

高等学校教材

水文测验学

华东水利学院 严义顺 主编

水利部出版社

内 容 提 要

本书主要介绍江河的水文测验与水文资料整编的基本概念、原理和方法。全书共分十章，主要内容有：水文站网规划，设站，水位、流量、泥沙等水文要素观测及资料整编，水文测验误差的分析等。

本书为高等专科学校教材，适合陆地水文专业使用，亦可供水利工程技术人员、水文测站职工参考。

前 言

本书根据高等学校水利水电类专业教材编审委员会于1982年3月在南京制定的教材编审规划组织编写的。同年4月,由华东水利学院水文系、成都科技大学水利系有关同志,根据1980年水利电力部制定的陆地水文专业教学计划的要求,讨论制定了《水文测验学》编写大纲,大纲征求了水利电力部水文局、长江流域规划办公室、黄河水利委员会等三十多个单位的意见,在此基础上进行编写。

书中内容包括水文测验及水文资料整编两个方面。本书以成都科技大学和华东水利学院合编的《水文测验学》讲义为基础,结合我国《水文测验试行规范》及国际标准(ISO),主要介绍一般江河水文要素的资料搜集、整理、分析的基本概念基本原理以及基本方法。全书共分十章,包括站网布设、测站设立,各种水文要素的观测、测验、计算整理及资料整编。编写中力求简明扼要、理论联系实际,尽量反映目前国内外的水平。本书主要作为高等学校陆地水文专业学生的教材,亦可供水文科技人员及水文站广大职工参考。

参加本书编写工作的有成都科技大学水利系和华东水利学院水文系的同志。绪论、第一、五章由严义顺(华东水利学院)编写;第二章由邓贤贵(成都科技大学)编写;第三、十章由林传真(华东水利学院)编写;第四章由张家琼(华东水利学院)编写;第六、八章由潘久根(成都科技大学)编写;第七章由夏佩玉(华东水利学院)编写;第九章由周忠远编写。严义顺负责主编,林传真、周忠远协助修改整理。水利电力部水文局陈道弘、王锦生、李久昌三同志负责审稿,陈道弘担任主审。本书编写过程中,得到长江流域规划办公室水文局、黄河水利委员会水文局以及江苏、浙江、江西、湖南、四川、黑龙江等省水文总站的支持和帮助、提出宝贵意见,谨此表示感谢。

由于时间仓促,水平有限,加上资料不足,书中错误、缺点一定不少,欢迎批评指正。

严义顺

1983.9.

符 号 对 照 表^①

量的名称	符 号		单 位 名 称	计 量 单 位
	本 书 使 用	国 标 通 用		
面 积	F	A	平方米	m^2
水 面 宽	B	B	米	m
部 分 宽	b	b	米	m
水 深	h	d	米	m
闸门开启高度	e	e	米	m
总 水 头	H	H	米	m
水 头	h	h	米	m
长 度	L	L	公里, 米	km, m
水 位	G	Z	米	m
比 降	I	S		
流 速	V	V	米每秒	m/s
水 面 流 速	V_s	V_s	米每秒	m/s
流 量	Q	Q	立方米每秒	m^3/s
部 分 流 量	q	q	立方米每秒	m^3/s
糙 率	n	n		
历 时	t	t	秒	s
浮 标 系 数	K_f	K_f		
含 沙 量	ρ	C_s	公斤每立方米, 克每立方米	$kg/m^3, g/m^3$
输 沙 量 ^②	Q_s	Q_s	公斤每秒, 吨每秒	$kg/s, t/s$
容 积	V	V	立方米	m^3
粒 径	D	D	毫米	mm
沉 降 速 度	ω	ω	厘米每秒	cm/s

