

基于C#的河流流量 在线监测系统的研发

JIYU C# DE HELIU LIULIANG ZAIXIAN JIANCE XITONG DE YANFA

孟宪萌 周波 编著



非外借

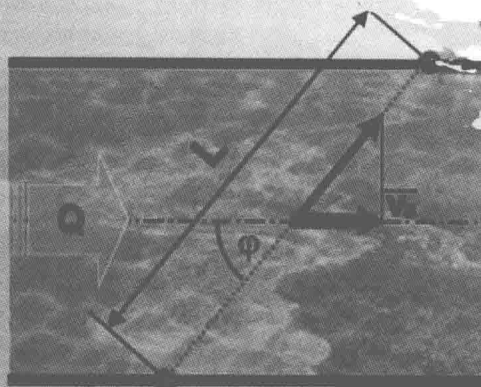


中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

基于C#的河流流量 在线监测系统的研发

JIYU C# DE HELIU LIULIANG ZAIXIAN JIANCE XITONG DE YANFA

孟宪萌 周波 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

基于 C#的河流流量在线监测系统的研发/孟宪萌,周波编著. —武汉:中国地质大学出版社,2016. 11

ISBN 978 - 7 - 5625 - 3912 - 4

I. ①基…

II. ①孟…②周…

III. ①C 语言-应用-河流-流量观测-在线监测系统

IV. ①P332.4 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 246914 号

基于 C#的河流流量在线监测系统的研发

孟宪萌 周 波 编著

责任编辑:张 林 舒立霞

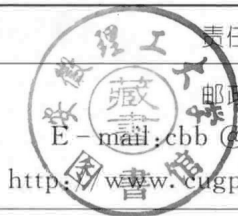
责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

电 话:(027)67883511

传 真:67883580

经 销:全国新华书店



邮政编码:430074

E-mail:cbb@cug.edu.cn

http://www.cugp.cug.edu.cn

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:285 千字 印张:11

版次:2016 年 11 月第 1 版

印次:2016 年 11 月第 1 次印刷

印刷:武汉市籍缘印刷厂

ISBN 978 - 7 - 5625 - 3912 - 4

定价:48.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

随着国民经济在各行各业的迅猛发展以及最严格水资源管理制度的实施,对河流流量测验的时效性要求也越来越高。传统流量测验方法一般需布设多条测速垂线,并在每条垂线上施测若干点流速,一般采样时间较长,不能有效地满足时效性的要求。近年来,随着科学技术的快速发展,利用计算机软件开发技术和水文河流流量测验技术的有机耦合,开发河流流量在线监测系统,使河流流量的自动在线监测变为可能。

为了让先进的测验仪器和测验技术发挥更好的功效,解决应用中遇到的实际问题,推进现代测验技术的进步,对测验技术中存在的问题进行更深入的研究,耦合现有的测验技术显得非常必要。作者在中国地质大学(武汉)和水利部长江水利委员会水文局从事水文测验的研究与技术管理工作多年,对新仪器和新技术的引进、研究与应用一直处于国内外前沿,本书为作者多年从事水文测验过程中积累开发的一些研究成果,研究内容涉及河流流量在线监测的问题。

全书由 11 章构成,共分为四大部分。第一部分包括第一章、第二章,主要介绍国内外有关河流流量站的布设原则、测验的基本原理与方法;第二部分包括第三章至第八章,主要介绍 C# 程序开发的基本知识;第三部分包括第九章、第十章,对接触式和非接触式河流流量在线监测系统进行了应用研究;第四部分包括第十一章,对河流流量在线监测系统进行了总结,并对将来的研究及系统开发给出了方向。其中第一章至第七章由孟宪萌撰写,约 15 万字;第八章至第十一章由周波撰写,约 13 万字,全书由孟宪萌统稿。

本书的出版得到了中国地质大学(武汉)中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(编号: CUG160205、CUGL100220)和国家自然科学基金项目(编号: 51109192)的资助。

