



961802

P338
4051

高等学校教材
专科适用

水文预报

江苏水利工程专科学校 李慧珑 主编



高等学校教材

专 科 适 用

水 文 预 报

江苏水利工程专科学校 李慧珑 主编

水利电力出版社

(京)新登字115号

高等学校教学

专科适用

水文预报

江苏水利工程专科学校 李慧斌 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京四季青印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 17.5印张 394千字
1993年6月第一版 1993年6月北京第一次印刷

印数 0001—2690册

ISBN 7-120-01649-0/TV·607

定价 4.60元

内 容 提 要

本书内容以河流与水库短期洪水预报常用的相应水位预报、流量演算及降雨径流预报的基本原理和方法为主,对枯季径流与旱情预报、融雪径流与冰情预报、感潮河段水位预报、水质预报、水文预报实时校正以及水文情报预报工作的内容等也作了介绍。

本书是高等专科学校水文水资源专业水文预报课程的教材,也可供其他有关专业师生或从事水文预报、水利工程管理、水资源管理调度的技术人员参考。

前 言

本教材根据水利部《1990~1995年高等学校水利水电类专业专科教材选题和编审出版规划》要求所制订的水文预报教材编写大纲编写。

高等工程专科学校应以培养高级工程技术应用人才为目标，因此编写时力求使学生通过学习本教材并配以各种实践性教学环节，达到了解我国水文情报预报工作的内容、技术现状和进展，掌握河流、水库短期洪水预报的基本原理和方法，学会编制和应用常见的雨洪径流预报方案，对枯季径流、旱情、融雪径流、冰情、感潮河段水位、水质等方面的预报知识也有所了解。

全书共分十章。根据原水利电力部1985年颁发的《水文情报预报规范》等所编写的水文预报评定内容及若干附表列于附录。

本书由江苏水利工程专科学校李慧珑主编，陕西机械学院曹升乐参加编写第三、四、八章。全书由河海大学赵人俊教授主审。

在本书中参考或引用了各种教材、专著以及刊于各种刊物的研究成果、经验总结，在此谨向有关作者表示感谢。

由于编者水平所限，对编写高等专科教材经验不足，请广大读者对书中存在的问题批评指正。

编者

1992年1月

目 录

前 言	
第一章 水文情报与预报工作	1
第一节 水文情报与预报的内容及作用	1
第二节 我国的水文情报与预报工作	2
第三节 水文预报工作的特点	5
第四节 分析水文规律的途径	6
第五节 水文预报所需的资料	8
第六节 水文预报的效益分析	8
第二章 河道洪水预报	12
第一节 洪水波运动概述	12
第二节 流量演算法	17
第三节 非恒定流方程数值解简介	44
第四节 相应水位(流量)法	50
第三章 流域产流量预报	60
第一节 产流量计算的基本概念	60
第二节 降雨径流资料整理与分析	64
第三节 降雨径流相关图	72
第四节 蓄满产流模型	74
第五节 超渗产流模型	87
第四章 流域汇流过程预报	101
第一节 流域汇流计算概述	101
第二节 单位过程线法	103
第三节 瞬时单位过程线法	113
第四节 等流时线法	123
第五节 综合单位线法及地貌单位线法简介	125
第六节 降雨径流流域模型	136
第五章 水库水位与出流量预报	146
第一节 引言	146
第二节 入库流量预报	147
第三节 水库水位与出流演算	153
第四节 施工河段的水文预报	168
第六章 枯季径流与旱情预报	174
第一节 概述	174
第二节 枯季径流预报方法	175
第三节 旱情分析与预报	182
第七章 融雪径流与冰情预报	191

第一节	概述	191
第二节	融雪径流的预报方法	192
第三节	冰情预报方法	198
第八章	感潮河段水位预报	205
第一节	感潮河段的水文特性	205
第二节	感潮河段水位预报方法	207
第九章	水质预测预报	216
第一节	概述	216
第二节	水质预报方法的基本依据	217
第三节	水质模型简介	221
第四节	统计相关法简介	231
第十章	水文预报实时校正	233
第一节	实时校正的意义和途径	233
第二节	变系数模型	234
第三节	误差序列自回归模型	237
第四节	卡尔曼滤波简介	240
第五节	其它实时校正方法	246
附录 I	水文预报的评定	251
附录 II	马斯京根法单位入流河槽汇流曲线表	255
附录 III	普哇松分布表	261
附录 IV	纳希瞬时单位线 $s(t)$ 曲线表	262

第一章 水文情报与预报工作

第一节 水文情报与预报的内容及作用

水文情报是指及时报道河流、水库、湖泊和其它水体的水文及有关要素现时变化情况，也就是提供当前有关雨量、水位、流量、水温、冰情、墒情、泥沙含量和水质状况等的定量或定性信息。为了收集信息，需要科学合理地布设水情站网。这类站网通常是在已有的水文、气象站网基础上选定和增补的。由站网收集的信息传递到有关的水情机构，经过整理、按日、周、旬或月编制水情公报向有关部门发布，情况紧急时还可以加报或通过广播、电视和报刊向社会公众发布。