注 ①本书使用符号采用原水文测验规范所使用的符号, 国标通用符号摘自《中华人民共和国国家标准水文测验基本术语和通用符号(GBJ-86(报批稿))》。

②输沙量原水文测验规范称输沙率。

目 录

前 言

绪论	1
第一章 测站	3
第一节 水文站网	3
第二节 水文测验河段的选择与勘测	7
第三节 测站的设立	9
第二章 水位观测	15
第一节 概述	15
第二节 观测水位的设备和方法	16
第三节 水位观测成果的计算	20
第四节 测站考证和水位资料整编	22
第三章 流速面积法测定流量	28
第一节 概述	26
第二节 断面测量	27
第三节 流速脉动与流速分布	40
第四节 流向测量	46
第五节 流速仪	50
第六节 流速仪法测流	57
第七节 浮标测流法及航空摄影测流法	69
第八节 动船法测流及缆道积宽法测流	76
第九节 比降面积测流法	82
第四章 其它测流方法	84
第一节 量水建筑物测流	84
第二节 水电站测流	88
第三节 溶液法测流	90
第四节 超声波测流	92
第五节 电磁法测流	95
第六节 光学流速仪	96
第五章 误差	99
第一节 误差分类	99
第二节 误差的概率分布与随机误差传播理论	101
第三节 测流误差估算方程式	105
第四节 系统误差分析方法	108
第五节 误差的综合	113

第六节 流速仪测流方法的精简分析	115
第六章 泥沙测验	119
第一节 概述	119
第二节 悬移质泥沙测验	120
第三节 推移质和河床质泥沙测验	135
第四节 泥沙颗粒分析	140
第七章 流量资料整编	150
第一节 概述	150
第二节 稳定的水位流量关系的分析	151
第三节 受各种因素影响下的水位流量关系分析	155
第四节 河道站流量的推算方法	165
第五节 利用水工建筑物推算流量	180
第六节 水位流量关系的检验与流量不确定度的估算	185
第七节 水位流量关系曲线的高、低水延长及流量的插补	191
第八节 逐日平均流量的计算及流量资料的合理性检查	195
第八章 泥沙资料整编	198
第一节 悬移质输沙率资料整编	198
第二节 推移质输沙率资料整编	205
第三节 泥沙颗粒级配资料整编	208
第九章 电子计算机整编水文资料方法	212
第一节 概述	212
第二节 插值法	215
第三节 水文资料整编中单一线拟合	219
第四节 电子计算机模拟受各种因素影响下流量资料整编方法	226
第五节 电算整编中所用到的其它数学模型介绍	237
第十章 潮水河水文测验	242
第一节 概述	242
第二节 潮水位观测及资料整理	245
第三节 潮流量测验及计算	248
第四节 潮流量资料整编	254
第五节 潮水河悬移质泥沙测验及资料整编	261
主要参考书	263

绪 论

水文测验学是研究各种水文要素的测量、计算与资料整编的原理和方法的一门科学，是水文学的一个重要组成部分。

水文测验工作是水文工作的基础。它的任务是：根据国民经济发展的需要，进行站网规划，布设水文站；采用定位观测、巡回测验、水文调查等方法测定各项水文要素，包括水位、水温、冰凌、地下水位、流量、泥沙、降水、蒸发的观测（或测验）、泥沙颗粒分析、水质的监测和分析；经整编、刊印成水文资料，如水文年鉴等。根据水文测验资料，可以掌握各地各种水文要素变化的情况、规律，为防汛抗旱和监视水源污染提供情报，为水利工程的规划设计和运用，为其它国民经济建设和国防建设服务，亦为研究水文和水资源提供资料。

水文测验工作是随着人类对水的利用在实践中发展起来的。世界上最古老的水文测验遗迹发现于埃及，约在四千年以前，埃及的僧侣用石砌暗沟接通到尼罗河的测井，洪水期间于井壁读记水位，以预告尼罗河的泛滥范围。我国的水文测验工作发展也很早，远在4200多年前，大禹治水，就是根据观察河流水文特性，因势利导，经9年获得成功。据历史记载，在2000多年以前的秦朝，李冰父子在四川成都平原修建都江堰大型灌溉工程时，用雕刻的石人当作水尺观测水位，以便合理地管理运用。其后各地为了防洪、灌溉或航运的需要，在黄河、永定河、淮河等地设立水尺，观测水位。

1840年鸦片战争以后，帝国主义控制我国沿海和沿江航运，在上海、汉口等地设站，只观测水位和雨量。我国自行设置水文站，先于1915年在淮河蚌埠等处设站，观测水位、流量及含沙量。其后陆续在永定河、黄河、长江中下游设立少数水文站。但是，解放前我国水文工作处于十分落后的状态，全国水文站很少，如1949年仅有353站，且分布很不合理，测站设备简陋，大部分记录残缺不全，水文资料也很少整编刊印。

