

长江水利委员会 主编

水文预报方法

第二版

水利电力出版社

水文预报方法

第二版

长江水利委员会 主编

水利电力出版社

1.1

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书较系统地总结了我国建国以来在水文预报方面的科研成果和教学、生产实践经验。主要内容有：绪论，河道相应水位（流量）预报，河道流量演算，降雨径流量预报，流域汇流预报，水库（湖泊）水文预报，枯季径流和旱情分析预报，冰情与融雪径流预报，流域水文模型，河流水质预报，水情数据处理和预报系统，水文预报误差和评定方法等。

本书第一版于1979年出版后，曾荣获全国优秀科技图书奖。第二版系在原有基础上进一步充实提高。本书可供从事水文预报、水文水利计算、科研、设计、工程管理、水库调度人员阅读，亦可供有关院校师生参考。

水 文 预 报 方 法

（第二版）

长江水利委员会 主编

*

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

朝阳小红门印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 24印张 549千字

1979年9月第一版

1993年6月第二版 1993年6月北京第三次印刷

印数10131—12660册

ISBN7-120-01805-1/TV·648

定价 26.00 元

序

我国幅员辽阔，河流众多，气候条件十分复杂，洪涝旱灾害频繁。在全国七大江河的中下游地区大约一百多万平方公里的土地上居住着半数以上的人口，有着全国政治、经济、文化中心的北京及上海等大城市和大量的工矿基地、交通枢纽。但是，这些地区的地面多在江河洪水位以下，主要依靠堤防保护安全。然而，这些地区工程的防洪标准并不高，因而洪水灾害仍然是中华民族的心腹之患。另外，枯水年份和枯水季节，大量农田干旱，城市、工矿水源紧缺，航道碍航，水资源已经成为社会经济发展的重要制约因素。

在防汛工作中，及时准确的水文情报和预报，是防汛抗洪指挥决策的重要科学依据，水能、水资源的合理调度、开发利用和保护以及航运等都需要有水文预报作指导。新中国成立以来，国家十分重视水文预报工作，成立了专门机构，许多水利、水文工作者对洪涝灾害的规律进行了广泛的研究和探索，并在战胜1954年长江、淮河、1958年黄河、1963年海河、1991年淮河大洪水中发挥了巨大作用，为洪水调度、滞蓄洪区的运用提供了重要的科学依据，形成了适合我国国情的一整套水文预报方法。特别是近年来，我们运用自动测报技术、卫星通信、雷达测雨和遥感技术来改善水文实时信息的采集和传输；利用现代计算技术增强信息接收和处理功能；进一步研究了适合我国自然特点的各种水文预报方法，并在实践中不断改进完善。当然，随着社会经济的发展，水资源问题的日益尖锐，我们还要引进和发展新理论、新技术，使其在防洪减灾和水能、水资源的合理调度、开发利用和保护中发挥更大的作用。

《水文预报方法》一书是1979年由原水利电力部水文水利管理司负责组织，原长江流域规划办公室主编的。该书总结了我国广大水文工作者多年实践的经验和科研成果，是一部有较高学术水平和适合我国国情的便于实际应用的技术专著。近十余年来，随着水文预报技术的发展，在原有基础上，吸取了国内外的新鲜经验，对原书作了充实和修改。这本书的再版，不仅有助于我国广大水文、水利工作者业务水平的提高，也有助于我国水文预报技术在国际间的交流与合作，是对国际减灾十年活动的重要贡献。

王宁强

1992年9月9日

第二版说明

《水文预报方法》一书，自1979年出版以来，在水文生产、科研、教学等方面都发挥了较好的实用价值，其间并曾重印一次。1982年又荣获中国出版工作者协会授予的1979～1981年全国优秀科技图书奖。1984年水利电力出版社提议修订出第二版，1985年原水利电力部水文水利调度中心正式组织部署第二版编写事宜，确定编改原则是要保持原书特色，反映当前水平，选择近年来水文预报科学技术发展中概念清楚、应用较成熟的成果予以补充，充实原书的薄弱环节，适当增加一些实例。根据这些原则，第二版与第一版比较，新增了“河流水质预报”一章；将原“电子计算机的应用与流域模型”一章充实改写为“流域水文模型”与“水情数据处理和预报系统”两章；并列了“水文预报误差和评定方法”一章，这样由原来一共九章增为十二章。在具体内容方面，除上述新增加的以外，在“河道相应水位（流量）预报”章中增加了“变动河床洪水位预报”；在“降雨径流量预报”章中增加了“特殊地区径流量估算”；在原“冰情预报”章中增加了“融雪径流预报”；此外，在水库水文预报和旱情分析预报方面作了一些充实，在“河道流量演算”、“流域汇流预报”两章中也作了较多的改写。

