

高等院校水利类教材

# 水文

# 信息技术

魏文秋 张利平 编著



全国优秀出版社  
武汉大学出版社

高等学校水利类教材

# 水文信息技术

■ 魏文秋 张利平 编著

武汉大学出版社



## 内 容 提 要

本书主要介绍水文信息的采集、测算、数据处理、传输与管理的基本概念、原理和方法。全书共分五章,主要内容有:水文测站与站网,水文信息采集,水文信息数据处理,水文信息传输与自动测报系统,水文信息管理等。

本书可作为水文与水资源工程专业的教材,亦可作为水利类其它专业本科生、研究生的选修教材或参考书;还可供从事水文、水资源、水环境及有关水利工程等方面的技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

水文信息技术/魏文秋,张利平编著. —武汉:武汉大学出版社,2003.2  
高等学校水利类教材  
ISBN 7-307-03746-7

I. 水… II. ①魏… ②张… III. 水文—信息技术 IV. P33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 080754 号

责任编辑:夏焯元      责任校对:黄添生      版式设计:支 笛

---

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:武汉理工大印刷厂

开本:787×1092 1/16      印张:19.25      字数:459千字      插页:1

版次:2003年2月第1版      2003年2月第1次印刷

ISBN 7-307-03746-7/P·51      定价:27.00元

---

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换。

# 前 言

自 20 世纪 70 年代以来,国际市场上出现了早期的水文自动测报技术,使水文测验工作发生了根本变化。近代水文观测技术、计算机技术、通信技术等高新技术的应用,使水文信息的采集、处理、传输、发布已走向自动化、现代化的道路。为了适应水文测验工作这一发展的要求,在过去教学一直沿用《水文测验学》的基础上,作者于 1997 年编写了《水文信息系统自动化——水文信息采集与处理》教材,经过 6 届水文学及水资源工程专业本科生的试用以及有关专业研究生的选用,取得了较好效果。为了更好地适应教学与改革的需要,本教材已于 2001 年正式列入武汉大学“十五”规划教材。为此,作者又对本教材进行了较大的调整、修改和补充,予以正式出版。

本书力求精要阐述水文信息采集、处理、传输和发布的基本概念、基本原理和基本方法,尽量反映国内外水文信息技术的发展水平和趋势。全书共分五章:第一章水文测站和站网,介绍水文站网规划与测站的布设;第二章水文信息采集,介绍水文信息的观测(采集)项目、使用仪器、观测方法和测算方法;第三章水文信息数据处理,介绍水文测站采集的水文信息原始数据,如何按科学的方法和统一的格式整理、分析、统计、提炼,使之成为系统、完整且有一定精度的水文信息资料;第四章水文信息传输与自动测报系统,介绍水文信息的传输方式和原理,水文自动测报系统的原理和方法;第五章水文信息管理,介绍水文数据库、水文信息模拟及水文信息管理系统。

本书由武汉大学水利水电学院魏文秋和张利平编著,第一、二章由张利平编写;第三、四、五章由魏文秋编写。全书由魏文秋统稿和修改定稿。本书编写过程中,得到了水利部水利信息中心(水文局)、长江水利委员会水文局、湖北省水文水资源勘测局等部门及武汉大学水利水电学院有关领导、老师和实验技术人员的大力支持和帮助,谨此表示谢意。武汉大学教务部、武汉大学出版社对本书的编写和出版给予了支持和资助,谨表感谢。在本书中引用了有关书刊的内容和资料,在此向有关作者致谢。

由于编者水平所限,书中不妥或错误之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2002 年 5 月

# 目 录

绪 论	1
第一章 水文测站与站网	5
第一节 水文测站	5
第二节 水文站网	11
第三节 水文信息的收集途径	15
第二章 水文信息采集	18
第一节 气象观测	18
第二节 水位观测	38
第三节 流量测验	45
第四节 泥沙测验	65
第五节 水质监测	75
第六节 水下地形测量	81
第七节 水文调查	87
第八节 古洪水研究	94
第九节 水文遥感	103
第三章 水文信息数据处理	108
第一节 测站考证和水位数据处理	108
第二节 河道流量数据处理	114
第三节 水工建筑物流量数据处理	142
第四节 潮流量数据处理	153
第五节 泥沙数据处理	158
第六节 水温、冰凌数据处理	175
第七节 降水量、水面蒸发量数据处理	184
第八节 水量调查数据处理	191
第四章 水文信息传输与自动测报系统	197
第一节 水文信息的传输方式	197
第二节 水文信息遥测原理	206
第三节 水文信息的计算机网络	222

