

函授大学教材



施工水文学

武汉水利电力大学 肖琳 主编



PDG

前 言

本书是根据1986年水利电力部普通高等学校函授教学工作会议制订的高等学校函授教材编写规划以及《施工水文学》函授教学大纲的要求编写的,是高等学校水利水电工程施工专业《施工水文学》函授教材,也可供普通高等学校全日制本、专科教学用书,还可作为夜大、职大、岗位培训的教材和在职人员的自学用书。

本书出版前曾以讲义的形式在一些高等院校使用多年。根据使用情况,编者进行了多次修改,力图使内容更加充实、更加精炼。

全书共十章,内容包括水文测验、河川径流形成的基本知识、水文统计的基本知识与方法、设计洪水计算、施工调洪计算、年径流分析计算、施工水文预报等工程水文的基本原理与方法,并突出了水利水电工程施工阶段导截流设计中的水文计算与导截流期间的水情预报。为了适应成人教育的需要,本教材力求通俗易懂,深入浅出,每章附有学习指导、小结、复习及思考题、习题、简单的答案以及阶段测验作业,以帮助学生在自学过程中更好地掌握所学内容。习题的答案中有些是通过绘图或查图得到的,仅作参考。

本教材由肖琳教授主编,李记泽副教授参编。除李记泽编写第四、十章外,其余各章由肖琳编写。

本教材由陕西机械学院沈晋教授主审。在审稿过程中,主审人对本书提出了很多宝贵意见,使教材的终稿得以更加完善,编者谨在此深表感谢。另外,在本教材的试用和终稿的撰写过程中,海河水利委员会冯焱总工、长办施工处丁枢彬总工、胶沪光高工、武汉水利电力大学肖焕雄教授、叶守泽教授、袁作新教授也提出了不少有益的意见,编者在此一并致谢。本书有些材料引用了有关院校和生产单位编写的教材及技术资料等,编者在此也一并致谢。

由于有关施工水文学教材属首次出版,有些观点、概念和方法还处于探讨、完善之中,加上编者水平所限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1990年7月于武汉

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 施工水文学的研究内容	1
第二节 施工水文学的作用	2
第三节 水文现象的基本特点和研究方法	2
第二章 水文测验及水文资料的收集	4
第一节 水文测站及水文站网	4
第二节 水位观测	5
第三节 流量测验与计算	6
第四节 流量资料整编	11
第五节 水文调查	15
第六节 气象资料	16
第七节 水文资料的收集	20
第三章 河川径流形成的基本知识	23
第一节 自然界的水分循环	23
第二节 流域与河系	23
第三节 降水、蒸发、下渗	26
第四节 河川径流的形成过程	30
第五节 流域水量平衡	34
第四章 水文统计的基本知识与方法	38
第一节 概述	38
第二节 概率的基本概念	39
第三节 随机变量的概率分布及其统计参数	40
第四节 经验频率曲线与理论频率曲线	48
第五节 现行水文频率计算方法——配线法	51
第六节 相关分析	57
第五章 由流量资料推求设计洪水	69
第一节 概述	69
第二节 设计洪峰流量的推求	73
第三节 设计洪水总量的推求	80
第四节 设计洪水过程线的推求	82
第六章 由暴雨资料推求设计洪水	90
第一节 概述	90
第二节 流域产流的分析计算	91

第三节 流域汇流的分析计算	100
第四节 由设计暴雨推求设计洪水	113
第七章 小流域设计洪水计算	125
第一节 概述	125
第二节 小流域设计暴雨	125
第三节 小流域设计洪峰流量的推求	127
第四节 小流域设计洪水过程线的推求	130
第八章 施工调洪计算	135
第一节 概述	135
第二节 调洪计算的基本原理	139
第三节 调洪计算的方法	142
第九章 年径流分析计算	152
第一节 概述	152
第二节 年径流的分析计算	152
第三节 年径流分析计算在施工设计中的应用	157
第十章 施工水文预报	161
第一节 概述	161
第二节 短期洪水预报	162
第三节 枯水预报	174
第四节 施工区的水情预报	177
第五节 水文预报精度的评定	182
附表	187
附表 I 皮尔逊III型频率曲线的模比系数 K_p 值表	187
附表 II 皮尔逊III型频率曲线的离均系数 Φ 值表	196
附表III 三点法用表—— S 与 C_s 关系表	198
附表IV 三点法用表—— C_s 与有关 Φ 值关系表	199
参考文献	200

第一章 绪 论

【学习指导】 本章是全书的引论。通过本章的学习应对水文学、工程水文学和施工水文学的内容,以及水文现象的基本特点和研究方法有一个轮廓的了解,掌握施工水文学在水利水电工程施工设计中的作用及学习本课程的目的。因此,对本章应认真仔细地通读一遍。

第一节 施工水文学的研究内容

水文学是研究自然界中各种水体的一门学科。它研究各种水体形成、变化、循环、分布、水体的物理和化学性质,以及人类活动对它们的影响和它们与自然环境之间的相互关系。

水体是指一定形态存在于自然界一定空间的水。按照自然界水体存在的位置来分,水文学可分为:

水文气象学——以研究大气中的水体为对象;

地表水文学——以研究地球表面的水体为对象,包括陆地和海洋;

