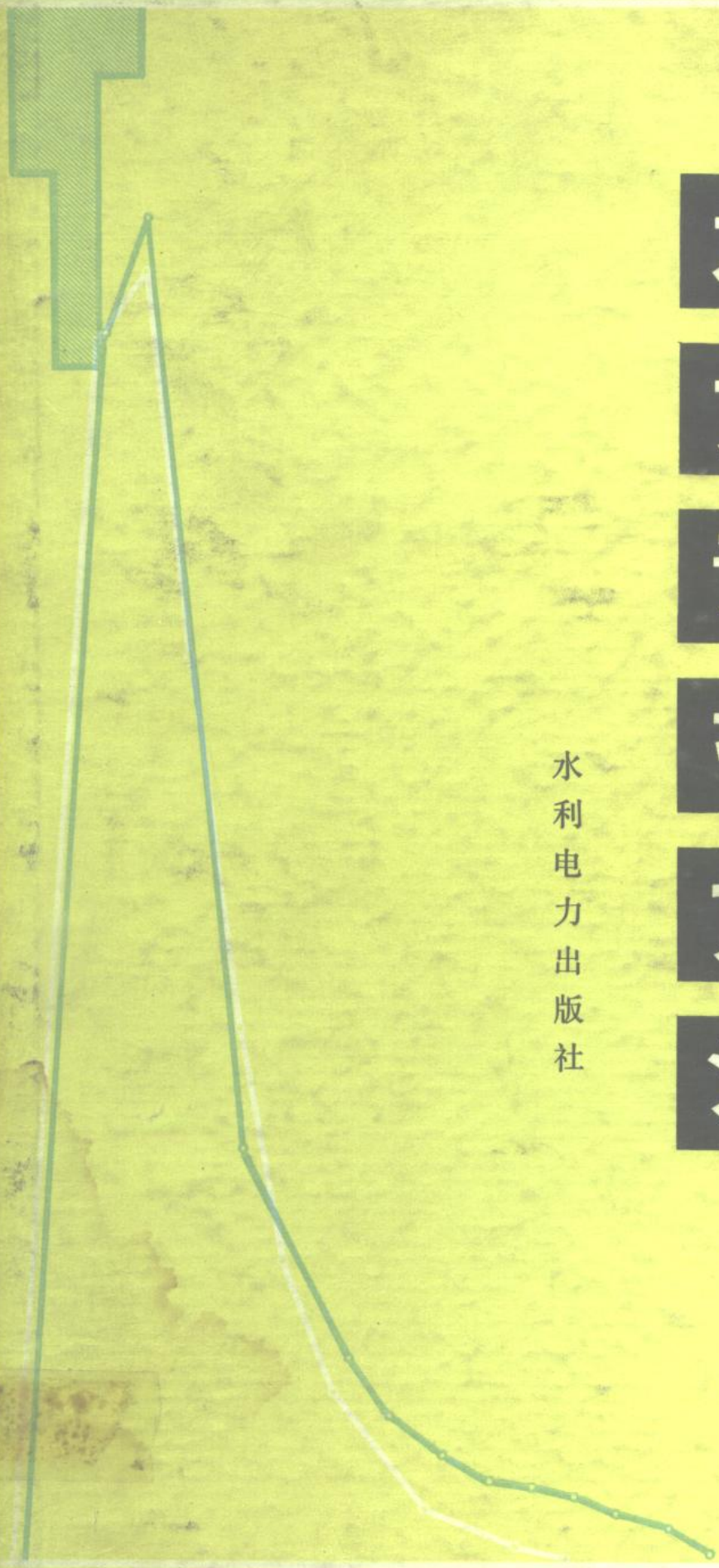


长江流域规划办公室主编

水文 预报 方法

水利电力出版社



水文预报方法

长江流域规划办公室主编

水利电力出版社

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；河道流量演算法；降雨产流量预报；流域汇流预报；水库（湖泊）水文预报；枯季径流和旱情预报；冰情预报；电子计算机的应用与流域模型等。

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。

1979/9

水 文 预 报 方 法

长江流域规划办公室主编

*

水利电力出版社出版

（北京德胜门外六铺炕）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 21 $\frac{1}{2}$ 印张 488千字