直接参加本版编写和审稿的单位，除第一版的黑龙江、辽宁、山东、河北、山西、浙江、广东省水文总站，黄河水利委员会，河海大学，成都科技大学，水利水电科学研究院，南京水文水资源研究所等外，新增有长江水源保护局和海河水利委员会，同时还得到了全国各有关水文部门的大力支持和帮助，诸如提供资料成果，参加审查讨论，提出修改意见等，恕这里未能一一列出。因此，第二版的问世，仍然是全国广大水文预报工作者共同劳动的成果，是生产、科研、教学三结合的产物。在此，我们对所有为本版的编写审稿和出版工作给予帮助和支持的单位及个人，表示衷心的感谢，同时诚恳欢迎读者对本书可能存在的某些不足予以批评和指正。

长江水利委员会

1992年9月

编写和审稿人员名单

主 编 韩承荣 罗伯昆 王钦梁 曹家声

章 次	编写单位	主要执笔人	审稿人
第一章	长江水利委员会	韩承荣	王厥谋(水利部水文司)
第二章	长江水利委员会 长江水利委员会 广东省水文总站	罗伯昆 韩承荣 梁日元	林三益(成都科技大学)
第三章	河海大学 长江水利委员会	卞毓明 罗伯昆	于维忠(河海大学)
第四章	辽宁省水文总站	曾代球	赵人俊(河海大学)
第五章	长江水利委员会	罗伯昆	华士乾(南京水文水资源研究所) 文 康(南京水文水资源研究所) 冯 淼(海河水利委员会)
第六章	山东省水文总站 长江水利委员会 成都科技大学	陶传考 牛德启 薛森森	于维忠(河海大学) 冯 淼(海河水利委员会) 郭 瑛(水利部水文水利调度中心)
第七章	长江水利委员会 山西省水文总站	郭乃辉 陈俊生	华士乾(南京水文水资源研究所) 王芝桂(山西省水文总站)
第八章	黑龙江省水文总站 黑龙江省水文总站 黄河水利委员会	肖迪芳 刘桂筠 王文才	陈赞廷(黄河水利委员会)

第九章	长江水利委员会 水利水电科学研究院 水利部水文水利调度中心	曹家声 张恭肃 张瑞芳	赵人俊(河海大学)
第十章	河海大学 长江水资源保护局 河海大学	庄一鹤 袁弘任 施 珍	方子云(长江水资源保护局)
第十一章	水利水电科学研究院 水利部水文水利调度中心	张恭肃 徐贯午	王厥谋(水利部水文司)
第十二章	水利部水文水利调度中心 长江水利委员会	李纪生 曹家声	金光炎(安徽省水利科学研究所)

绘描图并参加统稿 牛德启

目 录

序

第二版说明

第一章 绪论 (1)

第二章 河道相应水位(流量) 预报..... (5)

第一节 概述..... (5)

第二节 相应水位(流量)法..... (7)

第三节 合成流量法..... (15)

第四节 回水河段、感潮河段和分洪溃口河段的相应水位关系..... (17)

第五节 变动河床洪水位预报..... (24)

第六节 问题讨论..... (28)

第三章 河道流量演算 (31)

第一节 流量演算法的基本原理..... (31)

第二节 特征河长法..... (37)

第三节 马司京干法..... (42)

第四节 滞后演算法..... (56)

第五节 线性扩散模拟法..... (63)

第六节 有支流、分流河段的流量演算..... (69)

第七节 问题讨论..... (76)

第四章 降雨径流量预报 (82)

第一节 径流形成过程..... (82)

第二节 降雨径流要素计算..... (87)

第三节 下渗曲线法..... (98)

第四节 概念性产流模型..... (106)

第五节 降雨径流经验相关图..... (116)

第六节 特殊地区径流量估算..... (120)

第五章 流域汇流预报 (125)

第一节 流域汇流的基本概念..... (125)

第二节 单位线法..... (126)

第三节 瞬时单位线法..... (140)

第四节 综合单位线法..... (159)

第五节 等流时线法..... (164)

第六节 单元汇流法..... (173)

第七节 方法讨论..... (175)

第六章 水库(湖泊) 水文预报..... (178)

第一节 建库后河道水力条件和水文特性的变化..... (178)

第二节 水库(湖泊) 水位、流量预报..... (180)

