

# 时差法超声波测流系统 在刘老涧泵站的应用分析

陈 武, 黄 毅, 力 刚, 施 翔

(江苏省骆运水利工程管理处, 江苏 宿迁 223800)

**摘要:**刘老涧泵站上游引河安装时差法超声波流量实时监测系统,以该流量监测系统为例,介绍时差法超声波流量计在大型泵站引河渠道中应用的工作原理、安装方式、流量计算方法等。从走航式 ADCP 与时差法超声波测流系统同步流量测验的比测结果看,结合泵站机组运行统计分析,该流量实时监测系统测得流量精度满足相关规范要求。在大型泵站流量测量中,该监测系统具备自动化和信息化优势,可较为明显地提高泵站各项监测能力,所获得的结果准确度更高,具备较高的应用与推广价值。

**关键词:**时差法; 测量原理; 应用分析; 远程诊断

中图分类号:TV675

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2022)Sup2-0061-04

## Application analysis of ultrasonic flow measurement system with time difference method in Liulaojian Pumping Station

CHEN Wu, HUANG Yi, LI Gang, SHI Xiang

(Luoyun Water Engineering Management Division of Jiangsu Province, Suqian 223800, China)

**Abstract:** The upstream approach of Liulaojian pumping station is installed with ultrasonic flow real-time monitoring system. Taking this flow monitoring system as an example, the working principle, installation mode, flow calculation method, etc. of the application of ultrasonic flowmeter with time difference method in the approach channel of large pumping station are introduced. From the comparison results of synchronous flow measurement of traveling ADCP and time difference ultrasonic flow measurement system, combined with the statistical analysis of pumping station unit operation, the flow accuracy measured by the flow real-time monitoring system meets the requirements of relevant specifications. In the flow measurement of large pumping stations, the monitoring system has the advantages of automation and information technology, which can significantly improve the monitoring capabilities of the pumping stations. The results obtained are more accurate and have higher application and promotion value.

**Key words:** time difference method; measurement principle; statistical analysis; remote diagnostic system

刘老涧泵站建于1996年,2019年进行泵站加固改造,在上游引河安装了时差法超声波流量实时监测系统。该系统可通过泵站计算机监控系统实时显示引河流量,并具备现场存储和转发功能,方便泵站运行管理。经过近年来的监测运行,该流量监测系统运行稳定,显示可靠。

## 1 泵站工程概况

刘老涧泵站位于宿迁市宿豫区仰化镇境内的中运河上,它直接抽引泗阳站、泗阳二站送来的江水、淮水,沿中运河北调,是江水北调第五梯级站,淮水北调第二梯级站。该站主要任务是利用中运河串

收稿日期: 2022-11-01

作者简介:陈武(1987—),男,工程师,本科,主要从事泵站运行管理工作。E-mail:450242588@qq.com

联洪泽湖和骆马湖,形成洪泽湖、骆马湖区间的输水通道,最终实现江水北调一期工程输水 $230\text{ m}^3/\text{s}$ 入骆马湖的规划目标。同时,为刘老涧泵站与皂河泵站区间的乡镇生活、工农业生产和航运补充水源,并利用沂沭泗洪水实现反向发电。

泵站采用堤身式块基结构,簸箕形进水流道和虹吸出水流道,真空破坏阀断流。设计安装有3100ZLQ38-4.2型立式全调节轴流泵,配套4台TL2200-44/3250型立式同步电动机,叶片调节角度为 $\pm 4^\circ$ 。抽水总装机容量 $8\,800\text{ kW}$ ,流量 $150\text{ m}^3/\text{s}$ ,设计扬程为 $3.7\text{ m}$ ;反向发电单机容量为 $500\text{ kW}$ ,单机流量为 $30\text{ m}^3/\text{s}$ ,扬程 $3.5\text{ m}$ 。

## 2 明渠超声波流量测量分类及原理

### 2.1 明渠超声波流量测量分类

根据超声波信号检测的不同原理,超声波流量计可以分为传播速度差法、多普勒效应法、波束偏移法以及噪声法等不同类型<sup>[1]</sup>。

传播速度差法利用被测流体的流速与超声波在流体中的传播速度差的关系测量流体的流速,进而可以计算出通过各种不同截面的流量。根据测量的不同参数,传播速度差法可以具体分为时差法、相位差法和频率差法。频差法和时差法克服了声速随流体温度变化带来的误差,准确度较高,所以被广泛采用<sup>[2-4]</sup>。

多普勒法是利用声学多普勒原理,通过测量不均匀流体中散射体散射的超声波多普勒频移来确定流体流量的,适用于含悬浮颗粒、气泡等流体流量测量。

波束偏移法是利用超声波束在流体中的传播方向随流体流速变化而产生偏移来反映流体流速的,低流速时灵敏度很低,适用性不大。

噪声法是利用管道内流体流动时产生的噪声与流体的流速有关的原理,通过检测噪声寻求流速或流量值。其方法简单,设备价格便宜,但准确度低。

刘老涧泵站流量测量采用时差式超声波流量计,可针对各种不同断面的明渠管道同时进行瞬时流量、累积流量、多层流速、水位和水温的测量,能够有效地消除逆流、横流等不稳定流态对测流精度的影响,并且可以通过数据接口与计算机或上位机进行实时通讯。