1979年9月第一版 1979年9月北京第一次印刷

印数 0001—4640册 精装每册 2.70元

书号 15143·3491

编 者 的 话

新中国成立三十年来，我国的水文预报工作从无到有、从低到高获得了迅速的发展。为了比较系统地总结我国在水文预报方面的技术经验，促进水文预报科学技术的发展，活跃学术气氛，提高水文预报的理论水平，在水利电力部的领导下，由长江流域规划办公室主持编写了《水文预报方法》一书。直接参加该书编写的单位还有：黑龙江、辽宁、河北、山东、山西、浙江、广东省水文总站，黄河水利委员会，华东水利学院，成都科技大学，水利水电科学研究院，水电部第十五工程局等。

本书先由各编写单位分工执笔，经过第一稿、第二稿两次审查讨论，并邀请专人负责审稿。

在本书编写过程中，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，介绍工作经验，参加审查讨论，提出意见和建议，这里未能一一列出。因此，本书的产生，实际上是全国广大水文预报工作者共同劳动的成果，也是生产、教学、科研三结合的产物。作为主编单位，我们只是进行了综合汇编的工作。而且由于水平所限，在全书的内容、论点、编排等各方面，还会存在缺点和错误。特别是对经验的总结，示例的搜集不够全面，可能没有完全反映出我国水文预报技术发展的现状。诚恳欢迎读者予以批评和指正，以便再版时补充修订。同时我们对所有为本书的编写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。

长江流域规划办公室

1979年2月

主编者：韩承荣、罗伯昆、曹治斌、曹家声

各章编写单位、主要执笔人和审稿人：

章次	编写单位	主要执笔人	审稿人
第一章	长江流域规划办公室	韩承荣	王厥谋
	水电部水文水利管理司	王厥谋	(水电部水文水利管理司)
第二章	长江流域规划办公室	孙声扬、罗伯昆	林三益
	广东省水文总站	梁日元	(成都科技大学)
第三章	长江流域规划办公室	罗伯昆	于维忠
	华东水利学院	卞毓明、张泉生	(华东水利学院)
第四章	辽宁、浙江省水文总站	曾代球、汤志祥	赵人俊
	长江流域规划办公室	邹允年	(华东水利学院)
	成都科技大学	薛焱森	
第五章	长江流域规划办公室	罗伯昆	华士乾、文康
	水电部第十五工程局	冯焱	(水电部南京水文研究所)
第六章	山东、河北省水文总站	郭瑛、蔡维佐	于维忠
	成都科技大学	薛焱森	(华东水利学院)
第七章	长江流域规划办公室	曹治斌	华士乾
	山西省水文总站	李瑞绩	(水电部南京水文研究所)
第八章	黑龙江省水文总站	刘桂筠、肖迪芳	陈赞廷、俞文俊
	黄河水利委员会	王文才	(黄河水利委员会)
第九章	水利水电科学研究院	张恭肃	赵人俊
	黄河水利委员会	俞文俊	(华东水利学院)

绘插图者：牛德启、姜菊梅

序 言

我们对水资源的认识和利用，是随着经济建设的日益发展而不断提高的。水文预报的任务就是分析研究、掌握运用水文的客观规律，揭示和预测未来的水文要素变化，从而帮助人们更好地控制和利用水资源。当人们还不能充分利用水资源的时候，水文预报又是与洪水作斗争、减少洪水灾害的重要武器。因为它能事先提供关于径流产生和发展变化的信息，以便及早采取科学合理的措施，兴利除害，达到更好地控制和利用水资源的目的。

多年来，国民经济建设和防洪斗争的实践，已经充分证明了水文预报的这种重要作用。毫无疑问，在实现社会主义四个现代化建设的新长征中，水文预报必将得到进一步的发展。因此，应当认真总结这方面的技术经验，大力加强水文预报理论和方法的研究，不断提高预报精度，增长预报预见期，使之更能充分利用水资源。此次编写和出版《水文预报方法》一书，就是为了总结提高，以期能促进水文预报学科的发展。

回顾新中国成立初期，由于防汛斗争要求洪水预报十分迫切，我们在一些较大河流上开展了河道相应水位（流量）预报。为了争取预报预见期，依据洪水波传播的理论，往往把预报根据站最大限度地向上游延伸，这就必然产生区间降雨影响的问题，因而促使我们开展降雨径流预报的研究。在1952、1953年取得经验的基础上，特别是1954年与长江流域百年大洪水作斗争时，在较大范围内直接根据降雨预报洪水，就更有把握地获得了成功。当时，测报雨量站点虽然稀少，等值线的勾绘可能有不同型式，但所估计的降雨分布和径流系数的变化，还是与客观情况基本相符。实践还反复证明，通过对天气图的分析，考虑雨区的移动变化，并结合流域自然地理特征，分析产流、汇流的各种因素，推算的径流总量和洪峰过程也是比较准确的。