第三节	中小型水库预报	(193)
第四节	水库施工期的水文预报	(204)
第七章	枯季径流和旱情分析预报	(217)
第一节	概述	(217)
第二节	枯季径流的变化规律	(218)
第三节	枯季径流预报方法	(221)
第四节	干旱的基本概念	(229)
第五节	旱情分析预报	(234)
第八章	冰情与融雪径流预报	(243)
第一节	冰情概述	(243)
第二节	封冻预报	(245)
第三节	解冻预报	(254)
第四节	水库调蓄后冰情的变化和预报	(264)
第五节	融雪径流预报	(270)
第九章	流域水文模型	(277)
第一节	流域水文模型的一般概念	(277)
第二节	国内流域水文模型简介	(285)
第三节	国外流域模型在我国的应用	(291)
第十章	河流水质预报	(306)
第一节	概说	(306)
第二节	水流的紊动混合与扩散方程	(308)
第三节	溶解氧的变化及氧平衡	(311)
第四节	水质预报基本方程式及河流水质预报方法概述	(313)
第五节	一维稳态水质模型	(314)
第六节	一维非稳态水质模型的解法	(318)
第七节	模型参数估值	(320)
第八节	二维水质模型	(328)
第十一章	水情数据处理和预报系统	(335)
第一节	概述	(335)
第二节	水情信息处理系统	(337)
第三节	洪水预报系统	(339)
第四节	实时校正预报	(343)
第十二章	水文预报误差和评定方法	(352)
第一节	水文预报误差概述	(352)
第二节	水文预报精度评定	(354)
第三节	评定(检验)方法示例	(358)
第四节	问题讨论	(361)
附表I	马司京干法分段连续流量演算法(有限差解)汇流系数表(三角形入流)	(363)
附表II	长办汇流曲线汇流系数表	(366)
附表III	$S(t)$ 曲线表	(367)
附表IV	高斯误差函数表	(372)
附表V	变动水流函数 $F(V, m)$ 表	(373)

第一章 绪 论

(一)

水文预报是现代水文学科的一个分支。它是建立在充分掌握客观水文规律的基础上,预报未来水文现象变化的一门应用科学技术,同时它又是适应自然,减免损失的非常重要的防洪非工程措施,直接为防汛抢险,水资源合理利用与保护,水利工程建设和调度运用管理,发展工农业生产服务。诸如:水文预报在防洪斗争中起着耳目和参谋作用,特别是在遇到超标准洪水时,根据水文预报就可有计划地采取分洪、蓄洪等有效措施,使洪水灾害减小到最低限度。在水利工程施工、管理运用各个阶段,根据水文预报,能保障施工安全顺利进行,减少损失,节约投资;能更科学地进行管理和调度运行,较好地处理防洪和兴利的矛盾,获取最佳综合效益。在灌溉、航运、供水和水质管理等方面,根据水文预报,可以进行合理安排,使水资源得到充分的利用等。

(二)

我国幅员辽阔,河流水系众多。流域面积在 1000 km^2 以上的大、中河流有 1500 多条。平均年降雨量 630 mm , 平均年径流量约 27000 亿 m^3 , 水能蕴藏量 6.8 亿 kW 。但由于受季风与自然地理条件的影响,各地降雨量差异很大,以年降雨量为例,西北干旱区有的仅 100 mm 左右,而东南沿海地区有的可达 2000 mm 以上。年际之间变化也大,丰水年与枯水年往往相差七八倍之多。由于雨量不均,再加雨季常有提前错后,以致旱、涝时有发生。据历史记载,从公元前 206 年到 1949 年中华人民共和国成立,共 2155 年间,中国就发生过较大的水灾 1092 次,较大的旱灾 1056 次,平均几乎每年都有较大水旱灾害。黄河是“三年两决口”,长江 1931 年洪水淹了汉口,海河 1939 年洪水淹了天津。因此,中国劳动人民从公元前两千多年起,就开始了兴修水利,防治水害的斗争,且历代相传,作为治国的主要任务。水文工作也随着水利事业的兴起而产生、发展起来。中国有史可考的最早的水文观测工作是公元前约 250 年(战国时代)开始的。在今四川省灌县兴建了沿用至今的誉满世界的岷江都江堰工程,在其引水口处刻凿了三个石人,用来测量水位,并刻注说明:“乾母及足,涨母及肩,年中水量,以此为度”,这说明当时不仅已经懂得掌握水位变化的重要性,而且有了水位与引水量关系的概念,为工程管理运用提供依据。在《后汉书》(公元 25 年至 220 年间的史书)里有:“自立春至立夏,尽立秋,郡国上雨泽”的记载,说明当时中国已有降雨情况的测报。到明代万历元年(公元 1573 年)有了比较正规的报讯方式,在黄河沿岸设有驿站,每 30 里为一站,当发生洪水时驿吏乘马快速向下游逐站传递水情,昼夜不停。还观察到“凡黄水消涨必有先兆,如水先泡则方盛,泡先水则将衰”的规律,可以说是比

