

971351

P332
4048

77-126
7-120

高等学校教材

水文测验学

成都科技大学 李世镇 合编
河海大学 林传真



971351

P332
4048

高 等 学 校 教 材

水 文 测 验 学

成都科技大学 李世镇
河 海 大 学 林传真 合编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书主要介绍江河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:水文站网与测站,水位、流量、泥沙等水文要素的观测及其资料整编,水文信息系统,水文测验误差的分析等。

本书为高等水利院校教材,适合水文、水资源与水环境专业使用,亦可供水利类其他专业师生和水利工程技术人員与水文测站技术人员参考。

高等学校教材
水文测验学

成都科技大学 李世镇 合编
河海大学 林传真

水利电力出版社出版
(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
北京市京东印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 16.5印张 373千字
1993年10月第一版 1993年10月北京第一次印刷
印数 0001—1530 册

ISBN 7-120-01856-6/TV·674

定价 7.65 元

前 言

本书是根据全国水利水电类专业教学委员会水文教学组于1988年10月在武汉制定的教材编审规划组织编写的。1989年4月,由成都科技大学水利工程系、河海大学水资源水文系有关同志,根据武汉会议制定的水文、水资源与水环境专业教学计划的要求,讨论制定了《水文测验学》编写大纲,在征得主审人同意后,由两校参编人员进行编写。

参考 严义顺 先生1983年9月主编的《水文测验学》,结合两校多年教学实践,并根据国际标准(ISO)和我国水文测验事业的发展现况编写了本书。与原书相比,本书在结构和内容方面都有较大的调整和补充。全书共分十章,主要介绍江河水文要素的资料收集、整编、分析的基本概念、基本原理和基本方法。全书内容按课内60学时进行安排,实际技能训练应通过实验、实习和水文资料整编课程设计来完成。编写中力求概念清晰、简明扼要,理论联系实际,尽量反映目前国内外水文测验基本理论和技术的发展水平。

本教材由成都科技大学李世镇和河海大学林传真合编,参编人员有成都科技大学杨明江及河海大学周忠远。其中,绪论、第六、十章由李世镇编写;第一、三、四章由林传真编写;第二、五、七章由杨明江编写;第八、九章由周忠远编写。全书由李世镇统稿和修改整理,河海大学梁瑞驹教授主审。本书编写过程中,得到长江水利委员会水文局杨意诚、陈宏藩以及四川、辽宁等省水文测验部门的大力支持和帮助,谨此表示谢意。

由于时间仓促,加之编者水平所限,书中不妥或错误之处,欢迎读者批评指正。

编 者

1991年12月

31/12

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 水文站网与测站	3
第一节 水文资料的收集	3
第二节 水文站网	4
第三节 水文测站的设立	8
第二章 水位观测	15
第一节 概述	15
第二节 水位观测和计算方法	16
第三节 测站考证和水位资料整编	22
第三章 流量测验的基本方法	25
第一节 概述	25
第二节 断面测量	28
第三节 流速脉动与流速分布	36
第四节 流向测量	41
第五节 流速仪法测流	44
第六节 浮标法测流	56
第七节 比降面积法测流	61
第八节 堰槽测流	64
第九节 高洪流量测验	69
第四章 流量测验新方法	74
第一节 动船法测流	74
第二节 积分法测流	78
第三节 超声波法测流	83
第四节 电磁法测流	85
第五节 光学法测流	86
第六节 溶液法测流	88
第五章 泥沙测验	91
第一节 概述	91
第二节 悬移质输沙率测验	94
第三节 推移质及床沙测验	105
第四节 泥沙颗粒分析	112
第六章 流量资料整编	121
第一节 稳定的水位流量关系的分析	121
第二节 不稳定水位流量关系的分析	125
第三节 河道站流量的推算方法	134