随着社会主义建设事业的前进，全国水文预报及其有关的学科都有了新的发展。对不同自然地理条件下的产流、汇流、水库（湖泊）预报、冰情预报、枯季径流和旱情预报的理论和方法，进行了不同程度的研究和探索，积累了许多宝贵的经验。并且在水文预报工作中应用电子计算机等新技术，也有了进展。初步形成了适合我国情况，具有我国特点的水文预报方法，为合理地控制和利用水资源收到了良好的效果。在防汛抗旱斗争、水库调度运用和工农业生产建设等方面，都起到很好的参谋和耳目作用。

水文预报要不要与气象预报相结合，这个问题多年来在水利界是有争论的。根据解放以来我们的实践经验，要正确地进行水文预报，必须最大限度地与气象预报相结合，短、中、长期预报相结合。有的单位多年来探索降雨预报方法，并根据预报降雨量来预报洪水，进行水库调度预报，在缓和水库防洪和发电的矛盾中，收到了明显效果。因为一次暴雨天气系统的形成和发展，总是在一定条件下有它的相应的演变过程，也总是会有一些明显的信息为我们所掌握。当天气形势发生变化，气团运行速度变快或变慢，增强或减弱，或者运行方向与原预计的有了偏离，则预报降雨发生提前或延迟，雨量变大或变小，这对

一个城市（点）来说，预报降雨误差可能很大，甚至完全失败。但对一个水库（流域集水面积）来说，其误差相对要小得多，也就是说，预报降雨的可靠性要比一个点的大得多。况且，对水库来说，我们还可根据已出现的水文现象随时修订预报，调整预留的防洪库容，来补偿预报降雨的误差对水库调度的影响。由此可见，水库调度只有紧密地与气象预报相结合，才更富有生命力。

近几年来，我国在水文计算方面，已经有越来越多的人不赞成单纯地依靠概率统计，而是参考它并结合进行可能最大暴雨和特旱天气的分析。在水文预报工作中，也有越来越多的单位建立自己的气象预报业务，或与气象部门密切协作，及时了解天气变化，用于水文预报。这实质上就是把水文预报延伸到气象预报。从大气环流形势，天气系统分析到降雨预报，再作出径流预报。从而初步认识了水文预报和气象预报相结合的重要意义。

同时，还要看到，随着气象观测技术的日新月异，气象科学理论研究的不断发展，气象预报的准确率必将迅速提高，这是必然的发展趋势。所以殷切地期望我国水文预报工作者解放思想，勇于探索，大胆创新。一方面要努力改进水文观测、通讯手段，广泛应用新技术，学习国外先进经验，加强实验研究，探索新理论、新方法。另一方面要把水文预报与气象预报两门学科互相渗透更紧密地结合起来，把短、中、长期预报结合起来，发展水文气象边缘学科，这应当是我们今后努力的方向。

林一山

1979年北京

目 录

编者的话

序 言

第一章 绪论	1
第二章 河道相应水位(流量)预报	5
第一节 相应水位预报概述	5
第二节 相应水位(流量)法	7
第三节 合成流量法	19
第四节 受回水或潮汐影响河段的相应水位预报	21
第五节 问题讨论	25
第三章 河道流量演算法	29
第一节 流量演算法的基本原理	29
第二节 单一河段的流量演算法	35
第三节 分段连续流量演算法	50
第四节 问题讨论	70
第四章 降雨产流量预报	78
第一节 径流形成过程	78
第二节 降雨径流要素计算	84
第三节 蓄满产流法	95
第四节 下渗曲线法	112
第五节 降雨径流经验相关图	123
第五章 流域汇流预报	131
第一节 单位线法	132
第二节 瞬时单位线法	147
第三节 综合单位线法及综合瞬时单位线法	163
第四节 等流时线法	170
第五节 单元汇流计算方法	179
第六节 方法讨论	181
第六章 水库(湖泊)水文预报	186
第一节 建库后河道水力条件和水文特性的变化	186
第二节 水库(湖泊)水位、流量预报	188
第三节 水库施工期的水文预报	204
第四节 中小型水库预报	211
第七章 枯季径流和旱情预报	230
第一节 枯季径流预报	230
第二节 旱情预报	238

