

中等专业学校教材

# 水文预报

扬州水利学校主编

水利电力出版社



## 内 容 提 要

本书为水利电力类中等专业学校通用教材。内容主要介绍河流、水库短期洪水预报常用的相应水位、流量演算和降雨径流预报的基本原理和方法。对感潮河段的水位预报、北方地区的冰情预报以及中长期水文预报等内容仅作一般介绍。

本书除作为陆地水文专业《水文预报》课程的教材外，可供从事水利工程管理和水文预报工作的技术人员参考。

中等专业学校教材

水 文 预 报  
扬州水利学校主编

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

水利电力印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 14 $\frac{3}{4}$ 印张 333千字  
1979年11月第一版 1983年6月北京第二次印刷  
印数 6131—10970册 定价 1.55元  
书号 15143·3547

# 前 言

本书是根据1978~1981年水利电力类中等专业学校教材编审出版规划组织编写的。

本课程是专业课，在陆地水文学、水力学、水文测验、水文资料整编等专业基础和专业的课后开设。全书以讲解目前开展较普遍的短期洪水预报的基本原理和方法为主。对北方地区的冰情预报、感潮河段的水位预报以及中长期水文预报等内容仅作一般介绍。因目前对水文预报的评定尚未有统一规定，该内容列于附录以供参考。

通过本课程学习，要求学生掌握短期水文预报的基本原理，学会编制河流、水库常用的短期水文预报方案。为此，在讲授时应注意理论联系实际，加强作业实践，培养学生编制预报方案的基本技能和分析水文规律的能力。各校在使用本书时，应根据本地区的水文特性和教学要求，在内容上进行增删并选编习题集。书中以小字排印的部分可以不作为讲授内容。

全书由成都水力发电学校、湖南省水利学校、湖北省水利学校、黑龙江水利工程学校、扬州水利学校分工编写。参加编写的有李立长、严隽凤、曹贵才、陆季英、李慧珑同志。由李慧珑同志主编。

本书由湖南省水利学校严隽凤同志主审。参加审稿的有：湖南省水文总站、黄河水利委员会、长江流域规划办公室和成都科技大学等单位的同志，在此谨表示感谢。

希望各校师生和读者对本书的缺点和错误提出意见和批评，以便今后改进。

编 者

1979年6月

# 目 录

前言	
绪论	1
第一章 河道相应水位(流量)预报	4
第一节 基本依据	4
第二节 无支流河段的相应水位(流量)预报	9
第三节 有支流河段的相应水位(流量)预报	17
第二章 河道流量演算预报	23
第一节 基本依据	23
第二节 马斯京根法	30
第三节 河槽汇流曲线法	40
第三章 降雨径流量预报	61
第一节 基本依据	61
第二节 降雨径流经验相关图	67
第三节 下渗曲线法	79
第四节 蓄满产流模型的降雨径流关系	84
第四章 径流过程预报	97
第一节 基本依据	97
第二节 单位过程线法	104
第三节 概化径流过程线法	118
第四节 洪水要素简易预报	120
第五节 降雨径流流域模型	122
第五章 水库水位流量预报	126
第一节 基本依据	126
第二节 入库流量预报	128
第三节 水库调洪演算法	131
第四节 中小型水库预报	135
第五节 水库的控制运用	146
第六节 水库施工期预报	152
第六章 中长期水文预报	156
第一节 概述	156
第二节 单要素预报法	157
第三节 多要素综合预报法	172

第四节	旱涝分析和预报 .....	180
第七章	冰情预报 .....	185
第一节	基本依据 .....	185
第二节	河流冰情预报 .....	189
第八章	感潮河段水位预报 .....	202
第一节	概述 .....	202
第二节	港口潮汐预报简介 .....	203
第三节	感潮河段水位预报 .....	208
第四节	台风暴潮预报 .....	210
附录		
附录 I	水文预报方案的编制及评定 .....	214
附录 II	马斯京根法单位入流河槽汇流曲线表 .....	221
附录 III	普哇松分布表 .....	223
附录 IV	纳须瞬时单位线 $S(t)$ 曲线表 .....	224
附录 V	$F$ 分布表 .....	229

## 绪 论

水文预报就是对自然界未来水文现象的变化进行预报。它是一项为国民经济和国防等部门服务的工作，是防水患兴水利的水利建设事业中不可分割的一部分。它的具体作用体现在与水旱灾害作斗争和合理调度水利资源发挥水利工程效益等方面。