第四节	土工建筑物的流量推算方法	151
第五节	水位流量关系曲线的检验	159
第六节	水位流量关系曲线的延长和流量插补	169
第七节	流量整编成果的合理性检查	173
第七章	泥沙资料整编	175
第一节	悬移质输沙率资料整编	175
第二节	推移质输沙率资料整编	181
第三节	泥沙颗粒级配资料整编	186
第八章	潮水河水文测验	190
第一节	概述	190
第二节	潮水位观测及资料整编	192
第三节	潮流量测验及潮量计算	193
第四节	潮流量资料整编	201
第五节	潮水河悬移质泥沙测验及资料整编	205
第九章	水文信息系统	208
第一节	概述	208
第二节	水文信息的收集与传输	210
第三节	水文信息的处理	213
第四节	水文信息的存储和检索	230
第十章	水文测验误差分析	234
第一节	误差的基本概念	234
第二节	误差的传播与综合	239
第三节	流量测验的误差分析	244
第四节	水位流量关系和时均流量的误差分析	250
参考文献		257

绪 论

水文测验学是水文学的重要组成部分，它是研究水文资料信息的收集、处理、存储和检索的一门学科。通过本课学习，学生将具体掌握江河水文要素的测量、计算及资料整编的基本原理和方法，为学习水文科学和从事水文事业奠定必要的理论基础。

水文测验工作是工程建设不可缺少的前期基础工作，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、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；经整编、刊印（或存储）成为系统水文资料（如水文年鉴等），直接为水利水电工程规划、设计与运行管理等提供水文信息，为国防建设及其它国民经济建设服务。

水文测验工作是人类对水的“防患兴利”的产物。古埃及僧侣在4000多年以前，便利用尼罗河石井井壁读记水位，以预告河水的泛滥范围。我国4200多年以前的夏禹治水，也是观察了河流的水文变化情势，认识到“顺水之性”，采用了疏导之策而取得成功的。公元前3世纪的《吕氏春秋·圉道》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或雨量；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。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（未包括台湾省数字，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，无法利用。

解放后，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。到1989年，全国已建立水文站约3400处，水位站1300处，雨量站16000处，实验站约60处，地下水测井约13000处。在水文站上除观测水位、流量外，同时测沙的有约1600处，观测蒸发的1500处，测冰凌的1100处，测水质的约2000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60年代和70年代的两次修订，统一了全国水文测验技术标准。1982年以来，又在总结我国经验和吸收国际标准有关内容基础上对先前规范进行了全面的修订，并已颁行8册。1990年3月，又制定了国家标准《河流流量测验规范》，推动了水文测验技术的不断发展。再者，测验仪器设备不断充实，测验技术和方法明显改进。目前，水位、雨量自记站已分别占各自总数的56%和59%，水文测流缆道已达50%，长期水位或雨量自记、水位或雨量的遥测、超声波测流、同位素测沙、光电测沙等新技术测验设备相继问世。近年来，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用卫星传输水文信息的试点工作，并已取

得成功。在测验方法上，对动船法、积宽法、水面比降法等也有许多改进和创新。过去，我国水文观测资料都是以《水文年鉴》的形式刊布，至1985年，已刊布年鉴2200册，其中40余册采用电子计算机整编。至1988年，全国各流域及省级水文机构已基本配齐了 VAX11 计算机，通用整编程序也已鉴定投产。目前，电算整编已普遍展开，并正在筹建分布式水文数据库，使水文数据的存储和检索更趋方便。

第一章 水文站网与测站

第一节 水文资料的收集

一、收集水文资料的基本途径

水文学是研究水的特性及其在时空上变化规律的科学。水文工作是国民经济建设和环境保护的一项前期工作和基础工作，而水文测验又是水文工作的基础。水文测验就是水文资料的收集、处理、存储和检索，也可称为水文资料收集系统。随着科学技术的进步和国民经济的发展，水文测验工作也是不断前进的。目前，按测验工作方式的不同，收集水文资料的基本途径可分为驻测、巡测和水文调查。

（一）驻测

所谓驻测，就是水文观测人员常驻河流或流域内的固定观测站点上，对流量、水位、降水量等水文要素所进行的观测。根据实际需要，驻测可分为常年驻测、汛期驻测或某规定时期驻测。

驻测是我国过去收集水文资料最基本的方式，所收集的大量水文资料，在国民经济建设中发挥了巨大的作用。但也存在着用人多、站点少、效益低等缺点。因此，必须改变单一驻测的方式为驻测、巡测和水文调查相结合，才能更好地提高社会效益和经济效益。

（二）巡测

巡测是水文观测人员以巡回流动的方式定期或不定期地对一个地区或流域内的各观测点进行流量等水文要素的观测。至今，开展巡测的主要项目是流量观测。巡测可以是区域性巡测，沿线路巡测，常年巡测或季节性巡测，可根据实际需要确定。

