

基于云平台的走航式ADCP流量测验方法

李仕豪, 彭海波, 李崇勇, 廖叶颖

广东省水文局惠州水文分局, 广东 惠州

收稿日期: 2024年1月22日; 录用日期: 2024年2月4日; 发布日期: 2024年2月20日

摘要

针对当前走航式ADCP流量测验中存在的问题和不足, 本文阐述了一种解决方法, 该方法基于水文监测综合管理平台为现场测验提供云计算和存储, 并深度融合走航式ADCP流量测验传统作业模式, 可实现测验成果现场自动生成、一键入库、数据自校正、云存储以及实时共享, 有助于提高工作效率和成果质量, 显著提升应用走航式ADCP流量测验的自动化、网络化、数字化水平, 具有较强的实用性和可推广性。

关键词

云平台, 走航式ADCP, 流量测验, 在线校审, 方法设计

Shipboard-Type ADCP Discharge Measurement Method Based on Cloud Platform

Shihao Li, Haibo Peng, Chongyong Li, Yeying Liao

Huizhou Hydrology Branch of Guangdong Hydrology Bureau, Huizhou Guangdong

Received: Jan. 22nd, 2024; accepted: Feb. 4th, 2024; published: Feb. 20th, 2024

Abstract

In view of the problems and deficiencies in the current shipboard-type ADCP discharge measurement, this paper expounds a solution. The solution is based on the comprehensive management platform of hydrological monitoring to provide cloud computing and storage for on-site test, and deeply integrates the traditional operation mode of shipboard-type ADCP discharge measurement. It can achieve automatic generation of test results, one-key repository, data self-correction, cloud storage and real-time sharing, which helps to improve work efficiency and quality of results, significantly improve the automation, network and digital level of shipboard-type ADCP discharge measurement application, and has strong practicability and generalizability.

作者简介: 李仕豪(1991.10-), 广东河源人, 大学本科, 工程师, 研究方向为水文测验及分析计算, Email: l-s-h2006@163.com

文章引用: 李仕豪, 彭海波, 李崇勇, 廖叶颖. 基于云平台的走航式 ADCP 流量测验方法[J]. 水资源研究, 2024, 13(1): 82-89.

DOI: 10.12677/jwrr.2024.131010

Keywords

Cloud Platform, Shipboard-Type Acoustic Doppler Current Profilers, Discharge Measurement, Online Check, Method Design

Copyright © 2024 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

走航式 ADCP 是近 20 年发展和应用的新的流量监测方法,其利用声学多普勒原理进行流速、流量测验,具有不扰动流场、历时短、采集数据量大等诸多优点,可以极大程度地减小劳动强度、提高工作效率、提升现代化水平,被认为是河流流量监测领域的一次革命,在水文行业得到了广泛应用[1]。

当前,走航式 ADCP 测流主要由探头主机直连或搭载通讯电台的方式进行数据传输,以实现探头主机与测验人员的交互。直连方式为手提电脑通过线缆连接探头主机,以外接蓄电池供电,测流数据直接传输到手提电脑;搭载通讯电台方式则为手提电脑通过线缆连接岸基电台,探头主机通过线缆连接船载电台,两端电台内置电池,以中短波频率无线电的形式进行协议通讯,实现测流数据长距离无线传输。走航测验结束后,测验人员从探头主机或手提电脑中导出原始测流记录文件,人工摘录及计算相关数据,手工填表形成初步的流量测验记载表,再根据水位和大断面数据进行人工查算校正原始测流记录文件中的实测断面面积、水面宽、最大水深等,最终形成测流成果。

上述方式中,走航式 ADCP 测流配套硬件及连接线较多,测流成果存在人工录入、计算、查图、校正、制表等诸多环节,工作效率低、出错率高,不能满足智慧水文发展需要。为了解决上述难题,设计一种基于云平台的走航式 ADCP 流量测验方法,实现测流成果现场自动生成、一键入库、数据自校正、云存储及实时共享是十分必要的[2] [3] [4]。

