域雨洪对应关系中某断面流量作为状态向量，不仅可以得到流量的滤波值及 L 步预报值，而且还可以知道其预报误差，并对预报值的可靠性给出定量说明，这是作业预报中，应用卡尔曼滤波技术，考虑实时信息影响进行校正的优点。但是，卡尔曼滤波技术的应用是有前提条件的，首先，应用的对象是线性系统，也就是说，预报流域的雨洪汇流现象一般应假定是线性系统。这就存在一个用线性状态方程描述是否与实际水文物理现象相匹配的问题，如不匹配则就有可能使递推过程发散，而导致滤波的失败。因此，模型的设计和建立至关重要。其次，系统噪声如何白化， R 、 Q 矩阵如何求得等等，这些问题在水文上的应

用和研究，目前尚无令人满意的答案。而另一种实时校正方法已开始引起人们的重视，即确定性与随机性模型两者的结合，这就是本书所推荐的确定性流域预报模型加随机性误差序列的实时校正模型的途径，这种途径所提供的方法，在很大程度上回避了上述滤波方法的弱点和应用中所带来的麻烦。

五、计算机应用

迄今为止，计算机软、硬件资源的开发速度是惊人的。当前计算机硬件产品正向超大型和微型机发展，无论是运算速度、内存容量，微型机已与一般小型机相当，32位、多用户系统的微型机已开始投入使用，IBM-PC型个人微机，由于开发的系统软件十分丰富，功能很强，已有广泛的应用。在一个相当长的时间里，科学工程软件以数值计算为主。但是，随着工业生产自动化水平的不断提高，为了适应现代工业控制、设计制造、航天技术和卫星图象处理应用的要求，当前它的内容在计算机辅助设计、图形处理、人工智能等方面又有创新，开始偏离传统的以数值计算为主的状况。科学工程软件在水文中的应用发展比较缓慢，迄今，大多数人仍把计算机看作一种快速的运算工具。众所周知，水文科学领域中，不但有大量的、重复的科学计算，而且更多的是要完成对各种庞杂的水文资料进行数据和图象处理，而对其计算成果的综合分析，也往往依赖于各种数据和图形的对比和人工经验的判别，这些都符合当今科学技术智能化的要求。因此，结合水文应用的特点，探讨工程软件中的图形技术和人工智能在水文中的应用，不但是水文科学领域中一个新课题，而且具有很高的实用价值，本书在第六章中所阐述的实时预报子系统中，用彩色等值线图来显示暴雨的面分

布状况，就是图形技术软件的具体应用实例。

第三节 洪水预报系统

本书将要阐述的洪水预报系统是建立在常用的微型机上，借助于系统软件支持下开发研制的。它可依据流域上实时暴雨信息，能准确地预报出重要防汛河段、大中型水库及水电站工程地点的流量（或水位）过程，并及时地优选出防洪调度方案，协助有关部门对本次洪水作出科学的分析和可靠的决策。

一、系统组成

本系统由硬件及其系统软件、应用软件所组成。

系统的机型为中国产长城系列机、IBM-PC 及其兼容机。可在 PC-DOS, MS-DOS 等操作系统上运行。

为了高效率使用本系统，我们采用库管理形式、模块化结构；为了提高系统中科学计算的运行速度，机器配置了 8087 或 80287 算术协处理器；为了增强系统的功能，我们对上述机型所具有的丰富软件进行了二次开发，如关系数据库 dBase 及其程序设计语言、系统图形软件包及高版本的 FORTRAN 编译系统等。

系统中应用软件由 3 部分内容组成：

- (1) 脱机编制洪水预报方案；
- (2) 联机进行实时洪水预报；
- (3) 洪水调度与防洪分析。

其运行流程框图，如图 1-1 所示。

二、系统的主要功能

- (1) 接收、存贮实时数据（降雨或水位）。以图表形式