Research on the application of online flow monitoring technology under the influence of water conservancy project scheduling

Yiran Zhao

Development Center for Yellow River High Lift Irrigation at Luanjingtan, Alxa, Inner Mongolia, 750312, China

Abstract

Against the backdrop of increasingly scarce water resources and rapid development of water conservancy projects, the requirements for precision and real-time scheduling of water conservancy projects are gradually increasing. As a key parameter in water conservancy project scheduling, the accuracy of flow monitoring has a significant impact on ensuring the rational allocation of water resources, flood control and disaster reduction, and the efficient operation of water conservancy projects. Based on this, this study will first provide an overview of the flow online monitoring system and its principles. Based on practical cases, the application of H-ADCP flow online monitoring technology under the influence of water conservancy project scheduling will be explored in depth. It will clarify whether the multiple regression model and representative flow velocity method can meet the relevant standard requirements and provide necessary guarantees for improving the effectiveness of flow monitoring.

Keywords

water conservancy project scheduling; Traffic; on-line monitoring

水利工程调度影响下流量在线监测技术应用研究

赵怡然

李井滩黄河高扬程灌溉事业发展中心, 中国·内蒙古 阿拉善 750312

摘要

在当前水资源日益紧张和水利工程快速发展背景下, 对水利工程调度精确性和实时性要求逐渐提高。流量作为水利工程调度中关键参数, 其监测精准性对保障水资源合理分配、防洪减灾以及水利工程的高效运行具有重要影响。基于此, 本文研究中将首先对流量在线监测系统及其原理进行概述, 在此基础上结合实际案例, 深入探究H-ADCP流量在线监测技术在水利工程调度影响下的应用情况, 明确多元回归模型以及代表流速法能否满足相关标准要求, 为提升流量监测成效提供必要保障。

关键词

水利工程调度; 流量; 在线监测技术

1 引言

水资源是人类生存和社会发展重要基础, 随着人口和工农业生产规模持续增长, 水资源合理利用和管理的重要作用也逐渐显现。水利工程作为调节和控制水资源重要手段, 其调度科学性和合理性直接对水资源高效利用和防灾减灾能力造成影响。流量作为水利工程调度核心参数, 其监测精准性和实时性在保障水利工程安全、高效运行方面发挥重要作用。传统流量监测方法主要基于人工测量实现, 存在数据采集频率低、响应时间长、误差较大等问题, 难以满足现代水利工程调度对流量监测的高要求。随着传感器技术、通信

技术、数据处理技术的快速发展, 流量在线监测技术应运而生, 为水利工程调度提供了新的解决方案。在线监测技术能够实现流量数据的实时采集、传输和处理, 为水利工程调度提供准确、及时的决策支持, 由此对该技术在水利工程调度影响下的应用进行探究具有重要现实意义^[1]。

2 流量在线监测系统概述

流量在线监测系统主要由 H-ADCP 信息采集模块与数据传输模块构成。这两个功能模块可依托动态流量数据库实现互联, 共同完成流量数据的实时测量、传输、接收、解析及存储等操作。其中, H-ADCP 信息采集模块所承担核心职能为, 执行流量数据自动化采集与智能处理工作^[2]。H-ADCP 传感器所获取原始监测数据在经过专用算法进行解析运算与加工处理后, 将被存储至动态流量数据库, 为后续

【作者简介】赵怡然(1997-), 女, 中国内蒙古阿拉善人, 本科, 助理工程师, 从事水利调度研究。

数据传输模块提供可调用的数据资源。而数据传输模块则主要承担从预设的动态流量数据库中调取数据,通过优化选择的通信通道,将处理后的流量信息实时传送至区域水情监控中心,以此实现流域流量持续监测与自动化报汛功能。

H-ADCP 设备在实际应用中主要用于获取水平测量区域内的特征流速数据。其实际运行中会首先构建断面平均流速与特征流速之间的数学关联模型,随后通过 H-ADCP 换能器实时监测水平测量区段的特征流速,依据已建立的数学模型推算出断面平均流速值。最终将计算所得的断面平均流速与实时水位对应的断面面积相乘,即可获得瞬时流量数据。

