

Comparison and Analysis of On-Line Acoustic Doppler Current Profiler

Yonghong Liu¹, Xiao Gui², Jianfeng Xu²

¹Jiangxi Yichun Hydrology Bureau, Yichun Jiangxi

²Jiangxi Jingdezhen Hydrology Bureau, Jingdezhen Jiangxi

Email: 455384614@qq.com, 273833101@qq.com, 1153597023@qq.com

Received: Jan. 28th, 2019; accepted: Feb. 12th, 2019; published: Feb. 20th, 2019

Abstract

On-line Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) can record the characteristic values of water level, index velocity and water temperature of test points by itself. Data acquisition and processing can be accomplished on site with high automation, simple operation, fast, real-time and continuous measurement. In order to realize the application of on-line ADCP in different sections, it is necessary to analyze the relationship between index velocity and average cross-section velocity. Taking Hushan hydrologic station as an example, this paper briefly describes the comparison and analysis of online acoustic Doppler velocimeter, and provides feasible solutions and application cases for on-line ADCP stream flow measurement.

Keywords

On-Line ADCP, River Flow Monitoring, Indicator Velocity, Comparative Analysis

在线式声学多普勒流速剖面仪的比测分析

刘永红¹, 桂笑², 徐剑锋²

¹江西省宜春市水文局, 江西 宜春

²江西省景德镇市水文局, 江西 景德镇

Email: 455384614@qq.com, 273833101@qq.com, 1153597023@qq.com

收稿日期: 2019年1月28日; 录用日期: 2019年2月12日; 发布日期: 2019年2月20日

摘要

在线式声学多普勒流速剖面仪(On-line Acoustic Doppler Current Profiler)可自记测验点的水位、指标流速、
作者简介: 刘永红, 女, 1973年出生, 大学本科, 主任科员, 从事水文监测、水文资料计算、分析工作。

水温等特征值,数据的采集、处理均可在现场完成,自动化程度高,且操作简单,能够快速、实时、连续测量,要实现在线ADCP在不同断面的应用,必须分析指标流速与断面平均流速之间的关系。本文以虎山站为例,简述在线式声学多普勒流速仪的比测分析,为河道站在线ADCP流量测验问题提供可行解决方案以及应用案例。

关键词

在线式声学多普勒流速仪, 河道流量监测, 指标流速, 比测分析

Copyright © 2019 by authors and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在线式声学多普勒流速剖面仪(On-line Acoustic Doppler Current Profiler 以下简称在线式 ADCP)是一种先进在线流量监测设备,具有高精度、高分辨率特点,可以使用较小的单元,在较短的时间步长内获得精确的流速数据,对于较难测验的低流速和非恒定流也能获得高质量的测量数据;具有采用时间短、流速准确的特点,适用于多类河流的流量监测。在线式 ADCP 的主要测取测流断面特定区域的指标流速,要真正实现流量在线监测,还需建立指标流速与断面平均流速的关系。断面平均流速采用转子式流速仪、走航式 ADCP 等设备测定。现以虎山水文站为例,简述在线式 ADCP 流速关系的率定方法。

2. 虎山站概况

虎山水文站建于 1952 年 4 月。东经 117°16'北纬 28°55',位于江西省乐平市鹭鸶乡石里村,在乐平市区上游 25 km,为乐安河控制站,集水面积 6374 km²。测验项目包括降雨、水位、流量、蒸发、悬移质含沙量,属一类精度水文站,资料系列自 1953 年至今。除担负基本水文资料收集外,主要承担乐平市城市防洪、水环境监测、周边和下游地区水情信息服务等工作。

测验河段的顺直长约 300 m,上游约 200 m 处有一大弯道,下游 1500 m 处有急滩,并有“雌雄”两座老虎山矗立两岸,对本站的水位流量关系起控制作用;下游 700 m 处有一深潭,深潭上游有一石嘴伸入河心,附近有一沙洲,对本站的低水起控制作用。断面右岸为岩石,左岸为沙石;河床基本稳定;水面宽变幅 300 m;水流方向自南向北。

洪水来源为上游降水;一次洪水过程 2~3 天,洪峰持续时间 2~3 小时,具有暴涨暴落的山区河流特性;洪水一般为单峰型,间断性暴雨时也会出现复式或连续多个复式峰型;水位流量关系:低水为临时曲线,中高水主要受洪水涨落影响,表现为逆时针绳套关系。目前资料整编采用临时曲线法和连时序法定线。