较初始的根据水流情况以预报水势涨落的实践认识。这些都反映出中国很早就有了一些水文情报预报方面的成功经验。

(三)

中华人民共和国成立以后，随着社会主义建设事业的飞跃发展，特别是由于我国人口众多，且又密集在政治、经济、文化发达的东部平原地区。在松辽、海滦河、黄河、淮河、长江、珠江等七大江河的中下游约100多万 km^2 面积上，就居住着我国半数以上的人口，而这些地区的地面高程多在江河洪水位以下，主要依靠堤防保护安全，这是我国突出严重的江河防洪问题。因此，作为防汛斗争参谋和耳目的水文情报预报工作，更显得紧迫而极其重要。从中央到地方，各级防汛部门都迅速普遍开展起来。现在全国已规划布设了能较好地控制水、雨情变化的水情站网。水情站由新中国成立初期的300多处发展到8400多处。近几年来，为提高传输水情的时效和可靠程度，在利用邮电部门有线通讯系统的基础上，各地陆续发展了一些区域性的无线报讯通讯网。在一些防洪重点河段和水库建立了水文自动测报系统，各地已开始建立用电子计算机自动处理水情信息和预报调度系统。全国有一半的基层水文站发布当地河流或水库的水文预报，还有一些水利施工和工程管理部门也开展了水文预报业务。很多水文测站深入调查了解掌握本地区历史上几次大洪水的淹没范围和灾害情况，对河道（特别是险要河段）、村庄、城镇洪水痕迹，以及仓库、厂矿等重要设施的高程进行查勘测量，绘成图表，以及制作洪水风险图等，在进行预报的同时，可用来推知洪水对河流两岸淹没的范围和对重要设施的危害程度，使领导机关和有关单位在防汛斗争中更加心中有数。1954年长江、淮河特大洪水，1963年海河特大洪水，1981年长江上游、1983年汉江上游特大洪水，都由于水文预报准确及时，为正确作出防汛措施决策提供了科学依据，取得了显著的经济效益和社会效益。

(四)

我国水文预报技术在大量实践经验基础上迅速发展提高。结合我国的实际，对某些传统预报方法在理论和实际应用上作了探讨改进，在理论概念上有所突破和创新，显示了我国自己的特色和经验。

河道相应水位（流量）预报，是一个古老而较简易的方法。我国各地在应用这个方法时，主要着眼于研究天然洪水波运动的特征，分析影响上、下游，干、支流水位（流量）关系的各种因素，在多沙河流上，还考虑了河槽断面冲淤多变、水力泥沙因子复杂的影响，编制了各种不同条件下的相应水位（流量）预报图。在作业预报中与现时校正配合，提高了实时预报的精度。

在河道流量演算方面，从50年代中期起，就对受到广泛应用的马司京干法在理论上进行了研究，提出了该法的物理概念与有关参数的数学方程，并对方法的使用条件作了明确的论证，发展了多河段连续演算的方法，简明适用，不仅提高了精度，而且能解决缺乏流量

资料地区的问题。至于在考虑非线性影响的处理以及应用J.E纳须瞬时单位线、Г.П.加里宁-П.И.米留柯夫的汇流曲线及用s-曲线转化为时段汇流系数进行流量演算等方面,都有新的发展。此外,对河槽汇流的滞后演算法,作过许多研究,获得了较好的应用效果。

在降雨径流量预报方面,结合我国的自然地理条件,提出了适合我国湿润地区的饱和产流模型和干旱地区的非饱和产流模型,并对降雨径流关系的线型,流域蒸散发计算,产流面积变化等一些具体问题的分析处理,取得了成功的经验。

在流域汇流预报方面,对经验单位线的基本假定与客观实际情况不符所带来的问题及其处理方法,作了比较深入的研究,获得较好的效果。例如针对降雨的不同强度和分布的不均匀性,对单位线进行分类分型。在50年代初期,我国就对淮河上游建立了净雨强度与单位线要素的经验关系,后来又提出了用雨强为参数的变动单位线,在有些河流考虑不同暴雨中心位置对单位线的影响等。对较大流域,通过多年实践,逐步发展了一些降雨径流流域模型,将流域面积划分成若干小块的单元面积,用来考虑降雨分布的不均匀性,然后分别进行汇流计算。这种流域模型不仅可以解决经验方法中难以解决的降雨不均、调蓄不同、水源比重不同、以及区间来水和人类活动影响等问题,并能较好地处理汇流非线性变化。近年来还引进了国外的一些模型,如美国的萨克拉门托、日本的水箱和意大利的CLS等模型,在实际应用中结合我国的条件作了不少改进。此外,还采用系统分析方法,进行了模型参数变化规律的综合研究,推求确定最优参数,进一步补充和完善模型结构,发展了我国自己的水文预报模型。