本书可供从事河流流量在线监测的工程技术、教学和研究人员阅读和使用,也可作为高等学校水文与水资源工程专业参考使用。

由于作者水平有限,书中还存在着不完善和需要改进的地方,也难免会存在一些问题,希望与国内外有关水文测验方面的专家学者共同探讨,恳请读者批评指正,以便更好地完善和进步。

作 者

2016 年 6 月于武汉

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 背景与意义	(1)
第二节 基本流量站网布设的原则	(2)
第三节 水文测验河段的选择与勘测	(6)
第四节 测站的设立	(11)
第二章 河流流量在线监测技术原理与方法	(18)
第一节 河流流量及其测验方法	(18)
第二节 流速仪法流量测验	(23)
第三节 浮标法测流	(31)
第四节 其他流速面积法流量测验	(33)
第五节 声学多普勒流速剖面仪法流量测验	(35)
第六节 水力学法测流	(37)
第三章 C#.NET 概述	(50)
第一节 .NET	(50)
第二节 C#语言	(53)
第三节 C#与.NET 的关系	(54)
第四节 Visual Studio 集成开发环境	(55)
第四章 C#程序设计基础	(61)
第一节 C#基本数据类型	(61)
第二节 常量和变量	(64)
第三节 运算符与表达式	(65)
第四节 流程控制语句	(66)
第五章 面向对象编程基础	(70)
第一节 面向对象编程	(70)
第二节 类	(71)
第三节 类的成员	(72)
第四节 C#常用类操作	(75)
第六章 面向对象高级编程	(78)
第一节 继承与派生	(78)

第二节	多态性	(79)
第三节	抽象类与抽象类方法	(80)
第四节	密封类与密封方法	(80)
第五节	接口	(80)
第六节	委托与事件	(82)
第七节	序列化与反序列化	(83)
第八节	泛型处理	(83)
第七章	异常处理与程序调试	(84)
第一节	异常处理	(84)
第二节	程序调试	(87)
第八章	Windows 窗体与控制应用及程序设计	(90)
第一节	窗体与控件	(90)
第二节	基本控件	(93)
第三节	菜单、工具栏及状态栏	(106)
第四节	对话框控件	(108)
第五节	键盘与鼠标事件处理	(111)
第九章	接触式流量在线监测系统开发——以水平式声学多普勒流速仪 为例	(113)
第一节	开发背景	(113)
第二节	需求分析	(115)
第三节	系统总体设计	(115)
第四节	业务类设计	(126)
第五节	主要功能模块设计	(136)
第六节	小结	(141)
第十章	非接触式流量在线监测系统开发——以 RG30 雷达流速仪为例	(143)
第一节	开发背景	(143)
第二节	需求分析	(143)
第三节	系统总体设计	(144)
第四节	业务类设计	(154)
第五节	主要功能模块设计	(160)
第六节	小结	(167)
第十一章	结 语	(168)
第一节	小 结	(168)
第二节	需要进一步研究的问题	(168)
主要参考文献		(170)

第一章 绪 论

第一节 背景与意义

水资源作为地球上宝贵的物质资源之一,为人类与自然提供着维系生命的基本保障。人类自古以来就学会了利用水资源进行灌溉、航运、养殖等,为人类社会的发展提供了必不可少的生产生活保障。伴随着工业革命的开始,人类对水资源的开发利用程度不断提高,水资源被用在发电、加工、制造等行业,随之而来的是人类对水资源的需求与日俱增。

历史上,人类就有邻水而居和逐水而居的传统,四大文明古国均发祥于河流冲积而成的平原,说明河流湖泊是人类最早取水的场所,与人类生活最为密切。我国地势西高东低,山地、高原和丘陵约占陆地面积的 67%,盆地和平原约占陆地面积的 33%。山脉多呈东西和北东-南西走向,陆地地势可划分为三级阶梯。阶梯状分布的特点在广袤的大地上孕育了众多大江大河,其中流域面积超过 1000km² 的河流就有 1500 多条。我国东南部被太平洋包围,西北部紧邻欧亚大陆,由于地形原因导致东部和南部水资源丰富,河流湖泊纵横,水患频发;相反,西北地区水资源匮乏。我国是世界第一人口大国,同时又是农业大国和制造大国。随着经济的飞速发展,对水资源的过度开发造成沙漠化严重、河流萎缩,及西北华北地区“有河皆干”的现象。