第八章 冰情预报	251
第一节 冰情概述	251
第二节 封冻预报	253
第三节 解冻预报	262
第四节 水库调蓄后冰情的变化和预报	274
第九章 电子计算机的应用与流域模型	284
第一节 电子计算机在洪水预报中的应用	284
第二节 电子计算机在流域模型中的应用	291
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)	304
附表 II 长办汇流曲线汇流系数表	309
附表 III $S(t)$ 曲线表	310
主要参考文献	335

第一章 绪 论

(一)

水文预报是应用水文学的一个重要组成部分，它是建立在充分掌握客观水文规律的基础上，预报未来水文现象的一门水文学科。在人类与水作斗争的长期实践中，水文预报为防汛抗旱、水利调度等方面发挥了重大作用。随着国民经济的发展和水利资源的开发利用，水文预报的应用更为广泛，其作用越加显著。因而也越来越受到人们的重视。

防汛斗争，正如作战一样，“知己知彼，百战不殆”。水文预报在防汛斗争中起着耳目和参谋的作用，特别是在遇到超标准的洪水时，根据洪水预报就可有计划地采取蓄洪、分洪等有效措施，使洪水灾害减到最低限度。在水利工程的管理运用中，根据水文预报，就能合理地进行水量调度，较好地处理防洪和兴利的矛盾，以便能取得很好的综合效益。在灌溉、航运、供水和水质管理等方面，要根据水文预报来进行合理安排，使水资源得到充分的利用。因此，水文预报是一项为生产服务所不可缺少的重要基本工作。

(二)

我国幅员辽阔，水利资源丰富。流域面积在1000公里²以上的大中河流有1500多条。平均年降雨量630毫米，平均年径流量26000多亿米³，水能蕴藏量5.8亿千瓦。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。东南沿海及岛屿平均年降雨量大于1600毫米，西北干旱区则小于200毫米；降雨量的年内分配也很不均，每年7、8、9三个月的降雨量约占年降雨量的50~70%；年际的变化也很大，丰水年与枯水年降雨量往往相差7、8倍以上。由于雨量不均，以致旱涝时有发生。为充分利用丰富的水利资源，防治水旱灾害，在我国对水文预报有着更为迫切的要求。

根据史载，从公元前两千多年起，我国劳动人民就开始了防治水害、兴修水利的斗争。中国的水文工作也随着水利事业的兴起而产生、发展起来。我国有史可考的水文观测工作是从公元前约250年（战国时代）开始的。在今四川省的岷江上修建了沿用至今的都江堰水利枢纽，在引水口处刻凿了3个石人，用来测量水位，并刻有说明：“乾毋及足，涨毋及肩，年中水量，以此为度”。这说明当时不但已经有了水位观测，而且已经建立起水位与引水量关系的概念。在《后汉书》（公元25年至220年期间的史书）里有“郡国上雨泽”的记载，说明当时我国已有降雨情况的测报。明代万历元年（公元1573年）开始建立报讯制度，在黄河设有驿站，每30里为一站。当发生洪水时，乘快马向下游传递水情，日夜不停。还观察到“凡黄水消长必有先兆，如水泡则方盛，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。这些都反映出我国很

早就有了一些水文情报预报方面的成功经验。但由于长期以来中国处在封建王朝统治下，特别是1840年鸦片战争以后，又受到帝国主义、殖民主义的侵略和掠夺，社会生产力发展很慢，水旱灾害频繁。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，我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年洪水淹了武汉，海河1939年洪水淹了天津。广大劳动人民在反动阶级的残酷压迫下，不可能开发江河水利资源，也无法抗御自然灾害，长期生活在水深火热之中，水利建设和水文事业更得不到发展。解放前夕水文工作的各个方面都处于落后和停顿状态，水情工作非常薄弱，报讯站寥寥无几，更谈不上水文预报。

解放以后，随着社会主义建设事业的飞跃发展，我国水文预报工作从无到有、由低到高、由点到面迅速开展起来。从中央到地方，各级防汛部门都开展了水文预报工作，而且全国有近一半的基层水文站发布当地河流或水库的水文预报，还有一些施工和工程管理单位也开展了水文预报工作。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、洪水痕迹以及厂矿、仓库等重要设施的高程进行查勘测量，绘成图表，在进行预报的同时，用来推知洪水对河流两岸和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。