巡测是解决测站无人值守问题的重要手段。无人值守测站，根据资料传输方式的不同可分为遥测及非遥测两种。非遥测站是定期派人到测站取回资料，检查维修仪器设备，定期或不定期地进行巡测，所获得的资料是滞时资料；遥测站是利用现代化的测验和通讯手段施测和传送资料，并可以经常监视测站仪器的运转情况，所获得的资料是实时资料。

（三）水文调查

水文调查是为弥补水文基本站网定位观测的不足或其它特定目的，采用勘测、调查、考证等手段而进行的收集水文及有关资料的工作。因此，水文调查是水文测验工作的重要组成部分，它受时间、地点的限制较小，可在事后补测，并能有效地收集了解基本站集水面积上所要求的水文资料，有较大的灵活性。

根据调查的内容和目的的不同，水文调查可分为4类，即以系统掌握流域基本情况建立调查档案为目的而进行的流域基本情况调查；以解决受人类活动影响的水文资料的还原计算或水量平衡计算为目的的水量调查；以完整地收集各站水文特征值资料为目的而进行

的暴雨、洪水及枯水调查；为专门目的需要而进行的专项水文调查，如泥沙、泉水、冰凌、岩溶、水质污染及其它特殊水情的调查。

水文调查工作的开展，能使收集到的资料更加配套、完整，从而更好地满足水文科学研究、水文水资源开发利用、水利水电建设以及其它国民经济建设的需要。

二、水文勘测站队结合的实施

我国从70年代后期开始进行站队结合试点，1985年颁发了《水文勘测站队结合试行办法》，促进了站队结合的推行。至1989年底，已有104个片实现了站队结合，约占全国规划数的25%。水文勘测站队结合是对基层测站管理体制和测验方式的改革。

（一）站队结合的目的

站队结合的目的在于提高工效、发展站网、促进新技术的应用、扩大资料收集范围及加强管理、改善基层职工的工作和生活条件，促进水文勘测工作向广度和深度发展。

通过站队结合，可以用较少的人力、物力，办更多的事，提高工作效率和经济效益，以适应社会主义现代化建设对水文工作的更高要求。

（二）站队结合的实施及任务

站队结合是在现有水文站网的基础上，进行适当的分片组合，把原来人员分散、驻站定位测报的办法，改变为集中人员、建立基地、统一调度，并按专业队伍与委托观测相结合；定位观测与巡测、水文调查相结合；水文勘测与资料分析、科研、人员培训相结合的原则来完成某个区域或流域的水文勘测及科研任务，并进行水文服务工作。其任务是：

（1）组织完成所负责区域内（简称区内或测区）各类水文站（点）的各项定位测报和巡测、调查工作及水文资料的整编、审查（初审）任务。

（2）针对测区开展巡测需要解决的技术问题和水资源开发、利用、管理上需要解决的水文问题，进行调查研究、资料分析和科学实验，并提出分析报告。

（3）做好为防汛、抗旱、水利水电工程调度运用、水资源管理和保护的水文服务工作，并根据条件开展各种水文科技咨询服务。

（4）负责本队职工的管理、教育及青年工人与委托观测员的技术培训工作。

（5）后勤工作及其它。

第二节 水 文 站 网

一、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，收集水文资料，为国民经济各部门服务。因此，水文测站是为经常收集和提供水文要素资料而在河流上或流域内设立的各种水文观测现场的总称。

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。水文站网是在一定地区或流

域内,由各类水文测站所组成的有机集合体,也是测站在地理上的分布网。站网规划就是将水文测站按一定的科学原则布设在流域的合适位置上。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。

二、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;按测站性质可分为基本站网和专用站网。

基本站网是综合国民经济各方面需要,由国家统一规划而建立的。这种站网依靠长期站和短期站观测所提供的资料样本,可以实现对水文情势在时间上和空间上的全面控制,满足国民经济建设对水文资料的需求。基本站的工作应根据国家颁布的水文测验技术规程进行观测、测验,获取的资料必须整编刊印或以其它方式长期存储。