2. 云平台功能简介

云平台即水文监测综合管理平台,其由 PC 网页端、APP 移动端(iOS 客户端、Android 客户端)和数据服务共三部分组成。云平台采用 B/S + APP 结构开发,PC 网页端支持业务查询、成果报表下载及系统管理,APP 移动端支持测验原始数据的收集与初步成果展示,数据服务提供测验原始数据的计算与存储。

水文监测综合管理平台为测流数据的云计算和存储端,并可调用最新的召测水位、大断面等数据,结合现场采集传回的流量测验结果,自校正计算流量测验记载表里的“断面面积”“平均水深”等成果信息,提供安全的、高效的数据线上智能管理云服务[5] [6]。

3. 方法设计及效果

3.1. 方法设计

围绕“监测手段自动化、信息感知立体化、数据处理智能化、服务产品多样化”的水文现代化发展目标,针对走航式 ADCP 使用现状,该方法从提高操作便捷性、安全生产保障程度、测验成果质量、工作效率和信息化水平等方面作了归纳总结和创新研究,并通过硬件和软件应用一体化来实现。

硬件为走航式 ADCP 远程测控一体化智能终端机(以下简称“智能终端机”)和与之匹配的船载电台套装。

智能终端机基于定制三防平板设计，内置岸基电台通讯模块、4G 网络模块、WIFI 模块和蓝牙模块，可装载各品类走航式 ADCP 测流软件、原始测流数据综合后处理软件等，用于测验人员操控走航式 ADCP 施测流量、测流文件后处理和现场入库操作等，并可调节通讯频率，适配各品类走航式 ADCP。船载电台与走航式 ADCP 探头主机连接组成仪器采集端，并可外接 GPS 罗经，用于采集流速、流向、水深等数据并传输至智能终端机[7]。

软件为各品类走航式 ADCP 适配的测流软件、全新开发的原始测流数据综合后处理软件以及水文监测综合管理平台。

目前，主流走航式 ADCP 适配的测流软件主要有 Sontek RiverSurveyor、RDI WinRiver II、RTI 泛际双频测流大师、中海达 iFlow 与海鹰 IOARiver 等，用于设备测验操作、流量数据采集和初步处理。

原始测流数据综合后处理软件内置于智能终端机，界面见图 1。软件主要有三大功能模块：一是测流软件调用模块，能调用各品类走航式 ADCP 适配的测流软件，主要功能为在后处理软件界面中可以根据使用的走航式 ADCP 品类启动相应的测流软件；二是后处理分析模块，主要功能为解析走航式 ADCP 测流后生成的原始测流记录文件，初步形成符合相关规范标准格式的流量测验记载表；三是人工核验及数据上传模块，主要功能为流量测验结果数据核验和数据发送操作的人工确认[8] [9] [10] [11]。



图 1. 原始测流数据综合后处理软件窗口

3.2. 方法实现

方法实现主要包括如下 7 个步骤[12]，技术路线见图 2。

1) 硬件准备

将走航式 ADCP 探头主机用线缆连接船载电台，外接 GPS 罗经，一并安装到三体船上，打开电台的通电开关，同时打开智能终端机、船载电台，调节至与走航式 ADCP 适配的通讯频率，做好测流硬件准备。

2) 软件准备

在智能终端机上打开原始测流数据综合后处理软件，填写测验人员用户信息登录账号(用户账号和密码同步水文监测综合管理平台)，软件采用网络定位获取用户所在地理位置信息，后台读取水文监测综合管理平台站网