解放以来，我国不少江河都发生过历史罕见的特大洪水。例如，1954年长江干流汉口的最高水位，超过了1931年曾使武汉市受淹的洪水位1米多。当时，根据水情预报立即分洪和加高堤防，不但保卫了武汉市，也保障了荆江大堤以北数百万亩农田的生产和数百万人民生命财产的安全。据历史记载，解放前黄河决口15000多次，改道26次，其中大改道9次，给人民带来深重灾难。1933年黄河洪水泛滥波及冀、鲁、豫、皖、苏5个省的67个县，灾害极为严重。而1958年黄河干流花园口站的洪峰流量、洪水总量都超过了1933年，但由于防汛部门及时掌握和分析了水情，在抗洪中采取主动措施，广大群众日夜奋战，终于避免了决堤造成的损失。解放三十年来，黄河的堤防经受了多次大洪水的考验，没有发生决口。1963年海河流域出现了量大、面广、来势猛的洪水。仅大清、子牙、南运三大河系的洪水总量就超过了近几十年来的实测记录。由于及时利用洼淀分洪蓄水，开辟入海水道，从而保卫了津浦铁路和天津市的安全。1975年淮河流域上游发生特大洪水。位于洪河上游的薄山水库蓄水量超过设计标准，最高水位达到距大坝防浪墙顶仅0.4米处。由于密切注意水情发展和作出水情预报，在库区组织群众迁移的同时采取抗洪保坝措施，使大坝安全渡汛，发挥了水库的防洪作用，减轻了水库下游的灾害。类似事例在全国是很多的。

水文预报不仅在防洪斗争中是不可缺少的，对已建成水利工程的管理运用，也只有依靠水文情报和预报，才能保证防洪、发电、灌溉、航运等方面的需要，达到综合利用的要求。不了解当时的水情和未来的发展，作出不合理甚至错误的调度，就会造成严重的后果。如果汛前盲目多蓄，一旦大洪水到来将使水库安全受到威胁；汛期弃水过多，又可能造成水电站非汛期供电不足或灌溉缺水等影响。在干旱季节，河流、水库的水位、水量预报对航运、灌溉、发电等部门尤其重要。水利工程施工一般要在水中修筑围堰进行。大型工程的施工期往往要跨年度，为了在洪水季节仍能安全施工和选择合适的截流日期，在施工期开展水文预报也是十分必要的。因此，在防汛抗旱斗争和水利水电建设中，水文情报和预报工作起着耳目和参谋作用。

我国早在明代就有用快马向下游传递水情，并根据水情预报水势涨落的方法。但是，直至解放前，因为社会制度的限制，水文事业得不到发展，更没有水文预报工作。新中国成立不久，为了保证工农业生产迅速发展，保障人民生命财产安全，与水旱灾害作斗争便成了一项十分迫切的任务。虽然当时只有数量很少而且很不完整的水文资料，对我国水文规律的分析研究还未开展，党和政府仍迅速建立了中央、各大流域和省（市、自治区）的防汛指挥机构，在全国开始布设水情站网，确定水情拍报的制度和办法，开展报讯工作。及时掌握全国主要河流的雨情和水情，为进行水情预报工作提供依据。

自1952年起，我国在长江、黄河、淮河等主要河流的部分河段试作了洪水预报，1954年正式发布。1951年，为抗美援朝军事运输需要，在我国东北地区开展过河道的封冻、开河和冰厚预报。1953年，黄河及北方一些河流正式开展凌汛的报讯工作，不久也发布冰情预报。1955年在永定河官厅水库等地区开展了枯季水情预报。1958年以前，我国水文预报的内容主要是大江大河的短期洪水预报。1958年以来，随着全国群众性水利运动的兴起，开展了缺乏资料地区中、小河流的洪、枯水预报，山丘地区的山洪预报，平原水网地区的水位、地下水位及土壤含水量预报，沿海感潮河段的潮位及台风暴潮预报，多沙河流的沙量预报等都积极进行了研究；同时还进行了水文现象统计规律的分析及天气、气象、地球物理要素与水文现象关系的探索，开辟了中长期水文预报的途径。

由于水利事业和国民经济各部门的发展，对水文预报的要求不断增加，同时，也促进了水文预报技术的普及。现在，我国不仅中央和省（市、自治区）的水利部门承担了重要河流、水库的水文预报任务，遍及全国的水文测站也有不少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，还深入调查本地区历史上旱涝灾害的范围和灾情，编制了水文预报手册；有的测量了堤段、村庄、厂矿、仓库等重要设施的高程，绘制成各种示意图表，以便根据定点的水情预报迅速估计出洪水可能淹没的范围。这些测站把水情服务工作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，也得到当地的重视和好评。为了促进工农业生产，把我国建成为社会主义现代化强国，今后在水利、水电建设等方面还有艰巨的任务，对水文预报工作也必将提出更多更高的要求。

生产发展促进了科学事业的发展。我国的水文预报工作就是在与自然灾害作斗争和发展生产的迫切需要中，从无到有、从小到大发展起来的。我国的水文工作者从一开始就注意学习国外的经验，并结合我国的具体情况加以研究和运用。经过多年实践，对一些常用的方法，例如相应水位法、流量演算法、单位过程线法等，都从物理成因方面作了较深入的探讨并提出适合我国水文特性的改进。在对我国湿润地区产流、汇流规律分析的基础上，提出了湿润地区的降雨径流流域模型；针对我国各地大量中小型水库管理运用的要求，提出了一整套水库调洪演算和简易预报方法；沿海地区的台风暴潮预报也正在开展。为了使水文预报做到准确及时和增长预见期，在防汛抗旱及水库调度等方面发挥更大作用，水文测报技术必须实现现代化。目前，应用电子计算机编制预报方案的技术正在逐步推广。在水文测报远传、应用电子计算机翻译水情电报和编制水情报表方面也取得了一定成果。为在我国的重点河流、水库实现测报调度联机自动化操作创造了条件。