地下水文学——以研究地下的水体为对象。

地表水文学一般又分为河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学、海洋水文学及河口水文学。

一般所说的水文学就是指河流水文学。河流水文学按其研究任务的不同,可划分为下列一些学科。

(1) 水文学原理 研究水分循环的基本规律和径流形成过程的物理机制;

(2) 水文测验学及水文调查 研究获得水文资料的手段和方法、布设站网的理论、整编水文资料的方法以及水文调查的方法等;

(3) 水文实验 运用野外实验流域或室内实验模型来研究水文现象的物理过程;

(4) 水文地理 根据水文特征值与自然地理要素之间的相互关系,研究水文现象的地区性规律,又称区域水文学;

(5) 水文预报 在研究水文现象变化规律的基础上,预报未来的水文情势;

(6) 水文分析计算 对已有资料进行分析计算,找出水文现象的变化规律,用统计的方法预估未来长时期(几十年到几百年)内的水文情势。

将水文知识应用于水利工程建设的学科称工程水文学。它是研究与水利工程的规划、设计、施工和运营管理有关的水文问题。施工水文学是工程水文学中的一个分支,它着重研究工程施工阶段所遇到的水文问题,为导截流和工程施工不同时期提供水文依据。其主要内容有以下三方面:

- 1) 施工不同时期的水文计算, 特别是设计洪水计算
- 2) 施工调洪计算,
- 3) 施工水文预报。

由此可见施工水文学是属于应用范畴的学科。

第二节 施工水文学的作用

施工设计是指如何将规划设计的建筑物变为现实。在河流上修建水利工程, 需要考虑施工过程中的挡、泄水问题。目前常用围堰把施工场地围起来, 以便在无水情况下施工。同时, 将河水引向预定的泄水建筑物往下游渲泄, 这就是施工导流。导流方案有分段围堰法和全段围堰法。如用分段围堰法导流(即河床内导流), 前期多利用束窄的原河道导流, 后期通过事先修建的坝体底孔、坝体预留缺口、预埋涵管等建筑物导流。若用全段围堰法导流(即河床外导流), 则利用临时或永久的隧洞、明渠等导流。这些导流建筑物的规模需要根据设计洪水来确定。

在施工期间, 截断原河床水流, 才能最终将河水引向导流泄水建筑物下泄, 这就是截流。截流在施工水流控制中占有重要地位, 如果截流不能按时完成, 就会延误整个河床部分建筑物的开工日期, 如果截流失败, 失去了以水文年计算的良好截流时机, 则可能拖延工期1年。截流日期和截流流量的选择非常重要。截流设计, 一般是根据历史水文资料确定的枯水期, 通过水文分析计算选定截流日期和截流流量。截流后的抢筑, 更需要分月洪水的预报, 以利妥善安排工期。

水利水电工程施工中、后期, 往往需要由坝体挡水或拦洪, 此时要求坝体上升的高度应能拦蓄不同时期的洪水。由于拦蓄洪水高度与泄水建筑物泄流量大小有关, 因此, 除需通过水文计算确定设计洪水外, 还要通过洪水调节计算确定设计的拦洪高度及泄水建筑物的泄流量。

施工后期, 当坝体已修筑到设计洪水高程以上, 并且整个工程进入完建期时, 可根据发电、灌溉等部门所提出的综合要求, 确定竣工运用日期, 有计划地进行封堵导流用的临时泄水建筑物和水库的蓄水, 封堵时的设计流量和水库开始蓄水日期均应通过水文计算方能确定。

导流工程一般为临时性的建筑物, 它们的设计标准较低, 同时由于导截流设计都是依据历史水文资料, 而实际施工中的水情在不断变化, 因此施工阶段要有一定精度的水情预报。

此外, 施工场地布置、砂石料的开采、施工交通运输、施工工厂及设施和大型临时建筑工程的设计, 以及施工进度安排等都需要水文计算提供依据。

第三节 水文现象的基本特点和研究方法

一、水文现象的基本特点

由于影响水文现象的因素众多, 且各个因素随时间和地区变化, 致使水文现象的变化

极为复杂。但从实测水文资料的分析中可以看出,它们仍然有一定的变化规律和基本特点。

(1) 水文现象的确定性 水文现象同其它自然现象一样,具有确定性的一面。它表现在河流等水体总是有以年为周期的洪水期和枯水期的周期性变化。产生这种现象的基本原因是地球的公转和自转。又如,在一条河流流域上降落一场暴雨,这条河流就会出现一次洪水,如果暴雨强度大、历时长、笼罩面积大,产生的洪水就会大,显然暴雨与洪水之间存在着因果关系。这说明,水文现象都有其客观发生的原因和具体形成的条件,它是服从确定性规律的。但是,水文现象的确定性规律并不一定能用严密的数学物理方程来表达。

(2) 水文现象的随机性 由于影响水文现象的因素众多,所以水文现象也具有随机性的一面。例如河流某断面每年洪水期出现的最大洪峰流量、枯水期的最小流量或年径流量的大小及它们出现时间每年都不相同,具有随机的特点。但是,通过长期观测可以发现,特大洪水流量和特小枯水流量出现的机会较小,中等洪水和中等枯水出现的机会较大,而多年平均年径流量却是一个趋近稳定的数值。水文现象的这种随机性规律需要由大量资料统计出来,通常称为统计规律。