在党中央和各级党委的领导下，依靠群众，兴修水利工程，加强管理防护，积极做好水文情报预报，使防洪斗争取得了伟大的胜利。三十年来黄河伏、秋大汛从未决口。长江1954年发生了比1931年更大的洪水，海河1963年发生了比1939年更大的洪水，都保证了武汉、天津等城市的安全，对农业的损失也比解放前大为减少。此外，根据抗旱斗争和水量调度的需要，特别是易旱地区，开展了枯季径流预报、旱情预报工作；根据水库调度运用的需要开展了水库调度预报；根据防凌的需要开展了冰情预报等。实践表明，水文预报确实发挥了很好的参谋和耳目作用。

（三）

我国水文预报技术在大量实践经验的基础上也有了很大的提高。1955年，水利部水文局编写出版了《洪水预报方法》一书，总结了新中国成立后短短几年中，特别是与1954年大洪水斗争中所积累的预报技术经验，理论与实践相结合，为推动我国水文预报工作的开展打下了良好技术基础。1958年、1964年和1977年召开了三次全国水文预报技术经验交流会议，出版了《水文预报技术经验交流文集》第一辑、《水文预报技术经验汇编》。有的地区、流域机构、高等院校也开展了多种形式的技术交流活动，编印了水文预报书籍、专题报告和技术文集，进一步推动和促进了水文预报技术的发展。

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点，分析影响上、下游水位（流量）关系的各种因素，在多沙河流上，还考虑了泥沙来量这个影响因素，编制出了各种不同条件下的相应水位（流量）的预报图。在作业预报中与现时校正法相配合，提高了实际预报的精度。

在河道流量演算中，从五十年代中期起就对受到广泛采用的马司京干法注意研究了它的适用条件和实际应用中的问题，并逐步加以改进。通过理论分析推求参数，并进而采用分段连续流量演算，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. 纳什瞬时单位线、I. II. 加里宁—II. II. 米留柯夫的汇流曲线和迟滞瞬时单位线等方法，用S-曲线转化为时段汇流系数进行流量演算，也都取得了比较满意的成果和新的发展。

在降雨产流量预报方面，结合我国的气候特征和自然地理条件，提出了适合我国湿润地区（或湿润季节）的蓄满产流法及其降雨径流关系的线型、计算模式以及一些具体问题的处理方法。

在流域汇流预报方面，中小河流一般仍多采用经验单位线，但我们在应用中始终抓住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，研究解决这些问题的方法，也已取得了较好的成效。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，在五十年代初期，淮河上游就建立了净雨强度与单位线要素的经验关系，在有些河流考虑不同暴雨中心位置对单位线的影响等等。对较大流域，通过多年的实践，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，用来考虑降雨不均匀性，然后分别进行汇流计算。这种流域模型可以解决经验方法中难以解决的降雨不均匀、调蓄不同、水源不同、大区间来水和人类活动影响等问题，并较好地处理非线性变化；它能使已有的经验成因化、逻辑化、定型化，并可以与电子计算机的应用相配合。

在水库水文预报方面，针对建库后库区的汇流条件发生了改变和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办法。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，并作出了几种形式的抗洪能力查算表，便于水库管理部门广泛使用。

另外，在冰情、枯季径流预报和旱情预报等方面，也都根据我国的特点和条件，作了一些新的尝试，获得了较好的效果。还有一些单位，把水文预报和天气气候分析、气象预报结合起来，并开展了中长期水文预报的研究工作。

（四）

我国水文预报技术虽然有很大发展，但与国民经济发展的需要很不适应，和国外先进水平相比，在某些方面还有较大差距。对特大洪水的预报、干旱地区的预报、缺乏水文资料地区的预报还研究得很不够。对水文基本理论缺乏深入探讨，实验研究工作比较薄弱。特别是电子计算机在水文预报中的应用方面还是一个十分薄弱的环节。

要进一步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，密切结合防汛抗旱斗争和国民经济发展的需要，从生产斗争和科学实验中不断总结经验，在普及基础上加以提高；认真学习外国先进技术，结合我国的具体情况，敢于创新；进一步搞好生产、科研、教学三者的结合，大力加强水文科学研究工作。

要注意抓好对已有的一些经验（如蓄满产流法和各种汇流计算方法）的适用条件进行

广泛的验证；对一些比较成熟的水文预报方法中的主要参数（如流域蒸散发能力、流域平均最大蓄水量、稳定入渗率、汇流参数等）进行分区、分类综合，研究其变化规律，不断提高预报精度。