水文预报是根据前期或现时水文气象情报，运用水文学、水力学和气象学等原理和方法，对河流、水库、湖泊和其它水体在未来一定时段内的水文状况作出定量或定性的预测。水文预报的内容是很广的，有各种不同的分类方法。若按水情特点和预报内容分，有：1) 预报某地洪水期某时刻水位、流量或洪水过程等的洪水预报；2) 预报某地枯水期水位、流量或河网蓄水量等的枯水预报；3) 预报某地流凌、封冻、解冻日期和冰厚的冰情预报；4) 预报沿海河口段水位、涌浪的台风暴潮预报；5) 预报流域产沙量、水流含沙量和河流、水库冲淤变化的泥沙预报；6) 预报水体水质变化的水质预报等。若按预报的范围或水体分，有：1) 预报河道某处的洪水位或流量、枯水位或流量、冰情、水质状况等的河道水文预报；2) 预报流域上降雨或融雪产生径流量并汇集到流域出口形成流量过程的流域降雨或融雪径流预报；3) 预报沿海河口段水位、流量等的河口水文预报；4) 预报水库入库流量、库内水位及出流量、水库冰情及水质状况等的水库水文预报；5) 按水文现象的地区规律预报全区洪、枯水径流的区域水文预报等。水文预报要有预见期，通常将自发布预报时刻到所预报的水文现象出现时刻的时间间隔称为有效预见期。若将水文预报按其预见期分，有：1) 预见期仅数小时至数天的短期水文预报，例如河道洪水、流域降雨径流预报一般都属此类，因为这类预见期取决于洪水波在河段上下游断面间传播的时间或雨水从流域各处汇集到出口的时间，是报有限的；2) 预见期较长的中长期预报，例如月(季)径流量、年径流量、冰情要素的预报等。中期与长期的分界尚无统一的规定，通常将预见期在15天以上至1年以内的称为长期预报；3) 预见期超过一年，例如对大江大河或较大范围未来旱涝趋势的预估则称为水情展望。

水文情报和预报为洪涝灾害的防御、径流的调节、河流水能的利用、内河航运、灌溉、供水和水质管理提供信息，是采取各种水利工程措施及调度决策的依据。同时，它也是一项适应自然，能做到减免损失和合理利用水能、水资源的重要的非工程措施。因此，在我国《水文情报预报规范》中称它是“合理利用水资源进行防汛抗旱和水利水电建设的耳目和参谋，是水利电力系统的一项极重要的基本工作，是直接为社会主义四化建设服务的

工作。”

图1-1表明了水文情报预报工作中的数据流程。可以看出，为了争取时效，不论情报或预报信息的传递都必须迅速准确。60年代以来美国日本等国家在建立水文自动遥测系统的基础上与电子计算机配套使用，形成了一个实时联机水文情报预报服务系统。系统一般可分成三个部分。第一部分是分散在各处的遥测站，自动收集各种水文气象要素的实时数据，并按一定的方式编排成脉冲信号，可以定时自动发送或根据控制中心的指令发送；第二部分是信息传输通道，分有线与无线两种，无线通道常用超短波频段，当距离较长或有高山阻挡时要设置中继站，若用人造卫星作中继站则不受地形限制，通讯距离可更远，覆盖面积也更大；第三部分是控制中心，其中配备了通讯电台和电子计算机，以便接收各遥测站发来的数据并进行整理、计算、存贮、显示、打印和发布，有的还可以按事先确定的水文预报调度模型调用存贮的有关数据，进行预报和工程控制运用的水利调度。使用这种先进技术不但能增长有效预见期，而且还可以在预报发布后利用迅速反馈的实时信息对预报值作实时校正，提高预报的精度。现在世界上不少国家都已建立了这种实时联机系统。