(3) 水文现象的地区性 水文现象在一定程度上具有地区性。例如湿润地区的河流水量大,年内分配较均匀;干旱地区大多数河流水量少,年内分配不均匀。这是因为水文现象受降雨、蒸发等因素的影响,而这些因素具有一定的地区性规律。

二、水文学的研究方法

根据水文现象的特点,水文学的研究方法相应地可以分为以下三类:

(1) 成因分析法 由于水文现象与其影响因素之间存在着确定性关系,因此可通过观测资料和实验资料的分析研究,建立某一水文现象与其影响因素之间的定量关系,然后根据影响因素的现时状况,预测未来的水文现象。这种利用水文现象的确定性规律来解决水文问题的方法,称为成因分析法。

(2) 数理统计法 根据水文现象的随机性,以概率论为基础,运用数理统计方法,对长期的水文观测资料进行分析计算,从而得出工程规划设计所需要的设计水文特征值,或利用两个或多个变量之间关系的随机性,进行相关分析,以展延水文系列或作水文预报,这种处理问题的方法称为数理统计法。

(3) 地区综合法 由于水文特征值具有地区性,因此,可以按地区研究某些水文特征值的地区分布规律。这些规律常用等值线图或地区经验公式表示。利用这些等值线图或经验公式,可以求出观测资料短缺地区的水文特征值,这就是地区综合法。

上述三种方法,在实际工作中常常交叉使用,相辅相成,互为补充。

小 结

施工水文学是工程水文学的一个分支。它着重研究施工阶段所遇到的水文问题,为施工导截流等提供水文依据。

施工水文学的研究方法基本上同于工程水文学,主要取决于水文现象的三个基本特点,即成因分析法取决于水文现象的确定性,数理统计取决于随机性,地区综合法取决于地区性。

第二章 水文测验及水文资料的收集

【学习指导】 水文资料是水文分析计算的基本依据。因此，进行水文分析计算时，应掌握水文资料的测验●和资料收集方法，以便正确使用各种水文资料。

水文资料一般是通过设立水文测站进行长期定位观测而获得。水文测站数目有限，设站时间不很长，为了弥补其不足，尚需进行水文调查。

各次水文要素观测后必须进行整理、统计、刊布，才能供各部门使用，这就是资料整编。经整编后的资料按全国统一规定分水系、流域、干支流及上下游，每年刊布一次，称水文年鉴。

学习本章应掌握水位、流量、降水、蒸发等水文要素测验的基本方法、日平均水位的计算、流量计算，同时对水位流量关系有一定的了解。其中流量的观测与计算是本章的重点。以上内容没有什么难点。

学习本章时，应结合水文实习进行。实习内容包括水位、流量的观测与计算，参观气象场，观看与水文测验有关的录像，以及查看水文年鉴。

第一节 水文测站及水文站网

水文测站是进行水文观测的基层单位，也是取得水文资料的基本场所。水文观测的项目很多，如水位、流量、泥沙、降水、蒸发、冰情、水质等。对某种测站，只观测其中一项或几项。如只测定水位的测站称水位站；测定流量为主要任务的站称为水文站（或流量站）；还有如雨量站、蒸发站、水质监测站等。水文站上要布设必要的断面，并设置水准点与基线。断面和基线的布设见图2-1所示，这些布置都应按《水文测验（试行）规范》中的规定进行。

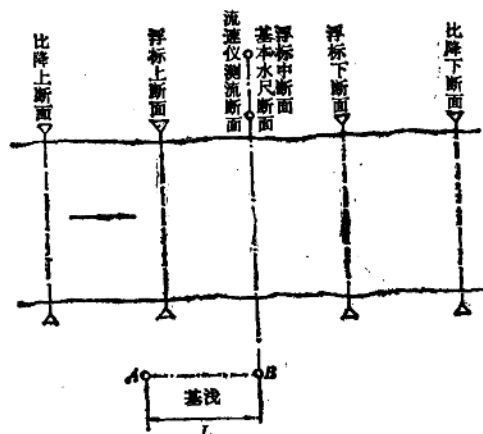


图 2-1 水文测站布置示意图

一个水文站控制的范围是有限的，它所观测到的水文资料只能代表站址处的水文情况，因此必须布设一定数量的水文测站，以控制大范围的水文现象。水文测站在地理上的分布网称为水文站网。运用站网所搜集的资料，进行分析综合，就可以内插出流域内任何地点的水文要素的特征值。

● “测验”是水文学术语，即观测或测量。

除以上基本站网外,还有为某种专门目的或特定工程而设立的站,称专用站。如施工截流时水情变化大而且快,需要随时测出截流河段的水位、落差、流速、流量等水文要素的变化情况,这就需要事先增设水文观测的专用站。

第二节 水位观测

水位是指江河、渠道、水库等水体水面的高程,单位为m,计至小数点后两位。计算高程有个基面作为起点,通常是以河流入海处接近海面平均高度的某一固定点作为起点,称为绝对基面。目前全国统一规定用青岛黄海基面作为计算标准,但由于历史的原因,还有的采用其它基面,如大沽基面、吴松基面等,也有的采用假定基面或测站基面。因此,使用时应注意查明。