针对我国南北水资源分布的特点,我国开启了举世瞩目的南水北调工程。在保证南方正常生产生活需求的前提下,将南方的一部分水资源输送到北方。此外,我国各省也纷纷对省内水资源进行详细评估,指导水资源管理和利用,保证水资源的可持续发展。另外,根据河流健康理论,健康的河流应该是有一定的流量规模、通畅的水沙通道、达标的水质和健康的生态系统。流量规模作为最基础的保障,若没有了水,河流的健康便无从谈起。

水文测验工作是水文工作的基础。系统地搜集和整理水文资料的全部技术过程称之为水文测验。水文测验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,可以掌握水文要素的变化规律,为水资源评价和开发利用、水资源优化配置、防洪抗旱、水资源保护提供情报,为水利工作的规划设计和运用提供水文分析的资料。

为了开展水文测验工作,需要建立相应的水文测站。水文测站按设站的目的可以分为基本站、辅助站、实验站和专用站。

(1)基本站是为综合需要的公用目的,经统一规划而设立,能获取基本水文要素值多年变化资料的水文测站。基本站应保持相对稳定,在规定的时期内连续进行观测,收集的资料应列入水文年鉴或存入数据库长期保存。基本站也称为国家基本水文测站。

(2) 辅助站是为帮助某些基本站正确控制水文情势变化或为补充基本站网不足而设立的一个或一组测站。辅助站是基本站的补充, 弥补基本站观测资料的不足, 在计算站网密度时辅助站一般不参加统计。

(3) 实验站是在天然和人为特定实验条件下, 为深入研究某些专门问题而设立的一个或一组水文外业试验场所。实验站也可兼作基本站。实验站又可分为国家基本水文实验站和专用水文实验站。

(4) 专用站是为科学研究、工程建设、工程管理运用、专项技术服务等特定目的而设立的水文测站。它可兼作基本站或辅助站, 其观测项目和年限依设站目的而定。这类站不具备或不完全具备基本站的特点。

河流流量的监测是水文测验中的一个重要组成部分, 是河流健康评判的重要依据, 是与河流相关的一系列水利工程水利规划实施的前提和基础, 只有准确、方便、快速地对河流流量开展测量, 上述工作才有开展的可能。

第二节 基本流量站网布设的原则

一、一般规定与要求

按规划设立的流量站网必须达到以下几点要求:

- (1) 按规定的精度标准和技术要求收集设站地点的基本水文资料。
- (2) 为防汛抗旱、水资源管理提供实时水情资料。
- (3) 插补延长网内短系列资料。
- (4) 利用空间内插或资料移用技术, 能为网内任何地点提供水资源的调查评价、开发和利用, 涉水工程的规划、设计、施工, 科学研究及其他公共所需要的基本水文数据。
- (5) 满足其他项目站网定量计算的需要。

二、流量站网的分类

由于河流有大小、干支流的区分, 因此设在不同河流上的流量站网的布设原则也不相同。将天然河道上的流量站根据控制面积大小及作用, 分为大河控制站、区域代表站和小河站。

1. 大河控制站

控制集水面积为 3000 (湿润地区) ~ 5000 (干旱地区) km^2 以上大河干流的流量站, 称为大河控制站。大河控制站的主要任务, 是为江河治理、防汛抗旱、水资源管理、制定水资源开发规划以及编制重大工程兴建方案等系统地收集资料。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。

确定大河干流流量站位置应综合考虑以下几个因素:

- (1) 任何相邻测站之间的流量特征值应保持适当的递变率, 缺乏水文资料的地区也可以采

用流域面积递变率代替。

(2)满足重要城镇和重要经济区的防洪、水资源管理、开发利用及水工程规划、设计、施工的需要。

(3)出入国境处和入海处,省(自治区、直辖市)的交界处。

(4)大支流的入汇处及满足大型湖泊、水库的调蓄需求。

(5)重要水功能区和重要水资源保护区。

(6)重点水土流失区和大型引退水工程上下游。

(7)三角洲河口区、主要出海水道及重要分流水道处。

(8)满足一定的通信、交通和生活条件。

2. 区域代表站

其余天然河流上设立的流量站,称为区域代表站。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,解决水文分区内任一地点的流量特征值,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。

选择布设代表站的河流和河段位置应综合考虑以下几个因素:

(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)测站控制集水面积内的水工程少。

(4)无过大的空白地区。

(5)综合考虑满足防汛抗旱、水资源管理、水工程规划、设计和管理运用等需要。

(6)湿润地区集水面积为 $200\sim 3000\text{km}^2$ 之间,干旱地区集水面积为 $500\sim 5000\text{km}^2$ 之间,且易发生洪水灾害和有防汛需要的山区河流。

(7)集水面积大于 1000km^2 的跨省(自治区、直辖市)界河流,且省(自治区、直辖市)界以上集水面积超过该河流面积的 15%,有水资源管理、保护的需要;跨市、县界河流及小于 1000km^2 的河流宜根据有水资源管理的需要。

(8)中小流域水环境、水资源保护的需要。

(9)农业灌区、工矿企业、大型居民区等的用水需求。

(10)尽量照顾交通和生活条件。

3. 小电站

干旱区集水面积在 500km^2 以下,湿润区集水面积在 300km^2 以下的河流上设立的流量站,称为小电站。小电站的主要任务是为研究暴雨洪水、产流、汇流和产沙、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,往往也需要小电站来补充,满足地理内插和资料移用的需要。因此,小电站是整个水文站网中不可缺少的组成部分。小电站按分类原则布设。

小电站站址的选择应符合以下几点要求:

(1)代表性和测验条件较好。

(2)人类活动影响程度小。

(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。

三、线的原则

适用于大河干流的原则,用于流域面积超过 5000km² 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。

由于实测流量包含有误差,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流量应不少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进行估算。

规划时应从河流上游开始,并且测站布置应上游稀、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。

大河干流布设测站数目上限的计算公式为:

$$n_{\max} \leq 1 + \frac{\ln Q_n - \ln Q_1}{\ln(1 + \lambda)} \quad (1-1)$$

$$\lambda = \frac{\ln P_1}{\ln P_0} \eta \quad (1-2)$$

式中, $n_{\max}$ 为大河干流布设流量站数目上限; Q_1 为第 1 个流量站(最上游)的特征流量(m³/s); Q_n 为第 n 个流量站(最下游)的特征流量(m³/s); λ 为相邻测站特征流量的递变率; P_0 为上、下游相邻测站流量变化量正好等于测验误差时,将它判断为测验误差造成的概率,通常取 $P_0 = 0.5$; P_1 为某一允许的微小概率,它既保证相邻测站有显著的流量变化,又不致引起过大的内插误差,通常取 $P_1 = 10\% \sim 20\%$; η 为流量的测验误差。

缺少资料的地区 P_1 、 η 可参照表 1-1 取值。

表 1-1 参数 P_1 、 η 在不同地区的取值参考表(据朱晓原等,2013)

参数	困难地区	一般地区	重要河段
P_1	0.05~0.10	0.10~0.15	0.15~0.20
η	0.15~0.20	0.10~0.15	0.05~0.10

当流量特征值随集水面积呈直线变化时,可采用式(1-3)计算布站数目的上限:

$$n_{\max} \leq 1 + \frac{\ln A_n - \ln A_1}{\ln(1 + \lambda)} \quad (1-3)$$

式中, A_1 为上游第 1 个流量站控制的集水面积(km²); A_n 为第 n 个流量站控制的集水面积(km²)。

根据线性内插精度的要求,在流量特征值呈线性相关情况下,可用式(1-4)计算大河干流布设流量站数目下限:

$$n_{\min} \geq 1 + \frac{L}{L_0 \ln \left| \frac{C_V^2 + \epsilon^2}{C_V^2 - \epsilon^2} \right|} \quad (1-4)$$