我国幅员辽阔，南北纬度相差达35°之多，气候条件差别极大。东北、内蒙等北方河流冰冻几达半年，闽南、两广则可以多年不见冰雪。我国大部分地区的降雨是随太平洋的东南季风而来。因此，东南多雨，西北干旱，雨季大多集中在夏秋两季。又因各地多山，地形对水文规律影响很大。因为气候、地形等条件的差异，我国的水文特点有显著的地域差别，水文预报应做到洪、涝、旱、冰、潮等各方面兼顾才能满足实际需要。广义来说，水文预报应包括对各种水体的一切水文现象变化规律的预报。也就是不仅要河流、水库作预报，也要对湖泊、沼泽、地下水等作预报；不仅要预报水情，也要预报冰情、旱情、沙情、水质等；不仅要预报雨洪径流，也要预报融雪径流；不仅要有短期预报，还要作出中长期预报。目前，国内在雨洪径流的短期预报方面开展得最广泛和具有普遍意义。其它项



目的是局部地区水文规律所要求的，有的还没有较成熟的方法和经验，有的还未开展。因此，本课程从目前生产实际出发，以短期雨洪径流预报为重点内容，其它如中长期预报、冰情预报以及感潮河段水位预报等内容，只作一般介绍。

水文预报科学是整个水文科学的一个组成部分，它是建立在对各种水文现象的物理成因分析基础上的。因此，它广泛地应用到本专业的各种基础理论知识，例如数学、水力学、气象学、天气学、陆地水文学等等。开展水文预报工作又必须依赖测量、水文调查、水文测验、水文资料整编等工作提供科学的依据资料。学习水文预报就是要学会编制水文预报方案和运用方案作预报。为此，不仅要掌握本课程的基本理论和方法，也要学会对本专业各课程知识的综合运用，培养分析问题的能力。

客观的水文规律是许多因素错综复杂的组合结果。现有的各种水文预报方法，在揭露客观规律解决实际问题方面远远不能满足需要，有的还停留在十分粗糙的经验统计阶段。实践证明，任何一种水文预报方法，都是从研究水文现象的变化与其它因素的关系中得到启发而发展起来的。人们在生产实践中获得感性认识后，经过科学的探讨和综合的分析，找出水文要素内在的和相互间联系的规律，认识由感性阶段上升至理性阶段，从而编出合理的预报方案。这些方案在实际应用中经过多次检验，又会出现一些预报与实际不相符合的情况，促使人们继续去剖析和改进原有的方案。各种预报方案就是经过实践与认识的多次反复才逐步完善起来的。整个水文预报科学也是人们在实践中对水文规律本质的认识步步深入发展起来的。因此，学习的过程应该是在接受前人经验基础上继续实践认识的过程。学习水文预报不能满足于仅学会几个具体方法，牢记一些工作步骤，把它们看成是一成不变的东西，而应该善于思考，勇于实践。要学会从各种复杂的水文现象中归纳出共同的规律，然后用这些规律去解决实际问题。在解决实际问题时，继续发现新的矛盾和新的问题。只有通过不断地发现矛盾解决问题的探索，才能使自己对客观水文规律的认识逐步深化，有所创造，有所前进。

# 第一章 河道相应水位（流量）预报

相应水位法是河道洪水预报中应用最早的方法。当洪水流经河道时，沿河自上而下出现水位（流量）的涨落变化。在该河道的任一个断面都能测到洪水过程。同一次洪水，河道上、下游站的洪水过程一般是相应的，上游过程的各种特征点（如起涨、洪峰、波谷等）在下游都会相应出现，而且在下游的出现时间迟于上游。利用这个特点，掌握洪水在河道中运动的规律，就可以根据上游已出现的水位（流量）预报下游未来的水位（流量）。这类方法使用比较简便，有明确的预见期，一般能直接报出水位，为防汛抗旱提供简明的数据。因此，目前我国使用仍较普遍。

## 第一节 基本依据

### 一、洪水波的传进和变形

降雨后，流域内产生的径流向河网汇集。流域上的降雨和产流通常是不均匀的，河网各处注入的水量也不相同。在径流大量集中的河段，河槽水量迅速增加，成为洪水波的发源地。增加的水量沿河向下游传播，称为洪水波运动。

河道的洪水波如图1-1。 $t_1$ 时刻的洪水波为  $A_1 B_1 C_1$ 。其中  $B_1$  点水深最大，称为波峰； $B_1 C_1$  段称波前； $A_1 B_1$  段称波后； $h_1$  是波高。