基本站按其性质和任务的不同,可分为控制站、区域代表站、小河站和实验站;按各站测验精度的不同,又可分为3类,即Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类精度站。控制站是为探索水文特征值及其沿河长的变化规律和满足防汛需要而在大河上布设的水文站。区域代表站是为探索中等河流水文特征地区规律而在有代表性的中等河流上布设的水文站,用以解决中等河流水文资料在地区上的移用问题。小河站是为探索各种下垫面条件下小河径流变化规律而在有代表性的小河上布设的水文站,并可解决小河水文资料在地区上的移用问题。实验站是为对某种水文现象的变化过程或某些水体进行全面深入的实验研究而设立的一个或一组水文测站,如径流实验站、湖泊水库实验站等。在国外,还有实验流域和水文基准站。前者是研究一个天然流域经过不同程度不同措施的人工治理后对水循环的影响;后者是研究在自然情况下水循环各因素长期变化的趋势。

基本站的精度等级与所在测站的水流特性、测验方法和精度控制指标有关。对此,将在第三章中进行讨论。

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

基本站网与专用站网是相辅相成的。专用站在面上是基本站的补充,而基本站在时间系列上辅助专用站。

基本站网建立后,其站址变动应慎重考虑,但不是一成不变的,而是应当根据经济发展的需要和测站的实际作用不断加以补充和调整,以满足经济建设和科学研究对水文资料的需要。

三、基本水文站网布设原则

基本水文站网布设的总原则是以最经济、合理的测站数,收集流域中各种水文要素变化的信息,并能满足内插流域中任何地点水文特征值的需要。

基本水文站网中,流量站网是最重要的站网,也是各种站网的基础。因此,重点介绍流量站网,并简要地介绍水位站网、泥沙站网。

(一) 基本流量站网布设的原则

1. 线的原则

适用于流域面积超过5000km²大河(南方河流大于3000km²可作为大河)干流的原则。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。

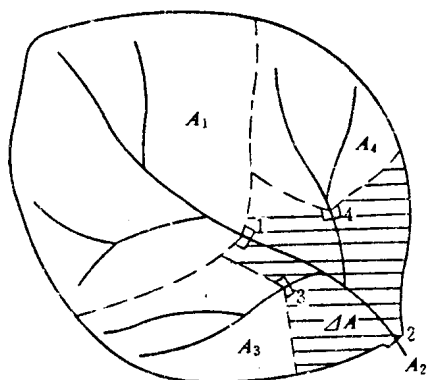


图 1-1 线的布设原则示意图

由于实测流量均含有误差,因此,上、下游相邻站之间应有适当间距。其所增加的区间径流量,不小于上游测站径流量的10%~15%。如图1-1所示, R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 及 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 分别代表1、2、3、4站的径流量及其所控制的集水面积。则

$$\frac{R_2 - (R_1 + R_3 + R_4)}{(R_1 + R_3 + R_4)} > (10\% \sim 15\%) \quad (1-1)$$

如流域产流比较均匀,自然地理条件比较一致,可用流域面积来代替区间径流量进行估算:

$$\frac{A_2 - (A_1 + A_3 + A_4)}{(A_1 + A_3 + A_4)} > (10\% \sim 15\%) \quad (1-2)$$

规划时应从河流上游开始。布设测站时,按上游稀、上游密的原则进行。在河流水量最大的地方或沿河长水量有显著变化处应设站。例如,河流下游在入汇口之前的水量最大处,应布设测站。

2. 区域原则

根据气候、下垫面等自然地理因素或年降水与径流关系以及流域模型的产、汇流参数等因素综合考虑进行水文分区,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。适用于流域面积为200~5000km²(南方河流可为200~3000km²)的中、小流域。这些站的资料,可以用来进行相似河流的水文计算或移用到下垫面条件相似的无资料地区。

在进行具体分区时,要根据各地实际情况而定。以下一些地点,是较好的水文区界:高的分水岭,对潮湿空气起阻碍作用,使迎风面与背风面的降水发生明显变化;地形转折点,如平原、丘陵、山区的分界处;植被条件变化界,如林区、草原区、农业区等分界处;地质条件显著变化界及较大面积的湖泊区、沼泽区的区界等。