要积极开展水文实验研究，分析产流、汇流的基本规律，摸清径流形成的物理机制过程。对径流实验的资料要加强分析研究，用以改进现有水文预报方法。要积极推广并发展降雨径流流域模型，各地区要结合本地的特点与经验，研究建立适合本地区情况的流域模型。

要大力推广电子计算机在水文预报中的应用，用电子计算机优选参数，编制精度高的预报方案和流域模型。有条件的地区要逐步使用电子计算机进行作业预报，也可预先用电子计算机编制快速查算图表。要迅速建立起一套水文预报的标准程序。

要根据生产需要，积极开展对台风风暴潮、枯季径流、冰情的预报。努力搞好水文气象的结合，加强中长期预报的研究工作。

要逐步实现水文情报、预报技术现代化，发展测报远传，引用雷达测雨资料，直接输入电子计算机，自动翻译进行数据处理，打印、显示情报资料和发布水文预报，并与水利工程自动调度运用相结合，逐步形成一套完整的自动化系统。

要进一步加强培养又红又专的水文预报技术队伍，及时总结经验，提高水文预报技术水平和理论水平。

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,波上任一位相的水位(相当于水位过程线上某一时刻的水位)自上断面传播到下断面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 相应水位预报概述

一、洪水波运动

雨水降落在流域内以后,河道里迅速汇集大量的径流,由于降水量与河网密度在空间上分布的不均匀性,致使河道中各处所汇集的水量不等,水量多的地区较之水量少的地区的水位高、流量大,这就形成了洪水波。

天然河道里洪水波是一种徐变不稳定流。当洪水波沿河道自上游向下游传进时,将不断变形,如图2-1所示。

兹阐明洪水波变形的原因如下:

洪水波上某一点的水面比降 i 与同水位的稳定流比降 i_0 之差,称附加比降 i_d ,即 $i_d = i - i_0$ 。显然,洪水波上各点的附加比降是不同的,且随洪水波的传播而变化:

在涨洪阶段 $i_d > 0$;

在稳定流时 $i_d = 0$;

在落洪阶段 $i_d < 0$ 。

洪水波变形表现有两种形态:即洪水波的展开和扭曲,如图2-1所示。在图中从 t_1 到 t_2 时刻,当洪水波的位置自 $A_1S_1C_1$ 转换到 $A_2S_2C_2$,由于洪水波波前(即 SC 部分,也称涨洪段)的附加比降大于洪水波波后(即 AS 部分,也称落洪段)的附加比降,所以波前的运动速度大于波后,使得洪水波在传进过程中,波长不断增大,而波高不断减小,亦即 $A_1C_1 < A_2C_2$, $h_1 > h_2$ 。这种现象称为洪水波的展开。

同时,由于洪水波上各点的水深不同,运动速度不等。如波前阶段,波峰附近的水深最大,其运动速度亦大,使得洪水波在传进过程中,波前的长度不断减小,附加比降不断增加;而波后的长度则不断增加,附加比降的绝对值不断减小,波前水量不断向波后转移。这种现象称为洪水波的扭曲。