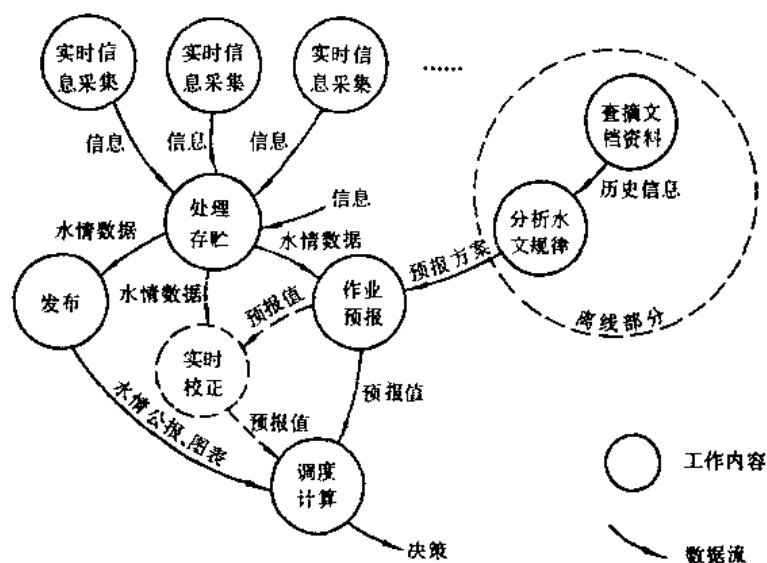


图 1-1 水文情报预报工作的数据流程

第二节 我国的水文情报与预报工作

我国地处亚洲大陆东南部，受季风与地形条件的影响降水量的时空分布差异很大，年内分配和年际变化很不均匀。全国大部分地区全年降水量的60%~70%集中在6月至9月，且降雨强度往往很大，沿海地区还经常受台风带来的暴雨所袭击，致使各地洪涝灾害频繁发生。松花江、辽河、海河、黄河、淮河、长江、珠江等大江大河的中下游集中在我国地势平坦低洼的东、南部约100多万km²的人口稠密区。这些地区的地面高程多在江河洪水位以下，要靠堤防保护安全，造成汛期防洪战线长，任务十分艰巨。北方河流在春季开冻时

河段内往往冰块阻塞壅高上游水位，河水向两岸漫溢形成特有的凌汛。据史载，我国早在秦代（公元前221～前206年）就有各郡县向中央报告雨情的制度。从明代万历年（公元1573年）起，沿黄河设有驿站，洪水时以快马向下游传递水情，并根据水情预估水势采取防御措施。但是，由于封建制度的统治和帝国主义殖民主义的侵略，国民经济长期处于落后状态，直至解放前夕，全国的报讯站仅三百多处，更没有开展水文预报工作。新中国成立后，为了促进工农业生产发展，保障人民生命财产安全，与洪水灾害作斗争便成为一项十分迫切的任务。50年代初，尽管只有数量很少也很不完整的水文气象资料，从中央到各省、自治区、直辖市、地区（市）及各大流域都成立了防汛指挥部门，并设有水情专业机构，在全国开始布设水情站网，确定水情拍报制度和办法，开展水文情报和预报工作。据统计，至1988年底，全国拍报水情的站有8843处，水情内容包括雨量、水位、流量、泥沙、水库蓄水量、冰情和一些特殊水情项目，构成了一个基本上能满足收集水情信息的网络，适应了开展水文预报和防汛调度等方面的需要。在多年实践的基础上，原水利电力部先后颁发了《水文情报预报拍报办法》、《水文情报预报规范》和《水文自动测报系统规范》。这些都是统一技术标准，严格工作程序，指导全国各级水情机构工作的规范性文件。

我国的水文情报预报工作自解放初就紧密配合着各地的抗洪、防凌斗争，充当了监视水情的耳目和决策的参谋。50年代初，首先在长江、黄河、淮河的部分河段开始了洪水预报，接着在黄河、东北地区一些河流上开展了冰情预报。本世纪以来，我国的许多江河越来越频繁地出现大洪水和特大洪水。例如1954年在长江和淮河，1957年在松花江，1958年在黄河，1963年在海河，1975年在淮河上游，1981年在长江、黄河上游，1983年在汉江上游以及1985年在辽河等地都是在近四十余年来发生的有记录以来的特大洪水。1991年5～7月间，江淮地区连降暴雨，降雨强度之大，历时之长，范围之广均属罕见，在江苏、安徽、湖北、湖南等省的部分地区暴雨量接近或超过百年一遇，致使河湖水位又大范围地超过历史记录。在特大洪涝灾害期间，根据水文情报预报提供的水情指挥防洪抢险，有计划地采取了滞洪、分洪、加高堤防等措施，及时组织人员、迁移物资，减少了洪涝灾害造成的损失，保障了重要城市、工农业生产、交通运输及人民生命财产安全。我国东南沿海平均年降水量大于1600mm，而西北干旱地区则小于200mm，丰水、枯水年降水量之比南方一般为2～3倍，北方可达3～6倍。因此，我国的水资源在地域上分布很不均匀。随着国民经济发展和人口增长，一些地区出现了水资源的严重匮乏，水源受污染的状况也日益突出，合理开发利用和保护水资源的水管理工作愈来愈显得重要，水文情报预报也随着形势的发展在水量优化调度、保证灌溉、航运、发电和水质管理等方面发挥其重要作用。可以说，解放40年来我国的水文预报工作从无到有，已由50年代的江河预报为主扩大到江河湖库海预报；由单项的洪水预报发展到枯水、旱情、冰情、泥沙、地下水、水质等多项目的预报；由发布短期预报到开展中长期预报与估报。预报精度在逐步提高，预见期也有所增长。

