

受壅水影响的二水文站两种 ADCP 流速比测分析

徐珊珊,冯弋珉,孔斌

(江西省赣州市水文局,江西赣州 341000)

摘要: ADCP 是一种利用声学多普勒效应测量河道流量的新型流量测验系统. 本文在受下游闸坝壅水影响的坝上、窑下坝(二)水文站,开展了水文缆道流速仪、在线式 ADCP、走航式 ADCP 三套设备的流量比测分析,建立了三种测流方案成果相互之间的关系,得到了在线式 ADCP 和走航式 ADCP 的实测流量及流量资料整编成果,分析了走航式 ADCP 和在在线式 ADCP 对两站流量测验的适用性.

关键词: 走航式 ADCP;在线式 ADCP;比测分析

中图分类号: P332 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-4701(2018)04-0270-05

0 引言

随着水资源开发利用程度的提高,新建河道水利工程增多,受其影响的水文测验河段,水位壅高、水深增大、流速减缓、流量多变,测验河段水流状态发生明显变化. 如何在该河段监测流量时,提高测验精度、简化测验程序、保证监测质量,为防汛抗旱决策提供及时准确的实时流量信息,以及积累真实可靠的流量资料,为经济社会发展服务,是河道流量测验面临的一个重要课题. ADCP 作为一种新型的声学多普勒测流仪器,具有速度快、信息化水平高等优势,是解决这一问题的有效途径.

1 测站基本情况

1.1 坝上水文站

坝上水文站地处章水河口上游约 11 km,集水面积 7 657 km²,属于长江流域鄱阳湖区赣江水系一级支流章水控制站,为一类精度水文站,是国家重要基本水文站,1953 年设立至今,实测最大流量 5 060.00 m³/s,实测最小流量 3.57 m³/s,2002 年 5 月地处章水河口上游约 450 m 处的八境湖水库建成蓄水前,主要受不经常性冲淤影响,水位流量关系多为临时曲线,洪水期有时还

受贡江回水顶托影响,水位流量关系短期内呈时序性变化. 八境湖水库建成蓄水后,坝上水文站处在该水库回水中段,中枯水水流状态发生了显著变化,枯水时水位壅高 2.30 m 左右,建库后水深是建库前的 4 倍;平水时水位壅高 1.50 m 左右,建库后水深是建库前的 1.8 倍;建库后中枯水流速仅为 0.020~0.200 m/s. 受八境湖水库壅水影响,水位流量关系呈时序性变化,中低水尤为显著,2003 年以后采用连实测流量过程线法整编流量.

1.2 窑下坝(二)水文站

窑下坝(二)水文站地处章水中游的南康区蓉江镇南水村河段,属于长江流域鄱阳湖区赣江水系一级支流章水区域代表站,为二类精度水文站,2002 年 1 月由其上游约 4 km 窑下坝水文站下迁至此,集水面积 1 944 km²,实测最大流量 1 600.00 m³/s,实测最小流量 0.00 m³/s,2005 年 3 月地处该站下游约 4.5 km 处的康阳水电站建成蓄水前,主要受不经常性冲淤影响,水位流量关系为临时曲线,中高水位水位流量关系单一且基本稳定. 康阳水电站蓄水后,窑下坝(二)水文站处在水库回水中段,平水时水深从建坝前的 1.00 m 左右,壅高至 4.00 m 左右,枯水时水位壅高 4.00 m 左右,建库后水深是建库前的 5 倍;中枯水流速仅为 0.070~0.300 m/s,水流状态发生了显著变化,严重影响流速仪法流量测验精度;受康阳水电站壅水影响,水位流量关系呈时序性变化,中低水尤为显

著,2005年以后采用连实测流量过程线法整编流量。

(4)不同仪器的优缺点如表1。

2 比测实验

2.1 仪器测流原理及优缺点

(1)走航式 ADCP 的测量基本原理是物理学中的声学多普勒效应,当一个声源在移动时,它相对于接收者的频率将因为在介质中传播而发生相应变化。在水流速度不是很大、河底没有流沙的河道,采用底跟踪系统对反射回来的声波信号进行处理。通过接收和处理河底反射回来的信号来确定船体的绝对速度和实测断面处的平均水深,并通过接收和处理断面水体中的颗粒物反射回来的信号来确定水流相对于船体的速度,从而得出水流的绝对速度^[1]。

(2)在线式 ADCP 是采用了一种称之为声学多普勒频移的物理原理来测量水流的速度。其测量原理是:如果一个声源与接收声波物体之间有相对运动时,接收声波物体所接收到的声波频率与声源发射的声波频率之间有一个差异,即有一个多普勒的频移^[2]。因此,测量得到的多普勒频移就能得到相应的点流速。