3. 设备简介

3.1. 在线 ADCP 系统

虎山站在线 ADCP 测流系统,由 Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler 传感器、数据处理、采集传输系统和拓泰流量在线监测智能管理平台构成。工作原理是利用数采器控制水平式 ADCP 传感器进行工作,定时自动采集水位、流速流量等数据信息,然后通过无线网络自动传输到中心监测站,实现了流量流速监测管理的实时化、自动化、智能化,系统拓扑图见图 1。

水平式 ADCP 传感器是美国维赛公司(SonTek/YSI)研制的淘金者(Argonaut-SL500),主机外壳为 33.2 cm (宽)

× 17.8 cm (高) × 12.4 cm (厚)的实体, 正面有 2 个水平声学传感器, 用于测量水层水体流速; 顶端有 1 个垂直声学传感器, 用于向上测量水深。在线 ADCP 是利用声学多普勒原理测量水体流速, 测量单元的起点、终点, 即单元的长度和位置都可以由用户根据需要设定。对于实时流量监测, 一般可取每 300 s 或 600 s 输出一个数据。内置 4 MB 内存, 可存储 200,000 个数据。

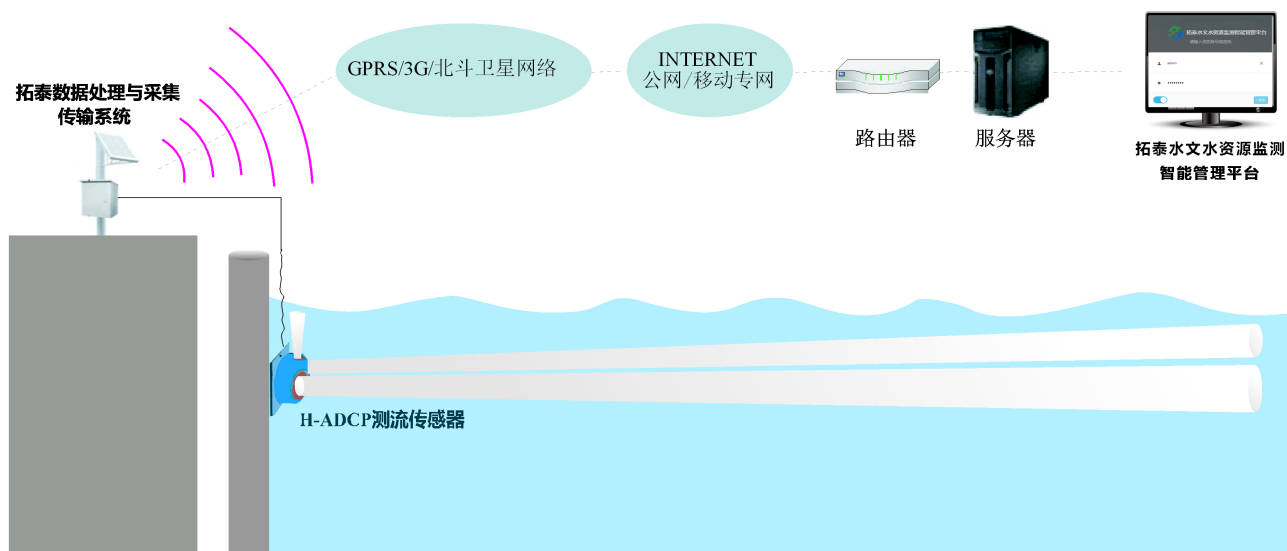


Figure 1. Topology diagram of online ADCP system

图 1. 在线式 ADCP 系统拓扑图

3.2. 技术参数

虎山站在线 ADCP 系统技术参数见表 1。

Table 1. On-line ADCP technical parameters

表 1. 在线 ADCP 技术参数表

技术指标	参数
流速测量范围	±6 m/s
流速分辨率	0.1 cm/s
流速准确度	±1%实测流速
水平波速测量距离	90 m
垂直波速测量距离	18 m
水深准确度	±0.6 cm (深度 < 6 m) ±0.1% (深度 ≥ 6 m)
温度分辨率	0.01 °C
温度准确度	±0.1 °C
工作功耗	0.7~1.0 w
待机功耗	0.0001 w
输入电源	7~15 v 直流
工作环境	-5 °C~40 °C

3.3. 设备安装

安装高度：在线 ADCP 探头应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。根据虎山站的历年统计数据，历史最低水位为 18.62 m，最高水位为 31.18 m。综合安全、仪器性能等因素，选择在高程为 18.25 m。采用 2~80 m 范围内的水平平均流速作为指标流速。