国民经济的发展对水文预报工作不断提出新的要求，也加速了水文预报技术的普及。现在，除了中央和各省、自治区、直辖市的水利水电部门及流域机构承担了重要河流、水库的水文预报任务，不少基层测站也开展了向当地发布水情预报的工作，有的测站不仅发

布定点的水情预报，而且深入调查本地区在历史上的旱涝灾害范围和灾情，编制实用的防汛抗旱水情手册；有的对河流附近的村镇、厂矿和重要设施的高程进行了测量，绘成各种图表，以便根据定点的水情预报迅速估算出洪水可能淹没的范围。据1988年统计，此类站全国有1139处。这些测站把水文情报预报服务与当地的工农业生产、交通运输等需要紧密结合起来，收到很好的效果，也得到了当地的重视和好评。

我国的水情信息主要根据水文气象观测和测验收集并通过邮电部门的电讯网向各有关部门传送。在一些重要的站点还设置了专用无线电短波台或无线电报话机直接报告水情，形成了重点防洪地区的防汛报讯专用通讯网。1981年在浙江浦阳江流域首先建成了实时联机水文情报预报系统，之后水利部水文水利调度中心也建成了一个比较完整的自动化水平较高的“实时水情信息处理和预报调度系统”，如图1-2。图中虚线框内为预报调度子系统，其余部分为实时水情信息处理子系统。该系统经过几年来的实践，收效显著。目前国内建有类似系统的已有永定河官厅山峡、丹江口水库库区等30多处，其它地方还将继续筹建。近年来在各地水情机构都已配备了电子计算机的条件下，推广了以计算机与邮电部门的电报传输线路相接，能接收实时水情电报，经过自动翻译、处理，存贮在数据库中以供检索和使用的实时水情信息处理系统。这一适合我国水情信息传递现状的新技术，大大提高了水情信息处理和服务的时效，既能更好地为各部门服务，也为各地进一步实现联机水文预报创造了条件。此外，利用远程通讯进行计算机联网或远程检索，实现水情信息共享，利用人造卫星及流星余迹传递水情的工作也在逐步试行。在信息收集的手段上，开始了利用雷达测雨资料估算降雨分布和雨区移动变化，利用气象卫星提供的云图资料判别雨区分布和移动、洪水泛滥及河道变化，估计积雪覆盖和土壤含水情况等。

在水文预报科学技术方面，我国的水文工作者十分注意学习国外的经验，并结合国内情况加以研究和运用。经过多年实践，对一些常用的预报方法如相应水位法、流量演算法、单位过程线法等，都从其物理依据上作了较深入的探讨，并提出适合我国水文特点的改进和创新。例如，1955年由原水利部水文局华士乾主编的《洪水预报方法》一书，就是总结了在长江、淮河特大洪水预报中的经验，吸收了国外在应用经验相关法进行河道水位流量和流域降雨径流预报以及河道、水库湖泊洪水演算等多种方法，用我国的实际资料做了大量的分析计算工作，所编成的一整套实用洪水预报方法实例。该书的出版有力地推动了各地洪水预报工作的开展。1979年由原长江流域规划办公室主持编写的《水文预报方法》，又进一步总结和推广了50年代以来我国在水文预报方面的技术经验。原华东水利学院水文系赵人俊等于60年代开始研究我国湿润地区的降雨产流规律，提出了蓄满产流方式，70年代发展为模拟这些地区降雨径流规律的流域水文模型（新安江模型）。该模型在国内得到广泛应用，并推动了国内对流域水文模拟的研究。自70年代末期起，在广泛的国际交流合作中，我国不但对外提供了成功的经验，也先后从国外引进各种类型的水文模型。其中对水文预报技术影响较大的有美国的斯坦福与萨克拉门托模型、日本的坦克模型、爱尔兰的线性扰动模型等等。经过大量实践获得了不少成果，例如水利部水文水利调度中心已将我国的新安江模型与意大利的约束线性系统模型结合起来，形成了一个具有多种功能的综合约束线性系统模型，并已在实际工作中应用。此外，针对各地大量中小型水库管理运用的