一、水位观测设备

常用的水位观测设备有水尺和自记水位计两种。使用最广的为直立式水尺。直立式水尺是将水尺板钉在木桩(或绑在混凝土桩)上而成。当河岸平坦或水位变化较大时,用一根水尺往往不能观测到水位的全部变化,此时可设一组水尺进行观测,见图2-2。最高和最低水尺要能满足最高水位和最低水位的观测。施工截流时水浪很大,为了准确观测水位,需采用防浪设备,常用一个白铁制的多孔圆筒罩在水尺上,使筒内形成静水面以便观读。

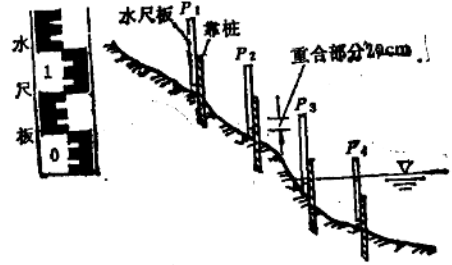


图 2-2 直立式水尺分级设置示意图

水位观测的时间和次数,要根据水情变化来确定。当水情变化不大时,可采取两次定时观测(每日8时及20时);洪水时期水位变化较大,应增加观测次数,以能观测到洪峰水位和完整的水位变化过程,施工截流时水位变化急剧,甚至每15分钟观测一次。

水尺是用人工来观测的,目前很多水文站都设有自记水位计,自动将水位变化的全过程记录下来。但即使是使用自记水位计,也应设水尺来比照。

二、水位资料的整理

(一) 瞬时水位的计算

$$\text{瞬时水位} = \text{水尺零点高程} + \text{水尺读数}$$

式中水尺零点高程是指水尺板上刻度起点的高程,可以事先测量出来。

(二) 日平均水位的计算

由于观测水位是某一瞬时的水位,要研究水位的长期变化过程必须计算日平均水位。当一日内水位变化缓慢时,或水位变化虽大,但观测或从自记水位资料上摘录的时间间隔大体相等,可采用算术平均法计算,即由一日观测的各次水位相加,除以观测次数。若一日内水情变化较大,且观测的时间间隔又不相等,可采用面积包围法(又称梯形面积法)计算。如图2-3,将本日0~24时的水位过程线所包围的面积,除以24小时即得本日的平

均水位。其计算公式为:

$$Z_{\text{日}} = \frac{1}{24} \left[\frac{a(Z_0 + Z_1)}{2} + \frac{b(Z_1 + Z_2)}{2} + \dots + \frac{n(Z_{n-1} + Z_n)}{2} \right] \quad (2-1)$$

式中 $Z_{\text{日}}$ ——日平均水位, m;

$Z_0, Z_1, \dots, Z_n$ ——分别代表各时刻所观测的水位值, m;

$a, b, \dots, n$ ——分别代表两次观测的时距, h。

(三) 月平均水位的计算

$$\text{月平均水位} = \frac{\text{全月各日平均水位之和}}{\text{月总日数}}$$

$$\text{年平均水位} = \frac{\text{全年各日平均水位之和}}{\text{年总日数}}$$

水文年鉴中载有各站逐日平均水位表, 汛期水位详细变化过程则载于水文年鉴中的汛期水文要素摘录表内。

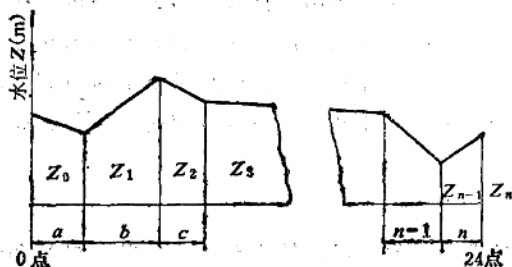


图 2-3 面积包围法推求日平均水位示意图

第三节 流量测验与计算

一、概述

流量是指单位时间内流过河流某一断面的水量, 以 m^3/s 计。测量流量的方法有很多, 常用的方法有流速面积法, 它包括流速仪测流法、浮标测流法、比降面积法、航空测流法等。流速仪测流法和浮标测流法是通过测量流速和断面来推求流量, 在我国目前使用广泛。此外, 还有水力学法、化学法和物理法等。

下面我们着重介绍流速面积法中的流速仪法。这类方法的基本原理是流量等于过水断面面积 A 与断面平均流速 V 的乘积, 即

$$Q = A \cdot V \quad (2-2)$$

二、流速仪测流法及流量计算

河道断面各点的流速是变化的, 它与断面形状、水深大小、河道弯曲、河床糙率、风力风向、冰冻等情况有关, 一般的规律是:

- 1) 水面流速在岸边较小, 朝着最大水深方向增加;
- 2) 流速从水底向水面增加;
- 3) 垂线上最大流速常在水面以下约 0.2 倍的水深处。

目前尚无很好的方法直接测出断面平均流速。用流速仪测流实际上是将过水断面划分为若干部分, 并计算出各部分面积, 然后用流速仪近似地测算出各部分面积上的平均流速, 两者的乘积为通过部分面积的流量, 累积部分面积上的流量而得全断面流量。因此, 用流速仪测流的主要工作: 一是断面测量, 二是流速测量。

