

基于声学多普勒流速仪的地形测量试验

郭 荣¹, 童思陈¹, 张 曼², 周建军², 林斌良²

(1. 重庆交通大学国家内河航道整治工程技术研究中心, 重庆 400074;
2. 清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084)

摘要:分析了常用地形测量仪器的特点,在介绍 Vectrino 结构及原理的基础上,采用第二代声学多普勒流速仪(Vectrino+)进行槽底光滑、槽底沙浆抹面、浑水淤积以及不同斜坡等典型工况下的水下地形测量试验。试验结果表明,只要保证水中具有足够的粒子数和信噪比,Vectrino+可以很好地被应用于水下地形的测量之中,为水下地形的测量提供了一种新的思路。

关键词:声学多普勒流速仪;地形测量;模型试验

中图分类号:P21 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2012)S2-0052-03

无论是在河工、港工等模型试验中,还是在海洋勘探、航道测量等实际工程中,如何进行水下地形测量一直是困扰着人们的一个难题。针对这一问题不同的学者进行了各种探究,并出现了光电式地形仪、阻抗式地形仪、跟踪式地形仪、超声地形仪以及激光扫描仪等各种水下地形测量仪器。唐洪武等^[1]研制了光电反射式地形仪用于泥沙模型试验中淤积面的测量,不仅实现了水下地形的测量,还实现了测量的自动化。姚晓明等^[2]对传统的电阻式冲淤界面判别仪探头及电路进行了改进。王雅丽等^[3]研制的 ABF2-2 地形仪不但能进行水下地形和洲面地形的测量,还可以通过连接具有 MKELAN 接口的仪器构成分布式测控系统,在 PC 计算机控制下实现测量自动化。王振先等^[4]为了研究滩海工程中的冲淤规律,研制了一套实验室用超声地形仪,可绘出水下地形的三维立体图和二位等高线图。马志敏等^[5]采用超声和阻抗相结合的测量方法,研制出一种新型的河床模型三维全自动地形仪,采用灵活的二维行走机构,实现了多断面地形的连续自动测量和三维河床地形的自动成像。随着激光技术的发展,杨文等^[6]开发出一套新型高精度水下地形测量系统,其水平定位精度达 0.01 mm,测量精度为 ± 1 mm,并借助于 LabVIEW 开发的信号采集程序实现自动连续测量。

水下地形测量技术虽得到了长足发展,但仍在测量精度、稳定性和抗干扰性等方面存在一定的不足。近年来声学多普勒流速仪(acoustic doppler velocimeter, ADV)被广泛应用于测量水流的三维流速及紊动特性,而更新换代后的 ADV(称“小威龙” Vectrino 系列)集成了测深仪功能。本文将 Vectrino+ 应用到典型工况下的水下地形测量,为水下地形的测量提供一种新思路。

1 常用地形测量仪器及其特点

常用地形测量仪器包括光电式地形仪、阻抗式地形仪、跟踪式地形仪、超声地形仪以及激光扫描仪等。

光电式地形仪是利用光反射原理,从光电传感器探头射出一束一定强度的调制红外光,经界面反射后,反射光被同一探头接收,根据反射光强与探头距反射界面距离之间存在的单值关系,再将接受到的光信号转化成电信号输出,从而测得地形数据^[1]。光电地形仪测量精度相对较高,理论上可达 0.01 mm,在水上水下地形测量中均适用,并经过改进可实现地形的自动测量^[1]。但该方法属于接触式测量,工作时会局部地形产生一定的干扰^[7]。

阻抗式地形仪由探头和电路两部分组成,利用电阻式探头在不同介质中电阻值的变化来反映测量面的高程。阻抗地形仪具有制作简单,耗电省,质量

基金项目:国家自然科学基金(51179088);“千人计划”(553303001);重庆交通大学研究生教育创新基金;重庆市科委自然科学基金(CSTC, 2010BB7271)