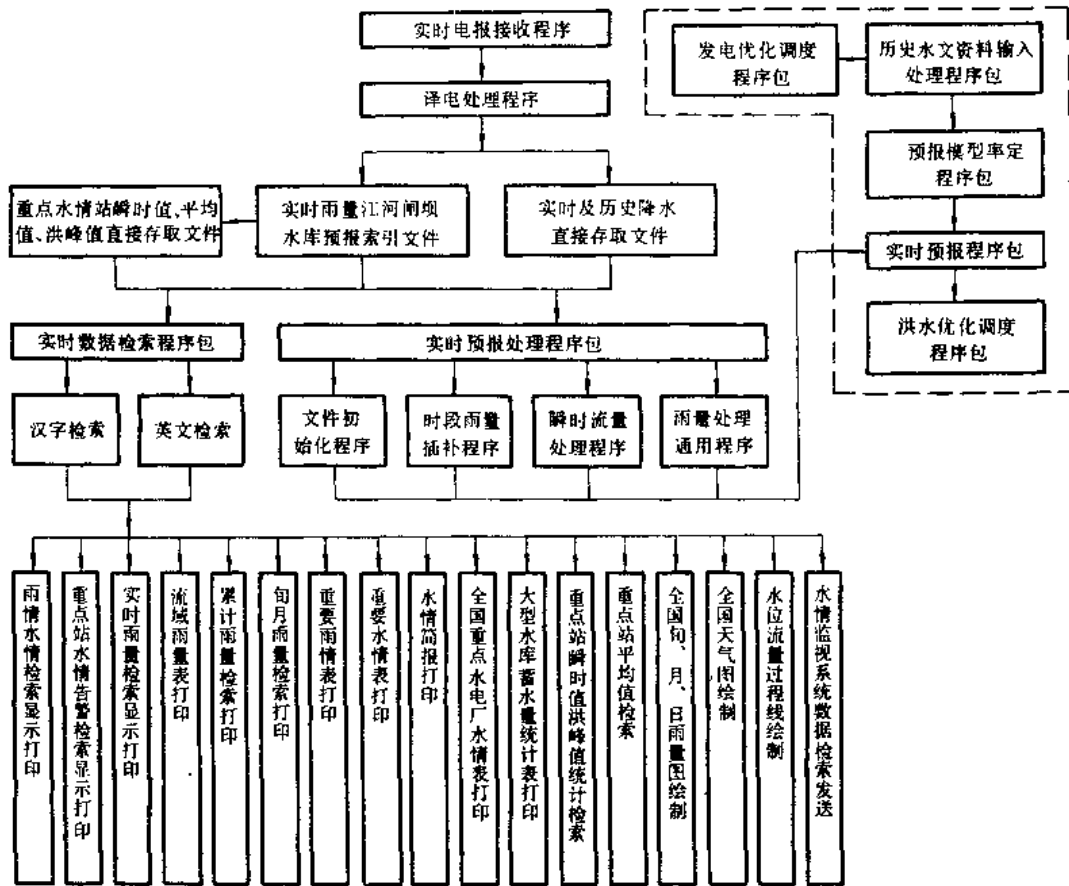


图 1-2 实时水情信息处理和预报调度系统的结构

需要，山东省水文总站等研制了一整套水库简易调洪演算和实用预报方法；沿海各省对台风暴潮的预报从理论到实践也都有了进展。

50年代以来，世界上随着现代化工农业发展和人口增长，水资源的供需规划及科学管理问题十分突出，也促进了水文事业的发展；另一方面，现代数学理论如系统论、运筹学、模糊数学等的引入及电子计算机的应用，更使水文科学面临着一个飞速发展的形势。水文预报除了要求加强基础理论的研究外，在方法上有了更广阔的思路和现代化的手段，也开拓了水文预报与水量调度、水质控制相结合的途径。我国水文预报技术进展很快，在广大水文工作者的努力下，新的技术成果正在层出不穷。40多年来，先后召开过5次全国性的水文预报技术经验交流和学术讨论会，有的地区、流域机构、高等院校和科研单位也开展了多种形式的技术交流活动，编印出版了各种专著以及经验汇编文献资料，介绍国内外新的技术经验。这些都有力地促进了我国水文预报理论与技术的普及、发展和提高。

第三节 水文预报工作的特点

水文预报属于应用水文学，它是水文科学的一个分支学科。开展水文预报工作有两方

面内容，即编制水文预报方案和进行作业预报。前者是对某指定流域、河段或其它水体，根据其水文规律制定出一整套合适的预报水文情势的方法称为预报方案；后者是根据当时实测的水情，应用事先制定的方案求得有关水文要素的预报值并及时发布，又称实时预报。

发布预报要求快速准确。预报是否符合实际经过一段时间（预见期）就有实测信息反馈可以检验。影响预报精度和时效的因素是多方面的，有作为预报依据的实时水文气象信息的可靠程度和传递速度，有预报方案的适用性和操作使用的繁简程度等。此外，预报发布后影响水文过程的有关因素在预见期内的变化，也对预报精度造成影响。预见期愈长，这种影响愈显著。因此，水文预报具有不确定性，即不可避免地存在着误差。发布预报后在实测值出现时，可以根据已出现的误差情况凭预报人员的经验或用一定的方法对未来的预报值作出校正再次发布，称为实时校正。