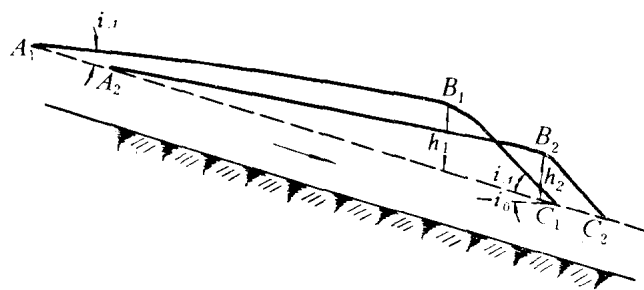


图 1 1 洪水波的传进与变形

洪水波流经测站断面时，首先通过断面的是波前部分，此时断面水位不断上升，至波峰到达断面出现洪峰水位时为止；接着是波后部分通过，水位逐渐下降，形成了测站断面的洪水过程。由图1-2可见，波前部分相当于过程线的涨洪段，波后部分相当于过程线的落洪段。洪水过程线大体反映了洪水波的形状。

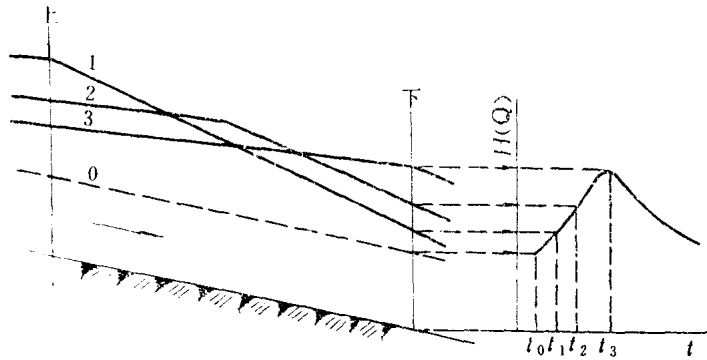


图 1-2 洪水波与断面水位(流量)过程线关系  
0、1、2、3— $t_0$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 时刻的洪水波

将同一次洪水的上、下游站水位或流量过程线进行对照，可以看出，两个过程是相应而不相同的。例如，图1-3是渠江两个测站同一次洪水的水位过程线。该次洪水来自上游，两站区间基本无雨，区间入流量可忽略不计。两个过程的起涨、洪峰、消退等阶段都是上游先出现的。不仅如此，上游苟渡口站的总涨差(洪峰水位242.38米减起涨水位233.45米)是8.93米，下游罗渡溪站是8.01米(211.06 - 203.05米)，波高降低了0.92米；上游站从起涨至洪峰出现是29.5小时，下游站是22小时，涨洪历时即波前部分缩短了7.5小时；上游过程中的小起伏到下游都修匀了。从两站过程线的变化说明，洪水波在传进中发生了变形。下面分析造成变形的原因。

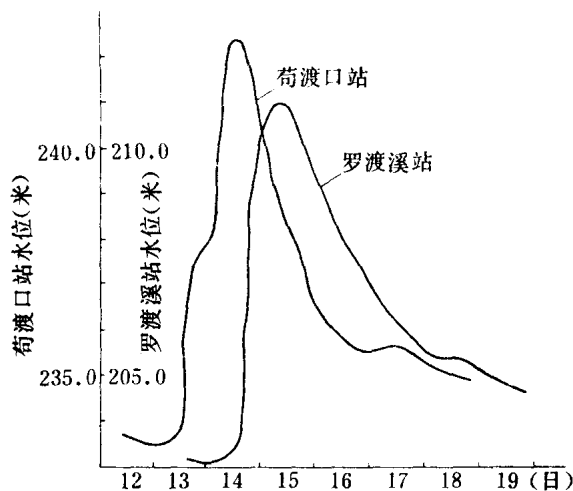


图 1-3 渠江1964年7月洪水过程线

首先，从洪水波运动的规律进行分析。洪水波属于不稳定流。水流的水力要素(过水断面 $\omega$ 、水深 $h$ 、比降 $i$ 、流速 $v$ 等)不仅沿程且随时间而变化。天然河道的不稳定流一般都属于缓变不稳定流，即波的纵断面外形曲度很小，波长远远超过波高，水力要素的变化是缓慢的。如把洪水波看成是无数个洪水断面所组成，这些断面的水力要素，不仅有差

别且随时间而变化。洪水波在运动过程中，水流能量变化的结果可以从其水面比降反映出来(详见第二章)。这个比降与同水位下的稳定流比降  $i_0$  不同，它们的差值  $i - i_0 = i_d$  称为附加比降。波前部分各点的水面比降比稳定流比降大， $i_d$  是正值；波后部分水面比降小于稳定流比降， $i_d$  是负值，如图1-1所示。