解放后，随着经济建设的需要，水文工作也有相应的发展和提高。在全国建立起一个比较完整的水文站网体系，据1982年水利部门的统计，已设立水文站3401处，水位站1373处，雨量站16437处，泥沙站1635处，水化学站1435处，地下水位站13504处，蒸发站1349处，冰情站1276处，实验站60处。另外还有其它部门的专用站和群众观测站。制定了全国统一的水文测验技术规范，统一了技术标准，提高了测验质量。测站的设备仪器也不断的充实和改进，表现在：水位、雨量观测的自记水平提高了，水位自记达60%以上，雨量自记近50%；测流缆道技术的发展，现已成为水文站测流、取沙的主要测验设施之一；新技术新仪器设备应用的研究，取得可喜的成绩：如湖南、浙江研制了超声波测流设备，长江流域规划办公室、广东、辽宁等应用动船法测流设备，黄河水利委员会采用同位素测沙，华东水利学院与黄河水利委员会等单位研制的光电颗粒仪，浙江、辽宁研制的自动化测流设备，近来在北京市区、浙江浦阳江流域等地进一步研制流域的自动化测报系统。这些对

于保证水文测验人员安全,迅速地、高效率地搜集水文资料,提高水文资料精度,具有重大的意义。水文资料以年鉴形式刊印成册,每年全国共分74册刊布,1982年全国已有33册年鉴采用电子计算机整编。还有水文测验、资料整编方法的研究,水文测验组织体制的改革,也都取得一定的进展并累积了经验,这对水文测验工作的发展也起了积极的推动作用。

虽然,三十多年来我国水文测验工作取得了很大成绩,已有一定的水平,但从四个现代化对水文测验的要求看,还存在不少薄弱环节;与国际先进水平相比,还有差距。例如,水文测验的基本理论的研究是薄弱的,今后必须加强研究,逐步健全水文测验学的理论体系;水文站网较稀而用人较多,是我国同国际先进水平的主要差距之一。因此,提高测验效率,改革测验方式是十分重要的;水文仪器比较落后,这是我国同国际先进水平的又一重要差距。国外新技术在水文测验中的应用发展很快,如一些国家建立起自动化资料处理系统、为提高水文资料的管理与服务建立起可以自动存储检索的水文资料库、卫星、航空遥感技术的应用等等。这些,我们还刚刚开始研究摸索。

我国幅员辽阔,地形复杂,气候条件相差很大,致使水文情况错综复杂。一般说,北方干旱,北方河流多沙,尤其经过黄土高原的黄河,含沙量在世界上是罕见的;南方湿润,南方河流一般水深流急,水量较丰富。暴雨集中,在时间、空间的分布极不均匀;洪水以暴雨洪水为主,但在西北一些河流则以冰雪融化形成洪水。我国水体也是多种多样,有外流河与内陆河,全年畅流与冬季封冻的河流,非潮水河与潮水河,平原水网地区又独具一格,有江河湖库又有冰川、沼泽、泥石流等。这些使我国水文测验工作多样化、复杂化,同时也给我们的水文测验与资料整编工作增加了许多困难。因此,必须根据我国实际情况,吸取国外有益的经验 and 先进技术,促进我国水文测验工作的不断发展。

水文测验学是一门正在发展的科学,有些测验、整编方法还属于经验性的,一些方法还存在不少问题有待研究解决。它的发展也与一些科学技术的进步密切相关,必须予以注意。

由于篇幅限制以及课程分工不同,根据陆地水文专业教学计划的要求,本教材主要介绍水文测验与资料整编的基本概念、原理、方法。关于普通测量、降水和蒸发、水质监测和分析、水文电测仪器等内容另有专门教材。

第一章 测 站

第一节 水 文 站 网

一、测站与站网

水文测站是进行水文观测的基层单位，也是搜集水文资料的基地。

由于水文现象在地区上存在着显著的差别。要研究和掌握不同地区水文要素的变化规律，必须设立各种水文测站，收集水文资料，为国民经济各部门服务。而测站设立的数目与当地当时经济条件有关，如何以最少站数来控制广大地区水文要素的变化，这就与水文站布设位置是否恰当有密切关系。研究水文站在地区上分布的科学性、合理性、最优化等问题，就是水文站网规划的任务。

站网就是测站在地理上的分布网。站网规划就是将水文站按照一定的科学原则布设在流域的合适位置上。站网布设后可以把测站有机地联系起来，使测站发挥出比孤立存在时更大的作用。