预报方案一般是根据预报流域或河段多年积累的实测水文气象资料（历史水情信息），经过整理分析，按水文学、气象学、水力学等原理找出其中规律而制定的。只有缺乏实测资料的地区，才需要利用水文现象的区域分布规律，移用区域特性相似地区的分析成果作为预报方案。一个预报方案制成后需要按规范要求进行了评定或检验，符合规定标准的才能使用。经过多次作业预报后还应总结存在问题，对方案加以修正。因此，不论是编制方案还是作业预报的过程，都是人们不断认识客观水文规律的过程，经验的积累是十分重要的。只有从实际出发经过反复修订的方案才能逐步提高精度满足实用需要。一旦流域、河段等客观条件发生了变化，改变了原来的水文规律时，应作相应修改甚至重新编制。为了争取时效，实用的水文预报方案应力求操作简便，为避免在作业预报时进行繁琐的计算可事先编制一些简明的图表以便查用。近代发展的联机实时情报预报系统综合了站网布设、遥测技术、通讯、资料处理、水文规律分析和模拟以及计算机操作使用等多方面的技术，它既可整理数据制定方案，又可收集实时信息进行作业预报，做到争取时效提高精度节省人力，还可以与水资源的自动化调度系统联合运用，是很有发展前途的。

第四节 分析水文规律的途径

如前所述，编制预报方案实质上是分析探求某具体流域、河段或其它水体水文规律的过程，而作业预报则是对分析成果的检验并为进一步分析积累素材。

水文规律的形成涉及到水文学、水力学和气象学等方面的原理，但因自然现象是许多因素错综复杂影响的结果，又有频繁的人为活动干扰，使人们至今还不能全面地认识掌握并按数学物理的途径去推求其规律。因此，分析只能依据从自然环境中取得的稀疏的实测数据作为样本来进行。分析的目的是要取得某些要素在空间的分布和随时间的变化以及各种要素之间的关系，而其中有些要素又往往是不能直接量测得到的。例如从雨量站网得到的是各站点的实测雨量，而需要分析探求的却是整个流域或地区范围内降雨量所产生的径流量及其汇集到河网中去的规律。这就需要对实测的各站雨量作进一步处理加工。

在水文预报中目前常用的分析途径有三类。

1. 经验和半经验的途径

根据水文现象的成因规律,建立有关预报要素与其前期水文气象因素中起主要影响的因素间的经验相关关系。例如上下游相应洪峰水位的相关关系,流域平均降雨量与产流量的相关关系等。这种关系可以用直线也可以用曲线表示,可以是两变数的简单相关也可以是多变数的复式相关。一般用实测资料直接点绘的方法得到经验相关图,也有用经验公式的形式表示。因为是用一定数量的实测的历史资料作为样本建立的关系,在形式上虽然只表达了某些主要的影响因素与预报要素间的关系,而实质上确定的与不确定的因素的影响都已反映在实测数据中。用这种关系得到的预报值,应是包含了各种因素影响在内的条件数学期望值,其真值是不确定的。这类方法的效果取决于样本的数量和代表性,以及相关要素的选择是否适当。经验相关的途径一般较简便易行,是水文预报中应用最早且至今仍被广泛应用的方法。

2. 确定性模型的途径

将具体流域、河段或其它水体看成是一个系统,形成水文过程的某些因素作为系统的输入,经过系统作用产生输出(响应)即预报要素,系统所起的转化作用相当于流域、河段等对水文过程演变所起的作用。将系统的作用加以概化,并用若干数学表达式进行模拟,得到水文数学模型。这种模型表示为若干函数关系,在一定的输入条件下产生唯一的输出,又称确定性模型。例如降雨后流域的下渗现象是十分复杂的。为了求得产流量,将流域的下垫面看成是一个系统,将流域的积水下渗随时间变化的过程概化成可以用数学方程表示的下渗过程。当以降雨强度过程输入时,经过计算就可以得到雨强超过渗强的部分即产流量。这种以数学方程表示的下渗过程就是一种简单的确定性产流模型。然而这种模型的结构还不是遵循水文学与水动力学原理的严格的数学物理模型,而是一种对客观现象的概化和设想,模型中有的部分还采用了经验相关关系,有的参数还要根据实测的历史数据进行率定,所以又称概念性模型。确定性模型可分为集总型与分散型两类。前者不考虑输入与模型参数的空间变化,例如对于上述产流模型,只用流域平均降雨作为输入,全流域只用一个下渗方程进行计算;后者则反之。这类模型往往可以解决经验、半经验方法中某些难以解决的问题,如降雨在流域上分布不均匀、不同水源的汇流、人类活动影响的处理等。因其计算工作量比经验相关法大得多,只有在计算机应用普及的条件下才能发展。为了使模拟的水文过程更符合实际,有时在确定性模型中加入了不确定的成份以提高精度,例如加入对随机误差的处理等。

3. 随机性模型的途径

根据概率论和数理统计的原理和方法,从大量历史水文、气象资料中寻求预报要素演变的随机规律即其概率分布,建立随机水文数学模型。在水文预报中,这种途径常用的方法有两大类:一是把预报要素作为随机变量,运用回归分析、判别分析等方法对影响因子进行筛选,建立经验的预报方程进行预测;二是把预报要素作为离散的时间序列随机过程,用自回归等方法建立随机模型进行预测,或将时间序列分解成趋势项、周期项、平稳项等,分项预报然后叠加求得预报结果。这方面的途径多用于长期水文预报或预估。