第四节	超短波水文自动测报系统.....	237
第五节	卫星数据采集与传输系统.....	246
第六节	雷达测雨及雷达-水情自动测报综合系统 .....	252
<b>第五章</b>	<b>水文信息管理.....</b>	<b>260</b>
第一节	水文数据库管理系统.....	260
第二节	水文信息处理的模拟.....	269
第三节	水文信息系统.....	286
<b>主要参考文献</b> .....		<b>298</b>

# 绪 论

水文信息技术也即水文信息采集与处理技术，是研究各种水文信息的测量、计算与数据处理的原理和方法的一门学科。它的任务是：根据国民经济发展的需要，进行水文站网的规划与测站布设；通过定位观测、巡回测验、自动遥测、水文调查等方法，对各种水文要素（如水位、水温、冰凌、流量、泥沙、降雨、蒸发、水质等）进行定量观测和分析；对测量（采集）的水文信息进行计算、处理；将整编好的水文信息以水文年鉴或电子水文年鉴的形式进行发布。

## 一、水文信息的作用

水文是水利的尖兵，兴修水利和对水利工程进行科学管理、运用，都必须先研究和掌握有关地区水资源的量和质。对水土流失的程度，水旱灾害的大小，冰、沙和水中污染物危害的可能性等问题的研究，也必须具备足够而准确的有关水文、气象、水文地质和水力因素等多方面的信息。有关水资源的量和质，以及有关水文方面的信息，通称“基本水文信息”或“基本水文资料”。其它与水有关的国民经济建设，也都必须先收集基本水文信息用以分析和解决有关问题。例如，工矿企业集中的城市，如果盲目开采地下水，将会导致地面下沉，如果肆意往河渠中排污，势必引起水源污染。

“基本水文信息”的内容，大致可分为两个方面的工作成果：一是针对拟测对象而进行的实地勘测记录、计算的各种图表，这些称为“原始水文信息”；二是对“原始水文信息”按年度进行系统加工而成的“整编成果”，并按流域、水系刊印成《水文年鉴》或《电子水文年鉴》，在计算机网络上发布。原始信息也好，水文年鉴也好，都是用“数据”来记载已发生过的“历史水文事件”。收集和这些历史水文事件的目的，在于获得“未来水文事件”的信息。而这些“未来水文事件”的信息正是水利、水电事业和其它国民经济建设部门处理有关问题的依据。

## 二、水文信息技术的科学性与研究内容

水文学是地球物理科学的一部分，它研究地球上各种水体（大气中的水汽，地球表面的江河、湖泊、沼泽、冰川、海洋和地下水等，统称水体）的存在、循环和分布，物理与化学特性，以及水体对环境的影响和作用，包括对生物特别是对人类的影响。按照水体所处的位置和特点的不同，水文学可分为水文气象学、河流水文学、湖泊水文学、海洋水文学（海洋学）、地下水文学等。

水文信息技术是水文学的重要组成部分，它是研究如何测定自然界水循环于陆地过程中各种水文要素变化规律的一门科学，属于测定技术的范畴。有人作出“没有测定技术就没有科学”的评语，不是没有道理的。因此，水文信息技术的前身称为水文测验学。随着

测验技术和信息技术的结合与发展,逐渐形成了以水文测验为基础的水文信息技术,它所研究的内容主要有以下几方面。

### (一) 站网规划理论

站网规划理论包括站网规划和测站布设。为了能收集到大范围内的基本水文资料,为国民经济各部门建设服务,必须科学而经济地规划布设足够数量的水文测站,开展对水文要素的定位观测。这些水文站点构成了“探索区域性水文规律的控制观测体系”,称之为水文站网。合理地规划布设水文站网,是水文测验工作首先要解决的重要问题。

我国水文站网于1956年开始统一规划布设,经过多次调整,布局已比较合理,但尚难完全符合客观的水文规律和国民经济不断发展的需要,还必须不断加以调整、补充,使之日趋完整、合理。

进行定位观测的水文站,是在有关河道上经过选择而在有关河段布设的。各水文站的地理位置在站网规划时已大致被确定。但是,水文站落实到哪一段河道,尚需经过勘测并根据地形、地貌、河床稳定情况、水流流向以及测站控制原理所要求的条件来选定。