在水库水文预报方面,针对水库施工期不同阶段以及水库建立后库区水力条件和水文特性的变化及坝前水位能否代表库区平均水位的问题,研究提出了一些经验改正和处理方法,取得较好效果。为了适应遍布全国的中、小型水库普遍开展预报和估算的需要,提出了适合各种不同运用条件下的简易调洪演算方法,并作出了不同类型的抗洪能力查算图表,供水库管理部门广泛使用。

在冰情预报方面,针对我国黄河及北方其它河流冰情特点,从热力、动力、河道特征等主要影响因素与冰的消长变化过程进行了较深入的分析研究,在成因分析的基础上,提出了一些行之有效的实用预报方法。

在枯季径流预报和旱情分析预测等方面,也都根据我国具体情况和条件,作了一些新的尝试。例如对旱情判别指标的分析,大范围旱情的预测等,获得了较好的效果。至于把水文预报和气象预报结合起来,进行水文气象法和其它中长期预报方法的研究,近年来也取得了有意义的进展。

此外,随着近代计算技术的广泛应用,从80年代起,我国一些单位开始研制以电子计算机为核心自动翻译水情电报;历史和实时水文数据的统计整理、存贮、检索、调用;绘图、显示和进行作业预报的整套实时联机预报系统,不仅大大加速了水情信息的收集、传递和处理,增长了有效预见期,而且通过实时信息的反馈,对预报模型可作跟踪实时校正,提高了预报精度。例如,水利部水文水利调度中心研制的“实时水情信息处理和预报调度系统”以及水利水电科学研究院研制的“洪水预报调度自动化系统”,在防汛调度及大中型水库调度管理中应用,取得了满意效果。

(五)

近40年来，我国水文预报技术获得很大发展，但还不能适应社会主义“四化”建设的需要，和国外先进水平相比，在某些方面还有较大差距。主要是：测报自动化程度较低；水文信息传输接收手段较差；电子计算机在水文预报中的应用还不够普遍；理论实验研究工作比较薄弱等。

要加速发展我国水文预报技术，必须坚决贯彻“百花齐放、百家争鸣”的方针，结合我国的具体情况，在学习国外先进技术的同时，敢于创新，并不断总结自己的经验，发展具有中国特色的水文预报技术。

要继续大力推进电子计算机在水文预报中的应用，积极发展水文自动测报系统、雷达测雨、遥感等新技术，完善水情雨情信息自动处理和实时联机作业预报，逐步建立功能齐全、适应性强、自动化程度高、通用性好的完整的水情信息处理和水文预报调度系统，全面规划逐步实现计算机网络化。

要积极开展水文实验研究工作。加强产流、汇流的基本理论研究，深入探索径流形成物理机制过程。要加强对特大洪水的分析预报、山洪警报预报、旱情分析预报、风暴潮预报和无资料地区的预报研究工作。要结合水资源保护和利用，积极开展水质预报，进一步搞好水文气象结合，短、中、长期预报相结合，预报与调度运用管理相结合，更好地提高水文预报服务效益。

第二章 河道相应水位(流量)预报

相应水位(流量)预报是根据天然河道里洪水波运动原理,分析洪水波在运动过程中,波的任一位相水位(相当于水位过程线上任一时刻的水位)自上站传播到下站时的相应水位及其传播速度的变化规律,寻求其经验关系,据以进行预报的一种简便方法。

第一节 概 述

一、洪水波运动

在恒定流水面上,由于外来原因,例如暴雨径流,水电站运行,闸坝放水等,突然被注入一定水量,则原来恒定流水面便因此受到干扰而形成一种不稳定波动,这就是洪水波。

洪水波的特征可用附加比降、位相、相应流量(水位)、波速等物理量来描写。

天然棱柱形河道里洪水波运动是一种徐变非恒定流。当洪水波沿河道自上游向下游传进时,由于存在着附加比降,引起不断变形,表现为两种形态:即洪水波的推移和坦化,且在传进过程中连续地同时发生。洪水波的传进,引起河道断面水位的涨落变化:波前阶段经过断面时水位不断上升,而波后阶段经过断面时,水位则下降,图2-1就表示洪水波与河段上、下站水位过程线之间的关系,反映了附加比降的变化是洪水波变形的主要因素。至于河道断面边界条件的影响则是固定的。例如当河段内有开阔滩地,到某一高水位即行漫滩,洪水波加剧坦化,波高明显衰减,致使下站洪峰水位降低,洪水历时增长。如果下游比上游断面狭窄时,则受壅水作用,使下游断面的波高比上游的增大。此外,区间来水、回水顶托及分洪溃口等外界因素,有时对洪水波变形也有很大的影响。

