

H-ADCP 在线测流系统在江西中小河流水文站的应用 ——以岗前水文站为例

卢 欢

(江西省南昌市水文局, 江西 南昌 330008)

摘 要:为加强水文自身能力建设,针对水文测报实际情况,水文系统提出要下大力气研究和应用新技术,改进监测手段和方法,提高水文自动化、智能化水平。本文以 H-ADCP 在线测流系统在南昌市岗前水文站推广应用取得的成果,就测速及测流原理、性能及测流系统、应用实例、经验体会进行阐述,可供中小河流水文站推广应用 H-ADCP 在线测流系统时参考。

关键词:H-ADCP; 自动化监测; 流量测验

中图分类号:P332.4

文献标识码:B

文章编号:1004-4701(2019)05-0352-05

0 引 言

随着水文行业新技术的发展与应用,水文测站流量测验方式在不断地改革完善,正在由过去传统流量测验方式逐步向水文自动化、智能化方向转变。H-ADCP 在线测流系统,是利用现代新技术、新方式,建立流量数据采集、计算、传输和接收,从而完成流量测验的一套流量监测系统。

1 测速及测流原理

1.1 测速原理

H-ADCP 是一种采用声学多普勒频移物理原理来测量水流速度的在线测流系统^[1]。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^[1]。对于多普勒流速仪,可以用公式来表示这个频移的关系:

$$F_d = -2F_0 \frac{V}{C}$$

式中: F_d 为接收物体接收到声波的频率变动(多普勒频移); F_0 为声源发射的超声波频率; V 表示声源与接收体之间相对运动的速度(即引起距离变化的相对运动的速度); C 为声波传播的速度。

1.2 测流原理

固定式 H-ADCP 测量仪器实测的是水平层测量段内平均流速(指标流速),通过建立断面平均流速与指标流速的关系,得到断面平均流速,再将断面平均流速乘以断面面积,可得到瞬时流量(见图 1)。

指标流速法目前为众多水科学与管理机构所采用,用于连续计算复杂水流条件下的河流流量^[2]。最常见的指标流速法方程多为一个简单的、单变量线性方程,其形式为一条直线:

$$V_{\text{平均}} = (a) \times V_{\text{测量}} + b$$

式中: $V_{\text{平均}}$ 为平均流速(在指定河流断面), m/s; $V_{\text{测量}}$ 为传感器给出的观测流速, m/s(也被称为“指标流速”); a 为斜率系数(无量纲); b 为截距系数, m/s。

断面总流量等于平均流速($V_{\text{平均}}$)与断面面积(AT)的乘积,即:

$$Q = V_{\text{平均}} \times AT$$

断面总面积(AT)可以通过建立水位与实测已知断面面积之间的相关关系来确定。由此就可以得到河道断面的总流量^[2]。

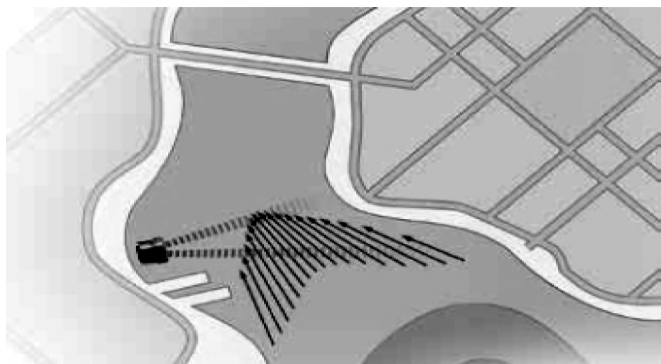


图1 H-ADCP 测量示意图

2 性能及测流系统

2.1 性能特点

水平声学多普勒流速剖面仪(简称 H-ADCP)是新一代 ADCP 产品^[1]。它结构紧凑、标准配置高、功能强、适用范围广。在 20 多年的发展历程中,H-ADCP 技术愈发成熟,且广泛应用于水文测量领域。此 H-ADCP 已经通过 ISO9001 国际质量体系认证。

H-ADCP 主要特点:可以在较短的采样时间内获得精确的流速数据;对于低流速和非恒定流也能获得高质量测验数据。

2.2 测流系统

本套测流系统主要由数据采集器、数据收发模块、数据传输通讯系统、软件系统等 4 个模块组成,可以实现对监测数据进行自动汇集和整理,显示、打印、转储等操作,还可以远程控制现场测量仪器,操作便捷。