### (二) 水文测验技术标准的拟定和修订

对上述水文站网所属各水文站,必须拟定统一的观测技术标准(如各种水文要素的测算方法、仪表设备使用的技术规程、观测时制和精度要求等),使之按此标准去搜集资料,所得成果才能起到站网控制观测的作用。否则,各站观测成果精度不一、项目不全、时制不同等等,用这样的资料就难以分析出区域的水文规律,也就失去了布站进行控制观测的作用。我国在20世纪50年代就拟定了水文测验规范,并经过60、70年代的两次修订,该技术标准对保证我国50年代至80年代的国家基本水文资料的质量起到了重要作用。随着科学技术的发展,国民经济建设对水文资料的要求不断变化,以及国际水文测验技术的交流,原有的技术标准就难以与新形势相适应,将它进行修订、改革是完全必要的。国际间已成立有“国际标准化组织”(简称ISO)和“世界气象组织”(简称WMO)都从事水文观测技术标准的研究。我国在80年代以后,积极研究和引进有关国际标准,结合我国的实际情况和科学技术发展的要求,不断修订我国的水文测验规范,为发展我国水文测验技术起到了促进作用。

### (三) 水文信息采集

水文信息采集有两种情况:一种是对水文事件当时发生情况下实际观测的信息;另一种是对水文事件发生后进行调查所得的信息。

在水文站上定位观测的信息属于对水文事件当时发生情况下实际观测的信息。为此,需要研究观测各种水文要素的适用仪器设备及其使用技术、水文要素的测算原理和施测方法等。搜集原始水文资料的主要目的,在于能用它整编出理想的水文年鉴,以提供给有关部门应用。因此,在日常观测工作中,必须根据水文年鉴整编方案的要求,采取技术措施去获取理想的原始资料。由于水文要素之间的关系或单个水文要素都随着时间和影响因素的变化而变化,若不能测出整个变化过程,则需采用“抽样”测法,以取得代表该变化转折点的资料,来满足进行年度整编所需要的理想资料。为此,除采取上述有关技术措施外,尚需研究所谓“测次”和“施测时机”问题。

由于自然界地理环境的平面变化大和水文现象的随机性强等特点,仅靠站网布局的定位观测,有时难以观测到全面而真实的基本水文资料。以暴雨观测为例,由于暴雨中心的



降落位置游移不定，因此雨量站网所布局的雨量站，不一定能观测到每场暴雨的最大暴雨量，特别在缺乏雨量站网的历史时期，漏测最大暴雨量的情况就更为严重。但暴雨资料非常宝贵，这就需要辅以水文调查的办法，去取得资料，以弥补定位观测的不足。暴雨观测如此，其它水文要素的观测亦同样需要开展相应的水文调查工作。水文调查是对水文事件发生后进行调查，以获取水文信息。

水文信息采集的项目有：水位、流量、泥沙、降雨、蒸发、冰凌、水温、地下水水位以及有关的气象信息等。

#### (四) 水文信息数据处理

各种水文测站采集的水文信息原始数据，都要按科学的方法和统一的格式整理、分析、统计、提炼成为系统、完整且有一定精度的水文信息资料，供有关国民经济部门应用。这个水文信息数据的加工、处理过程，称为水文信息数据处理。

水文信息数据处理的工作内容包括：收集、校核原始数据，编制实测成果表，确定关系曲线，推求逐时、逐日值，编制逐日表及水文信息要素摘录表，进行合理性检查，编制整编说明书。

#### (五) 水文信息的传输与管理

布置在流域（区域）上的雨量站、水位站和水文站，采集了大量的水文信息资料，如何将这些信息迅速、实时地传输到流域（区域）或全国的水文信息中心，又如何将这些信息供给有关部门应用，这就涉及到水文信息的传输和管理。目前，水文部门采用了多种通信手段（有线与无线的，微波与卫星通信等）进行水文信息的传输，研制了不同功能的信息管理系统对水文信息进行管理，并正在形成全国、流域和省（市、区）计算机网络中心，统一进行水文信息传输、交换和管理。

### 三、我国水文信息技术的发展概况

我国水文信息技术有着悠久的历史。早在4200多年以前的夏禹治水，就是观察了河流的水文变化情势，认识到“顺水之性”，采用了疏导之策取得成功。公元前3世纪的《吕氏春秋·圜道》中准确而朴素地对水文循环的定性描述，与后世的定量证明完全相符，为后来许多史学家推崇备至。公元前3世纪，李冰父子在四川修建的都江堰水利工程，设置了3个石人水则，以分别观测内江、外江和渠首的水位，并巧妙地利用当地地形，合理地解决了分洪、排沙和灌溉、航运等水文问题。