(一) 断面测量

断面测量包括水道断面测量和大断面测量两种。水道断面是指某水位下的过水断面,

与测流同时进行施测。大断面是指历年最高水位以上0.5~1.0m所包含的河道及岸边地形。

1. 水道断面测量

水道断面的测量方法是：在断面上布置若干条测深垂线，施测各垂线的水深及各垂线与岸上某一固定点（断面的起点桩，一般设在左岸）的水平距离（称为起点距），并同时观测水位，水位高程减去各测深垂线的水深，得各测深垂线的河底高程。有了测深垂线的河底高程和起点距，就可绘出断面图，如图2-4所示。

测深垂线的分布以能准确测定断面为原则，垂线的数目与河床宽度有关，《水文测验（试行）规范》中有所规定。

（1）起点距的测定 在中等以下的河道，常用断面索的方法来测定起点距，其特点是在测流断面架设一条过绳缆索，在缆索上标出事先测量好的起点距，然后利用渡河设备在各起点距处进行断面和流速测量。渡河设备一般有船只测流设备、岸上测流设备等。在施工截流河段，因水势湍急、水流紊乱，同时还受截流抛石等因素的影响，为了保证水文观测者的安全，一般采用此法。黄河三门峡工程施工截流时，就是采用流速仪过河的断面索法。

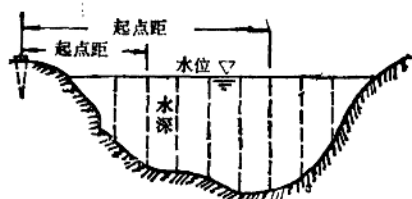


图 2-4 河道断面测量示意图

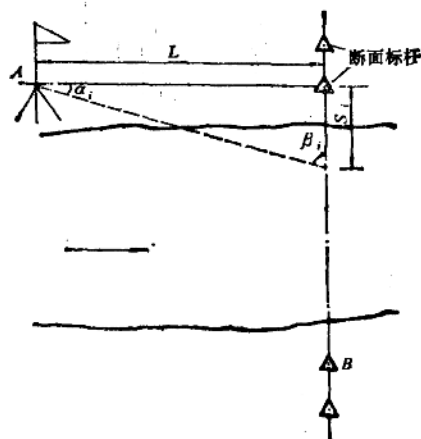


图 2-5 交会法示意图

在中等以上的河道常用交会法（又称测角法）测定起点距。如图2-5所示，此法的关键是要测角。若采用经纬仪法量角时，首先将经纬仪安放在基线上的A点，测得 α_i 角，然后用下式计算起点距 S_{ii} 。

$$S_i = L \operatorname{tg} \alpha_i \quad (2-3)$$

当河道较宽时，用上法测角，岸上与船上互相联络会感到困难，再者当风浪较大时，经纬仪瞄淮河中的活动目标施测也有困难，此时可以在船上使用六分仪（一种专门测量角度的仪器）测角。该法优点是施测人员全部上船，在船上用六分仪瞄淮岸上固定目标，测出 β_i 角，则可用下式计算起点距 S_{ii} 。

$$S_i = L \operatorname{ctg} \beta_i \quad (2-4)$$

（2）水深测量 测量水深一般用测深杆、测深锤或测深铅鱼。当水深、流速较小时，尽量用测深杆；当水深、流速较大时，可用测深锤、测深铅鱼。铅鱼重量视流速大小而定。施工截流时，由于断面不断束小，流速增大，所用铅鱼的重量往往很大。如三门峡