作者简介:郭荣(1986—),女,河北石家庄人,硕士研究生,主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail:guo_rong11012002@163.com

小,携带操作简便等特点,且测量精度可达 $\pm 1\text{ mm}$,但其精度很大程度上依赖于探头的构造形状,且电路可靠性不足,属于接触式测量,多用于推移质泥沙的动床模型中^[7]。

跟踪式地形仪是对电阻式(或光电式)地形仪的一种改进,它利用平衡电桥的基本原理,当电阻式(或光电式)淤面探头在水中不同位置时,输出不同的电流,从而实现了地形的自动连续测量^[7]。如荷兰德尔夫特水工研究所使用的跟踪式地形仪,其电阻式探头离河床的距离可预置在 $0.5\sim 2.5\text{ mm}$ 之间,最大跟踪速度可达 0.5 m/s ^[7];王雅丽等研制的ABF2-2地形仪,利用内置MKELAN网络接口与其他具有相同接口的仪器构成分布式测控系统,再通过计算机控制实现自动测量。但仪器测量精度容易受到侧桥挠度的影响,且不易消除^[3]。

超声地形仪是根据回声定位原理制成的,其采用液介超声探头,利用电脉冲激发使超声探头发出超声波,然后用同一探头接收从反射面反射回来的超声波,在已知超声波波速和超声波从发射到反射回来所经历的时间时,便可得到探头到反射面的距离,从而获得地形数据^[7]。超声地形仪实现了地形的无接触测量,测量速度快,精度相对较高,绝对误差不大于 $\pm 1\text{ mm}$,但受外界干扰信号影响比较大^[4]。

激光扫描仪是近年来新兴的一种地形测量技术,不同于上述单点式地形仪,激光扫描仪是一种多点式测量地形仪。其中三维激光扫描是利用发射和接收脉冲式激光原理,以大量空间点的方式真实再现被测物体彩色和三维立体景观的测量新技术^[7]。此仪器可实现大范围的三维地形测量,且测量精度和工作效率高,但其价格昂贵,且无法实时测量水下地形,测量后数据处理工作复杂^[7]。

2 Vectrino 结构及原理

小威龙 Vectrino 系列是 Nortek 的老一代流速仪 ADV 的更新替代品(图 1),可高精度地测量三维水流流速,功能强大,可与激光流速仪相比拟,且仪器自身不产生零点漂移,已广泛应用于实验室测量、河道测量以及海洋测绘等领域。尤其在研究水流紊动特性、脉动特性、紊动结构和掺混特性等过程中, Vectrino 更是有力的研究工具。

Vectrino 声学传感器由一个发射换能器和 4 个接受换能器组成,工作时由发射换能器发射一个短的声学脉冲,当该脉冲经过 4 个接受换能器的聚焦点时,回声被 4 个声学接受换能器同时接受,通再过处理反射回来的声波,得到多普勒频移,再结合水中声波的传播速度进行调整,从而完成测量工作。



图 1 Vectrino 相关产品

Vectrino 系列与老一代的 ADV 相比,性能上有了极大地提高。首先, Vectrino 缩减了探头的尺寸,大大减小了探头自身造成的阻流干扰;第二,增加了第 4 个声波接收传感器,提高了测量湍流的性能;第三,提高了内部采样频率,其最大数据采集频率可达 200 Hz ,极大地减小了测量噪声的影响,提高了测量精度;第四, Vectrino 还在探头上集成了温度传感器,并附带了测深功能,测深采样频率达 10 MHz ,并有毫米级分辨率,可利用这一功能来进行水下地形测量工作。此外,超声波探头都具有一定的工作盲区, Vectrino 所采用的探头盲区为 5 cm ,即该设备工作时可采集到与发射探头垂直距离 5 cm 之外的采样体的数据, Vectrino 工作水深应大于 5 cm 。

