

基于H-ADCP流量在线监测系统集成与应用

王巧丽, 袁正颖, 李 然

长江水利委员会水文局, 湖北 武汉
Email: 357794716@qq.com

收稿日期: 2021年5月10日; 录用日期: 2021年6月5日; 发布日期: 2021年6月30日

摘 要

简述了水平式多普勒剖面测速仪(H-ADCP)的原理及应用情况, 通过采用传感器控制技术及系统集成方法, 构建水平式多普勒流速仪流量在线监测系统, 实现了对流量数据的自动采集、存储和分析处理, 并在江苏南京前埠村水文站开展示范应用和比测分析, 为水平式多普勒流速仪流量在线监测系统的应用提供了实践基础。

关键词

水平式多普勒剖面测速仪, 系统集成, 比测

Integration and Application of Flow Online Monitoring System Based on H-ADCP

Qiaoli Wang, Zhengying Yuan, Ran Li

Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei
Email: 357794716@qq.com

Received: May 10th, 2021; accepted: Jun. 5th, 2021; published: Jun. 30th, 2021

Abstract

The principle and application of H-ADCP was briefly described. Through the use of sensor control technology and system integration method, the online H-ADCP flow monitoring system is constructed, which realizes the automatic collection, storage, analysis and processing of flow data, and carries out demonstration application and comparative analysis in Qianhan village hydrological station in Nanjing, Jiangsu Province. It provides a practical basis for the application of on-line flow monitoring system of fixed-point Doppler current meter.

作者简介: 王巧丽, 女, 湖北荆门人, 出生于1986年7月, 汉族, 中共党员, 硕士, 主要从事水文自动测报系统的设计、研发、实施建设、运行管理、技术咨询服务等工作。

Keywords

H-ADCP, System Integration, Comparative Measurement

Copyright © 2021 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

近年来,随着技术的进步和新设备的应用,长江水利委员会水文局依托国家重点研发计划项目针对流量在线监测方法的研究正在逐步开展。定点声学多普勒剖面流速仪(Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler,以下简称 H-ADCP)广泛应用于径流、中小河流及潮流河段,前埠村水文站,通过建立 H-ADCP 指标流速与断面平均流速的线性回归方程实现了流量的在线监测。加上各类定线软件的广泛应用,进一步拓宽 ADCP 在线监测的适用范围,这为定点式多普勒流速仪流量在线测流系统的应用提供了理论和实践基础[1] [2] [3] [4]。

2. 水平式多普勒流量在线监测系统基本原理

在无法确定水位-流量关系曲线的河段,针对传统方式下采用转子式流速仪或 ADCP 走航式施测流量监测的频次偏少,无法实现流量的过程推求这一问题,提出一种通过建立 ADCP 在线测流系统方法来有效地弥补以上不足。ADCP 在线测流系统包含水平式 ADCP 以及定点垂向 ADCP 两种不同类型的 ADCP 监测设备,可实时获得区段水平层平均流速和垂线平均流速作为指标流速;对于指标流速,利用多项式内插过各个结点中心形成拟合曲线,在曲线拟合的基础上再辅以人工修线的方式,能极大的改善拟合曲线与原始数据间的相关关系,使 ADCP 采集的指标流速数据更契合时均流速。根据一段时期内 ADCP 在线测流系统采集的指标流速与断面平均流速的实测值,建立两者间的多元线性回归模型,可获得模型的回归系数,推求断面平均流速,并结合过水断面面积(借用大断面高程,按水位插补水边距计算过水断面面积)计算流量。

3. 定点式多普勒流速仪流量在线测流系统集成

系统实现是通过在河道右岸布设一个水平式 H-ADCP,实测水层某一水平线段内的水平平均流速,拟合断面平均流速,再通过瞬时水位计算断面面积进而推求流速仪测流断面的流量。在线测流系统的数据采集和处理是将水平式 ADCP 以及自记台水位的采集数据通过 4G 无线网络传送到中心站,中心站使用 InterNet 网络固定 IP 地址计算机接收数据,通过传输程序解码水位、流速、流向、同时使用分析解算程序实时计算,将其数据结果存入数据库,最终在查询系统中以过程线和数据表格的方式加以体现,如:流量和水位过程线、流速剖面线、流速流量表格等。