3 应用实例

以南昌市水文局岗前水文站为例,说明 H-ADCP 在线测流系统的应用。岗前水文站位于江西省南昌县广福镇吴石村,在清丰山溪下游的左岸,东经 $115^{\circ}58'$,北纬 $28^{\circ}21'$,设立于 1988 年 4 月,属国家二类精度水文站。岗前水文站集水面积 $2\,313\text{km}^2$,是清丰山溪的主要控制站,观测项目有流量、降水量、水位。

岗前水文站测验河道顺直,中高水主槽宽度

$76.00\sim 301.00\text{m}$,水位达 22.50m (假设高程,下同)以上有漫滩,漫滩最大水面宽度近 200m ;枯水时水面宽度为 50m 左右。水位级划分:低水位为 $<21.60\text{m}$,中水位为 $21.60\sim 24.00\text{m}$,高水位为 $>24.00\text{m}$ 。

3.1 H-ADCP 安装

H-ADCP 有三个声学波束,由一个垂直方向发射和两个水平方向发射的波束组成,安装在水下一定深度的某个位置。垂直方向发射的波束测量水位,两条水平波束测量流速。然后将测量得到的有关水位和流速的信息参与计算(见图 2)。

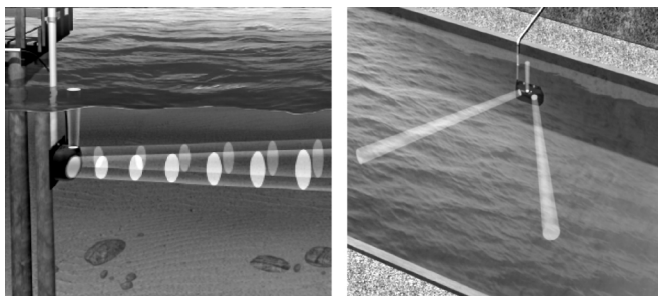


图2 H-ADCP 应用示意图

3.1.1 基础及设备安装

按照相关水文规范要求,岗前水文站 ADCP 固定安装在起点距 133.00m ,假定高程为 19.30m 的位置(如图 3)。这里断面顺直,无岔流、紊流,河床稳定,水流集中,距离水工建筑的距离为洪水期河宽的 4 倍。可获取仪器最大的测量范围;在最低水位时仍有约 10m (固定值)有效测距,可有效覆盖本站主流位置,容易建立 $Q_{\text{H-ADCP}}\sim Q$ 相关关系。

根据现场情况,设计支架为垂直型导轨式,支架安装土建施工采用人工桩的方式。包括支架的固定,电缆线的铺设,无线数据传输系统(RTU)、蓄电池和太阳能板的安装。人工桩设计以不影响美观和过道为宜。电缆线根据需从安装位置沿导轨延伸到岸上,为了保护电缆线,电缆线套管材料选择 25mm 铝塑管。部分线路经过土层,则深埋。该水文站电缆线长度为 50.00m 。

根据岗前水文站历年统计数据,近 5 年的历年最高水位 23.94m ,历年最低水位 19.49m (1991 年)。H-ADCP 探头安装在历史最低水位以下,以保证在出现历史最低水位情况下仪器能正常运行。