洪水波变形的两种形态是在洪水波传进过程中同时发生的。而且是连续的,当洪水波流经河道断面时,引起水位涨落变化:波前阶段经过断面,造成水位不断上升,而波后阶

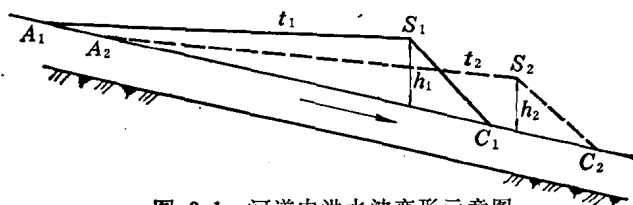


图 2-1 河道中洪水波变形示意图

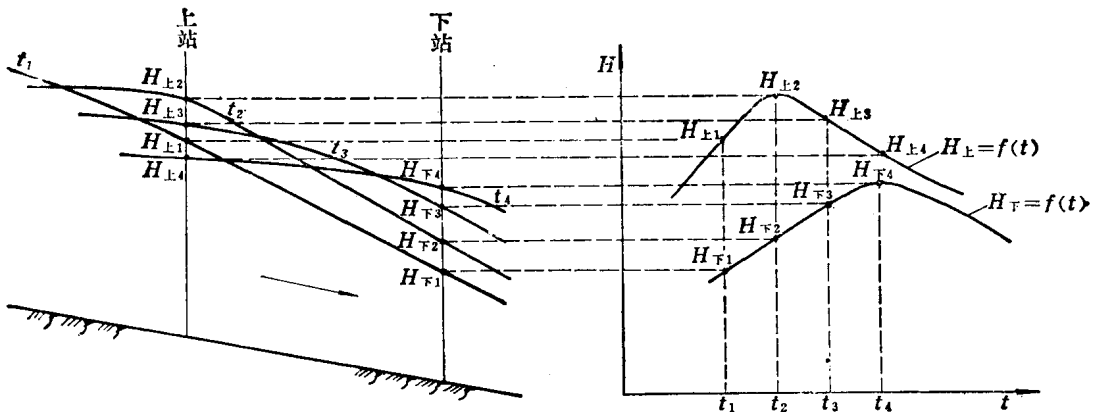


图 2-2 洪水波与上、下站水位过程线关系示意图

段流经断面时，使水位下降。图2-2表示洪水波与河段上、下站水位过程线之间的关系。

综上所述，天然河道里，当无外界因素影响时，洪水波变形的主要原因是存在着附加比降，同时，洪水波上任一点的展开量不仅取决于附加比降的绝对值，还和同水位下的稳定流比降有关。

河道与断面情况对洪水波变形也有显著影响。如洪水漫滩时，波峰的展开量增大，致使洪峰减低，洪水历时增长。如下游比上游断面狭窄时，受壅水作用，洪水波的波高就比上游增大。

此外，区间来水、河道冲淤变化以及回水顶托或分洪溃口等，对洪水波变形也都有影响。

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，就是用已知上站的水位（流量），预报一定时间（传播时间）后下站的水位（流量）。

在一定的河段上，河道与断面情况对洪水波的变形的影响，可看做定值。如果没有区间来水、河道冲淤变化以及回水顶托或分洪溃口等影响，相应水位预报是一种简单、可靠、又行之有效的方法。

河段相应水位的实质是相应流量。因为在水流运动中，当所有边界条件不变时，水位的变化总是由于流量的变化所引起的，所以要研究河道水位的变化规律，就应当研究河道中形成这个水位的流量变化规律。

设在某一不太长的河段中，上、下两站间距为 L ， t 时刻的上站流量为 $Q_{上t}$ ，经过传播时间 τ 后，下站的流量为 $Q_{下t+\tau}$ ，若无旁侧入流，两者的关系为：

$$Q_{下t+\tau} = Q_{上t} - \Delta Q_L \quad (2-1)$$

式中 ΔQ_L ——上、下站相应流量的差值，称为洪水波展开量（米³/秒）。它将随上、下站流量的大小和附加比降不同而异。

如在 τ 时间内，河段间的区间入流在下断面 $t+\tau$ 时刻形成的流量为 q ，则：

$$Q_{下t+\tau} = Q_{上t} - \Delta Q_L + q \quad (2-2)$$

上式是河道相应水位（流量）预报的基本依据。

当 q 较大而影响预报精度时，须用其他方法另行预报出 q 值（可参阅第四、五章）。

前已叙及，在无旁侧入流的棱柱形河道中，附加比降是洪水波在运动中发生变形的主要原因。对于固定河段而言，变形是随水深与附加比降不同而异。因为水深越大，断面流速分布不均匀程度加剧，而河槽宽度一般均随水深而增宽，故展开量增大，且使传播速度加快。此时，若附加比降较大，则展开量更大，传播速度更快。因此，式(2-1)、(2-2)中的 ΔQ_L 项是水位和附加比降的函数。同时，附加比降是水位（或水面比降）、涨率的函数。所以 $Q_{Ft+\tau}$ 和 τ 值依 Q_{Lt} 与水位等因素而定。

综上所述，相应水位（流量）预报，不必直接推求 ΔQ_L 值，而是推求河段上站的流量（或水位）与下站的流量（或水位）近似的函数关系：

$$Q_{Ft+\tau} = f(Q_{Lt}) \quad (2-3)$$

$$Q_{Ft+\tau} = f(Q_{Lt}, Q_{Ft}) \quad (2-4)$$

或 $H_{Ft+\tau} = f(H_{Lt}) \quad (2-5)$

$$H_{Ft+\tau} = f(H_{Lt}, H_{Ft}) \quad (2-6)$$

以上各式，就是相应水位（流量）关系的数学表达式。

当然，河段中的流量从上站至下站的传播，并不是简单的位移。因为过水断面的流速分布是不均匀的，随着断面各部分流速快慢不同，上站 t 时刻的流量，将在下站形成一个出流过程。因此，下站 $t+\tau$ 时刻的流量组成，实际上甚为复杂。上列函数关系式，只能是一种近似的概括。