图1-1是棱柱形河道无区间入流的洪水波变形示意图。当洪水波向下游传进时，由于整个波前部分的比降大于波后部分，波前部分的传进速度也大于波后部分，洪水波就逐渐拉长，即  $A_2 C_2 > A_1 C_1$ 。但洪水波在传进过程中的体积(水量)不变，波高就逐渐减低，即  $h_2 < h_1$ 。洪水波的波长拉长、波高减低，整个洪水波的波形就展开了。同时，波峰  $B_1$  点的水深最大，其传进速度也大于波前其它点的速度。由于波峰在传进时不断超前，波前部分的长度逐渐减小，波后部分的长度逐渐增加，整个洪水波的波形就扭曲了。展开(或称展平)和扭曲是洪水波变形的两种现象，它们是同时发生的。从水量来看，洪水波形状的变化是波前的一部分水量转移到波后。换句话说，洪水波在沿河传进时，波前有一部分水量滞蓄于河槽，以后随波后一起泄出。这个现象也可以看成是河槽对洪水波起了调节作用，使洪水波在传进过程中发生变形。

其次，河段区间的入流也是造成洪水波变形的重要原因。区间水量加入使洪水波的水量增加。洪水波变形的规律还随入流量大小及干、支流洪水的相遇情况而变。若干流上、下游测站间有较大支流汇入，当降雨集中在河段区间集水面积上时，支流来水较快，常使下游站洪峰出现早于上游站，上、下游站洪水过程线不相应，如图1-4。干、支流洪水波相遇造成的相互顶托、倒灌，不仅改变了洪水波的变形规律，也改变了洪水波的传播速度。

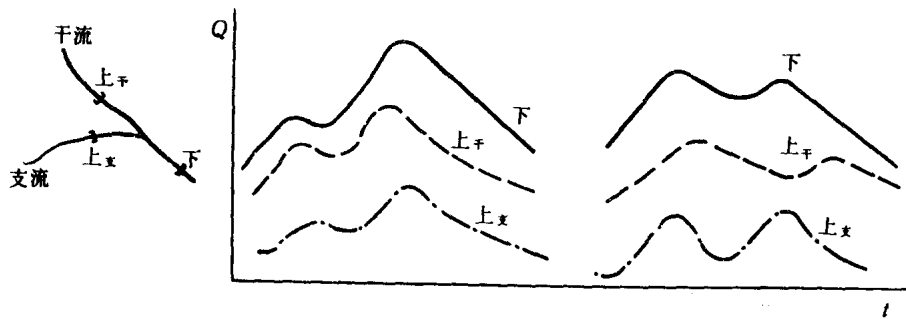


图 1-4 区间入流对洪水过程的影响

此外，河道和断面的情况对洪水波变形也有显著影响。有较大滩地的河段，洪水漫滩后，洪水波展开量增大，洪峰明显降低。如果有部分水量填充河滩洼地不再返回河槽，下泄的洪水总量就减少了。有的河岸地下水位低、土壤吸水性大，涨水时，部分水量渗入河岸，退水时再回归河槽。这种河岸的调节作用，使洪水波展开更为明显。河道的下游段河床一般比较开阔，断面宽浅，洪水波总是愈向下游愈展平。如果下游河段有天然峡谷或人工束水措施，也可能出现反常现象。例如，长江的清溪场至万县河段，因为万县处于长江三峡上游，洪水波在此处受到约束，所以同一次洪水在万县站的波高往往高于清溪场站的波高。

综上所述,洪水波在传进中变形,既有内因也有外因。内因是洪水波各点的比降与水深不仅有差别,且在传进过程中随时间不断发生变化;外因是区间入流和河道特性的影响。

## 二、相应水位(流量)法的依据

在预报工作中,并不需要预报整个洪水波的变形,而仅是根据上游站某时刻已出现的水位(流量),推求下游站未来某时刻的水位(流量)。洪水波上某一点(例如起涨、洪峰、波谷等)先后经过上、下游断面时读得的水位,即在洪水波上是同位相的水位,称为相应水位。如果没有回水顶托、断面冲淤变化等情况,水位与流量的变化是相应的。形成上、下游相应水位的流量,称为相应流量或传播流量。水位变化是现象,流量变化是实质。因此,研究上、下游站相应水位的变化,应该从研究相应流量在上、下游站间传播的量变着手。严格地说,某一瞬时经过上断面的流量,由于断面流速分布不均匀,不同流速的流束传进速度不一,这个流量就散开成为一个流量过程出现在下断面。关于这个问题,在第二章还将详细介绍。在这一章里,仅研究洪水波在传进中同位相流量的变化。因此,造成洪水波变形的内因和外因,在这里就成为造成相应流量变化的原因。

上、下游站相应流量的定量关系式为

$$Q_{T,t+\tau} = Q_{L,t} \pm \Delta Q + q_{\text{区}} \quad (1-1)$$

式中  $Q_{T,t+\tau}$ ——下断面  $t + \tau$  时刻的相应流量;

$Q_{L,t}$ ——上断面  $t$  时刻的流量;

$\pm \Delta Q$ ——流量在传进过程中的变化量。涨水阶段因部分水量滞蓄河槽中,  $\Delta Q$  为负;退水阶段河槽蓄水量泄出,  $\Delta Q$  为正;

$\tau$ ——流量从上断面传进到下断面所需的时间;