3.1.2 波束指向角和旁瓣干扰抑制

声学多普勒仪器分为有、无旁瓣抑制处理换能器两种。有旁瓣抑制处理的换能器主波束宽度小,对测量

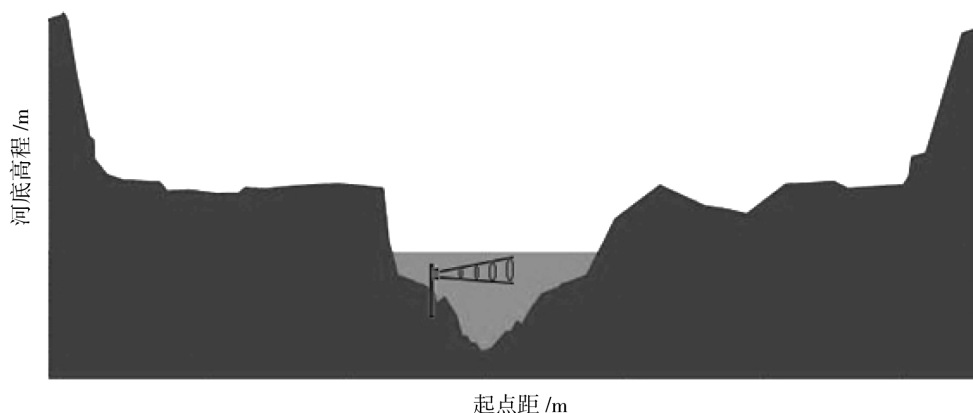


图3 H-ADCP 安装位置断面示意图

范围的纵横比要求不高,可以在较浅河流中应用或者说同样的深度可以测量更宽的河道范围,旁瓣波束也较少受到边界的干扰,有助于数据质量的提高;而无抑制处理的换能器,旁瓣波束宽则会受到边界的干扰,对测量范围的纵横比要求较高,在河道较浅时会受到边界的干扰,造成数据质量下降。

较宽的旁瓣波束会先碰到边界,更窄的主波束不需要很小的纵横比,经过抑制处理的旁瓣波束有效的减小了它的信号强度,从而增加了实际的剖面处理距离。

其次,使得仪器针对不同环境的应用,更加灵活,有旁瓣抑制和无抑制处理的声学多普勒仪器对于河流的纵横比要求是不同的,如图4所示。

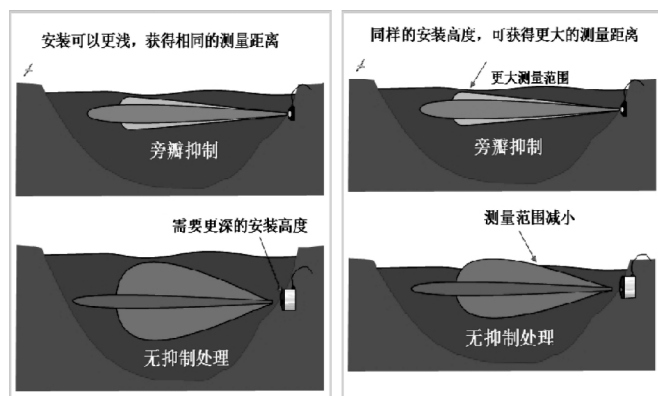


图4 有旁瓣抑制和无旁瓣抑制的仪器对河流纵横比的要求

岗前水文站测流断面洪水期河宽、枯水期水浅,有旁瓣抑制处理换能器适应在较浅河流或更宽的河道范围中应用。所以,岗前水文站安装 H-ADCP 采用有旁瓣抑制处理换能器,波束指向角为 1.5 度,使得 H-ADCP

适应的河道宽深比达到最大,同时率定成功率最佳。

3.2 系统运行

H-ADCP 在线测流系统安装调试验收合格后,于 2018 年 12 月 27 日~2019 年 7 月 21 日试运行。期间实测水位变幅在 19.56~23.94m 之间。H-ADCP 流量在线监测系统指标流速利用率定关系公式计算流量,且将 H-ADCP 在线监测流量与常规水文缆道流速仪法计算流量进行对比验证分析。岗前水文站同水位时,H-ADCP 流量在线监测系统与水文缆道流速仪法两种测流方法流量过程线分析见图 5。

从图 5 中可以看出 H-ADCP 流量在线监测系统所测指标流速利用率定关系公式所计算的逐时流量过程线同常规缆道流速仪测量流量变化一直几乎重合,同时和水位变化过程相呼应,没有出现跳动等现象,符合水流的一般变化规律,可以确定指标流速推流成果的合理性。

在 H-ADCP 安装试运行期间,电缆线出现过一次故障,更换后仪器运行至今正常,且数据表现良好。为此,我们建立了质量保障体系,明确仪器安全、测量精度、仪器故障处理等相关保障措施。

3.3 成果率定与检验分析

3.3.1 成果率定

采用岗前水文站 2018 年 12 月 27 日~2019 年 7 月 21 日,随机抽样 64 份数据资料进行率定分析(抽测频次超过 30 次,符合分析要求),实测水位变幅 19.56m~23.94m,流量变幅为 10.1~785.0m³/s。

