

走航式 ADCP 在流量测验中的应用

韩伯成¹ 霍中元² 陈 斌²

(1. 江苏省水文水资源勘测局南京分局 江苏 南京 210008 ; 2. 江苏省三河闸管理处 江苏 洪泽 223100)

摘要 : 介绍声学多普勒流量测验系统(ADCP) 的组成和工作原理 , 通过其在三河闸测流工作中的应用情况进一步阐述该设备在水文水资源和防汛抗旱工作中的推广使用价值。用流速仪精确测量法与 ADCP 进行了流量同步测验 , 两者结果吻合较好。

关键词 : ADCP ; 流量测验系统 ; 量测精度 ; 三河闸

中图分类号 : P332 ; P335 文献标识码 : B 文章编号 : 1006-7647(2008) S1-0154-02

流量测验是水文工作的重要组成部分 , 流量资料是水资源合理开发利用和防汛抗旱工作的基础数据 , 因此流量资料的精度和代表性事关防汛抗旱与国民经济和社会稳定的大局 , 多年来人们不断地研究开发流量测验的新方法 , 以提高流量资料的精度、缩短测流历时 , 力求提供精度高且代表性好的流量资料 , 更好地为防汛抗旱、水资源开发利用和国民经济建设服务。流量测验方法先后经历了浮标、流速仪等方法 , 取得了较大成就 , 但是由于流量精度的提高往往与流量的代表性存在矛盾 , 因此很难在其中优选出最佳方法和测验手段。近年来 , 随着声学多普勒流量测验系统(ADCP) 在国内大量使用 , 较好地解决了上述问题 , 圆满解决了水文流量测验技术的难题。

如今 ADCP 备受广大水文工作者青睐 , 它用于河流、水渠或狭窄海峡的流量测验 , 精度高、性能稳定 , 是一种快速、有效的测流设备。2004 年三河闸水文站购买了 1 台走航式 ADCP , 只要将装有 ADCP 的测量船从河流某断面的一侧行至另一侧 , 就能在几分钟内精确测定河道的流量 , 比传统的测流方法提高效率达几十倍。

1 ADCP 的工作原理和流量计算方法

1.1 ADCP 测流系统的组成

ADCP 测流系统主要由 ADCP 流速剖面仪、机动木船、手提笔记本电脑、Winriver 软件和自主开发的数据处理软件组成 , 有底沙运动和磁偏影响测验精度时 , 需增加 GPS 和外置磁罗经等外接设备。GPS

起到精确导航和测量位置的作用 , 同时也为 ADCP 因底沙运动而采取的 GPS 跟踪方式用 , 罗经用以消除 ADCP 的磁偏影响 , 在 ADCP 的 GPS 跟踪方式下进行流向校正 ; 计算机主要用于采集和处理数据 ; Winriver 软件作为整个系统的数据采集软件 ; 自主开发的数据处理软件对 Winriver 软件采集的数据进行提取及分析整理 , 得到流量、流速、流向、水深、坐标等信息。

1.2 工作原理

ADCP 主要利用声学 and 电子学的基本原理 , 由声学换能器向水体发射 1 个(1 对或 1 组) 声脉冲 , 声脉冲遇到水体中悬浮的、随水体运动的微粒后产生反射声波 , 这些反射声波被接收机接收 , 随即接收机存储器将此反射波记录下来 , 同时与发射机振荡频率进行计算对比 , 计算出发射波与反射波之间的频率差 , 该频率差就是多普勒频偏 , 根据频偏的多少就可计算出水流相对于 ADCP 的速度。与此同时 , 发射机还向河底发射底跟踪声脉冲 , 测出 ADCP 安装平台(测船) 的运动速度以及水深的大小 , 然后用水流相对速度矢量扣除船速 , 得到水流的绝对速度。

计算多普勒频偏的公式如下 :

$$F_d = \frac{2F_o v}{C - v} \tag{1}$$

式中 : F_d 为多普勒频偏 ; F_o 为发射机换能器发射频率 ; C 为声波在水体中的传播速度 ; v 为水流的运动速度。

由于水流速度远小于声波的速度(即 $v \ll C$) , 所以式(1) 可简化为

$$v = \frac{CF_d}{2F_o} \quad (2)$$

从式(2)看出,发射频率 F_o 为已知,由于声速 C 在某特定水体中为常数,频偏 F_d 已由系统测量计算得到,从而可求出水流的速度。

1.3 流量计算方法

ADCP 基于式(3)计算流量:

$$dS = \iint_S \mathbf{u} \cdot \boldsymbol{\xi} dS \quad (3)$$

式中: S 为河流某断面部分面积; $\mathbf{u}$ 为河流断面某点处流速矢量; $\boldsymbol{\xi}$ 为作业船航迹上的单位法线矢量; dS 为河流断面上的面积微元。