安装角度：考虑到仪器本身性能、技术要求及安装环境，将探头发射波束的上表面调整为水平，以保证出现极端水位的情况下仪器能正常运行，并保证精度。

4. 率定分析

4.1. 率定方法

为实现虎山站在线式 ADCP 正式应用的目的，依据《声学多普勒流量测验规范》(SL337-2006) [1] 有关规定及相关技术要求，必须开展指标流速与断面平均流速关系的比测和率定工作。其中指标流速采用在线式 ADCP 测量，断面平均流速采用转子流速仪测定。要求在高中低各水位级同步测量 30 组对比数据以上，通过线性回归的率定分析方法，确定其流量或流速关系。

4.2. 率定期间水文情势

本次率定资料的时间段为 2017 年 1 月 13 日~2018 年 7 月 31 日。在此期间，虎山站出现 14 次中高洪水过程，最高水位为 30.00 m，最低水位为 18.62 m，占历年水位变幅 90.3%。

4.3. 关系率定

采用虎山站转子流速仪与在线式 ADCP 的成果进行对比分析，以在线 ADCP 施测的流速(指标流速，即 $V_{\text{指标}}$)与转子流速仪所测流量计算出的平均流速(断面的平均流速，即 $V_{\text{转子}}$)建立相关关系。为了使在线 ADCP 与转子流速仪的率定资料时间同步，指标流速选取与转子式流速仪测流起讫时间内的在线 ADCP 所测的指标流速的平均值。

本次分析资料的时间段为 2017 年 1 月 13 日~2018 年 7 月 31 日，缆道测流共 238 次，其中 5 次 ADCP 数据中断，6 次 ADCP 数据为零，无法参加率定，舍去；最终参与率定分析的测次共计 227 次，点绘两者相关图(见图 2)。根据最小二乘法原理，得出两者之间关系：

$$V_{\text{转子}} = 0.0797V_{\text{指标}}^3 - 0.5921V_{\text{指标}}^2 + 1.7569V_{\text{指标}} + 0.1195 \quad (1)$$

对 $V_{\text{转子}} \sim V_{\text{指标}}$ 关系线进行三线检验分析，定线精度指标参照《水文资料整编规范》[2] (SL247-2012) 表 3.3.4 规定，检验分析结果见表 2。

4.4. 误差分析

虎山站在线式 ADCP 安装位置在左岸漫滩下游位置，断面以下河道呈喇叭状散开，右岸因山体阻挡形成深潭，左岸为缓坡。根据水流规律，上流来水经过漫滩后，河流中泓在 ADCP 断面处会向左岸移动，右岸容易形成紊流、回流。采用走航式 ADCP 分别测验断面高、中、低水流量，也可得出在线式 ADCP 断面中泓部分位于断面左岸部分，靠近右岸 30 米左右为紊流、回流，见图 3。统计在线 ADCP 所收集指标流速数据，小于零的流速数据占比 6.7%，为零的数据占比为 6.4%，见表 3。

5. 结论建议

5.1. 结论

- 1) 在线式 ADCP 是一种先进的、技术含量高的测流仪器，它具有安装简便，日常运行成本低，维护少，快捷、

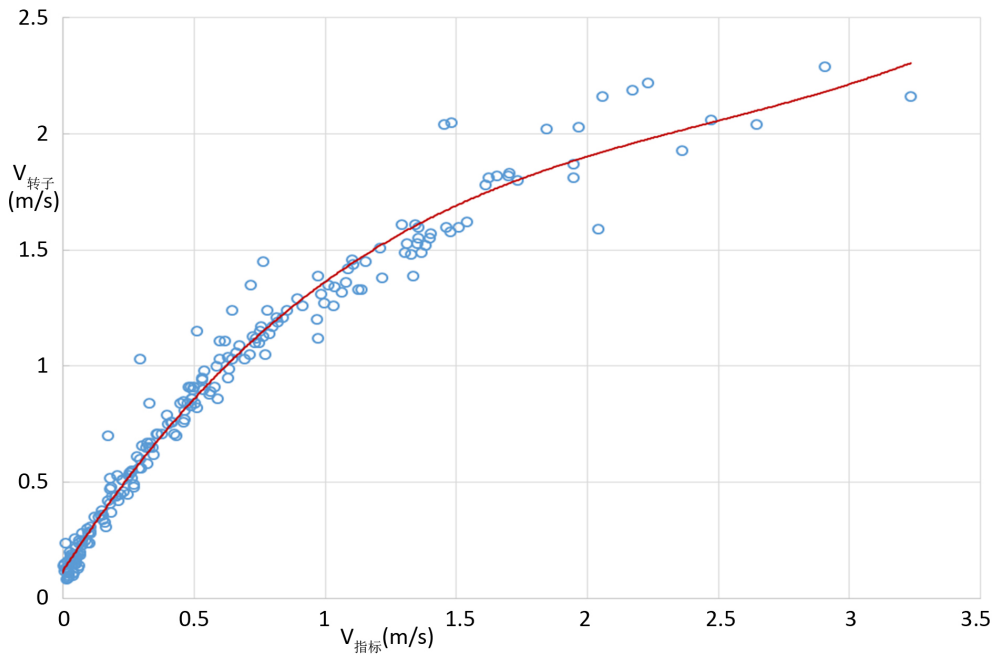


Figure 2. On-line ADCP correlation diagram of rotor velocimeter
图 2. 转子流速仪在线 ADCP 相关图