3 案例概况及研究方法

为深入探究 H-ADCP 在流量在线监测中的应用要点,本文中选取内蒙古自治区阿拉善盟某水文站为例进行详细阐述。案例水文站上游 2.2km 处建有水力发电设施,其排水口距站点仅 100m,自右岸汇入主河道。站点下游 2km 处设有滚水坝,对案例站水位观测产生壅水效应。该站点选址于河道弯道末端,中高水位时呈现扩散型断面特征,水流状态为非恒定流,水位流量关系曲线拟合度较高。枯水季节主河道向右偏移,水面宽度维持在 50m 左右。本文中主要选取代表流速法以及多元回归法进行深入探究^[1]。

依据《河流流量测量误差分析与实践》专著中的定义,代表流速即是通过仪器直接测得特定位置流速值。在实际操作中主要存在单点流速测量、垂线平均流速测量、水平层平均流速测量三类具有代表性的局部流速测量方式。H-ADCP 测量中特征流速特指特定水层中某水平线段范围内的流速均值。该方法主要通过筛选部分网格流速数据求取平均值,并与同步实测的断面整体流速构建关联模型。特征流速技术作为流量在线监测的通用方案,具备原理清晰、准确度较高等优势,但需要预先开展人工比测标定工作。

回归分析本质为用于探究多个变量间数量依存关系的统计研究方法。该方法在实际应用中具有广泛的使用价值。根据变量数量的不同,回归分析可分为单变量回归与多变量回归两种类型;若以线性关系为基准,又可细分为基础回归与复合回归两类;而依据变量间关联特征,则能划分为线性回归与非线性回归两种形式。当研究仅涉及单个解释变量与被解释变量,且二者呈现近似直线关系时,这种分析被称为单变量线性回归。若研究包含多个解释变量,且与被解释变量保持线性关联,则属于多变量线性回归范畴。本研究采用 H-ADCP 测得的流速数据结合探头入水深度构建双变量回归方程,并运用最小平方估计法计算模型参数。

4 检测结果分析

4.1 数据采集与处理流程

案例梅铺水文观测点配备 RDI 公司生产的 H-ADCP 设

备^[4],该设备采用双探头系统,工作频率设定为 1200kHz。流量测量工作主要依托 RDI 公司所开发的 WinH-ADCP 软件实现,通过专用接口程序实现计算机与测量设备的实时通信和数据存储功能。案例水文站结合当地水文特征,将 H-ADCP 安装于右岸 154.50m 高程处,采用水平信号发射方式,数据采集周期与水位记录仪均设置为 5min。为切实降低流速波动干扰,技术人员将采样平均时长设定为 30s,同时在综合考虑河道宽度与设备特性基础上,将单元间距设定为 0.5m,共设置 90 个测量单元。

技术人员在实际工作中基于 6 月至 10 月所采集的 H-ADCP 运行数据进行分析,结果显示断面特征流速呈现均匀分布特征,与移动式 ADCP 所获取流速分布规律相符。在 1m~20m 测量范围内,回波信号强度处于正常水平。

设定实际测量得到的断面平均流速作为因变量,各单元序列特征流速作为自变量,可构建出如式(1)所示多元回归方程组,以对各单元特征流速与断面平均流速的关联程度进行求解。

$$\rho_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - \frac{1}{n} \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{\left[\sum x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2 \right] \left[\sum y_i^2 - \frac{1}{n} (\sum y_i)^2 \right]}} \quad (1)$$

考虑到 2023 年案例水文站整体水文条件较为干旱,导致难以获取完整的中游流量实测数据。在详细研究 2022 年实测流量数据后,发现部分测量点与 2023 年度水位流量关系曲线具备较好的匹配性,因此技术人员选取具备代表性的流量测次作为率定样本,样本时段选取 2023 年度出现类似水文条件的时刻,最终确定 5 组有效样本数据。