式中, $n_{\min}$ 为大河干流布设流量站数目下限; L_0 为相关半径(描述同一条河流上流量特征值相关系数随距离变化灵敏程度的参数)(km); C_V 为系列的变差系数, 由于研究河段有多个流量站的径流系列, 能够计算出各自的变差系数, 此处可取较大者; ϵ 为内插允许相对误差。

相关半径可采用式(1-5)计算:

$$L_0 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \Delta L_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \ln r_{ij}} \quad (1-5)$$

其中:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^T \{[Q_i(t) - \bar{Q}_i][Q_j(t) - \bar{Q}_j]\}}{\sqrt{\sum_{t=1}^T [Q_i(t) - \bar{Q}_i]^2 \sum_{t=1}^T [Q_j(t) - \bar{Q}_j]^2}} \quad (1-6)$$

$$\bar{Q}_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Q_i(t) \quad (1-7)$$

$$\bar{Q}_j = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Q_j(t) \quad (1-8)$$

式中, ΔL_{ij} 为 i, j 两相关点之间的距离(km); r_{ij} 为 i, j 两相关点之间的相关系数; i, j 为同一条河流上的测站序号, 且 $i \neq j$; m 为河流上已布设的测站数; Q_i, Q_j 为第 i, j 流量站的特征流量 (m^3/s); $\bar{Q}_i, \bar{Q}_j$ 为第 i, j 流量站的特征流量的均值 (m^3/s); T 为流量站特征流量观测序列长度。

四、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 $200 \sim 5000 \text{km}^2$ (南方河流可为 $200 \sim 3000 \text{km}^2$) 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。

区域代表站布设测站数目上限的计算公式为:

$$n_{\max} \leq \frac{F}{f_{\min}} \quad (1-9)$$

其中:

$$f_{\min} \geq \frac{L^2 \ln(1+\lambda)}{\ln(1+\lambda) + \ln R_{\max} - \ln R_{\min}} \quad (1-10)$$

式中, $n_{\max}$ 为研究区域内布设流量站网的数目上限; F 为研究区域的面积 (km^2); $f_{\min}$ 为每站控制的最小面积 (km^2); $R_{\min}$ 为研究区域内最小年径流深 (mm); $R_{\max}$ 为研究区域内最大年径流深 (mm); λ 为特征流量的递变率; L 为研究区域内最小、最大径流深线间的平均距离 (km)。

根据区域原则内插精度要求,在概化流域形状和测站布设位置后,推导出测站数目下限的计算公式为:

$$n_{\min} \geq \frac{F}{f_{\max}} \quad (1-11)$$

其中:

$$f_{\max} \leq \frac{1}{2} \sqrt{3} \tau_0^2 \ln^2 \left| \frac{C_V^2}{C_V^2 - \epsilon^2} \right| \quad (1-12)$$

式中, $n_{\min}$ 为研究区域内布设流量站网的数目下限; $f_{\max}$ 为每站控制的最大面积 (km^2); C_V 为系列的变差系数; ϵ 为内插允许相对误差; τ_0 为年径流相关函数与各流域中心之间的距离相关关系的一个参数。

τ_0 值可用经验公式 (1-13) 计算:

$$\rho = e^{-\frac{L}{\tau_0}} \quad (1-13)$$

式中, ρ 为各站之间年径流相关函数, 可通过实测资料计算。

五、分类原则

该原则适用于小河。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。

由于一个地区小河数目很多, 如果下垫面变化复杂, 可能会布设很多小河站。卡拉谢夫法认为, 小河站的数目以区域代表站和大河控制站站数之和的 15%~30% 为宜。

第三节 水文测验河段的选择与勘测

一、理想的测验河段标准

一般河道站, 理想测验河段的标准包括以下几种:

(1) 水流集中, 河槽不应很宽, 便于布设测验设施。

(2) 测验断面应尽可能地接近测站控制。对于山区河流, 在保证测验工作安全的前提下, 尽可能选在石梁、急滩、卡口、弯道等断面控制的上游。

(3) 河床稳定, 无冲淤变化或冲淤变化较小。

(4)河道内无妨碍测验工作的地形、地物,无大的鹅卵石或巨砾,无大量的植物生长,测验河段内比降一致,无跌水、壅水现象。

(5)河道顺直,河岸线平行,河段的顺直长度一般应不小于洪水时主河槽宽的3~5倍(在国际标准中要求,行近河道的长度应当10倍于其河槽宽度)。

(6)河道内流线相互平行,流线的方向与测验断面垂直。

(7)水流相对均匀,无逆流、斜流、严重漫滩、回水、死水或强烈的紊流,要尽量避开有变动回水的影响。

(8)测验断面与水位断面之间无分流和支流加入。

(9)洪水时水流不漫溢出河槽。

(10)小时流速水深不应太小,一般情况下流速要大于0.15m/s,水深要大于0.15m。

(11)结冰河段还应避开容易发生冰塞、冰坝的地点。

二、选择测验河段的具体要求

测验河段是野外进行水文测验的场所。选择测验河段不仅需要考虑当时河流的情况,而且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。选择的原则可归纳为以下几个方面:

(1)必须满足测站的目的要求。

(2)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。

(3)如采用巡回测验的地区,选择河段首先要考虑测站易于到达,尤其是洪水期。

测验河段的选择除兼顾考虑各种影响测验因素,参考理想测验河段的标准外,还应根据设站的目的,在野外查勘的基础上,根据河流特性,灵活掌握下列比选条件:

(1)水文测验河段应选在石梁、急滩、弯道、卡口和人工堰坝等易形成断面控制的上游河段。其中石梁、急滩、弯道、卡口的上游河段离开断面控制的距离应为河宽的5倍,或选在河槽的底坡,断面形状、糙率等因素比较稳定和易受河槽沿程阻力作用形成河槽控制的河段。河段内无巨大块石阻水,无巨大漩涡、乱流等现象。

(2)当断面控制和河槽控制发生在某河段的不同地址时,应选择断面控制的河段作为测验河段。在几处具有相同控制特性的河段上,应选择水深较大的窄深河段作为测验河段。

(3)测验河段宜顺直、稳定、水流集中,无分流岔流、斜流、回流、死水等现象。顺直河段长度应大于洪水时主河槽宽度的3~5倍。宜避开有较大支流汇入或湖泊、水库等大水体产生变动回水的影响。

(4)在平原区河流上,要求河段顺直匀整,全河段应有大体一致的河宽、水深和比降,单式河槽河床上应无水草。当必须在游荡型河段设站时,避免选在河岸易崩塌和变动沙洲附近。

(5)在潮汐河流上,宜选择河面较窄、通视条件好、横断面形态单一、受风浪影响较小的河段,有条件的测站可利用桥梁、堰闸布置测验。

(6)水库湖泊闸堰站测验河段的选择应符合下列几项要求:①设在水库湖泊闸堰站出口测站,测验河段一般首选建筑物的下游,如在下流测验有困难,而建筑物上游又有较长的顺直河

段时,可将测验河段选在建筑物上游。②设在建筑物下游的闸堰站或水库站,应避开水流有大的波动和强烈紊动的地方,并注意满足安全的要求。③设在水库和湖泊出口附近的测站,应设在因流速增加而引起水面线下降的区域的下游。④设在库区内的测站和湖泊站,应注意选取在岸坡稳定、水位有代表性、便于观测、便于设立自动观测设备的地方,避免设在影响安全的滑坡区、可能造成破坏或歪曲测量数据的强风浪区。

(7)结冰河流的测验河段不宜选择在有冰凌堆积、冰塞、冰坝的地点。对有层冰层水的多冰层结构的河段,应经仔细访问、勘察,选取其结冰情况较简单的河段,对特殊地形地理条件,宜选择不冻河段为测验河段。