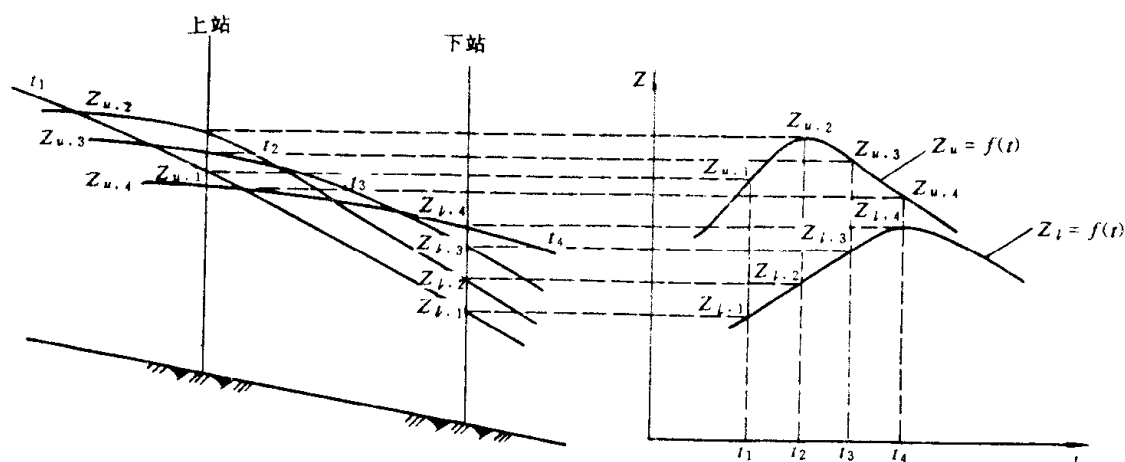


图 2-1 洪水波与上下站水位过程关系示意图

二、相应水位(流量)法的基本原理

相应水位是指河段上、下站同位相的水位。相应水位(流量)预报,简要地说就是用

某时刻上站的水位（流量）预报一定时间（如传播时间）后下站的水位（流量）。

在天然河道里，当外界条件不变时，水位的变化总是由于流量的变化所引起的，相应水位的实质是相应流量，所以研究河道水位的变化规律，就应为研究河道中形成这个水位的流量的变化规律。

设在某一不太长的河段中，上、下站间距为 L ， t 时刻上站流量为 $Q_{u,t}$ ，经过传播时间 τ 后，下站流量为 $Q_{l,t+\tau}$ ，若无旁侧入流，上、下站相应流量的关系为：

$$Q_{l,t+\tau} = Q_{u,t} - \Delta Q \tag{2-1}$$

如在传播时间 τ 内，河段有旁侧入流量加入，并在下站 $t + \tau$ 时刻形成的流量为 $q_{l,\tau}$ ，则

$$Q_{l,t+\tau} = Q_{u,t} - \Delta Q + q_{l,\tau} \tag{2-2}$$

式中 ΔQ 为上、下站相应流量的差值，它随上、下站流量的大小和附加比降不同而异，其实质是反映洪水波变形中的坦化作用。另一方面洪水波变形引起的传播速度变化，在相应水位（流量）法中主要体现在传播时间关系上，其实质是反映洪水波的推移作用。

传播时间是洪水波以波速由上站运动到下站所需的时间。其基本公式为：

$$\tau = \frac{L}{u} \tag{2-3}$$

式中 τ ——传播时间；

L ——上、下站间距；

u ——波速。在棱柱形河道里洪水波波速 u 与断面平均流速 $\bar{V}$ 间的关系为：

$$u = \lambda \bar{V} \tag{2-4}$$

式中 λ 是断面形状系数，或称波速系数。它取决于断面形状和流速计算公式，不同断面形状和流速公式的 λ 值见表 2-1。

表 2-1 波速系数 λ 数值表

断面形状	曼宁公式 $V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$	谢才公式 $v = C \sqrt{RS}$
矩形	1.67	1.50
抛物线形	1.44	1.33
三角形	1.33	1.25