$q_{\text{区}}$ ——加入  $Q_{T,t+\tau}$  的区间入流量。

若已知上断面流量  $Q_{L,t}$ ,且能求得  $\Delta Q$  和  $q_{\text{区}}$ ,代入(1-1)式就不难预报出  $Q_{T,t+\tau}$  了。但是,  $\Delta Q$  目前还不能定量求得。如没有控制区间来水的支流测站,  $q_{\text{区}}$  也不容易准确得到。因此,(1-1)式不能直接应用。实用时,只能根据这些因素之间的关系,用实测资料建立经验相关图。当洪水波变形不大、区间入流也不大时,可建立最简单的上、下游相应流量关系  $Q_{T,t+\tau} = f(Q_{L,t})$ 。否则,应再加入反映洪水波变形程度或区间来量大小的参数,如水面比降、下游水位、支流水位、区间雨量等等,建立多变数相关图。

(1-1)式以及上述各种经验相关图中,都没有直接反映河道特性的因素。这是因为除了经常有冲淤变化的河道外,一般河道在一个时期内形态变化是很小的。相应水位(流量)预报方案是用实测资料建立的,河道的特性在资料中已有反映,制作方案时可以不作为一个影响因素加以考虑。当河道特性有了改变,例如,对河道进行了疏浚、裁弯取直、建堤等治理,或修建了拦河闸、坝等水利工程;发生分洪、决口改变了洪水传进的途径等,原有资料已不能反映这些变化,才需要修正原有方案或重新编制方案。

建立以(1-1)式为基础的上、下游相应水位关系时,除了考虑反映  $\Delta Q$  和  $q_{\text{区}}$  的因素外,还要解决两个问题:一是传播时间  $\tau$  如何确定;二是如何将流量关系转化为水位关系。下面分别叙述。

$\tau$  是相应水位(流量)预报方案的预见期,它决定于洪水传播速度  $\omega$  和河段长  $L$ 。 $\omega$  是洪水波任一位相点的波速,它不同于实测某一瞬时流量所得的断面平均流速  $v$ 。

因为

$$w = \frac{\partial Q^*}{\partial \omega}$$

由  $Q = v\omega$  微分得  $\frac{\partial Q}{\partial \omega} = v + \omega \frac{\partial v}{\partial \omega}$ , 即  $w = v + \omega \frac{\partial v}{\partial \omega}$

令  $v = C h^m i^{1/2}$ 、 $\omega = b h^n$ , 代入上式得

$$w = \left(1 + \frac{m}{n}\right)v \quad (1-2)$$

式中  $m$ 、 $n$ ——与断面形态有关的系数。

(1-2) 式说明波速与断面平均流速的关系与河槽断面形态有关。因为  $m$ 、 $n$  是正值, 所以  $w > v$ 。对于矩形河槽  $w = 1.5v$ , 抛物线形河槽  $w = 1.33v$ , 三角形河槽  $w = 1.25v$ 。天然河道的河槽形状不规则,  $m$ 、 $n$  不易准确定出, 用 (1-2) 式确定波速  $w$  有困难。实际工作中, 常以上、下游站相应洪水过程线的特征点(峰、谷、涨落水阶段涨落率的转折点等)的时距, 作为相应流量的传播时间  $\tau$ , 见图 1-5。

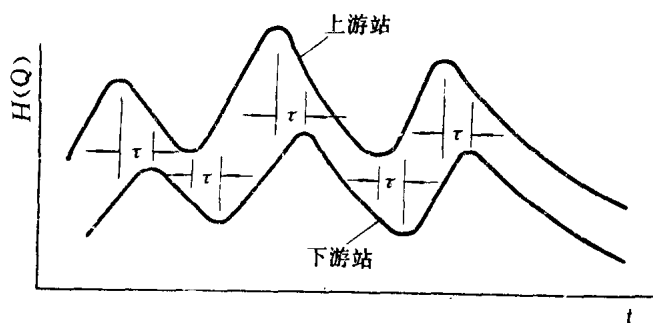


图 1-5 传播时间  $\tau$

由 (1-2) 式可知, 波速  $w$  是随断面形态以及水深、比降等水力因素而变的。所以, 对某一已知河段, 传播时间  $\tau$  也是随水力因素变化的。和相应水位 (流量) 一样, 可以用建立经验相关图的方法来求得  $\tau$ 。最简单的关系是上游站流量与传播时间  $\tau$  的关系  $\tau = f(Q_{L,t})$ 。图中还可以加入反映水面比降的因素作为参数。

应用上、下游站相应流量关系得到的是流量预报值。为了得到水位预报值, 可以直接建立上、下游站相应水位关系如  $H_{r,t,t} = f(H_{L,t})$  等。这种方法使用方便, 但由于水位流量关系曲线的影响, 相关点据往往比较散乱。

一个测站洪水期水位流量关系的坡度变化, 不仅受断面形状的影响, 也与洪水波的波形有关。洪水期的水面比降, 比稳定流水面比降多了一项附加比降。因此, 在同水位下,

洪水期流量  $Q$  与稳定流流量  $Q_0$  之比为  $\frac{Q}{Q_0} = \sqrt{\frac{i}{i_0}} = \sqrt{\frac{i_0 \pm i_1}{i_0}} = \sqrt{1 \pm \frac{i_1}{i_0}} \approx 1 \pm \frac{1}{2} \frac{i_1}{i_0}$ , 所