Vectrino 系列包括 Vectrino+, 2D/3D Vectrino+以及 Vectrino II 3 种型号,主要差别为: Vectrino+为可测量 3 个方向的单点式流速仪,探头下向,并集成了测深功能; 2D/3D Vectrino+为可测量 3 个方向的单点式流速仪,探头为侧向,可测量水面及壁面流速,但不能测深; Vectrino II 为 ADV 的最新产品(第三代),可同时测量垂向的三维剖面流速,但单次垂向有效测量范围为 3 cm ,也附带有测深功能。本文试验均基于 Vectrino+实施,即探头向下且具有测深功能的第二代 ADV。虽然 Vectrino+和 Vectrino II 均集成了测深功能,但不能同时对流速和深度参数进行数据采集,需要在不同的采集界面下单独进行。

3 Vectrino+地形测量试验

3.1 试验装置及工况

为测试 Vectrino+的测深功能,本文基于坡降 0.75% ,长 64 m 、宽 1.2 m 、高 0.6 m 的变坡水槽进行了较为系统的地形测量试验,试验水槽布置如图 2 所示。试验主要针对槽底光滑、槽底抹面、浑水淤积及不同斜坡 4 种工况(除浑水淤积工况水样为浑水外,其他 3 个工况均为清水水样)进行了测试,采样频率 10 MHz ,淹没水深大于 5 cm 。

3.2 槽底光滑工况

为研究方便,部分研究者采用的试验水槽槽底为钢板、玻璃的情况,正式试验之前,水槽槽底的原始高程需要预先测定。本试验采用的变坡水槽槽底



图2 试验采用的水槽布置

为钢板刷漆,拟先用 Vectrino+测出槽底高程。施放一定流量的清水,满足测量水深后,利用 Vectrino+测出的槽底高程如图3所示。

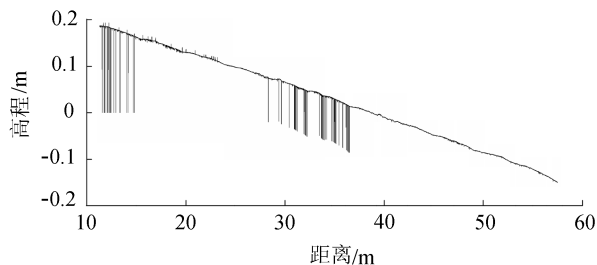


图3 槽底光滑情况下 Vectrino+测量的地形

由图3可见,槽底光滑情况下 Vectrino+测点跳动较大,不能反映实际槽底形状。这是与 ADV 工作原理相关的。ADV 工作原理是基于多普勒效应,必须具有一定的信号强度。在 ADV 中信号强度是用信号和噪音的比值,即信噪比 SNR 来衡量的。如果水中粒子过少或底面过于光滑,返回的信号就会比周围的噪音还要弱,测量数据与实际就会差别很大。

3.3 槽底抹面工况

为消除槽底过于光滑致使信噪比太小的影响,对槽底进行了水泥砂浆抹面处理,其后利用 Vectrino+测出的槽底高程如图4所示。可见沙浆抹面的效果很好, Vectrino+测量的数据能很好地反映出水槽槽底情况。

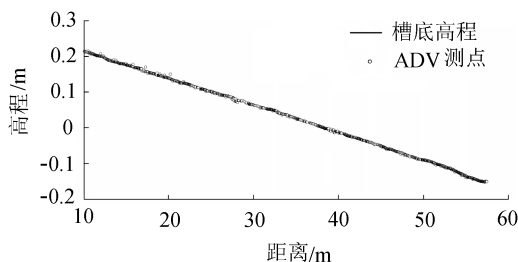


图4 槽底抹面后 Vectrino+测量的地形

3.4 浑水淤积工况

在槽底进行沙浆抹面处理基础上,进行了泥沙分选淤积试验。图5是利用 Vectrino+测量的某淤积过程与槽底高程关系图。可见浑水淤积过程中利用 Vectrino+可实时测量反映出水下淤积地形。

