

水文测验学

shuiwen ceyan xue

赵志贡 岳利军 赵彦增 等编著

2
1



黄河水利出版社

水文测验学

赵志贡 岳利军 赵彦增 等编著

黄河水利出版社

内容提要

本书根据中华人民共和国水利部近期颁布的一系列水文测验规范,结合目前比较先进的测验手段和方法,对江河的水文测验与水文资料整编的基本概念、原理和操作方法等作了系统介绍。全书共分8章,主要包括:水文测站布设,水位、流量、泥沙等水文要素采集与资料整编,水文要素测验误差分析等。本书内容丰富,条理清晰,通俗易懂,是一本系统研究水文测验的理想教材和工具书,可作为高等学校教材,适合水文水资源专业使用,亦可供水利工程技术人员和水文测站职工参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文测验学/赵志贡等编著. — 郑州:黄河水利出版社,
2005.8

ISBN 7-80621-956-0

I. 水… II. 赵… III. 水文测验—水文资料—资料编
目—高等学校—教学参考资料 IV. P332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 098491 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

印张:17.5

字数:405 千字

印数:1—2 100

版次:2005 年 9 月第 1 版

印次:2005 年 9 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-956-0 / P·47

定价:30.00 元

前 言

随着水文测验新规范的颁布实施,自动化测验仪器在水文测验工作中的推广应用,新的测验技术和方法的使用,原水文测验学的内容已无法满足生产和教学的需要。为了适应水文测验的发展和生产需要,贯彻教育部关于加强高校、高职高专教育人才培养工作的意见和面向 21 世纪教育振兴行动计划等文件精神,我们根据全国水文水资源专业指导性教学计划和水文测验学教学基本要求编著了《水文测验学》一书。

本书内容包括水文测验和水文资料整编两个方面,本次编著时,主要依据中华人民共和国水利部近期颁布的一系列水文测验方面的规范和目前比较先进的测验手段和方法。重点介绍江河水文要素的资料搜集、整理、分析的基本概念、基本原理及基本方法。与同类书籍相比,本书舍弃了一些传统落后的方法和内容,增加了大量的新仪器、新设备和自动化测验方法和测验技术。全书共分八章,其主要内容包括:水文站网布设、测站设立,各种水文要素的观测、测验、计算整理及资料整编,水文要素测验误差分析等。在编著过程中,紧密结合高等教育的特点,突出本课程的特色,力求简明扼要,理论联系实际,分析与操作相结合,尽量反映目前国内外水平。本书主要作为高等院校水文水资源专业学生教材,同时亦可供水利技术人员和水文站职工参考。

全书具体编写分工如下:第一章、第二章由刘洪波、菅瑞卿执笔,第三章由岳利军执笔,第四章由王艳平执笔,第五章由赵彦增执笔,第六章一至四节由赵志贡执笔,第六章五至九节由荣晓明执笔,第七章、第八章由连惠平执笔。全书由赵志贡、岳利军统稿。

由于时间仓促,加之水平有限,书中错漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2005 年 7 月

目 录

前言

第一章 测站布设	(1)
第一节 水文测站及站网	(1)
第二节 水文测验河段的查勘与选择	(4)
第三节 测站的设立	(7)
第四节 测验渡河设备	(11)
第二章 水位观测	(15)
第一节 概述	(15)
第二节 水位的观测设备	(17)
第三节 水位观测与日平均水位计算	(24)
第四节 地下水的观测与计算	(29)
第三章 流量测验	(41)
第一节 概述	(41)
第二节 断面测量	(47)
第三节 流速仪测流	(61)
第四节 浮标测流法及航空摄影测流法	(84)
第五节 其他流速面积法流量测验	(89)
第六节 其他测流方法	(93)
第四章 误差理论与水文测验误差分析	(102)
第一节 误差及其分类	(102)
第二节 偶然误差的概率特性	(103)
第三节 精度标准	(105)
第四节 误差的传播理论	(109)
第五节 流速仪法流量测验总不确定度估算	(111)
第六节 流速仪测流方法的精简分析	(115)
第五章 泥沙测验	(119)
第一节 概述	(119)
第二节 悬移质泥沙测验	(121)
第三节 推移质及河床质泥沙测验	(145)
第四节 泥沙颗粒分析	(151)
第六章 水位、流量资料整编	(165)
第一节 概述	(165)
第二节 水位资料整编	(166)