3.1. 系统的设备组成

本系统包括:信息采集传输终端 RTU (可携带 ADCP, OBS 和 GPS 等传感器), 4G 无线通讯终端,水平式 H-ADCP, 水位传感器,中心站计算机等设备以及中心站数据接收处理及查询显示等软件。

在线测流系统组成如图 1 所示。

3.2. 断面水位数据采集过程

在特定断面上的岸边布设一个水位采集点,水位数据的采集控制是由中心站控制完成。首先,中心站的前置数据接收计算机通过程序控制在一定间隔时间后发送水位采集指令,使用 GPRS 无线通信方式将指令传输到

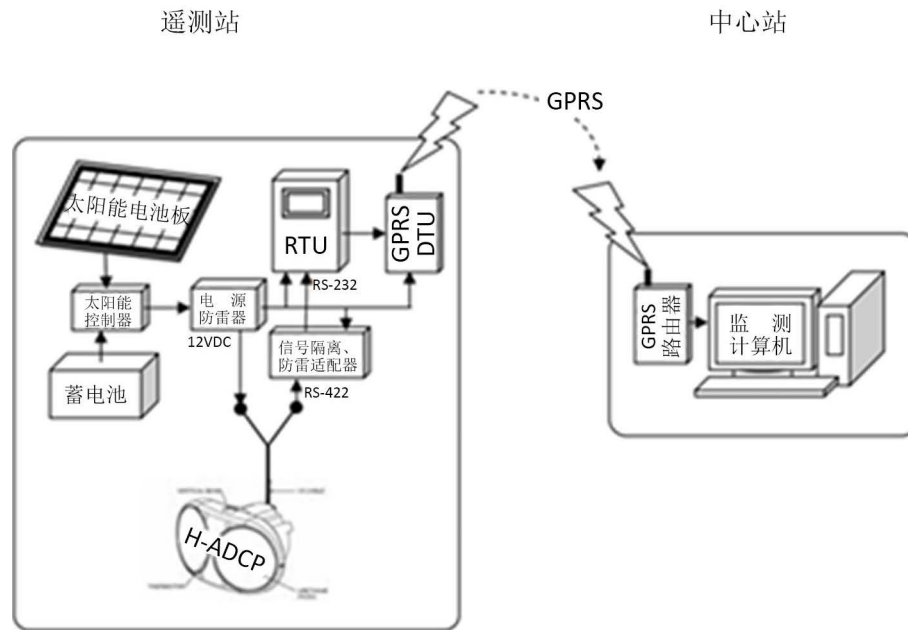


Figure 1. The composition of the flow measurement system
图 1. 测流系统组成

水位传感器端，水位传感器根据指令采集当前水位值。采集到的水位值再通过 GPRS 无线通信方式发送至中心站前置数据接收计算机端完成断面水位数据采集过程。

3.3. 中心站软件的组成

中心站软件主要包括：前置数据接收软件、数据转储软件、实时数据查询软件三部分。

前置数据接收软件主要功能是实时接收水平式 H-ADCP 和水位数据，同时具有可远程设置 ADCP 参数，招测断面水位，设备时间校正等功能。保证数据采集的时间同步，为确保真实反映断面实时情况。

数据转储软件主要功能是实时处理前置数据接收软件接收的水平式 H-ADCP、水位和电压等数据。进行数据解算，求得断面流速流向，再通过流速流向水位关系式，求得断面流量，同时将结果存入数据库。

实时数据查询软件主要功能是实时显示水平式 H-ADCP 流速流向、水位、水温、电压等图形，查询和显示流量和水位过程线、流速剖面线、流速流量表格等。

4. 定点声学多普勒流量在线测流系统示范应用

4.1. 前埠村基本情况

前埠村水文站是三类精度的感潮水文站，位于江苏省南京市江宁区秣陵街道前埠村，东经 $118^{\circ}52'0.6''$ 、北纬 $31^{\circ}52'3.3''$ ，于 1964 年 11 月江苏省水文总站设立，1967 年 5 月由常年站改为汛期站，1970 年 1 月停测，1975 年 6 月恢复观测，2008 年 1 月测验断面上迁 60 米观测至今。现为国家基本水文站，主要任务为监测秦淮河流域句容河水位及汛期洪水过程，通过监测句容河水位、流量分析研究句容河洪水期的水位 - 流量关系，分析水文特性规律。为秦淮河流域防汛防旱提供水文情报预报，为区域规划、水资源管理等提供服务。