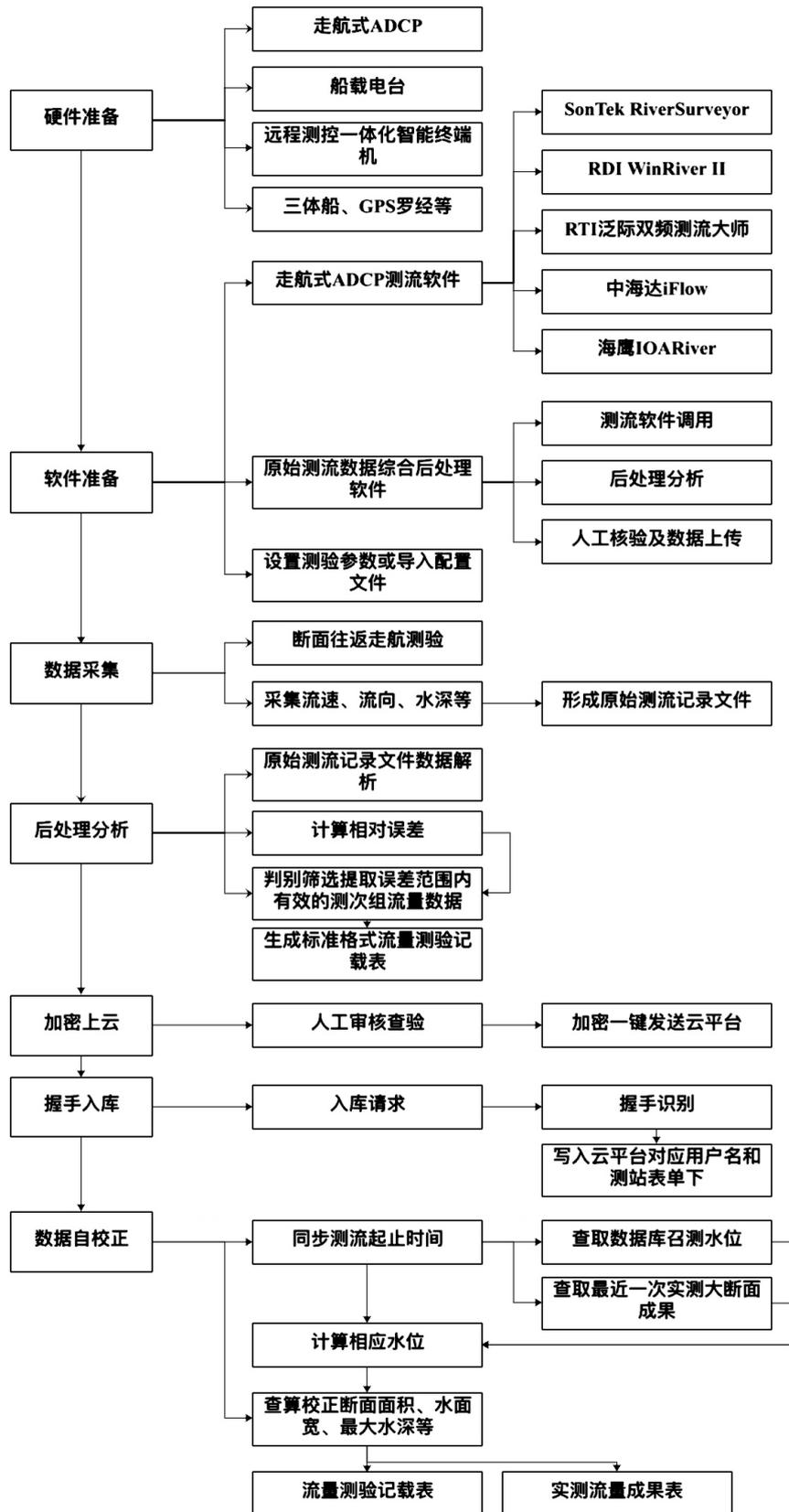


图 2. 技术路线图

位置(经纬度)信息,并自动匹配距离最近的测站,在窗口上自动充填站名、站码,并人工充填该次流量测验的天气、风力风向、测船、断面位置等信息;选择测流软件调用模块中与步骤 1 所使用的走航式 ADCP 适配的测流软件并启动,根据现场环境设置测验参数或导入配置文件,做好测流软件准备。