(3)流速仪法测流是目前流量流速测验应用最广泛、最基本的方法,也是目前衡量、评定各种测流新方法精度的标准。该测验方法基于速度面积法,在断面上布设测流垂线和测速点(一般采用积点法测量流速),以测量断面面积和流速。因此断面的选择对该测流方法非常重要,要求断面选在河道顺直、水流分布均匀、无漩涡或回流的地方,顺直段需满足测验规范的要求,断面垂直于水流方向^[3]。

表1 不同仪器的优缺点比较表

测流仪器名称	优点	缺点
走航式 ADCP	适用范围广、速度快、精度高、信息化水平高,不受河宽窄、流向顺逆限制。	流速小时精度无保障、测得流量为瞬时流量,不能测到较长时间的连续流量成果,维修成本较高。
在线式 ADCP	速度快,精度高,信息化水平高,不受流速大小、流向顺逆限制,能测到长时间的连续流量过程。	受水流浑浊度影响大且测量范围受限。仪器寿命较短,维修成本较高。
流速仪法	原理简单、方法实用,精度较高,成果可靠,维修成本较低,不受河宽窄限制。	对断面选择严格,速度较慢,信息化水平低,测得流量为瞬时流量,不能测到较长时间的连续流量过程,跨河设备较复杂,费时费力,流速不宜过大过小。

2.2 比测条件

2.2.1 仪器的选用与安装

坝上水文站走航式 ADCP 选用的是 RiverSurveyor M9 声学多普勒水流剖面仪;在线 ADCP 安装的是美国维赛公司(SonTek/YSI)研制的淘金者(Argonaut-SI500)水平型测量系统。

根据实际地形、流态等情况,坝上水文站将在线 ADCP 仪器安装在基本水尺断面左岸,位于起点距 26.00 m、高程 94.75 m 处(如图 1)。窑下坝(二)水文站安装在基本水尺断面右岸,位于起点距 25.00 m,高程 116.50 m 处(如图 2)。