以

\* 见陆地水文学。

$$Q = Q_0 \pm \frac{i_J}{2i_0} Q_0 \quad (1-3)$$

式中  $\frac{i_J}{2i_0} Q_0$  项就是洪水期流量偏离稳定流流量的值。涨水为正值，落水为负值。于是，洪水期水位流量关系就出现绳套曲线。河道上游的稳定流比降  $i_0$  一般较大， $i_J/i_0$  值较小，水位流量关系的绳套也小，甚至不出现绳套曲线；河道中下游则因  $i_0$  一般较小， $i_J/i_0$  值相对较大，水位流量关系的绳套也大。同一测站，各次洪水因波形不同即附加比降  $i_J$  大小不同，绳套的大小也是变化的。所以，即使河道断面稳定，没有冲淤等变化，洪水期的水位流量关系一般还是不稳定的。

若无区间入流且不计流量变化量，由 (1-1) 式得  $Q_{F,t+T} = Q_{L,t}$ ，也就是上、下游相应流量关系是一条坡度为 1 的直线。相应水位关系则可能有几种情况：(1) 当上、下游测站的断面形状一致，水位流量关系都是单值关系且坡度一致， $H_{F,t+T}$  与  $H_{L,t}$  成直线关系；(2) 当上、下游测站的断面形状不一，水位流量都是单值关系但坡度不一， $H_{F,t+T}$  与  $H_{L,t}$  成曲线关系；(3) 当上、下游站的水位流量关系不稳定，绳套大小也不一，虽然相应流量不变，同一上游水位，相应的下游水位可能有几个不同的数值，相关图中点据就散乱。遇到这种情况，以点绘上、下游站相应流量关系为好。如需要预报水位，可先由相应流量关系得到预报流量，再从预报站的水位流量关系曲线查得预报水位。

## 第二节 无支流河段的相应水位（流量）预报

无大支流汇入或区间来水量与上游来水量相比较小的河段，一般都按无支流河段处理。

### 一、上、下游相应洪峰水位（流量）关系

这种方法适用于区间入流小、附加比降变化不大，且河道断面稳定的河段。制作预报方案就是建立  $Q_{L,t}$  与  $Q_{F,t+T}$  或直接建立  $H_{L,t}$  与  $H_{F,t+T}$  的两变数相关图。

#### (一) 制作相关图的步骤

##### 1. 摘录资料

根据水文年鉴绘制预报河段上、下游站对应的洪水过程线。摘录相应的洪峰水位（流量）及其出现时间。表 1-1 是大渡河某段由 1960~1974 年 67 次洪水摘得的资料和计算的洪峰传播时间。

##### 2. 点绘相关图

按表 1-1 统计的资料，点绘相应洪峰水位及传播时间相关图，如图 1-6。该图即相应洪峰水位预报方案。

上例仅摘录了洪峰水位，所建相关图用于洪峰水位预报。在洪水波变形不大的情况下，这种相关图也可用于根据上游站不同时刻水位预报下游站水位过程。为了适应过程预报要求，有时可增加上、下游洪水过程各阶段相应特征点。或者将洪水波变形看成是均匀的，一次洪水过程按涨洪段和落洪段的水位总变幅分别等分，以上、下游过程线上相应的等分点水位作为同位相的相应水位，如图 1-7 和表 1-2。用表 1-2 的数据建图，相关图中就有了

代表过程各阶段的点据。

表 1-1 大渡河某段上、下游站相应洪峰水位及传播时间摘录表

上游站洪峰		下游站洪峰		传播 时间 (小时)	上游站洪峰		下游站洪峰		传播 时间 (小时)
水 位 (米)	日 时	水 位 (米)	日 时		水 位 (米)	日 时	水 位 (米)	日 时	
2280.96	24 20	1309.75	25 5	9	2283.00	2 12	1310.93	2 17:30	5.5
2283.21	24 5	1311.05	24 11	6	2280.97	17 11	1309.94	17 18	7
2277.93	7 8	1307.88	7 21	13	2283.09	30 22	1311.26	1 3	5
2278.16	23 2	1308.04	23 14	12	2281.54	26 10	1310.09	26 17:30	7.5
2280.41	27 2	1309.44	27 10	8	2280.99	8 6	1309.74	8 13:30	7.5
2280.59	16 11	1309.39	16 18	7	2282.00	15 8	1310.44	15 14	6
2281.93	24 11	1310.30	24 17	6	2281.59	23 12	1310.12	23 18	6
2279.68	4 11	1309.05	4 18	7	2278.21	1 10	1308.02	1 21	11