(8)当测站采用流速仪法以外的其他测流方法时,测验河段的选择应符合以下几项要求:①选择浮标法测流的测验河段,要求顺直段的长度应大于上、下浮标断面间距的 2 倍。浮标中断面应有代表性,并无大的串沟、回流发生。各断面之间应有良好的通信和通视条件。②选择比降面积法测流的测验河段,其顺直段应满足比降观测精度所需的长度,两岸斜坡的等高线接近平行,水面横比降甚小,纵比降均匀无明显转折点,并必须避开洲、滩、分汊河段和明显的扩散型河段。③选择量水建筑物法测流的测验河段,其顺直河段长度应大于行近河槽最大水面宽度的 5 倍。行近河槽段应水流平顺,河槽断面规则,断面内流速分布对称均匀,河床和岸边无乱石、堆土、水草等阻水物。当天然河道达不到以上要求时,必须进行人工整治使它符合量水建筑物测流的水力条件,并应避开陡峻、水流湍急的河段。④选择稀释法测流的测验河段,可选在弯道、狭窄、浅滩、暗礁、跌水、无水草和死水区的河段上。测验河段内水量不得有增加或损失,并应避免支流汇入、分流或河岸溢流。测验河段长度,应使注入水流中的示踪剂能充分自然混匀。

(9)测验河段在有测量标志、测验设施的附近及最高洪水位以下河滩两岸上、下游的一定范围内,应经常保持良好的行洪与通视条件。

三、测站控制及河段的选择

大多数情况下,水文测站的流量主要是通过水位流量关系推求得到的,流量测验的主要目的是确定水位流量关系。因此,水位流量关系的稳定可靠与否对测站外业的工作量影响很大,同时也影响着水文观测成果的质量。

天然河道中的水文现象十分复杂,水位流量的关系在许多情况下是不稳定的,这是因为流量不仅取决于水位,还受比降、河床糙率等水力因素的影响。在同一水位下,这些水力因素往往又在不断变化。因此,天然河道中水位流量关系表现出复杂性、不稳定性。然而,在天然河道中可以找到一些河段,其水力要素在同一水位下保持不变或虽有变化,但可相互补偿,或随水位的变化而呈现出规律性,进而使水位流量关系保持单一性。

如果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;如果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,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,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。

以图 1-1 所示的石梁为例,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为跌水曲线。

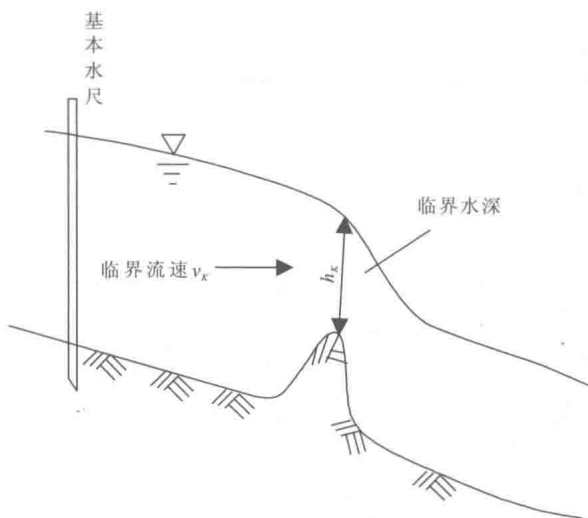


图 1-1 低水石梁控制示意图

由水力学知,在临界流处,出现临界水深,其佛汝德数 F_r 等于 1,即:

$$F_r = \frac{v^2}{gh_K} = 1 \quad (1-14)$$

式中, v 为断面平均流速(m/s); h_K 为临界水深(m)。

如临界水深处横断面为矩形,水面宽为 B ,其断面面积 $A = B \cdot h_K$,则:

$$Q = A \sqrt{gh_K} = (B \sqrt{g}) h_K^{3/2} \quad (1-15)$$

式中, Q 为河流流量(m^3/s)。

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

$$Q = f(h_K) = f(Z_K) \quad (1-16)$$

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。

由于低水时石梁、急滩、人工堰等都可以靠河槽特殊地形产生临界流,能维持水位流量关系为单一关系,只要它们的形状不变,一定的流量就有一个固定的水头与之对应,因此,若水尺在断面控制上游不远处,控制断面与水尺的落差很小,且变动不大,则水尺处的水位流量关系就可稳定。即使水尺处有一定的冲淤变化,只要断面控制不变,水位流量关系仍能维持基本不变,面积的变化可被流速的变化所抵消。一旦产生临界流的条件消失,则它们的控制作用也随之消失。因此,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。