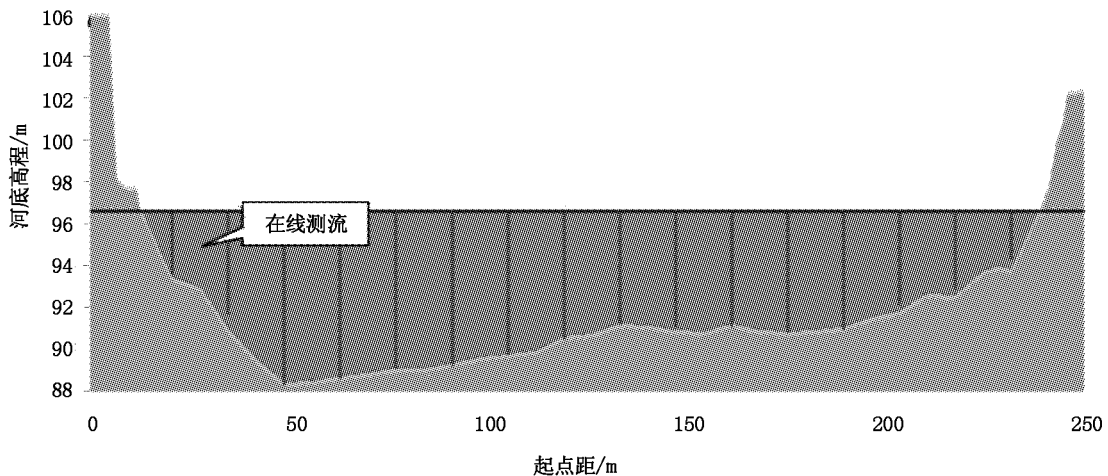


图1 坝上水文站流速仪测速垂线布置图

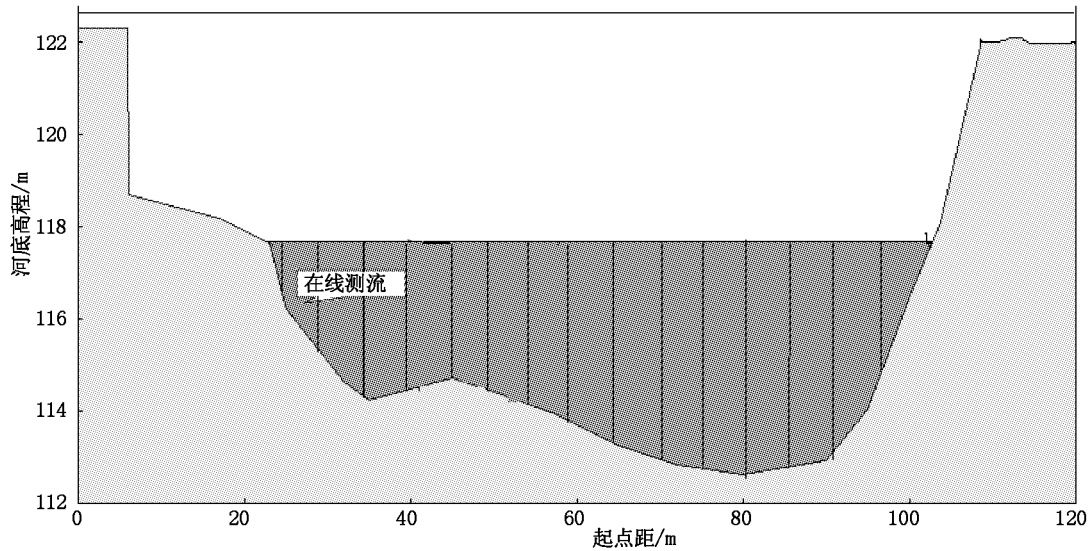


图2 窑下坝(二)水文站流速仪测速垂线布置图

2.2.2 坝上水文站走航式 ADCP 比测

坝上水文站走航式 ADCP 法流量与缆道流速仪法比测分析资料为2016年4月13日~2017年6月4日,共比测36次(高水3次,中水17次,低水16次),流速仪法流量变幅76.40~1730.00 m³/s,水位变幅96.30~99.57 m;走航式 ADCP 流量变幅75.00~1669.00 m³/s,水位变幅96.30~99.57 m,最大流速1.200 m/s、最小流速0.074 m/s。

2.2.3 坝上水文站在线式 ADCP 比测

坝上水文站在线式 ADCP 法流量与缆道流速仪法比测分析资料为2014年11月27日~2015年6月21日,共比测95次(高水1次,中水30次,低水64次),流速仪法流量变幅38.90~867.00 m³/s,水位变幅96.90~99.31 m;在线式 ADCP 法流量变幅35.10~1037.80 m³/s,水位变幅96.90 m~99.31 m,最大流速0.706 m/s、最小流速0.036 m/s。

2.2.4 窑下坝(二)水文站在线式 ADCP 比测

窑下坝(二)水文站在线式 ADCP 法流量与缆道流速仪法比测分析资料为2016年2月2日~2017年7月3日,共比测42次(高水8次,中水31次,低水3次)(含9次走航式 ADCP 实测流量),流速仪法流量变幅39.60~937.00 m³/s,水位变幅96.90~99.31 m;在线式 ADCP 法部分流量变幅25.00~807.00 m³/s,水位变幅116.77~119.42 m,最大流速1.920 m/s、最小流速0.100 m/s。

2.3 比测成果相关性分析

(1)点绘2016年坝上水文站走航式 ADCP 与流速

仪实测流量共36次相关图,见图3。

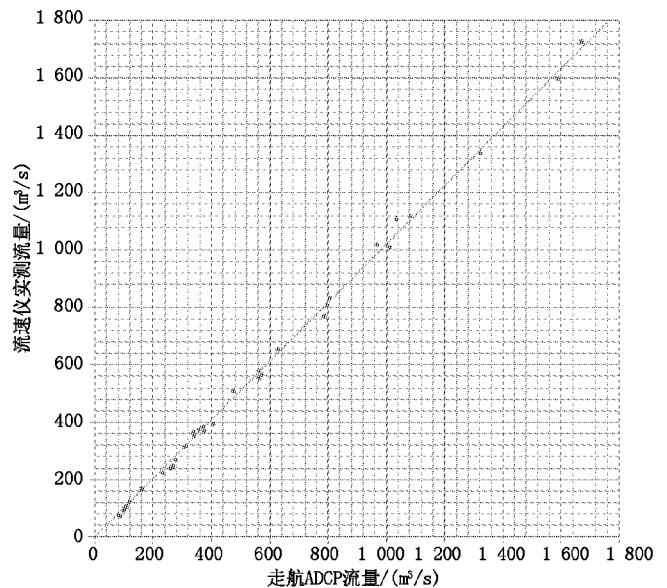


图3 坝上水文站走航式 ADCP 与缆道流速仪法流量关系图

从图3中可以看出,36次走航式 ADCP 实测流量和流速仪实测点在同一系列上,呈一密集带状分布,关系较为密集。求得相关流量方程: $Q_{\text{应用}} = 1.026 \times Q_{\text{走航ADCP}}$ 。适线、符号、偏离数值三检合格:正点17、负点17、零点2;系统误差为0、不确定度8.0%,相对误差 $\pm 8\%$ 以内点次有33个,占总点数的91.7%, $\pm 5\%$ 以内的点次30次,占总点次83.3%,符合本站流量测验精度要求,可直接采用走航式 ADCP 替代缆道流速仪法