第五节 水文预报所需的资料

开展水文预报的地区必须有一个满足实用要求的水文气象观测站网，积累一定数量的观测资料作为分析水文规律编制预报方案时用。进行作业预报时同样仍需要这个站网提供实时水情。

1. 编制方案所需的资料

(1) 水文气象资料

不同的预报要求以及采用不同的预报方法所需的资料是不同的。例如制作河段洪水预报方案，要有河段上下游断面的水位、流量过程资料，如果河段区间有较大支流汇入还应有支流测站的水位、流量或雨量资料；制作降雨径流预报方案，要有流域上各测站的雨量及流域出口站流量过程资料，有时还要有蒸发、地下水水位等资料。这些资料的大部分都可以从水文年鉴中得到。其它如历史上的特大暴雨、洪枯水情及灾情等可通过水文调查获得。编制方案所引用的资料一般不得少于10年系列，其中应包括大水年、平水年和小水年，并在各种量级上都有代表性。在资料的处理方面，例如计算面平均雨量所采用的站数、计算时段长等要考虑实际的水情信息收集和传递条件，使作业预报时的用法能与编方案时的做法一致。

(2) 流域及河道特征资料

应具备流域的水系、地形图，流域内各类测站分布图，有关流域的土壤、植被、地质等方面的描述，农林水利措施的种类及活动情况，主要河段的物理特性及纵横断面图等。当流域内有较大的水利工程时，应了解工程的各项特征数据和运行计划等。以上资料除向有关部门了解、查阅文献档案外，预报人员要深入实际实地查勘。一旦流域、河道特征发生重大变化，要及时修改或重新编制预报方案。

2. 作业预报所需的资料

作业预报所需的水文气象要素视所采用的方案而定。所不同的是需要实时数据，而且应尽快获得以便及时发布预报值争取时效。为了预估有关影响因素例如雨量、温度等在预见期内的变化，掌握天气预报是很有必要的。在有条件的预报机构，通过对卫星图片的分析，了解天气系统的演变及地面蓄水状况、积雪分布等，对增强预见性提高预报精度是很有帮助的。流域上各种工程的运行情况，例如水库、灌溉工程的蓄水、引水和泄水，对预报值会有显著影响应及时了解。水文预报为防洪及水资源管理调度提供依据，因此预报人员与水管理工作人员必须密切配合，交换情报。

第六节 水文预报的效益分析

1. 水文预报效益的估算

水文预报产生的效益有两方面：一是由于准确及时的水文预报而减免了灾害造成的损失，二是根据水文预报对水利工程进行合理调度运用使生产部门增加了产值。分述如下。

(1) 由减免的损失费估算效益

灾害造成的损失有两类。一类是指可以用货币计算的经济损失，例如农、林、牧、副、渔等各类用地的损失，国家、集体和个人房屋、设施、物资等财产损失，防汛抢险费用的开支，工矿停产、商业停业和交通中断的损失，修复水毁工程和恢复交通、工农业生产的费用开支等，这些称为有形损失；另一类是难以用货币计算的非经济损失，如生命死亡、疾病流行、社会不安定、文化教育和生态环境遭到破坏等，称为无形损失。损失费的统计计算一般是指前者，但在对效益作具体分析比较时对后者不能忽视。

图1-3是一个地区的洪水位与因洪水灾害造成损失的费用关系，按有无预报两种情况分别统计绘制。图中表明在同一洪水位下两线之差值 b 就是有了预报所减免的损失费，称总效益。无预报的关系线是按河堤的设防水位、安全泄量和蓄洪、分洪工程的运用规定以及洪泛区的地形条件，结合调查所得的历史洪水淹没情况进行水文水利计算推求出淹没范围、淹没水深和历时，然后折算成各项损失费用累加而得。有预报所获得的总效益则与预报精度及预见期长短密切相关，精度愈高预见期愈长总效益就愈大。

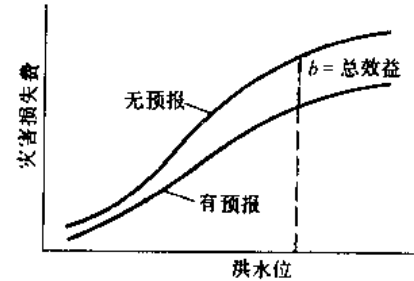


图 1-3 某区域洪水位与灾害损失费关系

图1-4是用频率计算的方法绘制的年最高水位频率曲线。将图1-3与图1-4结合，可得总效益与洪水位频率的关系如图1-5。图中 p_0 表示有记录以来最高洪水位的频率， p_1 表示最常见的洪水位频率，则曲线以下的面积 $B = \int_{p_0}^{p_1} b dp$ 可作为预计的年平均总收益。