第三节	水位流量关系分析·····	(170)
第四节	河道流量资料整编·····	(182)
第五节	堰闸、电站流量的推算方法·····	(206)
第六节	水位流量关系曲线的高低水延长·····	(218)
第七节	流量资料合理性检查·····	(222)
第八节	流量资料统计和洪水水文要素摘录·····	(224)
第九节	水位流量关系的检验及实测流量标准差的估算·····	(227)
第七章	泥沙资料整编·····	(238)
第一节	悬移质泥沙资料整编·····	(238)
第二节	推移质输沙率资料整编·····	(249)
第三节	泥沙颗粒级配资料整编·····	(252)
第八章	冰凌观测·····	(256)
第一节	河流冰情及观测方法·····	(256)
第二节	固定点冰厚测量·····	(260)
第三节	河段冰厚测量·····	(264)
第四节	冰流量测验·····	(266)
附表一	水文测验中“国标”与“规范”部分符号对照·····	(272)
附表二	水文测验常用要素的单位和数字取用位数规定·····	(273)
主要参考文献·····		(274)

第一章 测站布设

第一节 水文测站及站网

一、水文测站

水文测站是在河流上或流域内设立的,按一定技术标准经常收集和提供水文要素的各种水文观测现场的总称。按目的和作用分为基本站、实验站、专用站和辅助站。

基本站是为综合需要的公用目的,经统一规划而设立的水文测站。基本站应保持相对稳定,在规定的时期内连续进行观测,收集的资料应刊入水文年鉴或存入数据库长期保存。

实验站是为深入研究某些专门问题而设立的一个或一组水文测站,实验站也可兼作基本站。

专用站是为特定的目的而设立的水文测站。不具备或不完全具备基本站的特点。

辅助站是为帮助某些基本站正确控制水文情势变化而设立的一个或一组站点。辅助站是基本站的补充,弥补基本站观测资料的不足。计算站网密度时,辅助站不参加统计。

基本水文站按观测项目可分为流量站、水位站、泥沙站、雨量站、水面蒸发站、水质站、地下水观测井等。其中流量站(通常称作水文站)均应观测水位,有的还兼测泥沙、降水量、水面蒸发量及水质等;水位站也可兼测降水量、水面蒸发量。这些兼测的项目,在站网规划和计算站网密度时,可按独立的水文测站参加统计;在站网管理、刊布年鉴和建立数据库时,则按观测项目对待。

二、水文站网及其作用

水文站网是在一定地区,按一定原则,用适当数量的各类水文测站构成的水文资料收集系统。由基本站组成的站网,称为基本水文站网。

把收集某一项资料的水文测站组合在一起,则构成该项目的站网。如流量站网、水位站网、泥沙站网、雨量站网、水面蒸发量站网、水质站网、地下水观测井网等。通常所称的水文站网,就是这些单项观测站网的总称,有时也简称为“站网”。

以满足水资源评价和开发利用的最低要求,由起码数量的水文测站组成的水文站网,是容许最稀站网。

首先应建成容许最稀站网,然后,根据需要与可能,逐步发展并优化站网。力求在适应于当地经济发展水平的投入条件下,使站网的整体功能最强。

水文站网密度,可以用“现实密度”与“可用密度”两种指标来衡量。前者是指单位面

积上正在运行的站数;后者则包括虽停止观测,但已取得有代表性的资料或可以延长系列的站数。站网密度通常是指现实密度。

三、水文站网的规划与调整

水文站网规划是制定一个地区(流域)水文测站总体布局而进行各项工作的总称。其基本内容有:进行水文分区,确定站网密度,选定布站位置,拟定设站年限,各类站网的协调配套,编制经费预算,制定实施计划。

水文站网规划的主要原则,是根据需要和可能,着眼于依靠站网的结构,发挥站网的整体功能。提高站网产出的社会效益和经济效益。

制定水文站网规划或调整方案应根据具体情况,采用不同的方法,相互比较和综合论证;同时,要保持水文站网的相对稳定。

水文站网的调整,是水文站网管理工作的主要内容之一。水文站网的管理部门,应当在使用水文资料解决生产、科研问题的实践中,在经济水平、科学技术、测验手段日益提高和对水文规律不断加深认识的过程中,定期地或适时地分析检验站网存在的问题,进行站网调整。