注 表中仅列部分数据。

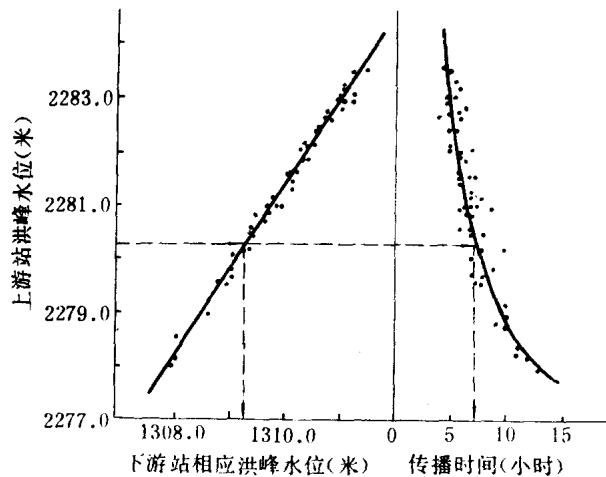


图 1 6 大渡河某站相应洪峰水位预报图

建图时，除根据点群的分布趋势通过点群重心定相关线外，对偏离一般规律的较为突出的点据要分析其原因。除了绘错或资料有误外，点据偏离一般是由于该次洪水区间来水量较大，或洪水波的波形较陡即附加比降较大，该次洪水波变形不同于一般所造成；也可能是有分洪、决口、断面冲淤或回水顶托等情况发生。当点群散乱但能明显分出涨、落不同阶段点据的分布时，可分别涨、落水定相关线，以便分别查用。客观的分析有助于对具体河段洪水波传进规律的认识，减少定线的盲目性，明确方案的适用范围。



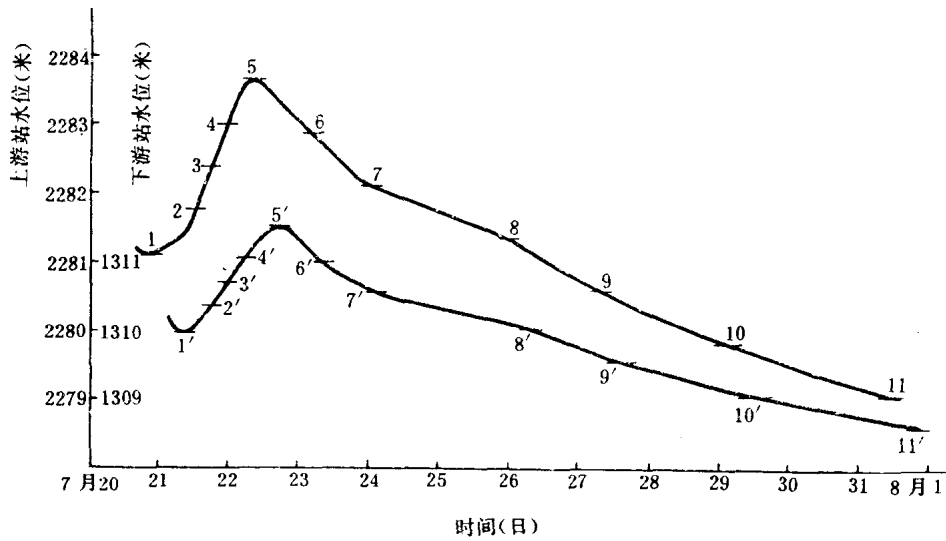


图 1-7 上、下游站相应水位

表 1-2 某河段上、下游站相应水位及传播时间摘录表

等分 序号	上游站		下游站		传播 时间 (小时)
	水位 (米)	日 时	水位 (米)	日 时	
1	2281.08	20 23	1309.96	21 8	6
2	2281.71	21 13	1310.33	21 18	5
3	2282.34	21 18:30	1310.70	22 0	5.5
4	2282.97	22 0	1311.07	22 6	6
5	2283.60	22 9	1311.45	22 16	7
6	2282.85	23 3:30	1310.98	23 8	4.5
7	2282.16	23 23	1310.50	24 4	5
8	2281.36	25 23	1310.03	26 5	6
9	2280.60	27 6	1309.52	27 12	6
10	2279.85	29 0	1309.04	29 10	10
11	2279.10	31 12	1308.62	31 20	8

### 3. 相关图的合理性检查与误差评定

相关线初步确定后，对它的趋向、坡度变化等，应结合相关因素间的物理成因和河段的具体情况，进行合理性分析。避免有时因少数有误差的点据使相关关系出现不合理现象。图1-6是一种最简单的相关关系，下游洪峰水位随上游洪峰水位增高而增高。若两站的水位流量关系都稳定，断面形状也相似，相关关系基本上是线性的。当关系线的坡度在某级水位处出现了变化，可从两站断面形状的差别中分析。图1-8表示上、下游站断面形状不一致，下游河段有漫滩。当上游来水量不变，但漫滩后下水水位增值较漫滩前增值小，相应水位关系的坡度就出现了变化。因为传播速度是随着水深增加而增大的，所以图1-6的传播时间随水位增高而逐渐缩短是合理的。如果河段有滩地，洪水出槽漫滩后，因传播速度减小，传播时间曲线的上部就可能出现向右弯曲的趋势。

相关图建成后，作为一个实用的预报方案，为了对其质量的优劣、可能出现的最大误差等有所了解，应进行客观的评定。目前，国内对水文预报的误差标准和评定办法还没有