3) 数据采集

开始测验。在智能终端机上操控走航式 ADCP 测流,进行河道断面往返走航,采集流速、流向、水深等数据。当测验结束后,形成原始测流记录文件。

4) 后处理分析

回到原始测流数据综合后处理软件窗口,在后处理分析模块中,人工选择步骤 3 中该次流量测验所得待解析的单个或多个原始测流记录文件本地存储路径,点击确认后,内置的数据解析程序随即启动,解析出所有测次的原始测验数据。同时,程序自动计算每测次流量数据的相对误差值并列表显示(如来回 4 个测次,即计算所有测次流量的算术平均值、单测次流量值与算术平均值的偏差,若该偏差大于 5%判断为无效,小于 5%判断为有效),再自动将相邻两测次进行比对分析,筛选提取误差范围内有效的测次组流量数据;若均不满足偏差要求,可人工干预测次选择。选择测次后,自动生成标准格式的流量测验记载表。

5) 加密上云

在原始测流数据综合后处理软件界面中,选择人工核验及数据上传模块,人工审核查验步骤 4 中生成的流量测验记载表,确认无误后点击上传,数据自动加密,一键发送至水文监测综合管理平台。

6) 握手入库

当水文监测综合管理平台服务端在接受到步骤 5 中的流量测验记载表入库请求后,将根据相关应答握手协议识别确认数据身份信息,解密后再把流量测验结果数据自动写入对应的用户名和测站表单下,形成某站点下某用户的一次流量测验结果,完成该数据的一键入库。

7) 数据自校正

在步骤 6 的流量测验结果数据入库后,水文监测综合管理平台测验模块的流量测验功能程序进一步分析处理,利用流量测验结果中的测流起止时间,查取数据库中的召测水位值和最近一次实测大断面成果数据,程序根据公式(1)~(3)计算得到相应水位,再根据公式(4)~(9)查算“相应水位-断面面积-水面宽”对应数值,自动更新数据库中的“断面面积”“水面宽”等成果信息,并形成最终的流量测验记载表和实测流量成果表。

相应水位计算公式如下:

① 当出现以下情况时,采用公式(1)和(2),其他情况采用公式(3)。

a) 测流过程中,水位变化引起水道断面面积变化:平均水深 $\bar{d} > 1\text{ m}$,面积变化 $\Delta A > 5\%$;平均水深 $\bar{d} < 1\text{ m}$,面积变化 $\Delta A > 10\%$ 。

b) 当测流过程跨越水位峰顶或谷底时。

$$\bar{Z} = \frac{1}{2T} [Z_0 t_1 + Z_1 (t_1 + t_2) + Z_2 (t_2 + t_3) + \dots + Z_{n-1} (t_{n-1} + t_n) + Z_n t_n] \quad (1)$$

$$T = \sum_{i=1}^n t_i \quad (2)$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i \quad (3)$$

式中: \bar{Z} 为相应水位(m), Z_i 为相应时刻的水位值(m), t_i 为时距(min), T 为总时间(min)。

② 相应水位对应的断面面积、水面宽、水深查算公式如下:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (d_i + d_{i-1}) (L_i - L_{i-1}) \quad (4)$$

$$d_n = \bar{Z} - H_n \quad (5)$$

$$B = L_n - L_0 \quad (6)$$

$$\bar{d} = A/B \quad (7)$$

$$d_{\max} = \bar{Z} - H_{\min} \quad (8)$$

$$\bar{v} = Q/A \quad (9)$$

式中： A 为过水断面面积(m^2)， d_i 为第 i 条断面测量垂线位置的水深值(m)， L_i 为第 i 条断面测量垂线位置的起点距(m)， L_0 为起始岸水边点位置的起点距(m)， H_n 为第 n 条断面测量垂线位置的河底高程(m)， B 为水面宽(m)， \bar{d} 为平均水深(m)， d_{\max} 为最大水深(m)， H_{\min} 为断面最低点河底高程(m)， \bar{v} 为平均流速(m/s)， Q 为流量(m^3/s)。