我国现代水文测验工作始于19世纪中叶。帝国主义为控制我国沿海和内河航运，于1865年在汉口等地设站观测水位和雨量；并在之前的1841年在北京开始了雨量观测；始建于1910年的海河小孙庄水文站最先采用浮标法测流；最早使用流速仪测流的测站是1915年设站的淮河蚌埠水文站；1919年在黄河设站观测水位、流量和含沙量。在旧中国，我国水文站网缺乏统一规划，设备落后，至1949年全国各种水文站点仅2600处（未包括我国台湾省的数据，下同），其中水文站仅148处，且分布很不合理，资料残缺不全，未经整编，无法使用。

新中国成立后，随着国家建设的发展，水文测验工作有了很大的进步和提高，全国已建立起较为完整和科学的站网体系。据不完全统计，全国现有基本水文站3040处，水位站1093处，雨量站14190处，水质站2572处，实验站60处，观测蒸发站1500处，测冰凌站

1 100处。同时，水文测验规范也在不断充实和完善。在1955年制定的《水文测站暂行规范》基础上，经过几次修订，统一了全国水文测验技术标准，推动了水文测验技术的不断发展。测验仪器设备不断更新改造，测验技术和方法明显提高。目前，水位或雨量自记站、水文测流缆道已占较大比例，长期水位或雨量自记、水位或雨量遥测、超声波测流、同位素测沙、光电测沙、测流等新技术相继问世。我国从20世纪80年代初始建的水文自动测报系统和卫星数据采集与传输系统已有了很大发展，在大江大河的重点河段和150座大、中型水库库区相继建立了180个水文自动测报系统，遥测站1 800个；在四川渔子溪和大宁河两个流域进行了无人值守水文站和利用日本GMS卫星传输水文信息的试点工作；规划设计了用我国“风云2号”卫星采集和传输水文信息的方案；已建立了以水利微波干线组成的全国水文无线电通信网，水利卫星通信也在试点建设，各流域机构已配备了Inmarsat（海事卫星）移动站。过去，我国水文测验资料都是以《水文年鉴》的形式刊印并发布，截至1985年，已刊印和发布年鉴2 200册；1988年后，全国各流域和省（市、区）水文机构都已配备了计算机，通用整编程序已鉴定并推广应用，全国分布式水文数据库正在逐步建设和完善，与观测手段相衔接，将形成完整的全国水文信息系统。现在，水文信息技术正朝着采集自动化、传输网络化、计算科学化、整编规范化的方向发展。

# 第一章 水文测站与站网

水文现象受气象、地理等多方面因素的影响，存在着地区性、不重复性及周期性的特点。要研究和掌握水文要素在不同时期、不同地区及不同条件下的变化规律，就必须设立各种水文测站，收集水文信息，了解各种水文现象（物理的和化学的）表现在量和质上的情况如何，以及它们的变化规律，以满足国民经济各部门的需要。

## 第一节 水文测站

在流域内一定地点（或断面）按照统一标准对所需要的水文要素作系统观测以获取信息并进行处理，称其为即时观测信息，这些指定的水文观测地点称为水文测站。

根据测站的性质，测站可分为基本站、专用站两大类。基本站是水文主管部门根据全国各地的水文情况而设立的，是为国民经济各方面的需要服务的。专用站是为某种专门目的或用途由各部门自行设立的。这两类测站是相辅相成的，专用站在面上辅助基本站，而基本站在时间系列上辅助了专用站。

按测站的工作内容划分，测站有水文测站、水质测站、气象测站等。

水文测站所观测的项目有水位、流量、泥沙、降水、蒸发、水温、冰凌、水质、地下水水位等。只观测上述项目中的一项或少数几项的测站，则按其主要观测项目而分别称为水位站、流量站（也称水文站）、雨量站、蒸发站等。水质监测站定期采集并由实验室分析水样和对某些水质项目进行现场测定。

水文测站的建站包括选择测验河段和布设观测断面。

### 一、水文测验河段的选择

#### （一）选择水文测验河段的条件

测验河段是野外进行水文测验的场所。测验河段选择适当与否，对测验工作影响很大。选择适当，就为今后水文测验工作奠定了良好的基础。在站网规划规定的范围内，具体选择水文测验河段应满足下列条件：

1. 必须满足设站的目的和要求。
2. 保证各级水位下（包括洪、枯水期）测验信息具有必要的精度和工作安全。
3. 符合观测方便、建站及测验设施经济，并有利于简化水文要素的观测和信息的整理分析工作。