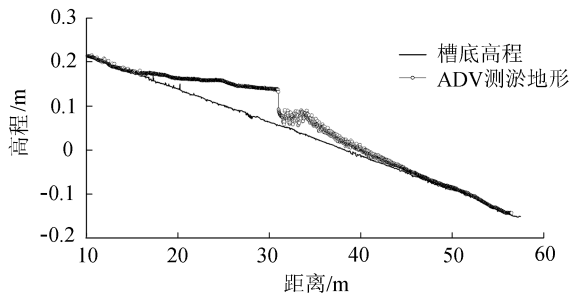


图5 浑水淤积后 Vectrino+测得的地形

3.5 斜坡工况

水槽试验中泥沙淤积后可能出现不同的堆积形状,因此研究在不同坡度情况下 Vectrino+的测淤能力非常必要。为此,定制了坡角分别为 12° , 21° , 27° , 41° , 50° , 61° 及 71° 共7组斜坡进行测试。斜坡材料采用玻璃,并进行毛玻璃纸贴面,加强测量时的信号强度。采用 Vectrino+测量的情况如图6所示。可见,当坡角自 12° 变化至 71° , Vectrino+测出的形状(图中散点)与实际坡面均符合良好。泥沙的水下休止角一般在 40° 以内,因此利用 Vectrino+可很好测量出泥沙淤积形态。

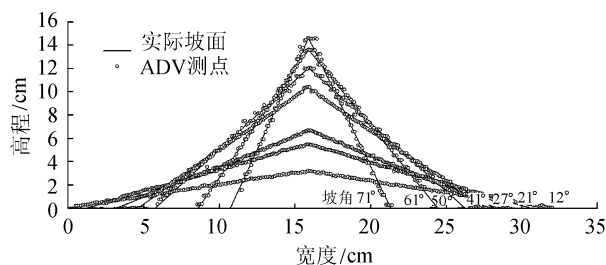


图6 不同斜坡情况下 Vectrino+的测量结果

4 结 语

通过采用 Vectrino+进行槽底光滑、槽底沙浆抹面、浑水淤积以及不同斜坡等典型工况下的水下地形测量,结果表明:①在量测对象较为光滑情况下由于信噪比不足, Vectrino+用于地形测量的误差较大;②保证足够信噪比后(泥沙、微粒达到一定含量), Vectrino+的测量精度较高;③现有试验资料表明,在坡角小于 70° 范围之内, Vectrino+仍然可以很好地用于地形的测量。因此,只要保证水中具有足够的粒子数和信噪比, Vectrino+可以很好地应用于水下地形测量。

本文仅针对 Vectrino+测量地形时的测量面及采样水体的情况进行了初步研究,在测量精度、环境噪音以及测量范围等方面还有待进一步研究;此外, Vectrino+与其他地形仪测量效果的相互比较也需要进一步探讨。

(下转第81页)

自然灾害来临时,水流湍急,接触式方法无法实现测量,RiverSonde 高频河流实时监测系统可以有效地解决上述难题,但该系统尚存在一些不足之处有待进一步改进:①单套系统只能测量径向流速分布,如要测得流场至少需要两套系统^[6];②系统理想测量河宽不超过 300 m,为了扩大适用范围,应采用增加功率及架高天线的方法;③测量流量时,需要其他的水位及地形测量仪器配合测量,应进一步进行相关接口及系统集成的研究开发。

参考文献:

[1] TEAGUE C, BARRICK D E, LILLEBOE P M, et al. UHF RiverSonde observations of water surface velocity at Threemile Slough, California [C]//Proc. of the 2005 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. New York: IEEE, 2005: 4383-4386.