3.3. 应用效果

通过应用该方法开展流量测验作业，达到了以下效果：

- 1) 智能终端机集成了各品类走航式 ADCP 测流操作、与船载电台远程通讯、4G 通讯联网等功能；
- 2) 对各品类走航式 ADCP 输出的原始测流记录文件进行解析得到原始测验数据，自动计算相对误差值并筛选提取误差范围内有效的测次组流量数据；
- 3) 适用于各品类走航式 ADCP 的流量测验记载表生成，并符合相关技术规范要求，实现各品类走航式 ADCP 测流成果文件的标准化、规范化输出；
- 4) 现场可一键导入水文监测综合管理平台，实现云存储；
- 5) 读取流量测验记载表测流起止时间、查取对应的召测水位，自动计算并填充相应水位；
- 6) 利用水文监测综合管理平台最新大断面成果，自动更新流量测验记载表中的“断面面积”“水面宽”等成果信息；
- 7) 为其他要素监测、“四随”等提供准确的、云端存储的流速、水深、流量等基本信息。

4. 应用实例

该方法中的智能终端机是基于定制的三防(防尘、防水、防摔)平板电脑，并内置岸基电台设计，集成了走航式 ADCP 测流操作、远程通讯等功能，可适配国内外目前各主流品类(如 SonTek、TRDI、中海达、海鹰等)走航式 ADCP，适用于水文巡测及应急监测等应用场景(见图 3)。

水文监测综合管理平台为惠州水文分局开发的水文日常业务系统，测验人员在野外通过智能终端机采集流量数据，自动计算和输出结果，即时点图成表，成果实时上传云平台，现场在线分析校审与合理性检查，以实现测验质量控制管理(见图 4、图 5)。该方法在惠州水文分局率先应用，目前也推广至广东省水文系统应用，其他水文分局、