分析检验站网存在的问题主要有:测站位置是否合适,测站河段是否满足要求,水账是否能算清,测站间配套是否齐全等。

四、基本水文站网的布设原则

在基本水文站网中,流量站网是最主要的站网,因此重点介绍流量站网,并简要介绍水位站网和泥沙站网。

(一)基本流量站网的布设原则

由于河流有大小、干支流的区分,因此流量站网的布设原则也不相同。

控制面积为 $3\,000\text{km}^2$ 以上的大河干流流量站,称为大河控制站。

干旱区在 $300\sim 500\text{km}^2$ 以下,湿润区在 300km^2 以下的河流上设立的流量站,称为小河流站。

其余天然河流上设立的流量站,称为区域代表站。

大河控制站的主要任务,是为江河治理,防汛抗旱,制定大规模水资源开发规划以及重大工程的兴建,系统地收集资料,在整个站网布局中,居首要地位。大河控制站按线的原则布设。

小河站主要任务,是为研究暴雨洪水、产流、汇流,产沙、输沙的规律而收集资料。在大中河流水文站之间的空白地区,往往也需要小河站来补充,满足地理内插和资料移用的需要。因此,小河站是整个水文站网中不可缺少的组成部分。小河站按分类原则布设。

区域代表站的主要作用,是控制流量特征值的空间分布,探索径流资料的移用技术,解决任何水文分区内任一地点流量特征值,或流量过程资料的内插与计算问题。区域代表站,按照区域原则布设。

1. 线的原则

在干流沿线,布站间距不宜过小,布站数量不宜过多,任何两个相邻测站之间流量特

征值的变化,不应小于一定的递变率。否则,这种变化引起的误差和测验误差,将很难区分。由此可以确定布站数量的下限。

然而布站间距也不能过大,布站数量不能过少,否则将难以保证按 5%~10% 的精度标准,内插干流沿线任一地点的流量特征值。由此,又可以确定布站数量的上限。

当估计出布站数量的上限和下限之后,还应综合考虑重要城镇、重要经济区防洪的需要,大支流的入汇,大型湖泊、水库的调蓄作用以及测验通讯和交通、生活条件等因素,选定布站位置。

把上述原则汇集在一起,称为线的原则。

2. 区域原则

在任一水文分区之内,沿径流深等值线的梯度方向,布站不宜过密,也不宜过稀。决定站网密度下限的年径流特征值内插,允许相对误差采用 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$; 决定密度上限的年径流特征值递变率,采用 10%~15%。

对于分析计算较困难的地区,在水文分区内,可按流域面积进行分级,一般情况下,分为 4~7 级,每级设 1~2 个代表站。

选择布设代表站的河流和河段,应符合以下要求:

- (1) 有较好的代表性和测验条件。
- (2) 能控制径流等值线明显的转折与走向,尽量不遗漏等值线的高、低中心。
- (3) 控制面积内的水利工程措施少。
- (4) 无过大的空白地区。
- (5) 综合考虑防汛,水利工程规划、设计、管理运用等需要。
- (6) 尽量照顾交通和生活条件。

3. 分类原则

布设小河站,应在水文分区的基础上,参照植被、土壤、地质及河床组成等下垫面的性质进行分类,再按面积分级,并适当考虑流域形状、坡度等因素,选河布站。

小河站址的选择应符合下列要求:

- (1) 代表性和测验条件较好。
- (2) 水利工程影响小。
- (3) 面上分布均匀。
- (4) 按面积分级布站时,要兼顾到坡降和地势高程的代表性。
- (5) 尽量照顾交通和生活条件。

(二) 基本水位站网的布设原则

在水文测验中,水位往往是用于推求流量的工具,大多数流量站,都有水位观测。因此,流量站网的基本水尺,是水位站网的组成部分。

在大河干流、水库湖泊上布设水位站网,主要用以控制水位的转折变化。以满足内插精度要求、相邻站之间的水位落差不被观测误差所淹没为原则,确定布站数目的上限和下限。其设站位置,可按下述原则选择:

(1) 满足防汛抗旱、分洪滞洪、引水排水、水利工程或交通运输工程的管理运用等需要。

(2)满足江河沿线任何地点推算水位的需要。

(3)尽量与流量站的基本水尺相结合。

(三)基本泥沙站网布设原则

在泥沙站网上进行测验,是为流域规划、水库闸坝设计、防洪与河道整治、灌溉放淤、城市供水、水利工程的管理运用、水土保持效益的估计、探索泥沙对污染物的解吸与迁移作用以及有关的科学研究,提供基本资料。