水文站除进行经常性的水文测验和资料整编工作外，还担负着水文调查、水文预报、水文计算、水文试验研究和指导群众性水文工作的任务。

水文观测的项目很多，如水位、流量、泥沙、降水、蒸发、地下水水位、冰情、水质、泥沙颗粒级配、水温、土壤含水量等。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）；还有如泥沙站、雨量站、蒸发站、水质监测站等。相应的站网也分为水位站网、流量站网、雨量站网、泥沙站网等，统称为水文站网。

二、水文站网的种类

水文站网的分类有以下几种：

按测验项目分 有水位站、流量站、雨量站、泥沙站等。

按经办单位分 有国家站、群众（社队）站。

按测站性质分 有基本站、专用站和实验站。

国家水文站网的种类可归纳如下：

1）基本站网：流量站网，水位站网，雨量站网，泥沙站网，蒸发站网，水质站网等。

2）专用站网：分类同基本站网。

3）实验站网：径流实验站，河床演变实验站，河口实验站，湖泊（水库）实验站，沼泽实验站等。

基本站网是综合国民经济各方面的需要，由国家统一规划而建立的，要求以最经济的测站数目，达到内插任何地点水文特征。基本站网中，站与站之间有密切的联系，一个站的站址变动会牵动邻近测站的布局。因此，一旦基本站网建立了，再变动站址就应慎重考

虑,并须经流域、省区水文领导机关审定。基本站的工作应根据水利电力部审定、颁布的水文测验技术规程进行观测,观测的资料须整编刊印。

专用站网是为某项工程或某专门目的而设立的,它的观测项目、要求及测站的撤消与转移,可由该部门自行规定。

将测站分为上述两类,对站网的建设和管理是有好处的。这两类站网的作用是相辅相成的,专用站在面上辅助了基本站,而基本站在时间系列上辅助了专用站。

站网建成后并不是长久不变的,应根据经济发展的需要和测站的实际作用加以调整。

各类实验站是为了对某种水文现象的变化过程和某些水体进行全面深入的研究而设立。径流站应成为科学实验基地,成为小河站的技术指导中心。

群众水文站是对国家站网的补充。它在及时指导当地农业生产,防汛抗旱起了积极作用。

三、基本水文站网的布设原则

基本水文站网的布设是以最经济、合理的测站数,搜集流域中各种水文要素变化信息,并以能满足内插流域中任何地点水文特征的需要为原则。

基本水文站网中,流量站网是最重要的站网,因此重点介绍流量站网,并简要地介绍水位站网与泥沙站网。

(一) 基本流量站网的布设原则

由于河流有大小、干支流、上下游的区分,因此流量站网的布设原则也不同。

1. 线的原则

适用于大河干流的原则,用于流域面积超过5000平方公里的河流。沿河相邻站址距离,要满足径流特征值沿河长插补的精度要求,并满足沿河长进行水文情报、预报的要求。

由于实测流量是包含有误差的,因此上下游相邻测站之间应有适当间距,在这个距离中所增加的区间径流量,不小于上游测站径流量的10~15%。如流域产流比较均匀,也可用区间流域面积大小代替区间径流量来估算。

规划时应从河流上游开始,并且测站布置上游稀、下游密。在河流水量最大的地方,如河流下游在入汇口之前的水量最大处,应布设测站。

在站网重新规划时,应尽量利用原有历史较长的测站,还应结合国民经济开发的近期与远期规划,测验条件与生活条件等多方面综合考虑。

2. 区域原则

根据气候、下垫面等自然地理因素进行水文分区,在水文分区内选择代表性较好的流域布设测站,这就是区域原则。它适用于流域面积为200~5000平方公里的中、小河流。应用这些站的资料,可以进行相似河流的水文计算,而无须在每条小河上布站。

如果两条河流的流域面积、地形、地质与土壤、坡度、植被等相似,当降水相似时,它们将会发生相似的水情。因此要对流域自然地理情况进行调查分析,进行水文分区,然后利用区域原则布站。