将沿航迹的断面离散为 m 个微小断面,则有

$$Q_{ADCP} = \sum_{i=1}^m [(\mathbf{v} \times \mathbf{v}_b) \cdot \mathbf{k}] H_i \Delta t \quad (4)$$

式中: Q_{ADCP} 为流量; H_i 为微断面 i 处的水深; Δt 为相应于微断面的测量时间平均步长; $\mathbf{k}$ 为垂向单位矢量; $\mathbf{v}_b$ 为相应于每一微断面的深度平均流速矢量。

由于仪器吃水和船体及河底吸收等影响,使 ADCP 存在上、下区,因此垂线平均流速的计算被分为中层、表层和底层 3 部分。

1.3.1 中层流速

中层平均流速由系统直接测出,其值为所有有效单元所测流速之平均:

$$v_{xM} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{xj} \quad (5)$$

式中: v_{xj} 为单元 j 中所测的 x 方向的流速分量; n 为微断面中有效单元的数目。

1.3.2 表层和底层平均流速

由于 ADCP 换能器必须浸入水中一定深度,系统不能直接测出这部分水的流速,形成表层盲区,一般采用指数流速分布公式来推求:

$$\frac{u}{u_*} = 9.5 \left(\frac{z}{z_o} \right)^b \quad (6)$$

式中: u 为高度处的流速; u_* 为河底剪切流速; z_o 为河底粗糙高度; b 为经验常数,取 1/6。

式(6)整理后,令 $\alpha_x = 9.5 u_* / z_o^b$, 则 x 对向量流速分量:

$$u_x = \alpha_x z^b \quad (7)$$

1.4 岸边流量计算

由于作业船不可能紧靠岸边测验,ADCP 不能测出近岸边的流速和流量,因此利用比例内插法来确定岸边流量。根据规范,岸边流量由式(8)估算:

$$v_{\partial} = \alpha v_m \quad (8)$$

式中: v_{∂} 为岸边区域平均流速; α 为岸边流速系数,

一般取 0.67 ~ 0.75,三河闸取 0.70; v_m 为起点微断面(或终点微断面)内的深度平均流速。

这样,将 ADCP 流量与岸边估算流量相加可推算出断面总流量。

2 应用实例

我国最大水闸之一的三河闸是淮河流域的重点工程,是淮河入江的咽喉,它的流量精度与代表性对整个淮河流域的防汛防旱工作举足轻重,在大汛来临时如果提供的流量资料偏大,将会误导整个淮河流域的洪水调度,严重时将出现险情,甚至影响洪泽湖大堤的安全,如果提供的流量偏小,势必延长三河闸行洪历时,错觉有可能造成洪泽湖蓄水不足,影响灌溉和工农业用水,从而迫使江淮之间的提水泵站开机向洪泽湖补水,造成巨大浪费,这样就必须选用精确的测量方法获取高精度流量,而测流历时也随之加长,如果历时长,不能及时提供准确的流量数据,则有可能造成防汛工作被动,甚至失去有利时机,此外流量代表性也随之降低,甚至漏测洪峰等特征值,造成定线推流等工作的盲目,从而影响整个流域的防汛抗旱和水资源管理等工作。因此,引进一种精度高、测流历时短的流量测验方法显得非常重要,为此 2002 年三河闸管理处引进了 1 套走航式 ADCP,经过几年实际应用,效果良好,特别是该设备在 2003 年淮河流域的洪水过程中及时提供了时效性好、精度高的流量资料,为战胜 2003 年淮河洪水发挥了重要作用。

为了进一步验证 ADCP 测验流量的精度,笔者用流速仪精确测量方法与之进行了同步测验,结果证明(除个别测点由于人为因素影响外),ADCP 测验结果与流速仪精确测量方法结果吻合较好,不存在系统误差,ADCP 测验精度完全达到流速仪精确测量方法的精度要求,符合有关规范的精度控制标准(对比测验结果见表 1)。测验结果说明,采用 ADCP 进行流量测验,不但具有准确快速的优势,而且减轻了技术人员的体力劳动,消除了安全隐患。

在几年的测验工作中,笔者积累了 ADCP 流量测验的一些经验,譬如:要得到高精度的流量资料,船速不能太快,而且要尽量匀速前进,还要使航向控制在同一断面上,为此在使用初期采用电动缆道牵引 ADCP 前行,既控制了速度,保证 ADCP 匀速前行,同时又保证了 ADCP 运行在同一断面上,这样经过实践摸索,逐步过渡到采用机动船引测,取得了良好的效果。

(下转第 176 页)

应特别安排好原始记录和安全监测系统的规划、设计、实施、管理、信息采集和资料分析与整理工作,为推进材料、工艺改进和解决有关具体问题提供第一手资料。

c. 加强老水库特别是病险水库和水资源供需矛盾突出区域水库的调研工作。1949 年以来,我国先后建设了数以万计的水库工程,许多工程都有不同程度的老化或现有功能已不能满足发展需要。在现有水利水电工程加固或改(扩)建方案论证和决策过程中,可将大坝加高方案作为若干比较方案中的一项,结合老工程的改(扩)建和病险水库的加固提高工程效益。