(上接第 45 页)

2.4 控制处理策略

基于 GPRS 的灌区信息采集控制服务通过 GPRS 接收到控制指令后,在 1s 之内完成服务端指令解析→存库→发送控制请求→发送成功确认→生成操作日志等一系列任务。由于本服务同时服务于多个站点,因此存在同时被请求控制多个站点的理论情况,为了避免数据拥堵和一个请求不能发出,其他请求长期排队等待的情况发生,系统采用了动态排队机制。也就是为每一个请求设置优先级和等待失效期限,等待失效期限是系统配置的可调参数,优先级是根据队列中请求的多少以及单指令等待时长和总等待时长,动态调整的。这种机制保障了队列中消息的合理等待,避免了单指令长期等待状况的发生。

基于 GPRS 的灌区信息采集控制服务闲时采集频率为每 5 min 一组,控制时采集频率为每 5 s 一组,且不同类采集频率可任意调整,控制指令的全程反应时间控制在 2 s 以内,有效缩短控制等待时间。

(上接第 54 页)

参考文献:

[1] 唐洪武,李瑾,周浩祥. 光电反射式地形仪的研制及应用 [J]. 河海大学学报,1995,23(1): 80-84.
[2] 姚晓明,李旺兴,肖方祥. 实用性冲淤界面判别仪 [J]. 泥沙研究,1996(2): 109-111.
[3] 王雅丽,李旺兴. ABF2-2 地形仪 [J]. 港口科技动态,2006(3): 16-19.

[2] SPAIN P, BARRICK D E, TEAGUE C. Remote sampling of river discharge using radar and sonar: combining RiverSonde radar and Channel Master ADCP provides a new angle to an old measurement problem [J]. Sea Technology, 2006, 47(2): 35-44.
[3] 黄勇强. ADCP 流速仪在三水水文站的比测试验 [J]. 广东水利水电, 2011(2): 43-45.
[4] 高菲,周根富,姜志成,等. ADCP 技术在河流流量测验中的应用 [J]. 江苏水利, 2011(1): 27-29.
[5] 林楠,祁敏敏,王佑喜. 走航式 ADCP 在河流测流中的应用 [J]. 浙江水利科技, 2011(4): 39-41.
[6] TEAGUE C, BARRICK D E, LILLEBOE P M, et al. Two-dimensional surface river flow patterns measured with paired riversondes [C]//Geoscience and Remote Sensing Symposium. Barcelona: IEEE, 2007: 2491-2494.

(收稿日期:2012-08-30 编辑:熊水斌)

3 结 语

基于 GPRS 的灌区信息采集控制服务已成功应用于山东滨州韩墩灌溉局灌区信息化项目,韩墩灌溉局包括众多灌溉所站点,其中已经实施采集控制的有渠首、谷家和五七,各个站点均实现了数据采集、本地以及远程闸门控制、本地以及远程视频控制,并且在五七管理所实现了小车智能化自动测流功能。该项目针对灌区不同层次的用户开发了智能手机数据浏览系统、客户端数据采集控制系统、网络版数据采集控制系统等一体化的灌区信息化系统,2012 年将在整个灌区布设更多的采集控制点,逐步整合、提升韩墩的灌区信息化管理和信息化质量,进一步提升该地区的灌区信息化水平。

参考文献:

[1] 张月萍. Web Services 应用开发 [M]. 北京:电子工业出版社, 2011: 25-38.
[4] 王振先,金欢阳. 实验室用超声地形仪 [J]. 海洋工程, 2001, 19(1): 94-98.
[5] 马志敏,范北林,许鹏,等. 河工模型三维地形测量系统的研制 [J]. 长江科学院院报, 2006(2): 47-49.
[6] 杨文,薛雷平,胡天群,等. 河工模型水下地形激光自动测量系统的开发 [J]. 人民长江, 2009(12): 62-65.
[7] 陈诚,唐洪武,陈红,等. 国内河工模型地形测量方法研究综述 [J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(4): 76-79.

(收稿日期:2012-08-15 编辑:熊水斌)