#### （二）测站控制及河段的选择

测站控制是对水文站水位流量关系起控制作用的断面或河段的水力因素的总称。若测站控制良好，则水文站的水位与流量之间的关系稳定（单一关系）；反之，则不稳定。

当测站控制作用发生在一个横断面（或极短河段）上时，称为断面控制。断面控制的原理是在天然河道中，由于地质或人工的原因，造成河段中局部地形突起，如石梁、卡口等，使得水面曲线发生明显转折，形成临界流，出现临界水深，从而构成断面控制。例如天然石梁，在低水时期，由于河底坡度发生明显转折，使水面曲线由壅水曲线变为降水曲线，产生临界流，出现临界水深  $h_k$ ，构成断面控制，如图 1-1-1 所示。从水力学知，产生临

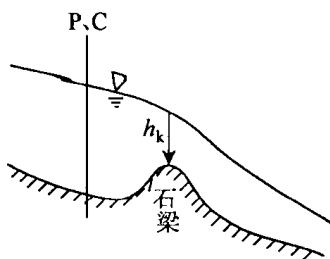


图 1-1-1 低水断面控制示意图  
(P—基本水尺断面.C—流速仪测流断面)

界流处，其佛汝德数  $Fr$  为 1，即

$$Fr = \frac{v^2}{gh_k} = 1 \quad (1-1-1)$$

$$v = \sqrt{gh_k} \quad (1-1-2)$$

式中  $v$  为断面平均流速。如果临界水深处横断面为矩形断面，水面宽为  $B$ ，其断面面积  $A = Bh_k$ ，流量  $Q$  为

$$Q = A \cdot v = B \sqrt{g} h_k^{3/2} \quad (1-1-3)$$

如石梁为坚石构成，不致因流速变化而发生断面冲淤，所以临界水深仅随临界水位  $Z_k$  而变，故

$$Q = f(h_k) = f(Z_k) \quad (1-1-4)$$

式 (1-1-4) 说明在石梁处，流量仅是水位的函数，且流量与水位呈单一关系。

当测站控制是依靠一段河槽的底坡、糙率、断面形状等水力因素的组合而形成的，称为河槽控制。在天然河道中，水流可近似地看作缓变不均匀流、其平均流速  $\bar{v}$  由曼宁公式表示为

$$\bar{v} = \frac{1}{n} R^{2/3} S_e^{1/2} \quad (1-1-5)$$

则通过断面的流量  $Q$  为

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} S_e^{1/2} \approx A \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (1-1-6)$$

式中  $n$ —糙率；

$R$ —水力半径（宽浅断面用平均水深代替）；

$S_e$ —能面比降；

$S$ —水面比降，在缓变不均匀流时，可用  $S$  近似代替能面比降  $S_e$ 。

将式 (1-1-6) 写成一般函数式为：

$$Q=f[(A, R), n, S] \quad (1-1-7)$$

式(1-1-7)中,  $(A, R)$  决定于断面因素  $\Omega$  及水位  $Z$ , 故

$$Q=f[Z, \Omega, n, S] \quad (1-1-8)$$

式(1-1-8)说明, 决定河道流量大小的水力因素有: 水位、断面因素、糙率和水面比降。要使水位流量关系呈单一关系, 必须具备下列条件之一:

- (1) 在同水位  $Z$  下,  $\Omega, n, S$  维持不变。
- (2) 在同水位  $Z$  下,  $\Omega, n, S$  虽有变动, 但它们对流量的影响恰好互相补偿。

实际选择测验河段时, 一般选条件(1), 因天然河道中, 符合条件(2)者较少。具体选择测验河段, 应根据设站目的、河流特性综合考虑, 一般应选择在:

(1) 平原河流应尽量选择河道顺直、匀整、稳定、水流集中, 便于布设测验的河段, 没有分流、斜流、回流、死水、严重漫滩等现象以及妨碍测验工作的地貌、地物。其顺直河段长度应不小于洪水时主槽河宽的3~5倍, 以保证比降一致。河段最好是窄深的单式断面, 尽可能避开不稳定的沙洲和冲淤变化过大的断面。河段内应不易生长水草, 并避开有较大支流汇入或湖泊、水库等大水体产生的变动及回水的影响, 其目的是尽量保证使测验河段内的断面、糙率、水面比降稳定。

(2) 山区河流应选在有石梁、急滩、卡口、弯道的上游附近规整的河段上, 避开乱石阻塞, 斜流、分流影响。

石梁、急滩, 一般在中、低水时起控制作用, 高水时失去控制; 而卡口、急弯则在高水时起控制作用。

(3) 选择测验河段应避免受人为干扰的码头、渡口等处。对北方河流还应尽量避开易发生冰坝、冰塞的河段。此外, 测验河段还应尽可能靠近居民点及交通、通信方便的地方, 以利于测站工作和生活安排。