3. 分类原则

适用于流域面积小于200km²的小河。这类河流数目不少,用区域原则布站不经济。虽然这类小河流域特性差异较大,但小流域的植被、土壤、地质等因素比较单一,占主导地位的某单项因素,可较灵敏地直接影响径流的形成和变化。流域越小,单项因素的影响越显著。因此,应按下垫面分类原则来布站,即按自然地理条件如湿润地区、沙漠、黄土高原等划分大区;按植被、土壤、地质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、形状等因素进行布站。布站的数量,以能妥善确定产、汇流参数的要求为准。据此布设的小河站所收集的资料,可移用到无水文资料的相似小河上。

此外,在站网规划时,还应考虑国民经济开发远景,水源开发价值及设站历史较长测

站的处理等。布站时的一般原则是：边远地区、暂不开发地区的站网密度可稀些；洪水组成复杂地区可密些；尽可能保留历史较长的站，以利于资料系列的延长。

（二）基本水位站网布设原则

在河流的中、上游，除因所布流量站的站距太长，需增设水位站外，一般不布设基本水文站。但在堤防段、潮水河段、水网地区及水库湖泊地区，由于不需要或不宜布设流量站，为掌握水情的变化，需要规划布设基本水位站。

河流上布设基本水位站的地点有：拟建而尚未建立基本流量站，设水位站作为过渡性测站的地区；大支流入汇后的干流上；经常发生洪水的、众多支流入汇后的干流上；堤防段和重要工矿、城镇需要进行洪水预报的地区；有大量泉水或地下水补给河段的下游；河流纵比降有明显转折处及较大水工建筑物的上、下游。

（三）基本泥沙站网布设原则

河水挟带的泥沙主要来自两岸地表，其含沙量的多少与流域土质、坡度、植被等有密切关系。在布设泥沙站网时，必须充分考虑流域的产沙特性及规律。

对于年平均含沙量在 $0.05\sim 0.1\text{kg/m}^3$ 以上的河流，可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图的要求，基本泥沙站在流域上宜均匀分布，但沙量大的地区可密些，沙量小的地区可稀些。对已建、拟建水库或灌区引水口上游的基本流量站，应考虑布设基本泥沙站。

四、水文站网的调整

由于大规模的人类活动影响改变了天然河流的产流、汇流、蓄水及来水量等条件，水文站网应进行适当的调整。近十多年来的大量研究提出了一些调整的方法和途径。

（1）水库站作区域代表站。对一些库形条件好、库面整齐、库水位具有代表性的水库站，在改善观测部署和提高测验精度的条件下，能使水库观测资料通过某种途径和方法，转化为天然河道情况下的径流资料时，可将这种水库站作为区域代表站。

（2）大型水库建成后的站网布设。可按坝址上、下游分别考虑布站。在坝址以上为满足水库管理运用、改进规划设计的要求，布设入库站及其它水文站；在坝址下游布设出库站及其它专题研究站。

（3）平原水网区水文站网的布设。按水量平衡原则，将整个水网区用测验、巡测封闭线分成若干小区。在测验、巡测线上流量变化较大、反应灵敏、有代表性处建立基本站，长期驻测；在线上其它进出口上设立巡测站，按变化情况分级测验，再与基本站建立相关关系，以推算流量。

（4）对上游受水利工程影响较大的区域代表站与控制站的站网调整。根据上游工程建设实际情况，按产生影响程度的大小增设专用站及巡测站，并配合开展定期水文调查，取得径流还原资料。

五、站网布设中存在的问题

我国水文站网于1956年开始统一规划布站，经过多次调整，布局已比较合理，取得了显著成绩，但还存在一些问题有待解决。

（1）优化站网布设的研究。优化站网布设是指在站网布设中，使不同职能的基本站

点,不论在数量、空间分布、相互搭配上,还是在观测时限、观测手段和信息传递上,都能以最小的代价,最高的效率,搜集质量合格的水文资料。按我国站网的现状和经济发展水平,在今后较长时期内仍需增站。因此,及早研究优化站网途径,以减少增站的盲目性是很重要的。

(2) 基本站网不足,密度较低。我国水文站网密度仅为3.5站/万 km^2 ,而世界的均值为4.0站/万 km^2 。世界气象组织建议的容许最稀站网密度,在平原地区为1000~2500 km^2 /站,山区为300~1000 km^2 /站。我国尚未达到这个要求,而且站点分布很不均衡,特别是西部地区,每万 km^2 站数不足一个,不能满足生产的需要。

(3) 人类活动对站网的影响。近年来,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,已取得的资料如何还原为天然情况下同步系列的问题,虽已取得一定的进展,但仍需进一步进行研究。