泥沙站也分为大河控制站、区域代表站和小河站。

大河控制站以控制多年平均输沙量的沿程变化为主要目标,按直线原则确定布站数量,并选择相应的流量站观测泥沙。

区域代表站和小河站,以控制输沙模数的空间分布,按一定精度标准内插任一地点的输沙模数为主要目标,采用与流量站网布设相类似的区域原则,确定布站数量;同时,考虑河流代表性,面上分布均匀,不遗漏输沙模数的高值区和低值区,选择相应的流量站,观测泥沙。

第二节 水文测验河段的查勘与选择

在站网规划工作中,仅能粗略定出测站的位置。要把测站具体设立起来进行观测,还必须经过查勘,选择测验河段,布置观测断面和各种观测设施。

一、测验河段的选择原则

对水文观测现场的作业和观测成果,具有显著影响控制作用的河段,称为测验河段。选择测验河段,应遵循以下原则:

(1)首先要满足设站目的。根据这一原则,可确定测验河段的大致范围。例如黄河下游伊洛河、沁河汇入后,必须及时掌握大洪峰流量的确切数值,才能对下游作出重大决策。因此,该河段水流条件不论如何,都必须设站观测。

(2)能保证各级洪水安全操作与测验精度,有利于建立尽可能稳定、简单的水位流量关系。

这一原则,对于取得可靠的观测资料,简化内业整理工作,节约人力物力,具有重要作用。

(3)在满足上述要求的前提下,尽可能照顾生活、交通、通讯上的方便。

二、测站控制

天然河道中水文现象是十分复杂的,水位流量的关系在许多情况下是不稳定的。这是因为流量不仅随水位的变化而变化,它还受比降、河床糙率、水力因素的影响。而在同一水位下,这些水力因素往往又是变化的。因此,表现出水位流量关系的复杂性。但我们在天然河道中还能够找到一些河段,其水力因素在同一水位下保持不变或虽有变化但可以相互补偿,随水位的变化而变化,从而保持单一性。

假如在测站附近(通常在其下游)有一段河槽,其水力特性能够使得测站的水位流量

关系保持单一关系,则这个断面或河段便称为测站控制。如测站控制作用发生在一个横断面上,则称为断面控制。如测站控制作用靠一段河槽的底坡、糙率、断面形状等因素的共同作用来实现,称为河槽控制。

很显然,我们选择测站最好能设在形成测站控制的地点或其上游附近。

天然河道中的一些河段为什么会形成测站控制呢?下面我们从水力学原理加以分析。

(一)断面控制

天然河道中,如有突起的石梁、急滩、卡口、人工堰坝等,当水流通过该处时,将使水面曲线发生明显转折,形成临界流,出现临界水深,构成断面控制。

以石梁为例(如图 1-1),当水流行近石梁处,水流被石梁抬升,过水断面显著缩小,石梁上游形成壅水。当水流通过石梁后,断面扩大,水流跌落。所以石梁处水面线由壅水曲线变跌水曲线。从水力学知,在此产生临界流,出现临界流深 d_k ,此时佛汝德数 Fr 等于 1,即

$$Fr^2 = \frac{\alpha Q^2}{gA^3} B = 1$$

式中: Q ——断面流量, m^3/s ;

A ——断面面积, m^2 ;

B ——水面宽, m ;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

α ——动能校正系数。

若 $\alpha = 1$,变换上式,则写为

$$Q = \sqrt{\frac{gA^3}{B}} = (B\sqrt{g})d_k^{3/2}$$

式中: d_k ——临界水深,等于 $\frac{A}{B}$ 。

A 和 d_k 是水位 Z 和断面因素 Ω 的函数,即

$$Q = f(Z, \Omega)$$

在断面稳定,无冲淤变化的情况下,断面因素 Ω 是水位的函数,即

$$\Omega = \varphi(Z)$$

则

$$Q = f(Z) \quad (1-1)$$

式(1-1)表明,在石梁处,流量仅是水位的函数。因此,水位流量关系呈单一关系。

但必须指出,由于石梁、急滩等都是靠河槽特殊地形产生临界流来维持水位流量关系为单一关系,一旦临界流条件消失,则它们的控制作用也随之消失。所以,低水时有控制作用,高水时则不然。