注：表中 R 为水力半径， S 为水面比降。

所以传播时间可按下式推求

$$\tau = L / \lambda \bar{V} \tag{2-5}$$

上述式 (2-2) 及式 (2-5) 是河道相应水位(流量)预报的基本关系式。 $q_{l,\tau}$ 可用其他方法预报（参考本书第四、五章）。

众所周知，在无旁侧入流的天然棱柱形河道中，对于固定河段，洪水波在运动中变形随水深及附加比降不同而异。所以式

(2-1)、(2-2) 中的 ΔQ 及式 (2-5) 中的 τ 是水位和附加比降的函数，即 $Q_{l,t+\tau}$ 和 τ 值均依 $Q_{u,t}$ 和比降的大小等因素而定。但在相应水位（流量）法中，不直接计算 ΔQ 值和 τ 值，而是推求上站流量（水位）与下站流量（水位）及传播时间的近似的函数关系，即

$$Q_{l,t+\tau} = f(Q_{u,t}; Q_{l,t}) \tag{2-6}$$

或
$$Q_{l,t+\tau} = f(Q_{u,t}) \tag{2-7}$$

又
$$\tau = f(Q_{u,t}; Q_{l,t}) \tag{2-8}$$

或
$$\tau = f(Q_{u,t}) \tag{2-9}$$

式 (2-6)~(2-9) 中, 流量 Q 用水位 Z 代换, 意义相同。

第二节 相应水位 (流量) 法

根据上节所述, 相应水位 (流量) 法预报要解决两个问题: 一是已知上站水位 (流量) 在下站所形成的相应水位 (流量) 值; 另一是上下站间的传播时间, 即上站水位传播到下站所需的时间。

一、洪峰水位 (流量) 预报

当水流大体已汇集于河槽, 下站来水主要仰给于上游。河段冲淤变化不大, 又没有回水顶托等外界因素影响, 那么影响洪水波传播的因素较单纯, 上、下站相应水位过程起伏变化较一致, 则在上、下站的水位 (流量) 过程线上, 常常容易找到相应的特征点—峰、谷和涨落洪段的反曲点等, 如图 2-2 所示。利用这些相应的特征点的水位 (流量) 即可制作预报曲线图。

(一) 相应洪峰水位 (流量) 相关法

从河段上、下站实测水位资料, 摘录相应的洪峰水位值及其出现时间 (见表 2-2), 就可点绘相应洪峰水位 (流量) 关系曲线及其传播时间曲线, 如图 2-3 所示, 其关系式为:

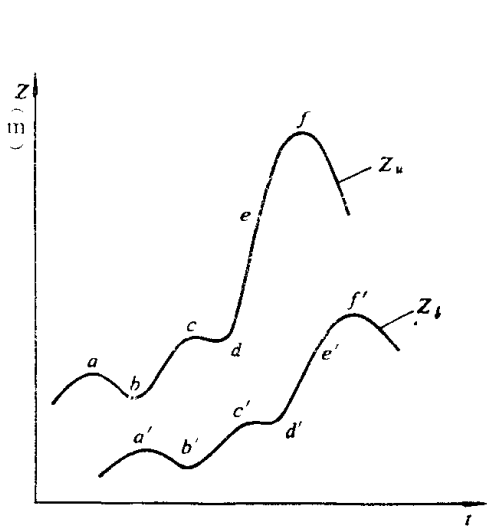


图 2-2 某河段上、下站相应水位过程线

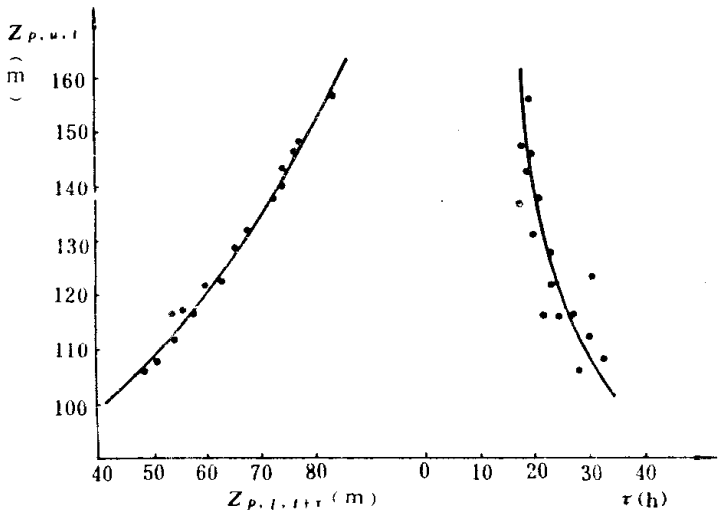


图 2-3 长江某河段上、下站洪峰水位及传播时间关系曲线

表 2-2 长江某河段上、下站洪峰水位要素表

上 站 洪 峰		下站同时水位 $Z_{t,t}$	下 站 洪 峰		传播时间 τ
出现日期 t (年·月·日·时)	水位 $Z_{p,u,t}$ (m)		出现日期 $t+\tau$ (年·月·日·时)	水位 $Z_{p,t,t+\tau}$ (m)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1974·6·13·2	112.40	52.95	1974·6·14·8	54.08	30
6·22·14	116.74	54.85	6·23·17	57.30	27
7·31·10	123.78	61.13	8·1·17	62.76	31
8·12·15	137.21	70.62	8·13·8	71.43	17
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