4.2. 测验河段情况及测站特性

前埠村水文站测验河段顺直长度约 170 m (上游 70 m，下游 100 m)，冲淤变化不大，无水草生长，架设过河测流电动缆道，上下游均有急弯，对断面流速分布有影响，河床为沙壤土，上游约 750 m 处有解溪河汇入，

下游 130 m 处有便民桥一座，约 500 m 处有溧水河汇入。水情受上游赤山闸，下游武定门闸、秦淮新河节制闸的控制影响，前埠村水文站测流断面位置如图 2 所示。



Figure 2. Location of current meter of hydrometric station at Qianhan village
图 2. 前埠村水文站测流断面位置图

4.3. 水文特征

前埠村水文站历史最高水位 12.23 m，出现时间 2016 年 7 月 5 日；实测最大流量 1160 m³/s，出现时间 2003 年 7 月 6 日；最大流速 2.54 m/s，出现时间 2003 年 7 月 5 日；年最大降雨量 2029.2 mm，出现时间 1991 年。

5. 定点声学多普勒流量在线测流系统比测率定

H-ADCP 测流系统流量与前埠村站实测流量(转子流速仪)进行误差分析。H-ADCP 测流系统比测时间在 2020 年，比测期间实测水位在 7.08~10.8 m 之间，实测流量在 20~456 m³/s 之间，H-ADCP 测流系统测得流量在 19~467 m³/s 之间。

表 1 为 H-ADCP 测流系统流量与流速仪实测流量误差分析表，相对误差在-9.4%~8.2%之间，有 67%测次相对误差小于 5%。全部测次系统误差为-0.5%，随机不确定度为 9%。

图 3 为 H-ADCP 测流系统流量与流速仪实测流量散点图，两者流量值基本一致。

H-ADCP 测流不但符合规范中对感潮河段三类精度水文站测流的精度要求，而且达到了一类精度站的精度要求。

Table 1. Error analysis and calculation table of H-ADCP flow and current meter measured flow

表 1. H-ADCP 流量与流速仪实测流量误差分析计算表

序号	时间	水位(m)	Q* (m ³ /s)	Q _{H-ADCP} (m ³ /s)	相对误差(%)
1	2020-7-1 6:15	8.44	103	105	1.7
2	2020-7-4 7:10	8.36	54.9	55	0.3
3	2020-7-5 16:00	9.12	59.7	62	3.3
4	2020-7-5 18:50	9.25	132	130	-1.8
5	2020-7-6 5:15	9.5	167	166	-0.7

Continued

6	2020-7-6 11:00	9.65	151	159	5.5
7	2020-7-6 20:10	9.76	214	212	-1.0
8	2020-7-7 7:35	9.7	153	162	6.2
9	2020-7-8 9:45	9.69	68.8	74	7.1
10	2020-7-11 16:55	9.97	62.9	66	4.8
11	2020-7-12 7:55	10	58.6	62	5.9
12	2020-7-15 7:50	10.36	65.6	59	-9.4
13	2020-7-15 12:05	10.66	199	194	-2.4
14	2020-7-15 17:20	10.77	274	275	0.4
15	2020-7-16 6:00	10.68	244	243	-0.3
16	2020-7-17 6:00	10.5	104	97	-6.5
17	2020-7-17 10:55	10.8	116	109	-5.8
18	2020-7-21 8:45	10.63	106	106	-0.4
19	2020-7-21 16:25	10.62	101	105	4.4
20	2020-7-22 9:25	10.4	77.9	80	2.1
21	2020-6-14 8:30	7.42	46	45	-3.3
22	2020-6-15 5:50	7.08	52.5	52	-1.6
23	2020-6-15 9:00	7.42	35.8	39	8.2
24	2020-6-15 11:20	8.14	164	163	-0.8
25	2020-6-15 12:30	8.46	178	185	3.8
26	2020-6-15 15:00	9.08	187	191	2.0
27	2020-6-15 17:00	9.4	192	201	4.7
28	2020-6-15 19:30	9.66	256	276	7.8
29	2020-6-16 0:00	9.83	302	316	4.8
30	2020-6-16 4:55	9.71	317	308	-2.9
31	2020-6-16 10:35	9.98	287	283	-1.4
32	2020-6-16 17:10	10.28	427	427	0.0
33	2020-6-16 21:10	10.3	456	467	2.4
34	2020-6-17 6:10	9.98	419	406	-3.2
35	2020-6-17 12:15	9.68	354	348	-1.6
36	2020-6-17 17:40	9.34	304	300	-1.2
37	2020-6-18 0:10	8.99	241	243	0.9
38	2020-6-18 6:30	8.58	207	201	-3.1
39	2020-6-18 16:10	8.19	170	165	-2.7
40	2020-6-19 9:10	7.61	65.5	67	1.8
41	2020-7-21 8:45	10.63	106	96	-9.1
42	2020-7-21 16:25	10.62	101	96	-5.2
43	2020-7-22 9:25	10.4	77.9	74	-5.6
44	2020-7-25 6:40	9.99	31	29	-7.0
45	2020-7-28 12:50	9.86	46.3	43	-7.2
46	2020-8-9 7:50	9.1	20.4	20	-3.7
47	2020-9-19 7:20	7.97	27.6	26	-6.7
48	2020-9-20 7:20	7.95	21	19	-8.5
系统误差(%)		-0.5	随机不确定度		9