卡口、弯道及堰坝等在高水时,也能造成水面曲线的转折,产生临界流,从而形成测站控制作用。

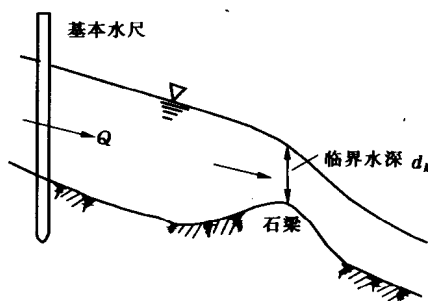


图 1-1 低水石梁控制示意

由此可见,选择水文测站,最理想的是选在高水、低水都有测站控制的河段上。

那么,为什么测流断面不设在控制断面上或其下游,而设在其上游附近呢?这是因为在断面控制处,水面纵坡较陡,流速大,测深测速都不方便,且误差较大,也不安全;而其下游则没有控制作用。所以,测验河段通常选在其上游附近。

(二)河槽控制

一般情况下,天然河道的河流可近似看做稳定非均匀流,其断面平均流速可由曼宁公式表示:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_e^{1/2}$$

式中: n ——糙率;

R ——水力半径;

S_e ——能面比降,可用水面比降 S 代替。

于是,曼宁公式可写为

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

通过断面的流量为

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

式中: A ——断面面积。

上式可写成一般函数形式为

$$Q = f(A, R, n, S)$$

式中的 A 、 R 决定于断面因素 Ω 和水位 Z ,故可写成:

$$Q = f(Z, \Omega, n, S) \quad (1-2)$$

式(1-2)表明,天然河道决定流量大小的基本水力因素有4个:水位、断面因素、糙率、水面比降。因此,要使水位流量关系呈单一关系,必须具备下列条件之一:

(1)在同一水位下, Ω , n , S 维持不变;

(2)在同一水位下,虽有所变动,但它们对流量大小的影响恰好互相补偿。

具备上述条件而产生河槽控制作用的河段必须有相当长的顺直河段,河床稳定,不生水草,不受变动回水影响等。

三、选择测验河段的具体要求

根据设站目的要求,在野外选择河段时,应根据河流特性,灵活掌握,慎重选定。

对一般河道站,应尽量选择河道顺直、稳定、水流集中,便于布设测验设施的河段。顺直长度一般应小于洪水时主槽宽的3~5倍。对山区河流,在保证测验工作安全的前提下,尽可能选在石梁、急滩、卡口、弯道的上游。要尽量避开有变动回水、急剧冲淤变化、分流、斜流、严重漫滩等不利因素的河段及妨碍测验工作的地形、地物。结冰河段还应避开容易发生冰塞、冰坝的地点。

四、测验河段勘测调查工作

设立水文测站之前,应进行勘测调查,内容包括:

(1)查勘前准备。明确设站目的,查阅有关文件资料,特别是有关地形图、水准点、洪水情况等。确定勘测内容和调查大纲,制定工作计划,然后到现场勘察。勘测工作一般在枯水期进行。

(2)测验河段现场调查。该项工作是为了全面了解河道概况,以便初步选定测验河段。调查内容包括:测站控制情况;历年最高洪水位和最大漫滩边界;变动回水影响的起因和范围;河床组成,水草生长及沙情、冰凌情况;流域自然地理概况、水利工程的近况和远景规划等。

(3)野外测量。包括简易地形测量、大断面测量及流向测量、水面纵比降测量等。测量范围,两岸应测至历年最高洪水位以上,沿河长应比选定的河段略长。

(4)编写勘测报告。把调查的情况及测量结果分析整理,提出方案,作为最后确定站址的依据。

第三节 测站的设立

测站的设立就是在测验河段,根据现场勘测调查结果,利用河段地形图,水流平面图等,合理确定各种横断面,并设立相应测量标志,设置水准点,引测其高程;设立水位观测设备、测流渡河设备等。