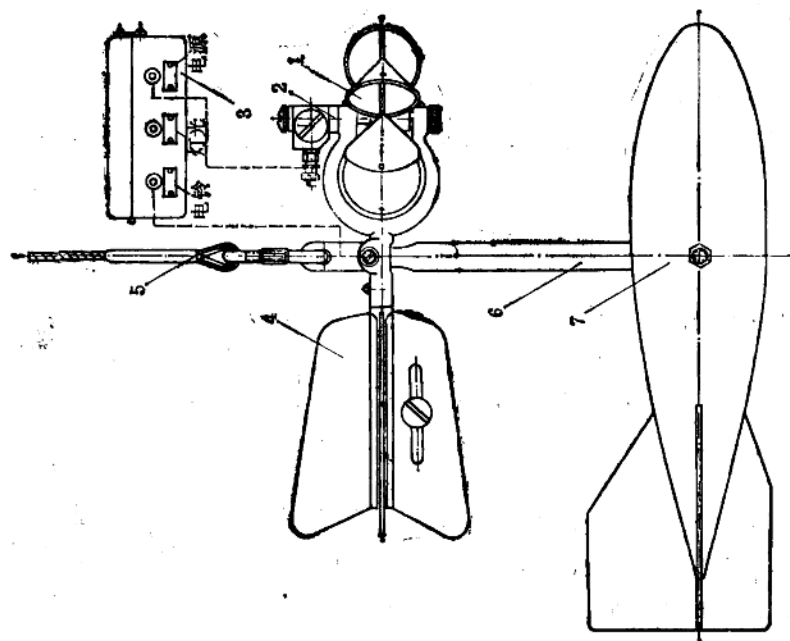


图 2-6 LS68-2型旋杯式流速仪悬吊在悬索上

1—旋杯；2—传讯盒；3—电铃计数器；4—尾翼；
5—钢丝绳；6—悬杆；7—铅鱼

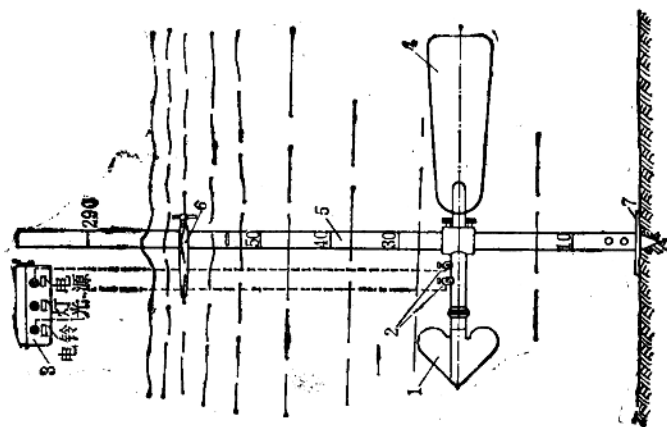


图 2-7 LS25-1型旋桨式流速仪安装在测杆上

1—旋桨；2—接线柱；3—电铃计数器；4—尾翼；5—测杆；6—定向指针；7—底盘

工程截流时, 最重的铅鱼达450kg, 最小的也有100kg。

当水深超过10m时一般用回声测深仪来测量水深。它是利用超声波振荡器发射超声波至河底, 再从河底反射到水面的收声振荡器, 由声波在水中所经历的时间及传播速度来计算水深。

2. 大断面测量

大断面测量是单独进行的, 一般在汛前、汛后或在较大洪水后加测。它包括水上及水下两部分, 水下部分与上述水道断面的施测方法相同, 水上部分一般采用水准测量方法进行。

(二) 流速仪测速

测定流速的方法有多种, 下面介绍常用的流速仪法。

1. 流速仪

流速仪是一种专门用来测定水流速度的仪器, 目前我国采用最多的是重庆水文仪器厂生产的LS68型旋杯式流速仪和LS25-1型旋桨式流速仪, 见图2-6和图2-7。

流速仪主要构造可分为两部分: 一为旋转器(旋杯、旋桨); 一为计数器。

流速仪测速原理是利用水流冲动流速仪的旋转器, 同时带动转轴转动, 在装有信号的电路上发出讯号, 便可知道在一定时间内的旋转次数。流速愈大, 旋转愈快, 说明转速愈大。流速与转速之间有一定的关系, 这种关系是由厂家在仪器出厂前, 将流速仪安放在特定的水槽里, 通过检定得出的, 关系式如下:

$$V = K \frac{R}{T} + C \quad (2-5)$$

式中 V —— 水流速度, m/s;

R —— 流速仪在测速历时 T 内的转数(转), 一般是根据讯号数, 再乘上每一讯号代表的转数求得;

T —— 测速历时, s; 为了消除水流脉动影响, 测速历时一般不应少于100s;

K 、 C —— 常数, 是将检定时采用的各种 V 值以及与其一一对应的 $\frac{R}{T}$ 值点绘在方格纸上,

点群接近一条直线, 该直线的斜率为 K , 直线在纵轴上的截距为 C 。

每架仪器都附有检定公式, 仪器使用一段时间后, 应送去再行检定。

2. 流速测量

流速仪只能测得某点的流速。为了求得断面平均流速, 现多采用积点法, 即在断面上沿水面宽布置一些测速垂线(一般在测深垂线中选择若干根同时兼作测速垂线), 以控制流速在水面宽上的变化。又在每一根测速垂线上布置一定数目的测速点, 以控制流速在水深上的变化。最后根据测点流速的平均值求得测线平均流速 V_m , 再由测线平均流速求得部分面积平均流速 V_f , 进而推得断面流量。

测速垂线的数目与水面宽度有关, 测速垂线上的测点数目与垂线处的水深、流速仪的悬吊方式和测验精度要求有关。

当测速垂线的水深为 h , 测速点的位置从水面算起, 一点法为 $0.6h$ 处; 二点法为 $0.2h$

及 $0.8h$ 处; 三点法为 $0.2h$ 、 $0.6h$ 及 $0.8h$; 五点法为 $0.0h$ 、 $0.2h$ 、 $0.6h$ 、 $0.8h$ 及 $1.0h$ 。

(三) 流量计算

1. 垂线平均流速 (V_m) 计算

一点法:
$$V_m = V_{0.5} \quad (2-6)$$

二点法:
$$V_m = \frac{1}{2}(V_{0.2} + V_{0.8}) \quad (2-7)$$

三点法:
$$V_m = \frac{1}{3}(V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8}) \quad (2-8)$$

五点法:
$$V_m = \frac{1}{10}(V_{0.0} + 3V_{0.2} + 3V_{0.6} + 2V_{0.8} + V_{1.0}) \quad (2-9)$$