总之, 在选择水文测站位置时, 最理想的是选择在各级水位均具备较好的测站控制的河段。

### (三) 测流河段的勘测调查工作

在选择测验河段、设立水文站之前, 应进行现场勘测调查。查勘最好在枯水期进行。勘测调查的工作程序及内容有以下几个方面。

#### 1. 准备工作

明确设站的目的、任务, 查阅、收集有关信息(尤其是地形图、水准点及洪水情况等), 确定查勘大纲, 制定工作计划。

#### 2. 现场调查

调查内容包括河流控制情况、河流水、沙情势、河床组成、河道变迁及冲淤情况的调查; 流域自然地理情况, 水利工程, 测站工作条件的调查。

#### 3. 野外测量

在勘测中, 应进行简易地形测量、大断面测量、流向测量、瞬时水面纵比降测量等工作。

#### 4. 编写勘测报告

将调查情况及测量成果进行分析整理, 提出意见, 为选择站址提供依据。

## 二、布设观测断面

布设观测断面亦即在所选测验河段上设立测站。设站工作是测站的基础工作，必须根据具体情况认真设置。

### (一) 设站工作的内容

设站工作的主要内容有：设置水准点并引测其高程；绘制地形图和水流平面图并据此确定断面方向；布设测验断面、基线与高程基点；布置各种测量标志；建立水位观测设备、测流设备及其它各种辅助观测设备；填写测站考证簿。

### (二) 水准点的设置

水准点分为基本水准点和校核水准点，均应设在基岩或稳定的永久性建筑物上，也可埋设于土中的石柱或混凝土桩上。前者是测定测站上各种高程的基本依据，后者是经常用来校核水尺零点的高程。

### (三) 横断面的布设和要求

根据不同用途，水文站一般应布设基线、水准点和各种断面，即基本水尺断面、流速仪测流断面、浮标测流断面及上、下辅助断面、比降断面（包括上、下比降断面）。断面布设如图 1-1-2 所示。断面布设有以下的要求。