本节只介绍一般河道站的断面、基线布设等内容。对水库站、堰闸站的设立,参考水文测验有关规范。

一、断面的布设

断面根据不同的用途分为:基本水尺断面、流速仪测流断面、浮标测流断面、比降水尺断面。断面布设见图 1-2。布设断面首先要弄清测验河段的水流方向,即绘制水流平面图。

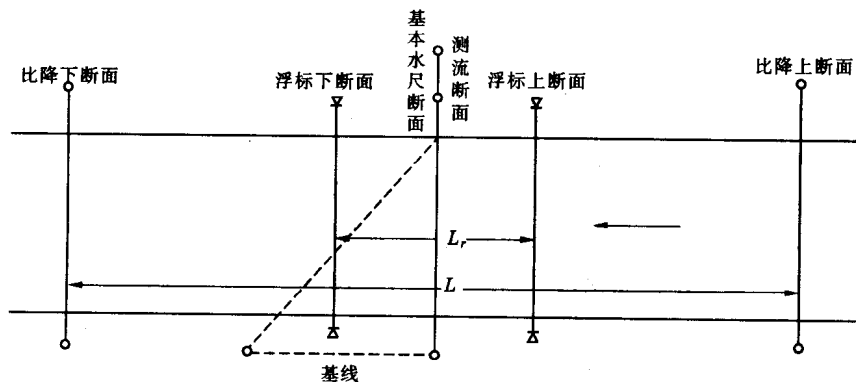


图 1-2 断面布设示意

(一) 水流平面图的测绘

水流平面图是反映测验河段水流流向的分布图,如图 1-3 所示。图中的流向是以某断面处若干个部分流量的矢量来表示的。各部分流量的矢量和就是断面流量的矢量,其方向代表水流通过该断面时的平均流向。这个流向是布设测站各个断面的依据。水流平面图的测绘方法步骤如下:

1. 拟设测流断面

在测流断面位置的上下游平行地布设 1~5 个断面,并设置断面桩,各断面之间的间距应基本相等,且最好不小于断面平均流速的 20 倍。

2. 施测准备

用经纬仪或平板仪交会各个断面的断面桩、水边点,然后在上游向河流中均匀投放 5~15 个浮标,并测定每个浮标流经各个断面时的起点距和相应的时间。

3. 整理计算交会资料

整理计算各断面测角交会资料,绘制测验河段平面图,并在该平面图上将各个浮标经

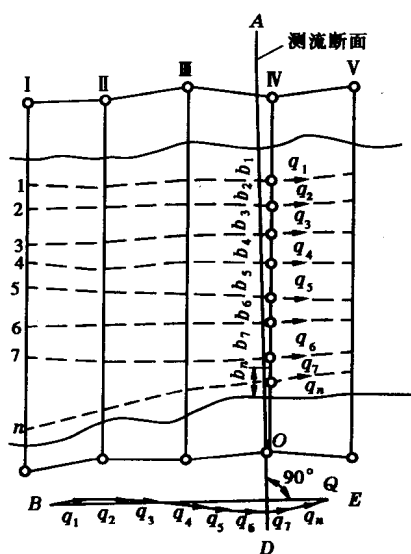


图 1-3 水流平面

过各断面的位置绘出,并按顺序用虚线连成折线。虚线走向即代表水流的情况,选择虚线走向比较一致处的断面为初选的测流断面。

4. 绘制流速矢量线

在初选的测流断面上,计算各部分面积的部分虚流量,然后按比例绘制各部分虚流量的矢量线。

5. 确定断面方向

在图的下方将各部分虚流量的矢量值用推平行线的方法连成矢量多边形,定出矢量和的方向 $\vec{BE}$,垂直于 $\vec{BE}$ 线的 $\vec{AD}$ 即为最后确定的测流断面线。从图上求出原断面线与 $\vec{BE}$ 的夹角,根据两角之差用经纬仪将原断面校正到 $\vec{AD}$ 方向,打好断面桩即可,如图 1-3。

(二) 基本水尺断面

基本水尺断面,是为经常观测水位而设置的断面。通过基本水尺断面长年水位观测,提供水位变化过程的信息资料,并靠它来推求通过断面的流量等水文要素的变化过程。

设立基本水尺断面,应以是否有助于建立稳定、简单的水位流量关系为主要目标。因此,基本水尺断面应设置在具有断面控制地点上游附近。测验河段内,若改变基本水尺断面位置,对水位流量关系自然改善无明显作用时,可将基本水尺断面设置在测验河段的中央。