上述公式前三个为算术平均, 最后一个是通过与推求日平均水位相似的面积包围法求得。

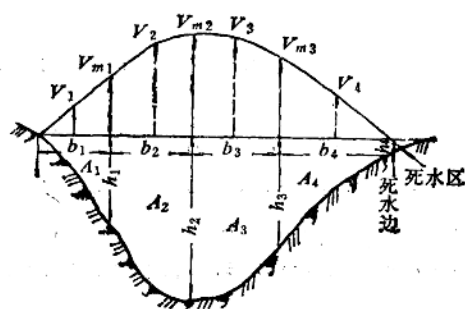


图 2-8 部分面积平均流速的计算

2. 部分面积上平均流速的计算

部分面积上的平均流速是指两测速垂线间部分面积的平均流速, 以及紧靠岸边或死水边部分的平均流速, 见图 2-8。图的下半部表示断面图, 上半部实线箭头表示垂线平均流速, 虚线箭头表示部分面积平均流速。

紧靠岸边部分的部分平均流速由距岸边最近的垂线平均流速乘以系数而得。如:

$$V_1 = \alpha V_{m1}$$

$$V_4 = \alpha V_{m4}$$

式中, α 为岸边流速系数, 可根据试验资料确定。对斜坡岸边一般采用 0.7 , 陡坡岸边一般采用 0.8 , 岸壁光滑可用 0.9 , 死水边可用 0.6 。

中间部分的部分平均流速为相邻两垂线平均流速的算术平均。如:

$$V_i = \frac{1}{2}(V_{m1} + V_{m2})$$

3. 部分面积计算

部分面积是以测速垂线为分界。若岸边有死水, 则部分面积只能计算到死水边, 如图 2-8 中的 b_4 。

岸边部分按三角形计算, 中间部分按梯形计算。如:

$$A_1 = \frac{1}{2}(h_1 \times b_1)$$

$$A_i = \frac{1}{2}(h_i + h_{i+1})b_i$$

4. 断面流量计算

$$Q = \sum_{i=1}^n A_i V_i = \sum_{i=1}^n q_i \quad (2-10)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2-11)$$

上述诸式中 Q ——全断面流量, m^3/s ;
 A ——全断面面积, m^2 ;
 V ——全断面平均流速, m/s ;
 A_i ——部分面积, m^2 ;
 V_i ——部分面积上的平均流速, m/s ;
 q_i ——部分面积上的流量(称部分流量), m^3/s 。

三、浮标测流法

浮标测流法是一种简便有效的测流方法。在洪水较大或水面漂浮物多,特别是在没有流速仪或流速仪无法施测的情况下,是一种切实可行的办法。浮标测流的主要工作是观测浮标漂移速度,测量水道横断面,以此来推估断面流量。

凡能漂浮在水面上的物体都可能制成浮标。用水面浮标法测流时,测的是浮标在水面的漂移速度,这种流速称浮标虚流速,它不能代表断面平均流速。将它与过水断面相配合,计算出断面虚流量,然后乘上浮标系数 K' 才能得到断面实流量,即

$$Q_{实} = K' Q_{虚}$$

K' 与浮标类型、风力风向等因素有关,在测站上应进行浮标系数的比测。

第四节 流量资料整编

水文现象,如水位、流量等都是随时间而变化的。由于流量施测比较麻烦,目前水文站上施测流量并不是逐日连续进行的,因此难于直接由流量资料得出流量变化过程。水文站每次实测的流量成果,只能代表当时的情况,这些零星的、片断的、甚至有时是错误的资料,不能直接提供有关部门使用。流量资料整编就是对实测资料进行审查和分析计算,并按统一的格式进行整理、统计,整编成有足够精度的、系统的、连续的流量资料,刊印成册(称水文年鉴),供国民经济各部门使用。

流量资料整编的主要方法是水位流量关系曲线法。此法是基于河道中水位与流量有一定的关系,水位过程易于观测,而施测流量较困难,因此如果建立了水位流量关系,就可以用水位过程来推求流量过程。

一、水位流量关系曲线的绘制

根据实测流量成果点绘水位~流量关系($Z \sim Q$),可以发现水位与流量之间存在稳定与不稳定两种关系。

1. 稳定的水位流量关系曲线

所谓稳定的水位流量关系,即一个水位对应一个流量,它们之间呈现单一关系。此时只需将实测的水位和流量数据一一对应点绘于坐标纸上,顺着点群分布的趋势并通过点群的中心绘出一条光滑曲线即可。通常在绘制水位流量曲线的同一张图上横坐标采用三种比

例尺，一并绘出水位～面积（ A ）和水位～流速（ V ）曲线，作为分析、检查水位～流量曲线的辅助曲线（ $Q_i \approx A_i V_i$ ），如图2-9。

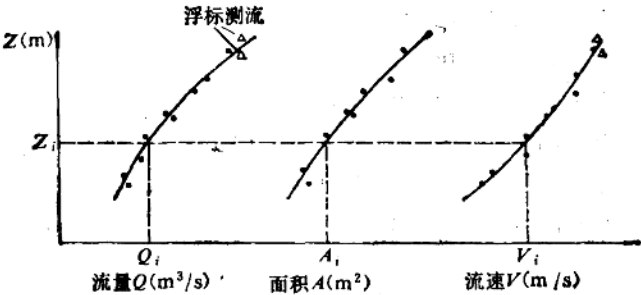


图 2-9 稳定的水位流量关系曲线

2. 不稳定的水位流量关系曲线

所谓不稳定的水位流量关系，是指同一水位情况下，断面通过的流量不是定值，点绘出来的水位流量关系不是单一的曲线。

根据水力学中的曼宁公式，天然河道的流量可用下式表示，

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} I^{1/2} \tag{2-12}$$

- 式中 Q ——流量， m^3/s ；
 A ——过水断面面积， m^2 ；
 R ——水力半径， m ；
 n ——糙率；
 I ——水面比降。

从上式可知，影响流量的因素很多，即使在同一水位时，只要其中某因素发生变化，流量就会发生变化。一般来说， $Z \sim Q$ 关系之所以不稳定，最主要的是受冲淤、洪水涨落、变动回水的影响，如图2-10。