### 2.2 时差法超声波流量计的测流原理

时差法超声波流量计测量一组或几组成对的换能器之间在流体正向和逆向两个方向上的传播

时间,同时能够测量在上下游两个换能器之间同时发射的信号传播的时间差。由于每一对换能器中的任何一个都可以作为超声波信号的发射端,也可以作为接收端,所以可以使用同一对换能器来确定传播时间的差异。通过超声波脉冲路径的液体轴向流速和超声波传输时间差之间存在比例关系,反复进行测量以确定液体的平均轴向流速并将随机误差最小化<sup>[5]</sup>。

## 3 时差法超声波流量计在泵站引河流量测量中的应用

### 3.1 测量方法

为了在复杂恶劣的明渠内流态条件下可以保证获得高精度的测量数据,明渠的流量测量通常配置多声路时差式超声波流量计。多声路测量采用“平均断面积分法”,将整个渠道的测量断面从渠底到水表分成若干层,由各层的测量流量累加从而得到整个过水断面的总流量<sup>[6]</sup>。其中每层的流量由该层的平均流速与该层的截面积计算得出。明渠多声路测量中流量与流速分布见图1。

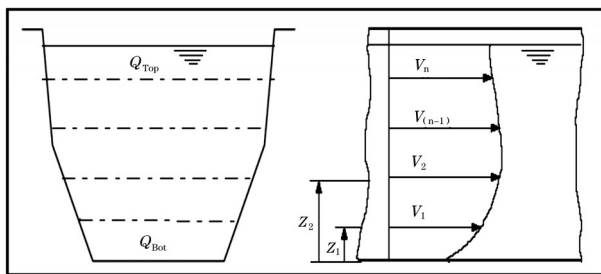


图1 明渠多声路测量中流量与流速分布

### 3.2 时差法超声波流量计在引河中的安装

刘老涧泵站时差式超声波流量计采用2E8P的方式,即2个交叉测流断面,8个测流声道,测量范围广,可以测量从 $0.3\sim 1\,000\text{ m}$ 不同宽度的明渠、河道,测量精度可以达到1%。该流量计安装简单、检修方便,不破坏流场及流态,没有压力损失,测量精度高,适用于各种断面的渠道及河流等。

流量计安装需按照引河几何参数、流态及测量要求,选择合适的声路数、换能器型号和安装方式,根据引河现场实际工况,选定测量断面、测量基准线。按照设计水深、常年运行水深及换能器参数、安装方式计算出换能器的安装高程,使用激光经纬仪在渠道边坡上精确定位出换能器的安装点,安装固定换能器,确保成对的换能器的发射面能够完全对正,否则会影响超声波信号的强度。测量各声路

的声路长、声路角等参数并记录,用专用电缆连接换能器到流量计的时间测量模块,固定保护管。在合适的位置安装水位计。为避免通水以后水下换能器调试不便,电缆连接完成以后使用干式超声波信号检测工具对每个换能器进行检测。如引河内不具备干法施工等条件,换能器的带水安装需要制作模拟安装设施,输入各种参数到控制单元,进行通水调试。刘老涧泵站上游引河时差法超声波流量计安装位置见图2。

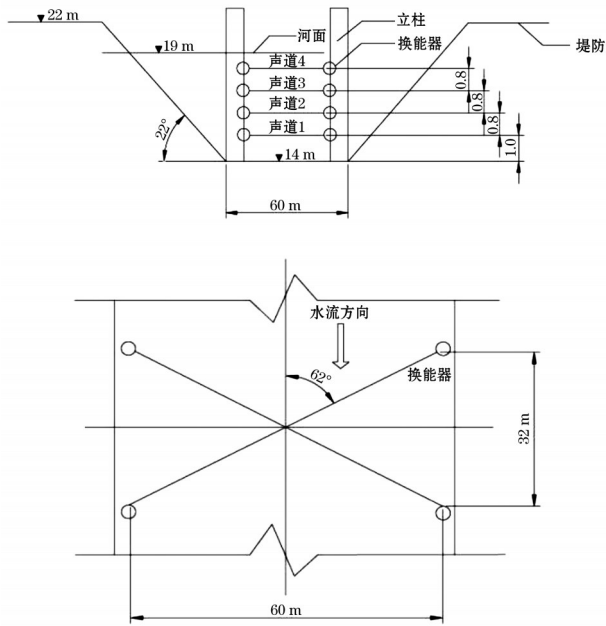


图2 明渠超声波流量计安装位置

3.3 时差法超声波流量计流量测量注意事项

引河中使用时差法超声波流量计进行测量,需要配置1支或2支水位计进行。换能器的安装点应当尽量远离调流闸门、水泵等影响流态的设备或设施,换能器安装点前应当有至少10倍河宽的直段河

道,安装点后要有5倍河宽的直段河道。分水口的流量计换能器应当安装在闸门后至少30倍河道或涵洞宽度的距离后。换能器发射面和接收面必须保持清洁,如有水草、生物、泥沙或其他杂物遮挡或覆盖住换能器,需要进行清理,否则将会影响流量计的正常测量。