基本水尺断面应大致与流向垂直,与测流断面之间,不应有较大支流汇入或有其他因素造成水量的显著差异。

(三)流速仪测流断面

流速仪测流断面是为用流速仪法施测流量而设置的断面。由于泥沙测验必须与流量测验同时进行,所以流速仪测流断面同时又用于输沙率测验。

设立流速仪测流断面,应以安全操作、保证质量、设立简单为主要目标。在满足这些要求的前提下,应使其与平均流向相垂直。若测流断面不与基本水尺断面重合,应尽量缩短两断面间距离,中间不能有支流汇入与分出,以满足两断面间的流量相等。

一个测站的水位流量关系,是指基本水尺断面水位与通过该断面的流量间的关系。所以测流断面与基本水尺断面应该是一个断面,这样才能以实测的水位流量资料建立水位流量关系,从而根据水位观测资料推求流量过程。若基本水尺断面与测流断面相距不远,只要通过两断面的流量相近,也可以基本水尺断面水位与测流断面的流量建立水位流量关系。

若测流断面不与基本水尺断面重合,则应设立水尺,在测流期间,观读水位,供计算面积、流量之用。

测流断面应垂直于断面平均流向。若一个测流断面不能同时满足不同时期(高、中、低水)的测流时,可设置不同时期的测流断面。当测验河段内有几股水流,其流向互不一致时,可设置不同方向的几个测流断面。

若测流断面与流向不垂直时,流向偏角会使测得的流量产生误差。当流向偏角为 10° 时,其误差约为1.5%,其值虽小,似乎影响不大,但这一误差为系统误差,会使测得成果系统偏大,因此这是不能忽视的。

(四)浮标测流断面

浮标测流断面,是为用浮标法施测流量而设置的断面。浮标测流断面有3个,即测定浮标位置和过水断面面积的浮标测流中断面、用于测定浮标漂流速度的浮标上断面和浮标下断面。

浮标测流中断面应尽可能与流速仪测流断面重合。在中断面的上下游等距离处布设上、下浮标断面。上、下浮标断面之间的距离,主要考虑测验误差和浮标测得速度的代表性,尽可能缩短测流历时。所谓代表性,是指浮标测得速度应能够代表浮标中断面的瞬时速度。

为了使浮标测得速度具有代表性,上、下浮标断面的间距应尽量缩短。另一方面,为了减少浮标测流时的计时误差,同时施测时要有足够的时间供上下游联系,这又要求其间距有足够的长度。为了兼顾上述两方面的要求,可利用误差的概念加以分析说明。

假定浮标测流时,记时最大误差 $\Delta t = 1$ 秒,而距离丈量误差小于1%,可以忽略。则浮标流速的相对误差 δ_v 可写为

$$\delta_v = \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta L_f}{L_f} \approx \frac{\Delta t}{t} = \frac{1}{t}$$

因

$$t = \frac{L_f}{V_f}$$

故

$$\delta_v = \frac{1}{t} = \frac{V_f}{L_f}$$

因浮标流速 V_f 的大小在测量前是未知的,并且随洪水大小及浮标在横断面上位置的不同而变,故可用估算的最大断面平均流速 $V_{\max}$ 代替,则

$$L_f = \frac{V_f}{\delta_v} = \frac{V_{\max}}{\delta_v} \quad (1-3)$$

以上各式中: $L_f, \Delta L_f$ ——上下浮标断面之间的距离和量距误差, m;

$t, \Delta t$ ——浮标从上断面到下断面经过的时间及计时误差, s;

δ_v ——浮标测速的相对误差, 一般规定 $\delta_v = 1.25\% \sim 2.0\%$ 作为允许误差,

代入式(1-3)得

$$L_f = \frac{V_{\max}}{0.0125 \sim 0.02} = (80 \sim 50) V_{\max}$$

即浮标上下断面间距应为最大断面平均流速的 80~50 倍。具体应用时,可根据河段情况而定。对于山区河流不易达到此要求,可适当缩短,但不得小于最大断面平均流速的 20 倍。WMO 的《水文气象实践指南》中建议浮标漂流历时宜大于 20 秒,以确定浮标上、下断面的间距。