参考文献：

[1] 李宁,黄继刚.浅议混凝土坝分期加高技术[J].东北水利水电 2002(4):25-26.
[2] 张国新,朱伯芳,吴志朋.重力坝加高的温度应力问题

[J].水利学报 2002(5):11-15.
[3] 李宁,庞海臻,赵剑.重力坝分期加高技术概述[J].水利水电技术 2004(3):22-23.
[4] 郭武山.南水北调中线及丹江口大坝加高工程施工难点[J].湖北水力发电 2006(4):8-11.
[5] 郭武山.丹江口大坝加高工程新老结合面键槽切割施工[J].人民长江 2006(11):1-2.
[6] 董福品,刘永林,朱伯芳,等.混凝土大坝加高设槽方案的优选及应力仿真分析[J].水利学报 2002(6):100-104.
[7] 邢德勇,徐三峡.三峡三期大坝工程大体积温控技术综述[J].水力发电 2002(10):14-16.
[8] 朱伯芳,买淑芳.混凝土坝的复合式永久保温防渗板[J].水利水电技术 2006(4):13-18.
[9] 朱伯芳,张国新,吴龙碑,等.重力坝加高工程全年施工可行性研究[J].水利水电技术 2006(10):29-32.
[10] 齐伟,陈珊,王丹萍.丹江口大坝加高工程安全监测问题的探讨[J].湖北水力发电 2002(3):26-29.

(收稿日期 2007-01-08 编辑 方宇彤)

(上接第 155 页)

表 1 ADCP 与流速仪精确测量方法比测结果统计

序号	测量时间	上游水位/m	下游水位/m	流量/(m ³ ·s ⁻¹)			ADCP 相对于流速仪偏差/%
				流速仪	ADCP	ADCP	
1	07-22T06:40~T09:10	12.37	12.13	5740	5665		-1.3
2	07-25T08:40~T10:20	12.17	11.91	5940	5374		9.5
3	07-27T08:36~T10:40	11.96	11.73	4950	4936		-0.3
4	08-01T08:36~T10:36	12.26	11.45	4580	4426		-3.4
5	08-11T09:00~T11:36	12.98	12.66	7620	7538		-1.1
6	08-23T09:30~T11:40	12.74	10.04	1940	2088		7.6
7	08-26T09:45~T11:30	12.49	10.86	3560	3546		-0.4
8	08-29T12:40~T14:20	12.45	10.83	3440	3442		0.06
9	09-01T08:20~T09:40	12.48	11.48	4820	4871		1.1
10	09-02T08:40~T09:54	12.48	11.49	4730	4820		1.9
11	09-05T09:10~T10:40	12.47	11.96	5850	5970		2.1
12	09-06T07:50~T09:30	12.43	12.10	6290	6259		-0.5
13	09-16T08:40~T10:20	12.43	11.95	5870	5954		1.4
14	09-19T08:30~T10:00	12.14	11.74	5180	5455		5.3
15	09-21T08:30~T09:50	12.66	10.87	3480	3476		-0.1
16	09-27T14:10~T16:25	12.77	10.65	3190	3153		-1.2
17	10-14T09:00~T11:00	12.76	11.41	4680	4660		-0.4

总之,ADCP 在水文测验、水资源调查评价和防汛抗旱工作中应用的效益十分显著,应大力推广。

参考文献：

[1] 田淳,刘少华.声学多普勒测流原理及其应用[M].郑州:黄河水利出版社 2003.
[2] 长江水利委员会水文局.走航式声学多普勒流速剖面仪河流流量测验技术指南[R].武汉:长江水利委员会水文局 2005.
[3] GB50179—93,河流流量测验规范[S].
[4] SL337—2006,声学多普勒流量测验规范[S].
(收稿日期 2007-07-24 编辑 高建群)

(上接第 128 页)

6 结 论

工程实践证明,采取合理有效的工程措施后用粉细砂筑堤是可行的。当前堤防建设的发展趋势是就地取土,少占用耕地,保护生态环境。本工程采用粉细砂放缓边坡筑堤,占用的是河道,未占用耕地,从土堤资源开发利用和全局经济发展的角度考虑,采用粉细砂筑堤在技术、经济上均是可行的。

参考文献：

[1] 杨光照.粉细砂特性及工程措施[J].施工设计研究,1996(6):1-16.
[2] 张越,曲兴辉.改性粉细砂筑坝新技术研究[J].吉林水利 2006(7):8-10.
[3] 李敬库.加筋粉细砂筑坝技术在辽河防洪工程中可行性论证[J].吉林水利 2002(8):20-22.

(收稿日期 2008-05-07 编辑 骆超)