进行流量测验及整编。

(2) 点绘 2014 年~2015 年坝上水文站在线式 ADCP 与流速仪实测流量共 95 次相关图, 见图 4。

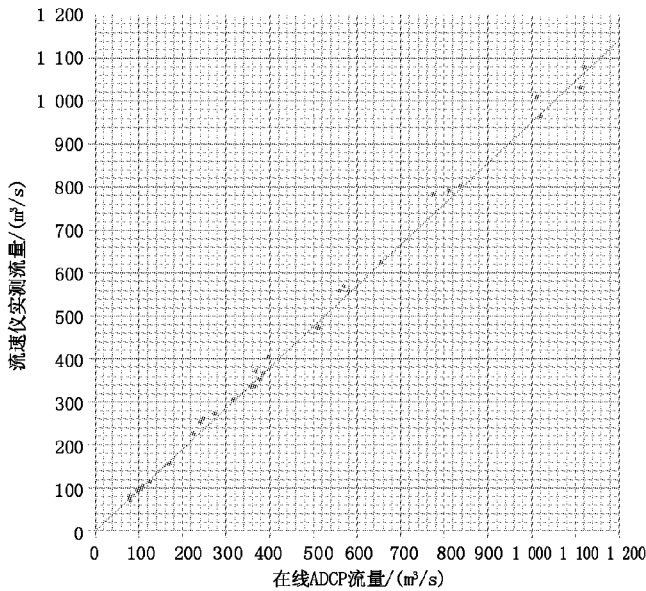


图4 坝上水文站在线式 ADCP 与缆道流速仪法流量关系图

从图 4 中可以看出, 95 次在线式 ADCP 实测流量和流速仪实测点在同一系列上, 呈一密集带状分布, 关系较为密集。求得相关流量方程: $Q_{\text{应用}} = 0.939 \times Q_{\text{在线 ADCP}}$ 。适线、符号、偏离数值三检合格: 正点 45、负点 50; 系统误差为 -0.50、不确定度 17.2%, 误差略大于本站流量测验允许误差。

(3) 点绘 2016~2017 年窑下坝(二)水文站在线式 ADCP 实测与流速仪实测流量共 42 次相关图, 见图 5。

从图 5 可以看出, 9 次走航式 ADCP 实测流量和流速仪实测点在同一系列上, 42 次比测成果呈一密集带状分布, 关系较为密集。求得相关流量方程: $Q_{\text{流速仪}} = 1.122 \times Q_{\text{在线 ADCP}}$ 。适线、符号、偏离数值三检合格, 正点 22、负点 20; 系统误差为 0.64、不确定度 10.2%, 符合本站流量测验精度要求。

当断面流量大于 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 流速仪法施测和在线式 ADCP 施测的流量密集成一带状, 相关关系良好, 此时断面上没有回流和层流; 但在低水时(流量小于 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 时)误差相对较大, 流速仪实测流量点子相差较多, 说明河段流量较小时, 受下游闸坝壅水影响严重, 河水流向不一, 水流紊乱, 流速仪法已经不适宜于此时的流量测验。