为了适应高低水时测流的需要,可以布设不同间距的上、下浮标断面。

(五)比降断面

比降断面是设立比降水尺的断面。在比降水位观测河段上应设置上、中、下 3 个比降断面。可取流速仪测流断面或基本水尺断面兼比降中断面。

当断面上水面有明显的横比降时,应在两岸设立水尺观测水位。当有困难时,可在上、下比降断面两岸设立水尺计算水面平均比降。

上、下比降断面的间距,应使水面落差远大于落差观测误差。上、下比降断面的间距可采用下式估算:

$$L_s = \frac{2}{\Delta Z^2 X_s^2} (S_m^2 + \sqrt{S_m^4 + 2 \Delta Z^2 X_s^2 S_z^2}) \quad (1-4)$$

式中: L_s ——比降断面间距, km;

ΔZ ——河道每公里的水面落差, mm, 宜取中水位的平均值;

X_s ——比降观测允许的不确定度, 可取 15%;

S_m ——水准测量每公里线路上的标准差, mm, 根据水准测量的等级而定, 三等水准为 6mm, 四等水准为 10mm;

S_z ——比降水位观测误差, mm。

二、基线的布设

在测验河段进行水文测验和断面测量,用经纬仪或六分仪交会法测角,推算测验垂线在断面上的位置(起点距)时,在岸上布设的测量线段,称为基线(见图 1-2)。

基线应垂直于断面设置,基线的起点恰在断面上。当受地形条件限制时,基线也可以不与断面线垂直。基线长度应使断面上最远一点的仪器视线与断面的夹角大于 30° , 特殊情况下应大于 15° 。对不同水位时水面宽相差悬殊的测站,可在岸上和河滩上分别设置高、低水位的基线。

测站使用六分仪交会法施测起点距时,布设基线应使六分仪两视线的夹角大于或等于 30° ,小于或等于 120° 。基线两端至近岸水边的距离,宜大于交会标志与枯水位高差的 7 倍。当一条基线不能满足上述要求时,可在两岸同时设置 2 条以上或分别设置高、低水位交会基线。

基线长度应取 10 的整倍数,用钢尺或校正过的其他尺往返测量 2 次,往返测量不符值应不超过 1‰。

第四节 测验渡河设备

一、测验渡河设备的作用和分类

流量测验(结合泥沙测验),按目前一般采用的面积—流速法,均须利用渡河设备。在使用流速仪测流时,渡河设备被用来测量水道断面面积和流速、流向;使用浮标测流时,用来测量水道断面面积;输沙率测验时,则同时用来采取水样。

测验渡河设备种类繁多,但以野外测验时所处位置,可划分为 4 类:渡船测流设备、岸上测流设备、架空测流设备和涉水测流设备。以上每一类测验渡河设备又分为多种形式。如渡船测流设备,有机船、锚碇测船、过河索吊船等,其中过河索吊船应用较为普遍。岸上测流设备为各种形式的水文缆道,目前已被广泛采用。架空测流设备有渡河缆车、测桥、吊桥等。涉水测流用于小河枯季测流,设备简单。另外,随着近几年来水文巡回测验工作的开展,利用水文测车在桥上测流也将成为一种重要形式。

渡河设备首先能满足洪水期测流的要求。其次,也能在枯水时测流。对有些测站,为了满足各种情况下的测流,往往需要同时具有几种渡河设备。

二、几种主要的测验渡河设备

(一)过河索吊船设备

这种过河设备用于船上测流,见图 1-4。

主要包括:测船和在测流断面以上并与之平行的过河索等。后者的作用是用来固定和移动测船。

过河索吊船设备能进行多种项目的测验。在水流比较平稳、漂浮物威胁不太严重的河流上比较适合。其缺点是测验人员必须上船操作,当流速急、风浪大、漂浮物多时,船只不平稳,不安全。

(二)水文缆道

如图 1-5 为水文缆道,又称流速仪缆道,该设备用于岸上测流。水文缆道主要有承载、驱动、信号传递 3 大部分组成。承载部分包括:承载索(主索)、支架、锚碇等设备。驱动部分包括:牵引索(循环索、起重索、悬索)、绞车、滑轮、行车、平衡锤等。其中驱动动力有电力、内燃机和人力几种。信号传递部分包括:信号线路与仪表装置等。

水文缆道作为一种岸上测流设备,与过河索吊船相比,能够实测到更高量级的洪水,并且在改善工作条件,确保测验安全及节省人力等方面有很大的优越性,因此被广泛采