水文分区有大、有小,对不同的水文特征值要采用不同的水文分区。例如对于湖泊注

地、沼泽、水网、干旱地区等，一般要单独划分为一个水文分区。

3. 分类原则

对于流域面积小于200平方公里的河流，这类河流数目很多，利用区域原则设代表站还嫌数量过多，而且，这些小河的流域特性差异较大，因此用分类原则来布站。即按自然地理条件如湿润地区、沙漠、黄土高原等来划分大区；按植被、土壤、地质、河床质组成等下垫面因素进行分类；同一类型按流域面积大小分级，并考虑流域坡度、形状等因素进行站网规划，以便应用到相似的无水文资料的小流域上。

以上三种布站原则，具体运用时是配合使用，互相关联的。三种原则分别使用于大、中、小河。但大中小河流的分界并非绝对的，随具体情况变化。例如我国东南部，雨量充沛，因此有些省规定，流域面积大于3000平方公里即可按大河的原则规划布站。

此外，还应考虑国民经济开发的远景，水利资源的开发价值，历史较长测站的处理等。一般布站时，对边远地区、暂不开发地区的站网密度可稀些，对洪水组成复杂地区布站可密些。

我国于1956年确定站网布设的线的原则、区域原则，经二十多年实践证明是基本合理的；1978年确定的小河站布设原则基本上是正确的。当然，随着我国水文、水利水电开发发展的情况对水文站网进行适当地改进、调整和补充也是完全必要的。

(二) 基本水位站网的布设原则

河流水位的变化，一方面受流量的影响，另一方面也受河床地形的影响，因此仅由水位来探求水情变化规律是困难的。在河流的中、上游，除非所布流量站的站距太长，需要增设水位站外，一般不布设基本水位站。但在堤防段、潮水河段、水网地区及湖泊水库地区，由于不需要或不宜布设流量站，为掌握水情的变化，则需要规划布设基本水位站。

河流上布设基本水位站的地点：尚未建立基本流量站，布设水位站作为过渡性测站；大支流汇入后的干流上；经常发生洪水的、众多支流汇入后的干流上；堤防段进行洪水预报的地点；有大量泉水或地下水补给河段的下游；河流纵比降有显著转折处；闸坝的上下游。

(三) 基本泥沙站网的布设原则

河水挟带泥沙主要来自两岸地表，河水含沙量的多少与流域的土质、植被有密切关系。因此，布设泥沙站网时，必须充分考虑流域的产沙特性及规律，还需要考虑测验仪器的精度。

对于年平均含沙量在 $0.05 \sim 0.1$ 公斤/米³以上时，可以考虑布设基本泥沙站，并结合流量站网布设。为了满足绘制侵蚀模数等值线的要求，基本泥沙站在流域上分布宜均匀，但在沙量大的地区可密些，沙量小的地区可稀些。在已建或拟建水库或灌区引水口上游的基本流量站，都须考虑布设泥沙站。

(四) 站网布设中存在的问题及今后研究方向

我国水文站网自1956年开始，经过统一规划布站，总的说是正确的，取得的成绩也是显著的。但还存在如下问题有待研究解决。

优化站网布设的研究。所谓优化站网布设系在站网布设中，使不同职能的基本站点，

不论在数量、空间分布、相互搭配上,以及观测时限、观测手段和信息的传递上,都能以最小的代价,最高的效率,搜集质量合格的水文资料。这是近年来世界各国在站网规划中总结出来的经验。按我国站网的现状和经济技术水平,在今后较长的时期内,还处于增站阶段,因此及早研究优化站网的途径,以减少盲目性是很重要的。在优化站网的建设中,必须根据国民经济建设的实际需要,对站网进行调整、充实;必须与生产上常用的分析计算方法相适应,尤其注意水文科学发展的动向对水文站网提出的新要求。还应与搜集资料的手段相适应。因为新技术的应用将对水文站网的结构和布局产生巨大的影响。而最主要的是观测资料给国家带来的经济效益的研究,必须给予极大的重视。

我国目前水文站网密度和布局,与世界上发达国家相比,存在较大的差距。我国现有水文站密度过稀,除浙江、江苏外,一般尚未达到世界气象组织建议的最小水文站网密度水平(即一般平原每站面积为1000~2500平方公里,山区面积为300~1000平方公里),特别是西部各省、区。布局也不够合理,如雨量站随高程布设,往往在流域上游暴雨区缺乏雨量站。

人类活动对站网的影响问题。随着大规模水利建设的发展,受水利化影响较大地区的站网如何进行调整、补充;由于人类活动影响,已取得的资料如何还原为天然情况下的同步系列的问题,有待于进一步研究解决。