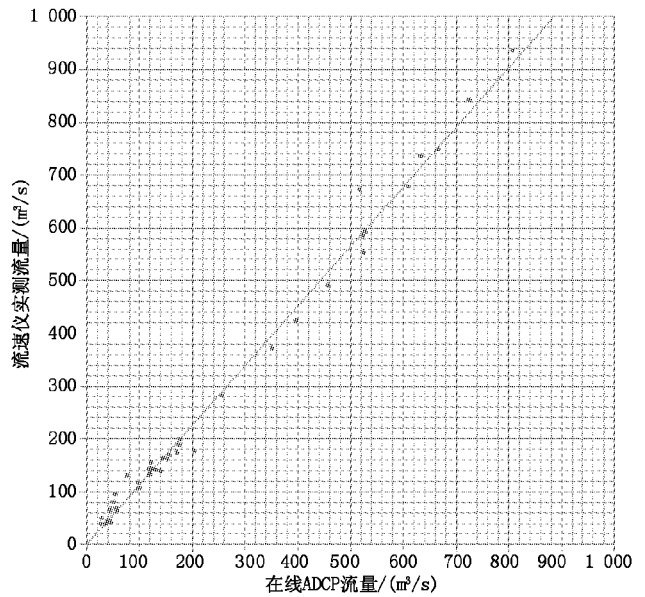


图5 窑下坝(二)站在线式 ADCP 与缆道流速仪法流量关系图

3 流量整编成果比对分析

(1) 坝上站依据 2016 年 4 月 13 日~2017 年 6 月 4 日走航式 ADCP 实测流量成果, 采用连实测流量过程线法整编流量, 比例系数采用本次分析的 1.026; 与流速仪法整编流量成果对照, 径流总量误差为 0.12%, 汛期洪水总量误差为 0.53%, 次洪水总量平均误差 0.78%, 日平均流量平均误差 1.2%。

(2) 坝上站 2014 年 11 月~2015 年 6 月依据在线式 ADCP 实测流量成果, 采用连实测流量过程线法整编流量, 比例系数采用本次分析的 0.939; 与流速仪法整编流量成果对照, 径流总量误差为 1.56%, 汛期洪水总量误差为 2.23%, 次洪水总量平均误差 1.78%, 日平均流量平均误差 7.8%。

(3) 窑下坝(二)水文站 2016 年 2 月 2 日~2017 年 7 月 3 日依据在线式 ADCP 实测流量成果, 采用连实测流量过程线法整编流量, 比例系数采用本次分析的 1.122, 2009~2017 年年径流系数在 0.35~0.67, 与上下游对照基本合理, 与 1957~2008 年年径流系数 0.21~0.73 对照也基本合理。

4 结论

传统的缆道流速仪法适宜畅流期河道流量测验, 具有操作简便、维护简单等优势, 但当受下游闸坝影响严

重时,河段水流紊乱,难以保证测验精度;走航式 ADCP 使用范围广、测量时间较短、可施测紊流流量、精度高,但在流速过小时测验精度也难以保证;在线式 ADCP 测得的流量成果连续,断面基本稳定,测站精度较高,但受水流浑浊度影响大,测量范围局限性大,同时安装维护成本最高。

走航式 ADCP 测流精度符合坝上站测量精度要求,且能完全反映垂线流态,然而在流速过小时测验精度还是难以保证。在线式 ADCP 测流误差略大于坝上站测量精度要求,主要原因为在线式 ADCP 只能测得部分断面流量,建议:一是可在坝上站断面左、右两岸分别安装一台在线 ADCP;若要覆盖全断面,还可在坝上站上游 2.5km 处沙石大桥桥墩上再增加一台在线 ADCP,三台 ADCP 同测减少误差。二是在不增加在线 ADCP 的情况下,用在线 ADCP 测得连续流量,定期用走航式 AD-

CP 实测流量数据校正在线式 ADCP 测流成果。

窑下坝(二)水文站最大河面宽不超过 120m,用在线式 ADCP 测流效果较好,能符合该站测量精度要求。建议窑下坝(二)水文站使用在线式 ADCP 测流,同时用走航式 ADCP 作为在线 ADCP 维护期间或应急监测时的备用测验手段。

参考文献:

- [1] 王莹,王韦华,苏文峰.多普勒测流仪—“河猫”在水文的应用[J].黑龙江水利科技,2010,38(01):231~232.
- [2] 谢志锋.化州(城)水文站新仪器 H-ADCP 的应用研究[J].珠江水运,2015(22):74~75.
- [3] 蔡培青.几种主要测流方法的简述[J].数字化用户,2007(13):107.

编辑:张绍付

Analysis and comparison of two kinds of ADCP flowmeters under the influence of backwater on two hydrologic stations

XU Shanshan, FENG Yimin, KONG Bin

(Ganzhou Municipal Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Ganzhou 341000, China)

Abstract: ADCP is a new flow measurement system that uses the acoustic Doppler effect to measure the flow of rivers. In this paper, on two hydrologic station named YaoXiaBa(II) and Bashang which affected by the backwater of the downstream sluice dam, we carried out the flow measurement and analysis of three sets of hydrometric cableway flowmeter, online ADCP and the walking ADCP. Established the relationship between the results of three kinds of flow measurement schemes, obtained the results of measured flow and flow data of online ADCP and the walking ADCP, analyzed the applicability of the walking ADCP and online ADCP to two station flow test.

Key words: Walking ADCP; Online ADCP; Analysis and comparison

翻译:徐珊珊