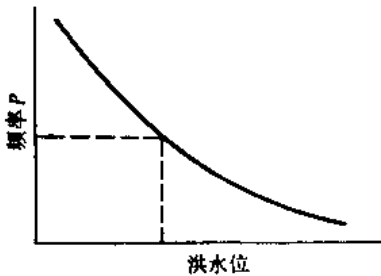


图 1-4 年最高水位频率曲线

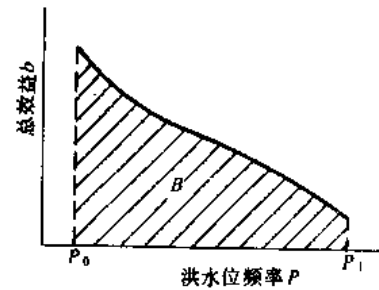


图 1-5 总效益与洪水位频率关系

此外，还可以按预报的次数逐次分别计算次预报效益。例如新疆某农场1985年4月发生了历史上罕见的春季洪水，历时半个月，洪量是1977年春季洪水的2.07倍。由于有了准确及时的预报，事先作了防洪准备，受灾损失182万元。而1977年春季洪水历时仅6天，却损失300万元。因此，1985年的这次预报粗略估计减免损失费为118万元。又如丰满水库1986年7、8月份入库洪水峰高量大，水库处于高水位大放流状态。9月份根据水文预报及时关闸蓄水和发电，至10月3日计算可多蓄水20多亿米³，多发电获得的经济效益为3500万元。

(2) 由生产部门增加产值估算效益

目前一般采用扣除成本法计算,即将水利水电工程管理处应用水情预报改进生产后取得的增产效益扣除增产过程中的全部成本,并给工程管理处以近期的平均利润,所余的就是净效益。例如某水库在调度运用中应用了水文、气象预报,在确保防洪安全的前提下利用汛末洪水多蓄,5年中由于超蓄而多发电11.45亿度,增加产值7400多万元。扣除同期发电的成本,再按增产部分的15%作为平均利润给电厂,则所余5300多万元为净效益。

然而,水文预报的经济效益只有通过应用才能体现出来,因此不能将以上估算的减免损失费或增产净效益全部都作为水文预报的效益。至于分摊的比例应如何确定,目前国内外都在探索。国内一般是按在实用中对水情预报的依赖程度预先订立协议,将效益在发布预报的水文、气象部门和预报服务区域内的各生产部门之间按协议比例分摊计算。

2. 益本比的分析

水文预报的效益还应与开展水文预报工作的投资即成本比较,以便选取投资少而效益显著的最优决策。

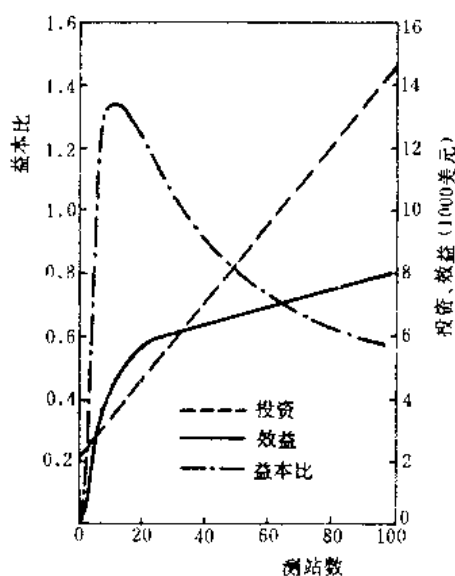


图 1.6 雨量站数与益本比、年投资、年效益关系^①

建立一个水文预报系统的投资有一次性与经常性两方面。前者是指建立水情站网和预报中心所需设备及安装费用等,后者则包括站网收集实时信息及发送费用、预报系统运行期间所需的人力物力费用以及气象部门提供服务所需费用等等。经常性投资可按年计算。益本比是指以货币计算的效益与成本的比值。一般来说,益本比最低为1。益本比愈大表明经济效益愈高。

在设计和建立水文预报系统时应作益本比分析。例如对某个预报系统应设多少雨量站为优,可以对用不同雨量站数所作的预报进行精度比较分析,求出不同测站数与效益的关系,计算出不同测站数的投资值及益本比。利用图1.6可选择出最佳的测站数方案。当然,在决策时益本比并不是唯一的考虑因素。例如在一些开发不多的地区,开展水文预报的经济效益可能不大,但在避

免人民生命财产损失方面作用较大。对这种非经济损失,在作分析比较时还是要加以考虑的。

对水文预报的效益分析有利于提高水文预报的技术水平和管理水平,使预报工作发挥更大的作用。这项工作在我国开展的时间还不长,各种分析方法也不够成熟,尚有待在实践中不断探索完善。

^① 根据原水利电力部天津勘测设计院外国造介绍的美国实例。