此外,还有站网的配套问题。各站网布设不是孤立的,而必须互相配合,因此各种站网的配套也是优化站网布设的一个重要问题。过去这方面考虑不足,致使一些站的资料满足不了生产上的要求。尤其在小河站网布设,雨量站的配套极为重要。又如湖区、平原水网地区站网布设缺乏统一规划,致使水账不清的现象长期存在。这些地区站网布设如何进行,需要解决。

表 1-1 世界部分国家的水文站网

国 家	面 积 (万公里 ²)	测 站 数		备 注
		雨量站	流量站	
中 国	960	16437	3401	1982年统计,暂未统计台湾省 以下系1966、1968年统计资料
阿 根 廷	278	3445	700	
澳 大 利 亚	770	6660	1359	
加 拿 大	995	1940	1327	
扎 伊 尔	234	445	2	
捷 克	13	1242	519	
法 国	55	4295	760	
西 德	25	2950	1757	
南 斯 拉 夫	26	2688	720	
日 本	37	6000	2006	
毛 里 塔 尼 亚	108	33	4	
秘 鲁	128	926	219	
英 国	24	6000	500	
埃 及	100	91	66	
美 国	936	10500	7601	
苏 联	2240	18489	11000	

以上问题，都是有待研究解决的，否则不能发挥水文站的正常作用，造成人力物力的浪费。随着我国“四化”建设的发展，水文科学水平的不断提高，经过水文工作者的努力，这些问题是能够逐步解决的。

(五) 部分国家水文站网情况

水文站网规划对水文工作是极其重要的，随着人口增加和经济发展，国内外都逐渐重视。但是，由于各国经济发展差异很大，其站网的发展也是不平衡的。现将部分国家水文站网情况列于表1-1。

第二节 水文测验河段的选择与勘测

一、选择水文测验河段的条件

测验河段是野外进行各种水文测验的场所。选择测验河段不仅考虑当时河流情况，而且还要调查研究在稀遇高水和枯水时期，都能测得水位和流量等资料。选择的原则可归纳如下：

必须满足设站的目的要求；

保证测验成果具有必要的精度，在此前提下尽可能有利于简化资料整理工作。即所选择的测验河段，其水位流量关系能经常保持单一关系，便于以后由水位推求流量，大大减轻测验和资料整编的工作量。

如采用巡回测验的地区，选择河段首先要考虑测站是易于到达的，尤其是洪水期。

二、测站控制

如在测流河段下游，有一个断面或一段河槽，其水力特性能使测站的水位流量关系保持单一关系，这个断面或河段便称为测站控制。测站控制作用发生在一个横断面上称断面控制。如测站控制要靠一段河槽的底坡、糙率、断面形状等因素的组合达到的，称为河槽控制。

1. 断面控制

在天然河道中，由于地质和人工原因，造成河段中局部地形突起，使水面曲线发生明显转折，形成临界流，出现临界水深 h_K ，构成测站断面控制。如类似溢流坝的石梁，平面束狭的卡口等。

从水力学知，出现临界流处，其佛汝德数 F_r 等于1，即

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gh_K}} = 1 \quad V = \sqrt{gh_K}$$