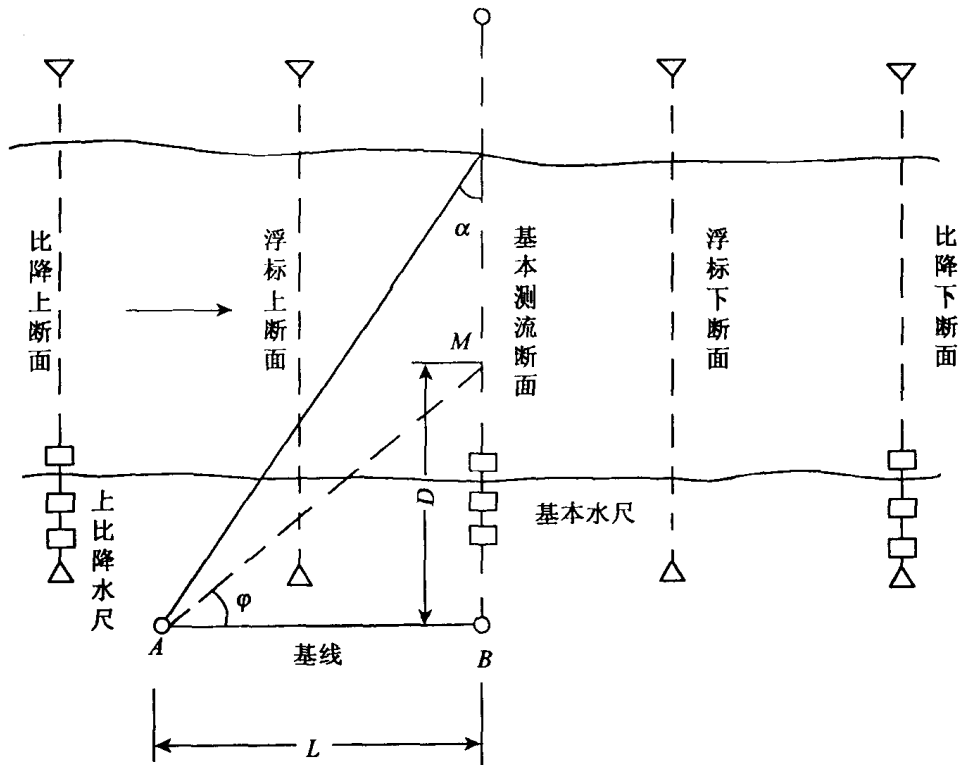


图 1-1-2 水文站横断面布设示意图

1. 基本水尺断面上设立基本水尺，用来进行经常性的水位观测  
基本水尺断面、流速仪测流断面、浮标测流中断面，最好设在测验河段的中央并尽量

重合,断面的方向应垂直于断面平均流向。当基本水尺断面与测流断面重合有困难时,可分别设置,但应尽量减少两断面的距离,中间不能有支流汇入。

### 2. 在浮标测流中断面的上、下游相等距离处布设上、下辅助断面

上、下辅助断面的间距不宜太短,既要保证浮标流速的代表性,又要满足计时测量的精度。为兼顾上述两方面要求,可利用误差概念推算上、下辅助断面的间距。

浮标测流时,如计时最大误差  $\Delta t = 1$  秒;距离丈量的相对误差小于 1%,可忽略。浮标流速的相对误差为

$$\delta_v = \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta L_F}{L_F} \approx \frac{1}{t} \quad (1-1-9)$$

因  $t = L_F / v_F$  (1-1-10)

则  $\delta = v_F / L_F$  (1-1-11)

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

$$L_F = v_F / \delta_v = v_{\max} / \delta_v \quad (1-1-12)$$

式中  $L_F, \Delta L_F$ —分别为上、下浮标辅助断面的间距和测距的误差, m;

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

$\delta_v$ —浮标测速的相对误差, (%)。

测速误差  $\delta_v$  一般取 1.25%~2%,代入式 (1-1-12) 得

$$L_F = \frac{v_{\max}}{0.0125 \sim 0.02} = (80 \sim 50) v_{\max} \quad (1-1-13)$$

即浮标上、下辅助断面间距是断面最大平均流速的 80~50 倍。对山区河流,条件困难,可缩短为 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、下辅助断面间距。

### 3. 比降上、下断面应布设在基本水尺断面的上、下游

比降断面设立比降水尺,用来观测河流的水面比降和分析河床的糙率。比降上、下断面间的河底和水面比降,不应有明显的转折,其间距应使所测比降的误差在  $\pm 15\%$  以内。

上、下比降断面的间距,可用如下方法计算:

(1) 当引据的校核水准点在一个断面上时,采用下式计算:

$$L = \frac{2}{\Delta \bar{Z} X_s} \sqrt{m^2 L + 2 S_g^2} \quad (1-1-14)$$

进而解得

$$L = \frac{2}{\Delta \bar{Z}^2 X_s^2} \left( m^2 + \sqrt{m^4 + 2 \Delta \bar{Z}^2 X_s^2 S_g^2} \right) \quad (1-1-15)$$

式中  $L$ —上、下比降断面间距, km;

$S_g$ —水尺水位观读的标准差(一般在无波浪或有静水设备时为 5mm), mm;

$m$ —水准测量 1km 线路上的标准差(四等水准测量  $m$  为 10mm), mm;

$X_s$ —比降观测允许的综合不确定度为 15% (置信水平为 95%);

$\Delta \bar{Z}$ —河道长 1km 的落差(落差变幅较大时,应视比降观测的主要目的选用适当的  $\Delta \bar{Z}$  值,一般测站可以选用中水位时的落差值), mm。

(2) 当上、下比降断面分别设有校核水准点,且其中一个校核水准点是由基本水准点经过另一校核水准点按三等水准连测时,采用下式计算:

$$L = \frac{2}{\Delta Z X_s} \sqrt{m^2 (L_U + L_D) + m^2 L + 2S_g^2} \quad (1-1-16)$$

式中  $m$ —三等水准测量 1km 线路上的标准差 (一般为 6mm);

$L_U$ —上断面水准点至断面水尺的平均测距;

$L_D$ —下断面水准点至下断面水尺的平均测距;

其余符号同上。

#### (四) 基线的布设

在测验河段进行水文测验时,用经纬仪或六分仪测角交会法为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 1-1-2)。基线宜垂直于测流横断面,其起点应在测流断面线上。

从测定起点距的精度出发,基线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  $30^\circ$  (即应使基线长度  $L$  不小于河宽  $B$  的 0.6 倍);在受地形限制的特殊情况下不应小于  $15^\circ$  (即基线长度最短也应为  $0.3B$ )。不同水位时,水面宽悬殊的测站,可在岸上和河滩上分别设置高、低水基线。

基线长度及丈量误差,都直接影响断面测量精度,间接影响到流量及输沙率计算的精度。因此,基线除有一定长度并取 10m 的倍数外,其丈量误差应不超过  $1/1000$ 。