$$Z_{p, l, t+\tau} = f(Z_{p, u, t}) \quad (2-10)$$

$$\tau = f(Z_{p, u, t}) \quad (2-11)$$

式中 $Z_{p, u, t}$ ——上站 t 时刻洪峰水位；

$Z_{p, l, t+\tau}$ ——下站 $t + \tau$ 时刻洪峰水位。

图2-3是一种最简单的相应关系，但有时遇到上站相同的洪峰水位，只是由于来水峰型不同（胖或瘦）或河槽“底水”不同，导致河段水面比降发生变化，影响到传播时间和下站相应水位预报值。这时如加入下站同时水位（流量）作参数，可以提高预报方案精度，如图2-4所示。其关系式属式（2-6）型，传播时间关系也类似，如图2-5所示。

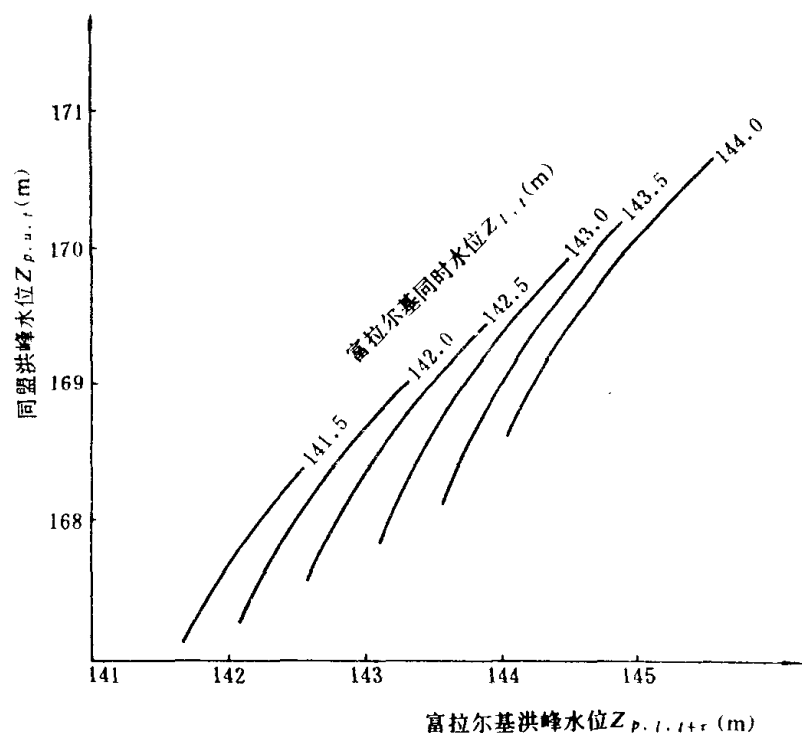


图 2-4 嫩江同盟～富拉尔基洪峰水位关系曲线

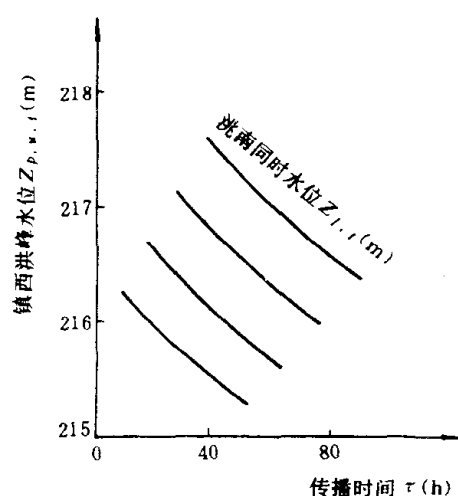


图 2-5 镇西～洮南洪峰传播时间关系曲线

在建立相应水位关系时，要注意河道特性及应用历史洪水资料，使高水外延有一定的根据。

（二）次涨差法

在一些陡涨陡落的山区性河流，如果其洪峰传播时间 τ 大于下站的涨洪历时 t_r ，则上站出现洪峰时，下站还未起涨，以下站同时水位作参数就不能反映水面比降的影响，这时可采用次涨差法预报下站洪峰水位 $Z_{p, l}$ 。

如图2-6所示，一次洪水的涨差 $\Delta Z = Z_p - Z_0$ （ Z_p 、 Z_0 为同次洪水的洪峰水位和起涨水位），可建立上、下站次涨差的关系：

$$\Delta Z_l = f(\Delta Z_u) \quad (2-12)$$

预报时，利用上述关系得下站洪峰水位 $Z_{p, l}$

$$Z_{p, l} = Z_{0, l} + \Delta Z_l \quad (2-13)$$