如临界水深处横断面为矩形， $F = B \cdot h_K$ ，则

$$Q = F \sqrt{gh_K} = (B \sqrt{g}) h_K^{3/2}$$

石梁为坚石构成，流速大，不致冲淤。所以临界水深仅随临界水位 G_K 而变，故

$$Q = f_1(h_K) = f(G_K) \quad (1-1)$$

上式说明在石梁处，流量仅是水位的函数，流量与水位呈单一的关系。显然，当高水时下游水位淹没石梁，则产生临界流的条件消失，其控制作用也随之消失。

卡口、弯道等在高水时，造成水面曲线的转折，产生临界流，而形成测站控制作用。

2. 河槽控制

天然河道中的水流可近似地看作稳定不均匀流，其平均流速由曼宁公式表示：

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

式中 n ——糙率；

R ——水力半径、宽浅断面也可用平均水深代替；

I ——能面比降，近似地等于水面比降 I 。

则

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

通过断面的流量为：

$$Q = F \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

式中 F ——断面面积。

将流量写成一般函数形式：

$$Q = f(F, R, n, I)$$

式中 F 、 R 决定于断面因素 Ω 和水位 G ，故可改写成：

$$Q = f(G, \Omega, n, I) \quad (1-2)$$

(1-2) 式表明，决定河道流量大小的水力因素有：水位，断面因素，糙率，水面比降。因此，要使水位流量呈单一关系，必须具备下列条件之一：

1) 在同一水位下， Ω 、 n 、 I 维持不变；

2) 在同一水位下， Ω 、 n 、 I 虽然有所变动，但它们对流量大小的影响恰好互相补偿。

选择水文测站，最理想的是选择在既有低水控制，又有高水控制的河段。

三、选择测验河段的具体要求

根据设站的目的要求，在野外选择测验河段时，应该根据河流特性，灵活掌握，慎重选择。

世界气象组织的水文气象实践指南，提得简明扼要：

- 1) 流速垂直于横断面，各点流速相互平行；
- 2) 垂线上和沿河宽的流速分布曲线是有规则的；
- 3) 流速大于 0.1~0.15 米/秒；
- 4) 水深大于 0.3 米；
- 5) 河床稳定而有规则；
- 6) 水流不致漫溢出河道的堤岸；
- 7) 不生长水草。

另外应该注意：选择测流河段应在干支流汇合口上游附近所引起的变动回水范围以外，并离开运转频繁的码头。

四、测流河段的勘测调查工作

设立水文站之前,应进行勘测调查,内容包括:

- 1) 河流控制情况的调查。了解测站控制情况,控制断面位置,顺直河段长度,漫滩宽度,分流串沟等情况。
- 2) 河流水情的调查。了解历年最高、最低水位情况,估算最大流量、最小流量;了解变动回水的起源和影响范围、时间,估算变动回水向上游传播的距离;调查沙情、水草生长情况和冰凌情况。
- 3) 河床组成、河道的变迁及冲淤情况的调查。
- 4) 流域自然地理情况、水利工程、测站工作条件的调查。

必要时,应在查勘中进行简易地形测量、大断面测量、流向测量、瞬时水面纵比降测量等工作。

勘测前的准备工作:明确设站的目的任务,查阅有关文件资料,尤其是有关地形图、水准点、洪水情况等,确定勘测内容与调查大纲,制定工作计划,然后到现场调查。勘测工作一般在枯水期进行。

勘测调查报告应及时整理,提出意见,为选择站址提供依据。

第三节 测站的设立

设站工作的主要内容有:设置水准点并引测其高程;测量测验河段地形及测绘水流平面图,据以确定横断面方向,设置横断面及基线,布置测量标志及高程基点;建立水位观测设备及测流过河设备等;填写测站考证簿。

本节只介绍断面布设、基线布设及测流过河设备。关于水流平面图及水位观测设备将在以后其它章节介绍。

一、横断面的布设和要求

根据不同用途分为基本水尺断面、流速仪测流断面、浮标测流断面和比降断面。断面布设见图1-1。

(一) 基本水尺断面

一般设在测验河段的中央,大致垂直于流向。

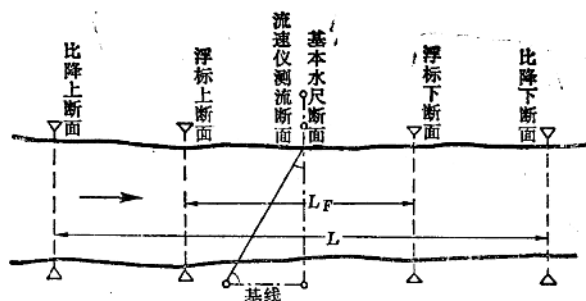


图 1-1 横断面布设示意图

(二) 流速仪测流断面

流速仪测流断面应尽可能与基本水尺断面重合,以便简化测验与整编工作。有困难时可分别设置,但应尽量减少两断面间的距离,中间不能有支流汇入和分出。测流断面应垂直于断面平均流向。

(三) 浮标测流断面

浮标测流中断面应尽可能与流速仪测流断面、基本水尺断面重合。在中断面的上下游相等距离处布设上下浮标断面,它是计算浮标航行距离的,其间距主要考虑计时测量的精度和浮标测得速度的代表性。