在高水时,卡口、堰坝等能使水流形成跌落,造成水面曲线的转折,产生临界流,从而形成

测站控制作用;弯道则造成水面纵坡降的转折,可以消除下游水位对上游的影响,维持比降的稳定,形成测站控制作用,使同一流量只对应一个水头。若水尺在它们的上游不远,且卡口、堰坝、弯道断面稳定,则该处的水位流量关系也是稳定的。

由于在断面控制处水面突降,水面纵坡较陡,流速大,测深测速都不方便,且误差较大、不安全,而其下游则无控制作用,因此,测验河段通常选在断面控制上游附近。

2. 河槽控制

在天然河道中,水流可近似地看作缓变非均匀流,其断面平均流速 $\bar{v}$ 用曼宁公式表示为:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} R^{2/3} S_e^{1/2} \quad (1-17)$$

则通过断面的流量 Q 为:

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} S_e^{1/2} \approx A \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (1-18)$$

式中, n 为糙率; R 为水力半径(宽浅型河道断面用平均水深代替)(m); S_e 为能面比降; S 为水面比降,在缓变非均匀流时可以近似代替能面比降; A 为断面面积(m²)。

将式(1-18)写成一般函数式:

$$Q = f[(A, R), n, S] \quad (1-19)$$

式(1-19)中, (A, R) 取决于断面因素 Ω 及水位 Z ,故有:

$$Q = f(Z, \Omega, n, S) \quad (1-20)$$

式(1-20)表明,决定天然河道流量大小的基本水力要素有4个:水位、断面因素、糙率和水面比降。因此,要使水位流量关系呈单一关系,必须具备以下条件之一:

(1)在同一水位下, Ω 、 n 、 S 同时维持不变。

(2)在同一水位下, Ω 、 n 、 S 虽有变动,但它们对流量大小的影响恰好互相补偿。

符合上述条件的一段河槽,能够使水位流量关系稳定,称该河段具有河槽控制。一般而言,具备产生河槽控制的河段必须有相当长的顺直段,河床稳定,不生长水草,不受变动回水影响等条件。如果在测验断面下游附近没有断面控制时,可选择河槽控制。一般情况下,水越浅,比降越大,控制河段就越短。

实际选择测验河段时,一般选择符合条件(1)的河道,因为天然河道中符合条件(2)的较少。具体选择测验河段时应根据设站目的、河流特性综合考虑。选择原则可归纳为以下几方面:

(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,尽量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,避开乱石阻塞及斜流、分流的影响。

石梁和急滩一般在中、低水时起控制作用,高水时失去控制;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。

世界气象组织的水文气象实践指南对测验河段提出以下几项要求: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 $0.1\sim 0.15\text{m/s}$;④水深大于 0.3m ;⑤河床稳定而规则;⑥水流不致漫溢出河道的堤岸;⑦不生长水草。

四、测流河段的勘测调查

设立水文站之前,应进行勘测调查,内容包括如下几方面:

(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。在勘测前首先应明确设站的目的与任务,查阅相关文件资料,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,制订工作计划,然后到现场调查。勘测工作一般在枯水期进行。

第四节 测站的设立

设站工作的主要内容包括: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。

一、测验断面的布设和要求

根据不同用途,水文测站应该布设基本水尺断面、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)。

基本水尺断面一般设在测验河段的中央,平行于测流断面,大致垂直于流向。其他断面可以分别设立,也可以重合。从理论上讲,水位流量关系是指某个断面上的水位与通过该断面的流量之间的关系。在实践中,为了避免测流和观测水位工作相互干扰,一般不会将基本水尺断面和测流断面完全重合。

1. 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。通过基本水尺断面常年观测水位,提供