第二节 相应水位（流量）法

在实际工作中，用相应水位（流量）法预报要解决两个问题：一是上、下站之间传播时间 τ 的预报；二是下站水位（流量）的预报。如前所述，洪水波的展开使水深减小，体现为传播流量在运动过程中不断减小，这主要反映在相应水位（流量）关系曲线上；洪水波的扭曲使水面比降改变，体现为传播速度的变化，这主要反映在传播时间关系曲线上。由此可见，相应水位法要解决的两个问题，是与整个洪水波的特性紧密联系的。

一、传播时间的预报

(一) 由洪水波波速推求传播时间

洪水波的运动速度（即波速），与断面平均流速有一定的关系。图2-3为流量~过水断面面积（ $Q \sim A$ ）关系曲线。根据塞当公式：

$$\omega = \frac{\partial Q}{\partial A}$$

式中 ω —— 波速（米/秒）。

从图2-3可知，关系曲线上 P 点的流量为 Q_P ，断面面积为 A_P 时，则： $\omega_P = \frac{\partial Q_P}{\partial A_P}$ 为 P 点切线的斜率，而 A_P 面积上的平均流速 $v_P = \frac{Q_P}{A_P}$ 为 P 点割线的斜率。因此 $\omega_P \neq v_P$ ，且由

图2-3可知, $\omega_p > v_p$ 。

现微分式 $Q = Av$, 得:

$$\frac{\partial Q}{\partial A} = v + A \frac{\partial v}{\partial A}$$

即:
$$\omega = v + A \frac{\partial v}{\partial A} \quad (2-7)$$

在一般情况下, 断面平均流速随水深加大而增大, 即 $\frac{\partial v}{\partial A}$ 与 A 都是正值, 故 $\omega > v$ 。若遇漫滩情况, 则 $\frac{\partial v}{\partial A}$ 为负值, $\omega < v$ 。

假设 $v = a H^{m_1} i^{\frac{1}{2}}$, $A = b H^{m_2}$, 则可以求得:

$$\omega = \left(1 + \frac{m_1}{m_2} \right) v = \lambda v \quad (2-8)$$

式中 λ ——断面形状系数。根据水力学分析, 矩形河槽的 λ 为 1.5; 抛物线形河槽为 1.33; 三角形河槽为 1.25。

故从实测水文资料中得到断面平均流速 \bar{v} 及已知上、下站的间距 L 后, 可按下式求得传播时间:

$$\tau = \frac{L}{\lambda \bar{v}} \quad (2-9)$$

但天然河道的断面形状与矩形、抛物线形、三角形都不尽相符, 且受其他因素影响, 所以波速与平均流速的比值变化很大, 这样按式 (2-9) 所求得的 τ 值不易准确。

(二) 水位与传播时间的关系

根据水力学公式:

$$v = C \sqrt{Ri}$$

式中 C ——谢才系数;

R ——水力半径;

i ——水面比降。

将上式代入式 (2-9) 得:

$$\tau = \frac{L}{\left(1 + \frac{m_1}{m_2} \right) C \sqrt{Ri}}$$

对于一定的河段, L 为常数, 指数 m_1 、 m_2 和系数 C 也可看做常数, 水力半径 R 是水位的函数, 所以 τ 是水位和水面比降 i 的函数:

$$\tau = f(H_{\text{上}t}, i) \quad (2-10)$$

对于式 (2-10) 常常采用下站同时水位 $H_{\text{下}t}$ 作参数, 以反映水面比降的影响, 即:

$$\tau = f(H_{\text{上}t}, H_{\text{下}t}) \quad (2-11)$$

或

$$\tau = f(H_{\text{上}t}, Q_{\text{下}t}) \quad (2-12)$$

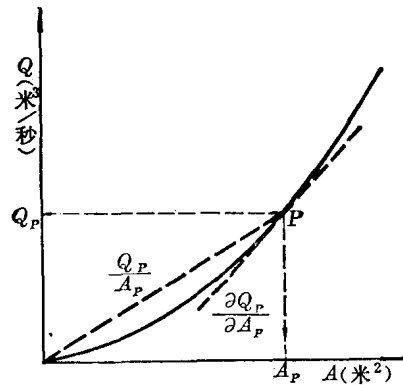


图 2-3 流量~过水断面面积关系曲线