为减少浮标测速中计时的相对误差,上、下断面间距应有适当长度。如上下断面间距短,则测得浮标平均流速的代表性好,即与中断面处瞬时流速一样。为了兼顾上述两方面的要求,可利用误差概念推算上下断面间距。

浮标测流时,如记时的最大误差 $\Delta t=1$ 秒钟,而距离丈量的相对误差小于1%,可以忽略;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 $t = \frac{L_F}{V_f}$ (1-3)

故 $\delta_v = \frac{1}{t} = \frac{V_f}{L_F}$

因浮标流速 V_f 的大小在测量前系未知,可用估算的最大断面平均流速 V_{max} 代替,则

$$L_F = \frac{V_f}{\delta_v} = \frac{V_{max}}{\delta_v} \quad (1-4)$$

各式中 L_F 、 ΔL_F ——分别为上下浮标断面之间的距离和测距的误差(米);

t 、 Δt ——分别为浮标从上断面到下断面经过的时间及计时误差(秒);

δ_v ——浮标测速的相对误差(%)。

δ_v 一般取1.25~2%,代入(1-4)式得:

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

即浮标上下断面间距是断面最大平均流速的80~50倍。对于山区河流,条件困难,可缩短为最大断面平均流速的20倍。WMO的《水文气象实践指南》建议浮标漂流历时宜大于20秒,以确定浮标上下断面间距。

(四) 比降断面

比降上下断面应布设在基本水尺断面的上下游;测流断面应在比降上下断面的中间,以便推算河床糙率。全河段要求顺直平整,底坡不应有明显的转折,使测得的比降能真正代表测流断面上的纵比降。

比降断面的间距应满足比降测算精度的要求。方法如下:

由于比降 I 为上下比降断面落差 Z 与间距 L 的比值,即

$$I = \frac{Z}{L} \quad (1-5)$$

对(1-5)式微分并整理得:

$$\frac{dI}{I} = \frac{dZ}{Z} + \frac{dL}{L}$$

由于丈量距离的相对误差可控制在1%以下,与其它误差比较,可忽略不计,则比降的误差主要由落差引起。

落差的误差 dZ 是由水位观读误差和水准测量误差所引起的。如从上比降断面引测水准到下比降断面,水尺零点引测误差按四等水准测量规定为 $m\sqrt{L}$ 。另外,由于一支水尺的水位观读误差为 ΔG ,上下两个断面水尺的观读误差为 $\sqrt{2}\Delta G$,故

$$dZ = m\sqrt{L} + \sqrt{2}\Delta G$$

$$\text{则 } \delta_I = \frac{dI}{I} \approx \frac{dZ}{Z} = \frac{m\sqrt{L} + \sqrt{2}\Delta G}{Z} \quad (1-6)$$

如河流每公里落差为 z (毫米),则比降上下水尺间落差 $Z = zL$,代入(1-6)式,并整理得:

$$L = \frac{m\sqrt{L} + 1.4\Delta G}{z \cdot \delta_I} \quad (1-7)$$

式中 L ——上下比降水尺之间的距离(公里);

m ——每公里水准测量允许误差(毫米/公里);

δ_I ——比降观测允许相对误差(%)。

其它符号意义同前。

(1-7)式等号左右两边都有待求值 L ,需试算求解 L 值。

比降是随水位变化的,上式中的落差宜取较小值,或最常发生的落差数值。

二、基线的布设

在测验河段进行水文测验如断面测量时,用经纬仪或六分仪测角交会法推求测验垂线在断面上的位置(起点距),而在岸上布设的线段,称为基线(见图1-1)。

基线宜垂直于测流横断面,基线的起点应在测流断面线上。

从测定起点距的精度出发,基线的长度应使测角仪器瞄准测流断面上最远点的方向线与横断面线的夹角不小于 30° (即应使基线长度 L 不小于河宽 B 的0.6倍);在受地形限制的个别情况下,基线长度最短也使其夹角大于 15° 。

基线长度的丈量误差不得大于 $1/1500$ 。

三、测流渡河设备的设置

目前采用最多的流速仪测流,均需渡河设备,一般有船只测流设备,岸上测流设备,架空测流设备和涉水测流设备。

涉水测流用于枯季小河测流,设备简单。

对测流设备的技术要求是:准确安全、经济合理、操作简便、易于维护。

渡河设备首先应满足洪水测流的要求。其次,也能在枯水时测流。