将 H-ADCP 流量在线系统施测的流量(指标流量,即 Q 指标),与水文缆道流速仪法实测流量推求断面平

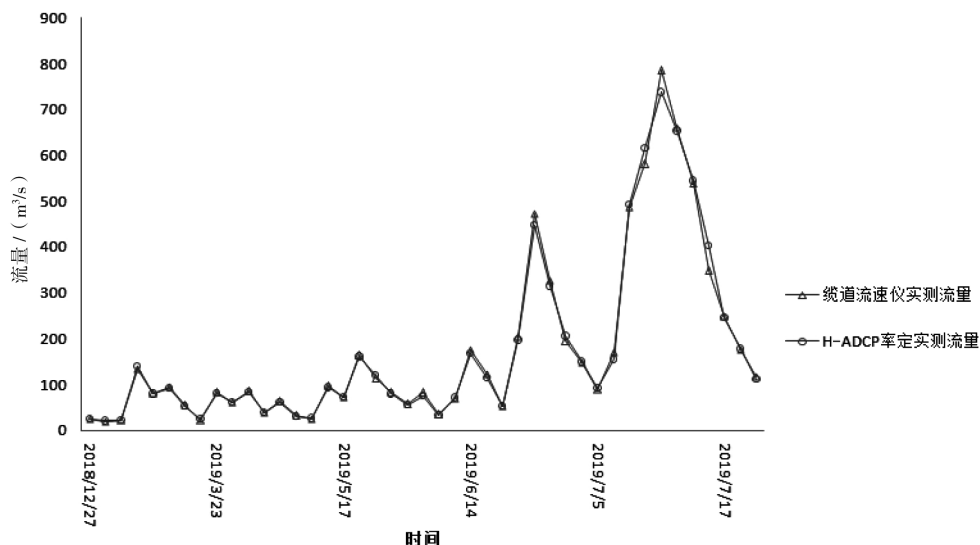


图5 岗前水文站同水位下两种测流方法流量过程线

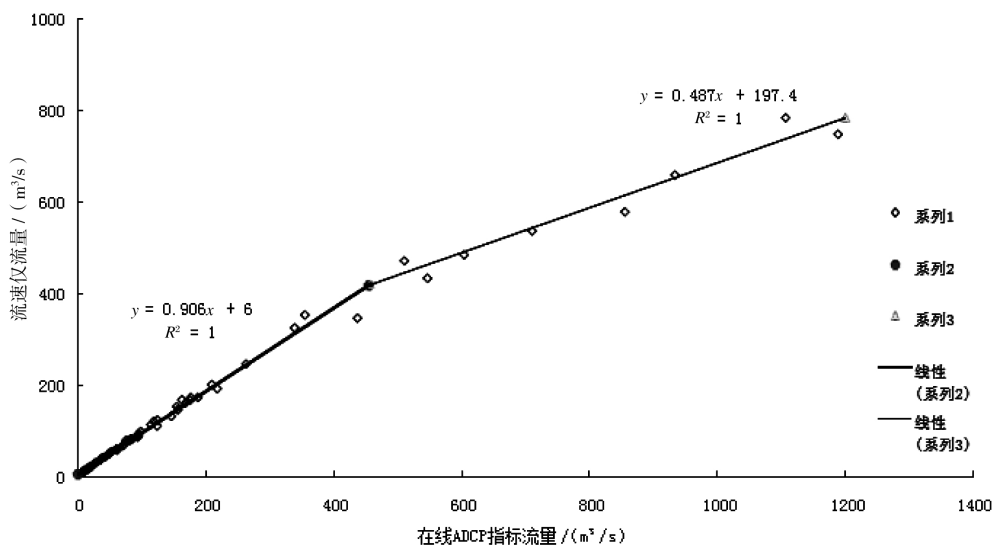


图6 在线 ADCP 指标流量与断面平均流量关系

均流量 Q , 并进行率定分析建立相关关系, 得到当水位在 19.56~22.30m 时, $Q_{\text{平均}}=0.906 \times Q_{\text{指标}}+6$; 当水位大于 22.30m 时, $Q_{\text{平均}}=0.487 \times Q_{\text{指标}}+197.45$, 详见图 6。

本次率定分析资料的最低水位 19.56m 较历史最低水位 19.49m 略高; 最高水位 23.94m 较中低水位分界线 21.6m 高 2.34m。

本次 $Q_{\text{H-ADCP}} \sim Q$ 相关关系采用定一条折线参与分析, 建立相关公式同上, 相对误差参照《水文资料整编规范》^[3] 中有关二类精度水文站低水允许误差 12, 中高水允许误差 8, 合格率中高水达到 91.7%; 低枯水 96.3%; 总合格率 95.3%; 标准差 5.5; 系统误差 0.7, 满足水文整编规范精度要求^[3]。