#### (五) 测流渡河设备的设置

用流速仪法测流,均需渡河设备。对测流渡河设备的要求是:准确安全、经济合理、操作简便、易于维护。既能满足洪水测流要求,也能在枯水时测流。

渡河设备一般有:船只测流设备(含过河索吊船设备)、岸上测流设备(指水文缆道)及架空测流设备(主要有缆车、吊桥、便桥等)。这里仅简要介绍水文缆道。

水文缆道,我国水文站已普遍使用。主要由承载、驱动、信号传递 3 大部分组成。承载部分包括:主索、支架、锚碇等设备;驱动部分包括:牵引索(含循环索、起重索、悬索)、绞车、滑轮、行车等;信号传递部分包括:发射、传输、接收 3 部分的信号线路与仪表装置。此外,还有防震、防雷及副索拉偏等设备。

水文缆道型式繁多,以循环索是否闭合分为开口式和闭口式两大类。

##### 1. 开口游轮式缆道

其特点是牵引索兼有循环、起重、悬索 3 种作用,铅鱼和流速仪的升降,通过岸上支架附近的游轮进退来操纵,如图 1-1-3 所示。为了省力和减轻劳动强度,采用游轮加平衡锤的省力系统。

##### 2. 闭口游轮式缆道

它由循环索和起重索两部分绞动。由于有游轮,起重力可节省一半,如图 1-1-4 所示。为了避免游轮和双索入水增大偏角,游轮和铅鱼间的悬索长度应根据测洪最大水深确定。因此,主索支点要相应提高。在地势平坦的测站采用时,支架高,造价大。所以,闭口游轮式缆道只适用于洪、枯水水深变幅小,两岸地势较高的测站。

若在水文缆道上采用悬索吊铅鱼测深,当主索跨度大于 300m 时,主索的弹动将会影响测深的精度。在遇到较大洪水时,此问题的处理还有待于进一步研究和解决。

近年来有不少水文站在流速仪缆道上采用了多种新技术,特别是电子技术的应用有了很大发展,并为测流的自动化打下了一定基础。



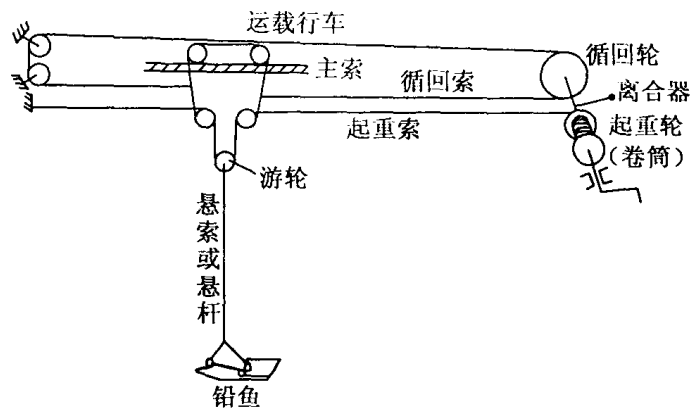


图 1-1-3 开口游轮式缆道示意图

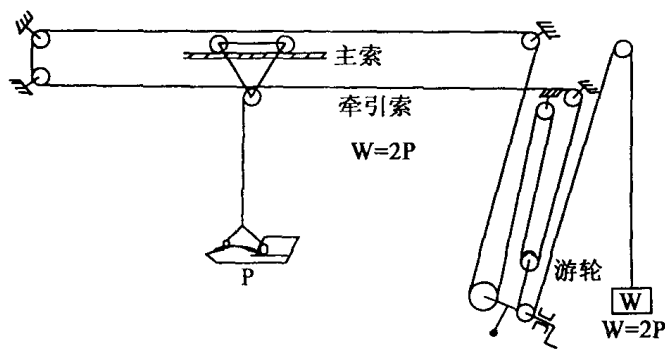


图 1-1-4 闭口游轮式缆道示意图

## 第二节 水文站网

由于单个测站观测到的水文信息只代表了站址处的水文信息情况，而流域上的水文信息情况则必须在流域内的一些适当地点布站观测，这些测站在地理上的分布网称为站网。广义的站网是指测站及其管理机构所组成的信息采集与处理体系。水文测站设立的数目与当时当地的经济情况有关，如何以最少站数来控制广大地区水文要素的变化，与水文站布设位置是否恰当有着密切关系。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，其目标应当是以最小的代价、最高的效率，使水文站网具有最佳的整体功能。所以，水文站网的规划是研究水文工作战略布局的学科，是水文科学中最为复杂的领域之一，其内容与方法，涉及到水文科学的各个方面，并与社会经济问题密切相关。

### 一、水文站网的分类

水文站网的分类，按测验项目可分为水位站网、流量站网、雨量站网、蒸发站网、泥沙站网、水质站网以及实验站网等；按管理体制和经办单位可分为国家站网、群众站网；按