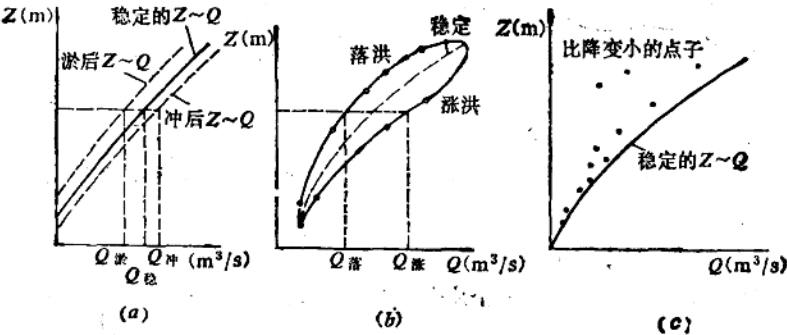


图 2-10 不稳定的水位流量关系曲线

(a)受冲淤影响；(b)受洪水涨落影响；(c)受变动回水影响

3. 不稳定的水位流量关系曲线的处理方法

不稳定的水位流量关系曲线的处理方法较多, 也比较灵活。这里介绍一种适用性较广的连时序法。此法是按实测流量时间的顺序连接 $Z \sim Q$ 曲线, 连线时应参照水位过程的起伏变动情况和水位面积曲线的变动情况, 如图2-11所示。图中点旁注明的是测次号数及施测时间, 如1(1/7)表示第一测次, 实测日期为7月1日。使用时按水位发生的时间在 $Z \sim Q$ 曲线的相应位置查读流量。

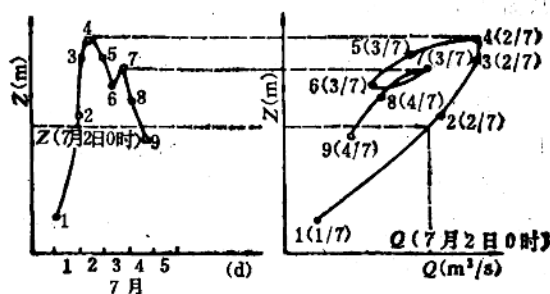


图 2-11 连时序法绘制 $Z \sim Q$ 曲线

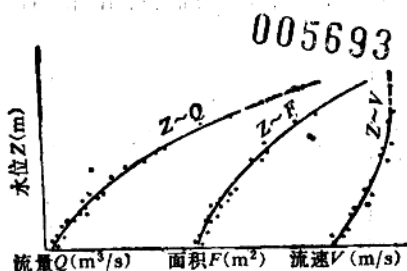


图 2-12 用水位面积水位流速关系曲线延长 $Z \sim Q$ 曲线

二、水位流量关系曲线的延长

水位流量关系是根据实测的水位和流量资料建立的, 但是在水位特高时, 施测流量往往有困难, 因此缺乏高水时的实测流量资料; 最枯流量也可能由于某种原因缺测。在这种情况下, 须将水位流量关系曲线作高、低水部分的外延, 才能推得完整的流量过程。

1. 根据水位面积、水位流速关系延长

河床稳定的测站, 水位面积、水位流速关系点据常较密集, 曲线趋势较为明显, 此时可根据这两根线来延长水位流量关系曲线。首先根据大断面资料, 绘出需要延长的高水部分的水位面积曲线, 然后按水位流速曲线上端的趋势外延, 最后根据延长部分的各级水位的面积与相应的流速乘积来延长水位流量关系曲线, 如图2-12中的虚线所示。

2. 用曼宁公式延长

此法是利用曼宁公式 $V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$ 计算出需要延长部分的断面平均流速 V (m/s) 的

值, 计算时常用断面平均水深 $\bar{h}$ 代替水力半径 R 。由于大断面资料已知, 因此关键在于确定高水时的河床糙率 n 和水面比降 I 。

在有比降观测资料的测站, 可根据流量、比降以及断面资料, 分析各测次的糙率值, 点绘水位糙率关系曲线, 并顺势延长, 以此确定高水位时的河床糙率。再利用高水位时的实测比降 I , 以及由大断面资料算得的平均水深 $\bar{h}$ 、断面面积 A , 计算高水位时的流速、流量, 这样便可延长水位流量关系曲线。

对于未进行比降观测, 也没有糙率资料的测站, 可将曼宁公式改为下列形式:

$$\frac{1}{n} I^{1/2} = \frac{V}{R^{2/3}} \approx \frac{V}{\bar{h}^{2/3}} \quad (2-13)$$