3.3.2 检验分析与计算

参照《水文资料整编规范》(SL247-2012) 规定对 $Q_{\text{指标}} \sim Q$ 关系线进行三线检验分析^[3], 结果为: 水位流量关系测点标准差 $Se=5.5\%$, 系统误差为 $0.7\% < \pm 1\%$, 达到规范规定的精度要求^[3]。

检验计算结果:

符号检验: $n=64, K=35.5$ (K 为正号个数), $u=0.75 < 1.15$, 认为合理, 符号检验通过;

适线检验: $n=64$, 变换符号“1”次数为 30, $U=0.25 < \text{临界值 } 1.28$, 符合规范要求;

偏离数值检验: $n=64$, 平均相对偏离值 $t=-0.42 < \text{临界值 } 1.28$, 符合规范要求;

系统误差为 $0.7\% < 1\%$, 符合规范要求^[4]。

上述三种方法对水位流量关系曲线的检验, 均达

到规范要求,认定定线正确^[4]。

4 结 论

(1) H-ADCP 在线测流系统是一种先进的、技术含量高的测流仪器,它具有实时、便捷、准确的优点,可将实测成果率定后直接用于水文资料整编,有效地减少了手工录入的误差,提高了资料整编工作的效率,适合驻巡结合的中小河流水文站按照巡测规范要求,实时测报水位、流速、流量等数据。

(2) H-ADCP 安装在起点距 133.00m,假定高程为 19.30m 的位置。可获取仪器最大的测量范围;在最低水位时仍有 10.00m(固定值)的有效测距,可有效覆盖本站主流位置。同时,也能满足中高水级测验要求。

(3) 本次 H-ADCP 率定分析成果的水位级在岗前水文站适用范围为 19.49m~23.94m。流量率定公式:当水位在 19.56~22.30m 时, $Q_{\text{平均}}=0.906\ 2\times Q_{\text{指标}}+6$; 当水位大于 22.30m 时, $Q_{\text{平均}}=0.487\ 1\times Q_{\text{指标}}+197.45$ 。

(4) 本次分析结果相对误差参照《水文资料整编规范》^[1]有关二类精度水文站低水允许误差 12,中高水允许误差 8,合格率中高水达到 91.7%;低枯水 96.3%;总

合格率 95.3%;标准差 5.5;系统误差 0.7。满足水文整编规范精度要求。

H-ADCP 流量在线系统对测流环境有一定要求,恶劣天气情况下,仪器电缆需有防电击安全措施。大洪水时,探头所在位置漂浮物较多,河流含沙量较大,流速比较大,受水流冲击,探头摆动幅度会影响测报水位、流速、流量精度。为此,学习 H-ADCP 流量在线系统,了解 H-ADCP 测速及测流原理、性能及测流系统技术,积极参与 H-ADCP 流量在线系统安装调试,制定的仪器安全、测量精度保障措施是值得推广的成功经验。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. SL337-2006 声学多普勒流量测验规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [2] 刘正伟,张丽花,华立敏. 底座式多普勒测流仪在渠道自动监测中的应用[J]. 人民长江,2017,48(S1):29~31.
- [3] 中华人民共和国水利部. SL247-2012 水文资料整编规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2012.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T-2015 河流悬移质泥沙测验规范[S]. 北京:中国计划出版社,2016.

编辑:张绍付

Application of H-ADCP flow measurement online system in the hydrological station of medium and small rivers in Jiangxi province ——taking Gangqian hydrological station as a case

LU Huan

(Nanchang Municipal Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Nanchang 330008, China)

Abstract: In order to strengthen the capacity-building of hydrology itself, in view of hydrologic measurement and forecasting, the hydrological system advance to make great efforts to research and apply new technologies, improve monitoring means and methods, and raise the level of hydrologic automation and intelligence. In this paper, take the application result of H-ADCP flow measurement online system in Nanchang Gangqian hydrological station as a case. The principle, performance of velocity measurement and flow measurement and the application examples, experience are stated, which can be used as a reference for the application of H-ADCP flow measurement online system in the hydrological stations of medium and small rivers.

Key words: H-ADCP; Automatic monitoring; Flow measurement

翻译:卢欢