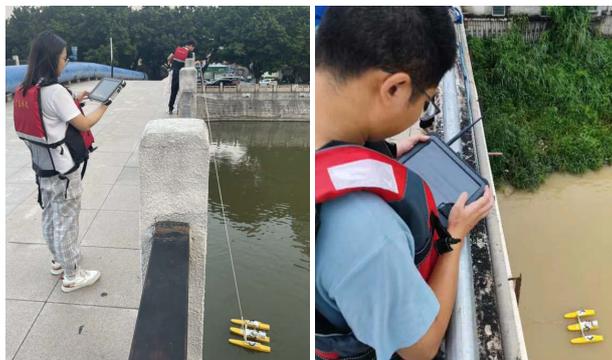


图 3. 应用新方法开展流量测验实景照片示意图

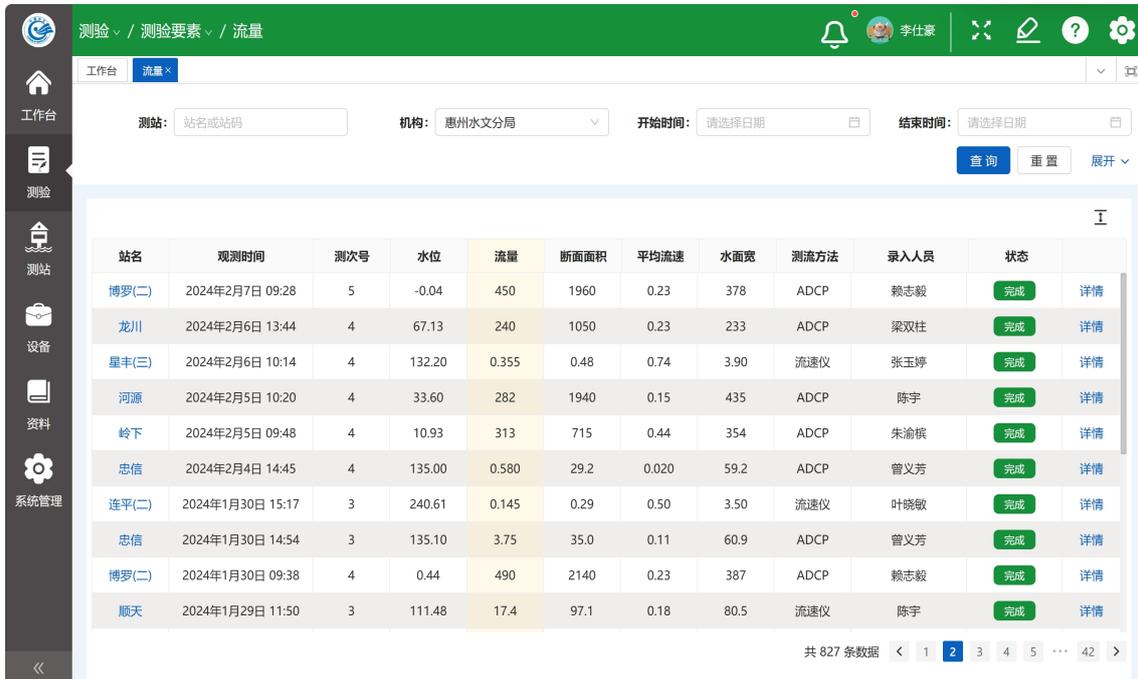


图 4. 水文监测综合管理平台流量测验成果列表

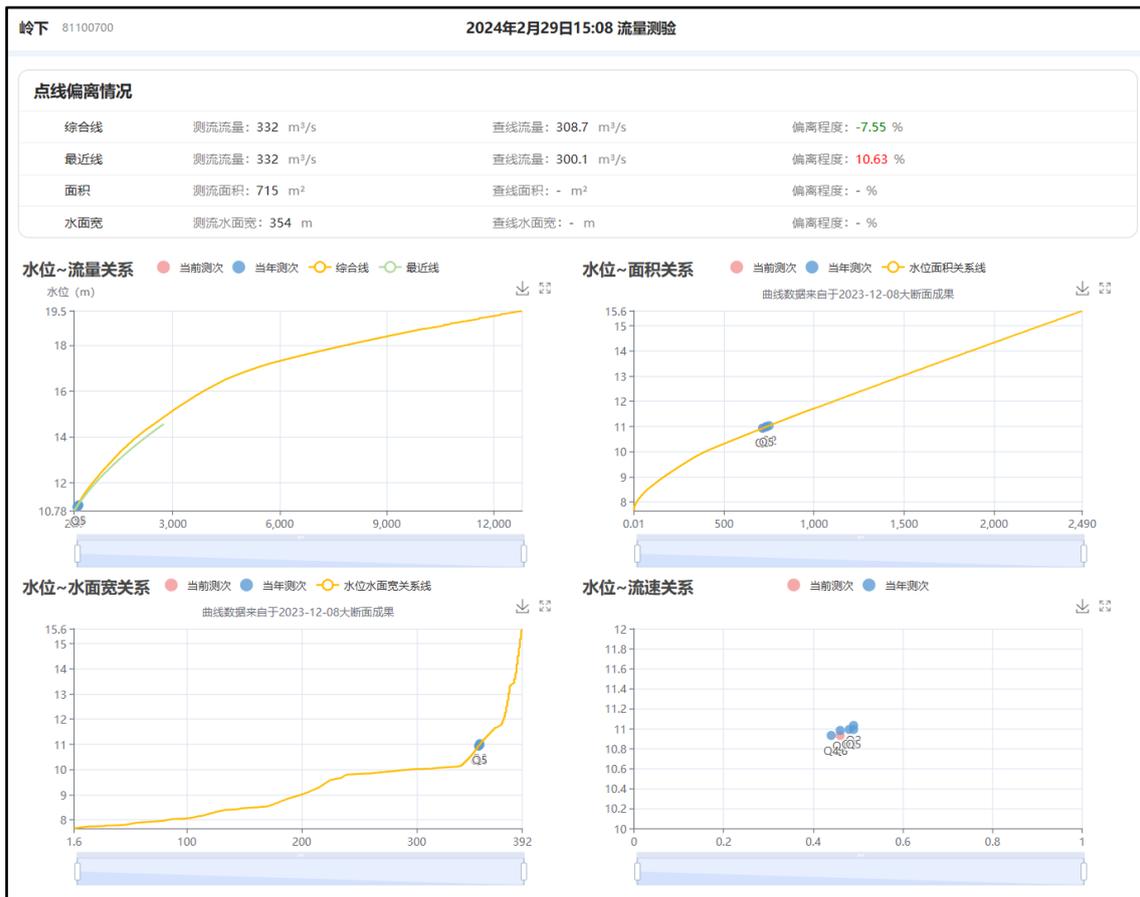


图 5. 流量测验成果合理性检查示意图

河北水文部门应用反响也普遍较好,适用于使用走航式 ADCP 测流的各类场景,具有较强的实用性和可推广性。

5. 结论和建议

1) 本方法通过小规模、低成本的实践,对现有的走航式 ADCP 设备应用和流量测验技术进行改进,深度集成了硬件、软件,研发了远程测控一体化智能终端机,并基于水文监测综合管理平台设计了一种全新的走航式 ADCP 流量测验方法,实现测流成果现场自动生成、一键入库、数据自校正、云存储及实时共享。

2) 本方法突破传统作业模式,成功解决了国内近 20 年走航式 ADCP 测流诸多不足,显著提升了应用走航式 ADCP 测流的自动化、网络化、数字化水平,适用于水文行业使用走航式 ADCP 测流的各类场景,具有广泛的推广应用价值。

3) 在走航式 ADCP 使用操作方面还需进一步研究和改进,建议结合水文监测综合管理平台,深度定制开发原始测流数据综合后处理功能,集成业务系统,提升流量测验工作效率和智能化水平[13]。

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] 韩晓彤.走航式 ADCP 的初步探讨和实际应用[J].河北水利,2018(9): 46-47.