此外,实行站队结合后,站网的调整问题有待于研究。各种站网的配套和协调等问题,也应予以重视。

第三节 水文测站的设立

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。选择水文测验河段应满足下列条件:

- (1) 必须满足设站目的和要求。
- (2) 保证各级水位下(包括洪、枯水期)测验资料具有必要的精度。
- (3) 符合观测方便、建站及测验设施经济,测验资料计算整理简单的要求。

(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,则水文站的水位流量关系稳定;反之,则不稳定。

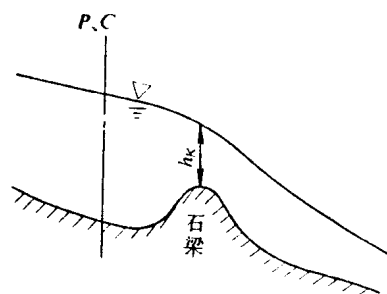


图 1-2 低水断面控制示意图
P—基本水尺断面; C—流速仪测流断面

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。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1-2所示。从水力学知,产生临界流处,其佛汝德数 Fr 为1,即

$$Fr = \frac{v^2}{gh_K} = 1$$

$$v = \sqrt{gh_K}$$

式中 v ——断面平均流速。

如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

$$Q = A \cdot v = B \sqrt{g} h_K^{3/2}$$

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

$$Q = f(h_K) = f(Z_K) \quad (1-3)$$

式 (1-3) 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

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

则通过断面的流量 Q 为

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} S_e^{1/2} \approx A \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (1-4)$$

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, 可以 S 近似代替能面比降 S_e ;

A ——断面面积。

将式 (1-4) 写成一般函数式:

$$Q = f(A, R, n, S) \quad (1-5)$$

式 (1-5) 中, (A, R) 决定于断面因素 Ω 及水位 Z , 故

$$Q = f(Z, \Omega, n, S) \quad (1-6)$$

式 (1-6) 说明, 决定河道流量大小的水力因素有: 水位、断面因素、糙率 and 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, Ω 、 n 、 S 维持不变。

(2) 在同水位 Z 下, Ω 、 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、稳定的河段, 没有分流、斜流、回流及死水等现象。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免易发生冰坝、冰塞的河段。此外,测验河段还应尽可能靠近居民点及交通、通讯方便的地方,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:

(1) 准备工作。明确设站的目的任务,查阅、收集有关资料(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、测站的设立

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。

本节只对以下几个问题作简单介绍。

(二) 横断面的布设和要求

根据不同用途,水文站应布设基本水尺断面、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1-3所示。

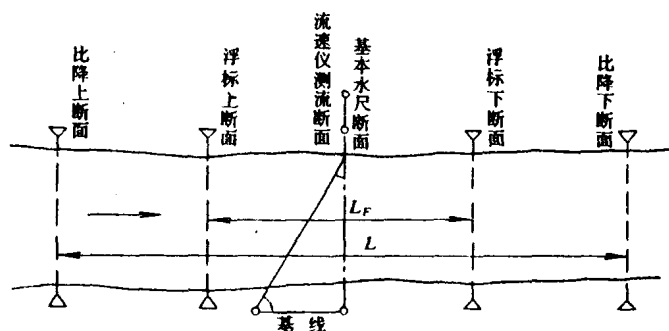


图 1-3 水文站横断面布设示意图

断面布置的要求是:

(1) 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合而为一, 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, 其间距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

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

因

$$t = L_F / v_F$$

则

$$\delta_v = v_F / L_F$$

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

$$L_F = v_F / \delta_v = v_{\max} / \delta_v \quad (1-7)$$

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

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, s;

δ_v ——浮标测速的相对误差, (%)。

测速误差 δ_v 一般取 1.25% ~ 2%, 代入式 (1-7) 得

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

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, 其间距应满足比降观测的精度要求。

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:

$$L = \frac{2}{\Delta Z X_s} \sqrt{m^2 L + 2 S_g^2} \quad (1-8)$$

进而解得

$$L = \frac{2}{\Delta Z^2 X_s^2} (m^2 + \sqrt{m^4 + 2 \Delta Z^2 X_s^2 S_g^2}) \quad (1-9)$$

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 5 mm), mm;

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

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