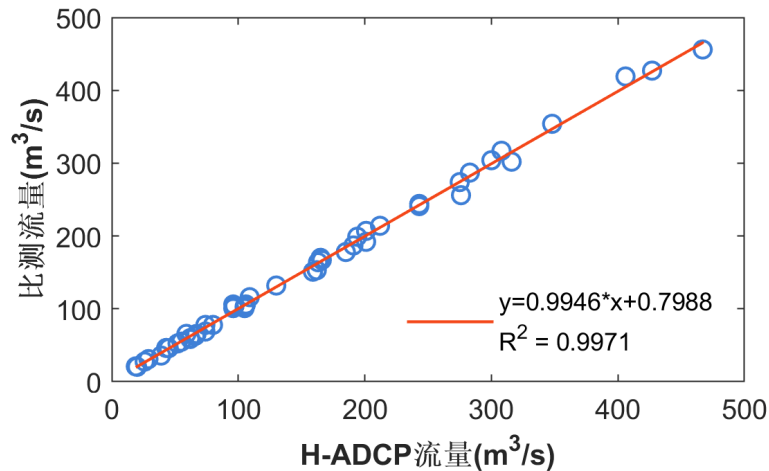


Figure 3. Scatter diagram of H-ADCP flow and measured flow by current meter
图 3. H-ADCP 流量与流速仪实测流量散点图

6. 比测分析与讨论

从比测情况来看，H-ADCP 系统流量与实测流量相对误差在 $-9.4\% \sim 8.2\%$ 之间，约 67%测次相对误差在 $\pm 5\%$ 以内。全部测次系统误差为 -0.5% ，随机不确定度为 9%。H-ADCP 系统测流精度不但符合规范中感潮河段三类精度水文站测流的精度要求，而且达到了一类精度站的精度要求。

基金项目

国家重点研发计划江河湖库水文要素在线监测装备技术集成与示范应用(2017YFC0405706)。

参考文献

- [1] 韦立新, 蒋建平, 曹贯中. 基于 ADCP 实时指标流速的感潮段断面流量计算[J]. 人民长江, 2016, 47(1): 27-30.
WEI Lixing, JIANG Jianping and CAO Guanzhong. Study on sectional flow calculation in tidal reach by ADCP real-time index velocity. Yangtze River, 2016, 47(1): 27-30. (in Chinese)
- [2] 余义德, 熊英. 晃动平台下 ADCP 测流误差分析与校正[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(2): 246-249.
YU Yide, XIONG Ying. Analysis and amend of measuring error of seawater for ADCP under swaying flat. Marine Environmental Science, 2012, 31(2): 246-249. (in Chinese)
- [3] 翟啸鹏, 王梦霖. ADCP 定点测流方法应用[J]. 科技创新导报, 2013(19): 28.
ZHAI Xiaopeng, WANG Menglin. The application of current measurement method of ADCP at fixed point. Science and Technology Innovation Herad, 2013(19): 28. (in Chinese)
- [4] 程媛媛, 金晨曦. ADCP 测流在巢湖流域水资源监测中的应用[J]. 水利信息化, 2019(4): 47-50.
CHENG Yuanyuan, JIN Chenxi. Application of ADCP flow measurement in water resources monitoring on Chaohu Lake Basin. Water Resources Informatization, 2019(4): 47-50. (in Chinese)