- [3] 王槐军.ADCP 技术在水文测验中的应用[J].能源与节能,2017(8): 165-166+179.
- [4] 吴岳善.走航式 ADCP 在流量测验中问题的探讨[C]//中国国际建筑经济研究会.2019年7月建筑科技与管理学术交流会议论文集:2019年卷.北京:中国经贸出版社,2019: 8-9.
- [5] 李崇勇.惠州水文监测综合管理平台设计与实现[J].水利信息化,2021(4): 85-88.
- [6] 李崇勇,廖叶颖,李仕豪.基于云平台的水文监测数字化方法及应用[J].广东水利水电,2023(12): 130-134.
- [7] 李崇勇,聂伯武,李仕豪,等.一种远程测控一体化智能终端机及测控系统[P].中国专利,22821436.X,2022-10-25.
- [8] 钱伟忠,任晓东,陈霞,等.走航式 ADCP 数据成果转换技术研究[J].江苏水利,2023(1): 32-35.
- [9] 高超,邓瑶,张小潭,等.多普勒流速仪测量数据挖掘与二次开发研究[J].水力发电,2019,45(7): 108-110.
- [10] 余军强,郑宣东,周思宇,等.ADCP 流量测验辅助程序设计[J].水利水电快报,2021,42(5): 49-53.
- [11] 王东,张玉田,叶文,等.结合 EXCEL 的 VBA 功能实现声学多普勒流速仪流量测验记载表的自动填写[J].治淮,2023(1): 32-35.
- [12] 李崇勇,李仕豪,廖叶颖,等.基于云平台的 ADCP 测流成果现场入库和自校正方法[P].中国专利,10671245.6,2023-06-08.
- [13] 刘望天.基于实践经验的河流流量测验方法发展趋势探索[J].广东水利水电,2021(3): 44-49.