4.2 精度评估结果

采用代表流速法对 21 组实测样本进行分析,建立断面平均流速与 9~32 号单元格区域指标流速之间的数学关系,经误差分析表明,该关系曲线存在 1.6% 的系统偏差,随机误差为 16.0%,其中最大单次测量偏差达到 21.18%,主要原因是断面平均流速值过小,仅为 0.061m/s。

多元回归分析模型在计算过程中引入了探头浸没深度和特征流速两个关键参数,采用最小二乘拟合算法确定各变量权重系数,最终建立式(2):

$$V = 0.24537V_x + 0.56219h - 0.50068 \quad (2)$$

其中, V_x 表示 9~32 号网格单元的特征流速值; h 表示 H-ADCP 设备的探头入水深度,其数值由实测水位值减去基准高程 154.50m 获得。

由表 1 所示模型验证结果可知,系统偏差为 -0.17%,随机误差为 13.03%,单次测量最大相对误差达到 -15.53%。相关精度指标充分满足《声学多普勒流量测验规范》(T/CHES 61-2021)行业标准对特征流速关系线的技术要求,且

从误差层面分析结果可知，其测量精度明显优于传统的特征流速计算方法^[5]。

5 总结

综上所述，本文所研究两种流量推算方法均满足《声学多普勒流量测验规范》(T/CHES 61-2021)要求，且表现出

相似的规律，在大流量工况下计算结果偏差较小，而低枯水期则误差相对较大。具体表现为，当上游电站发电导致下游滚水坝壅水效应减弱时，河道断面流量特征接近自然畅流状态，此时相关关系保持较好的稳定性；而在平枯水期，滚水坝对小流量顶托作用开始显现，此情况极易导致水体往复波动现象，使得流态复杂性提升。

表 1 多元回归模型精度统计结果

测次	流量	断面平均流速 / (m/s)	9~32 单元格流速 / (m/s)	探头入水深度 /m	计算流速 / (m/s)	相对偏差
3	4.63	0.06	0.073	0.97	0.06	4.25%
5	8.13	0.103	0.113	1.02	0.10	-2.45%
6	6.15	0.079	0.111	0.99	0.08	5.21%
7	5.48	0.071	0.086	0.97	0.07	-7.41%
8	5.16	0.067	0.087	0.98	0.07	6.87%
9	4.98	0.064	0.086	0.98	0.07	11.50%
10	5.29	0.068	0.081	0.98	0.07	3.14%
11	26.1	0.289	0.358	1.26	0.30	2.25%
12	63.9	0.586	0.714	1.64	0.60	1.79%
13	64.4	0.591	0.699	1.64	0.59	0.31%
14	4.57	0.06	0.065	0.96	0.05	-8.39%
15	4.42	0.058	0.078	0.96	0.06	0.27%
16	4.69	0.061	0.051	0.96	0.05	-15.53%
17	4.16	0.054	0.06	0.96	0.05	-0.49%
18	4.11	0.054	0.063	0.96	0.05	0.88%
19	4.19	0.055	0.048	0.96	0.05	-7.65%
20	20.9	0.239	0.338	1.2	0.26	7.48%
21	42	0.433	0.549	1.4	0.42	-2.75%
22	37.7	0.396	0.474	1.36	0.38	-3.99%
23	36	0.382	0.457	1.34	0.36	-4.51%
24	21.4	0.244	0.341	1.2	0.26	558%

参考文献

[1] 刘润泽.HADCP在线测流系统在界首水文站的应用分析[J].陕西水利,2024(1):40-42.

[2] 郭笑千,梁达.非接触式流量在线监测技术在中小型河流的应用[C]//2024(第十二届)中国水利信息化技术论坛.黄河水利委员会三门峡库区水文水资源局,2024.

[3] 吴剑,孙建民.复杂水势影响下的流量在线监测技术应用研究[C]//2024中国水利学术大会论文集(第一分册).2024.

[4] 王巧丽,袁正颖,李然.基于H-ADCP流量在线监测系统集成与应用[J].水资源研究,2021,10(3):6.

[5] 曹春燕,任凤仪.流量在线监测实用性分析及实现技术研究[J].人民黄河,2020(S02):3.