Table 2. Test results of the relationship between Rotor Velocimeter and online ADCP
表 2. 转子式流速仪与在线 ADCP 关系检验成果表

项目	计算值	允许值	合理性
符号检验	1.59	1.15	不合理
适线检验	1.93	1.64	不合理
偏离数值检验	1.02	1.28	合理
系统误差(%)	-1.27	±2%	合理
随机不确定度(%)	15.4	±10%	不合理

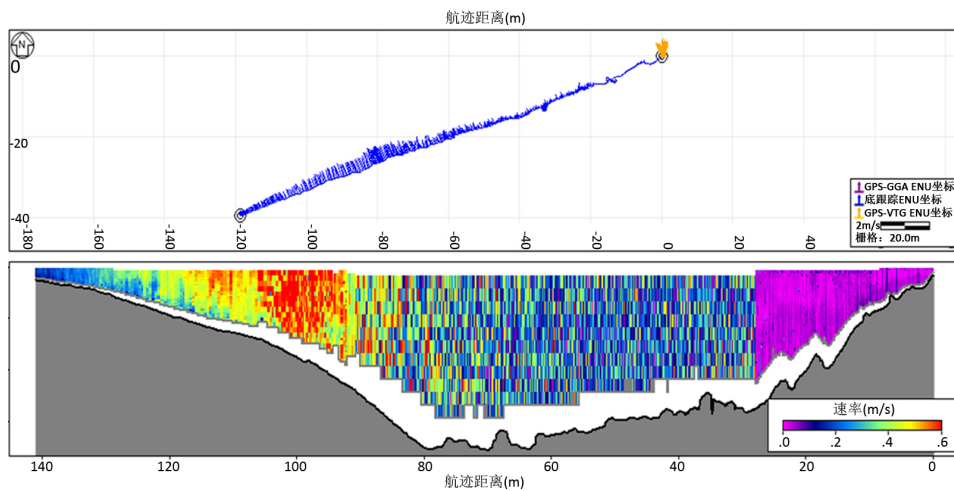


Figure 3. Velocity distribution map of walking ADCP Section
图 3. 走航式 ADCP 断面流速分布图

Table 3. On-line ADCP flow velocity data statistical at Hushan hydrological station
表 3. 虎山水文站在线 ADCP 流速数据统计表

流速(m/s)	数据总量(组)	数据量(组)	占比(%)
<0	26,787	1808	6.7
0	26,787	1710	6.4
>0	26,787	23,269	86.9

实时、准确的优点，并对外界抗干扰能力强、对不同水流具有较好的适应性。

2) 虎山水文站在线式 ADCP 安装断面右岸 30 m 左右为紊流、回流，中泓部分位于距右岸 100 m 左右；根据仪器工作原理，ADCP 探头收集有效监测距离内的流速作为指标流速，有效监测距离为右岸 2~80 m，虎山水文站在线式 ADCP 目前安装位置所收集的指标流速不具有代表性。

3) 从监测数据结果上看，虎山在线式 ADCP 收集的指标流速，小于等于零的数据量占总数据量比值的 13.1%，ADCP 与转子流速仪测验数据进行对比，两者相关性较差；虎山水文站历年水位流量资料稳定，说明虎山水文站在线式 ADCP 目前安装位置所收集的指标流速不具有代表性。

5.2. 建议

1) 虎山水文站更换在线式 ADCP 换能器安装地点，继续收集数据，分析率定相关关系。

2) 在线式 ADCP 更换安装地点时要避开回流、紊流，靠近或处在河流中泓部分，所收集的流速数据应具有代表性；同时应兼顾仪器安全性及维护的便捷。

参考文献

- [1] 声学多普勒流量测验规范(SL337-2006) [S].
Specification for acoustic doppler flow measurement (SL337-2006). (in Chinese)
- [2] 水文资料整编规范(SL 247-2012) [S].
Hydrological data reduction code (SL 247-2012). (in Chinese)