3.4 时差法超声波测流系统在刘老涧站应用分析

3.4.1 比测分析

刘老涧泵站时差法超声波流量实时监测系统经过调试、率定等过程,于2020年7月17日正式运行。运行期间,通过走航式ADCP测流进行数据比测见表1,对比折线图见图3。

经与时差法超声波流量计进行比对,主机组叶片角度在 $-4^{\circ}$ 、 $-2^{\circ}$ 、 $0^{\circ}$ 以及 $+2^{\circ}$ 时,2种流量测量误差在合理范围内。至2022年6月,泵站经过2年抽水及发电运行,经查阅运行报表及现场运行比对。泵站4台机组运行,叶片角度均在 $-4^{\circ}$ 时,超声波流量计显示较为精确,均为 $150\text{ m}^3/\text{s}$ ;当2台对称机组(1#、4#或2#、3#)运行,叶片角度均在 $-4^{\circ}$ 时,超声波流量计显示较为精确,均为 $76\text{ m}^3/\text{s}$ ;当开机1台时,超声波流量计测量误差在 $\pm 5\text{ m}^3/\text{s}$ 内。

3.4.2 成果精度评定

以常规流量测验方法测得流量为基准,计算样本数据时差法超声波流量计测得流量的平均相对误差 $\delta$ ,计算式为

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Q_{is} - Q_{ic}}{Q_{ic}} \times 100\% \quad (1)$$

计算相对误差标准差 $S$ ,公式如下:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{is} - Q_{ic}}{Q_{ic}} - \delta \right)^2}{n-1}} \quad (2)$$

式中: $\delta$ 为平均相对误差; $Q_{is}$ 为第 $i$ 个测次时差法超

表1 刘老涧泵站流量比测数据

时间	水位/m		扬程/m	开机台数	功率/kW	水文 ADCP 测量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	叶片角度/ ( $^{\circ}$ )	区间内流量计 平均测流/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
	上游水位	下游水位						
10:56	18.28	15.69	2.59	4	6 519	140	-4	145
11:40	18.31	15.67	2.64	4	7 088	152	-2	154
14:02	18.35	15.57	2.78	4	8 000	158	0	164
14:36	18.36	15.54	2.82	4	8 741	169	2	167
16:21	18.28	15.64	2.64	4	6 517	148	-4	152
11:16	18.57	15.25	3.32	4	7 122	141	-4	139
11:35	18.59	15.28	3.31	4	8 370	159	0	157
12:45	18.55	15.79	2.76	2	3 292	75	-4	77



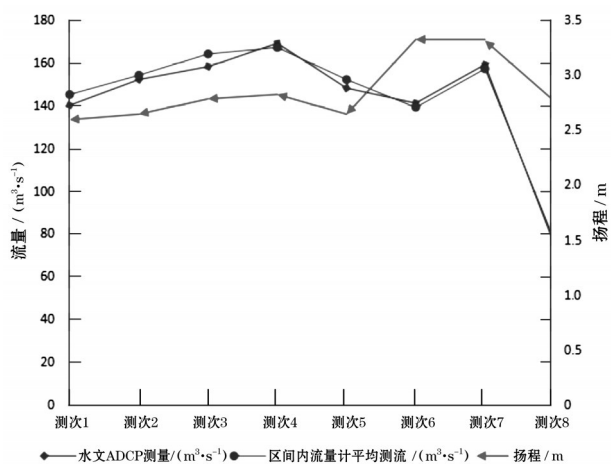


图3 时差法测流系统与ADCP测流实测数据对比

声波流量计测得流量; $Q_{ic}$ 为第*i*个为ADCP流量测验方法测得流量; $n$ 为样本数量; $S$ 为时差法超声波流量计测得流量的相对误差标准差。

经过计算,平均相对误差 $\delta=1.27\%$ ,相对误差标准差 $S=2.07\%$ ,取2倍相对误差标准差估算其置信水平为95%的总不确定度为4.14%<sup>[7]</sup>。借鉴流速仪法单次流量测验允许误差,精度满足《河流流量测验规范》一类精度站中水位级基本资料收集或水资源管理所要求的精度,即随机不确定度不应超过6%,系统误差不超过 $\pm 2\%$ <sup>[8]</sup>。

综上所述,时差法超声波测流系统测量精度满足要求,与传统ADCP等测流方式相比,能较为精确地测量泵站机组运行流量,更加方便技术人员实时查看泵站流量,以及通过流量换算出机组实时运行效率,以掌握机组运行状态。

## 4 远程信息监测系统

### 4.1 传统的系统监测方式

由于超声波流量计的专业性极强,测量精度高,系统复杂,换能器、压力式水位计等关键部件安装在水下,其日常维护检查、故障分析诊断、更新升级等工作必须由专业人员在现场实施。

### 4.2 远程维护网络布设

为便于维护及管理,借助成熟的4G无线技术,系统配备流量计远程监测模块,模块上配备了自动拨号上网的4G无线控制器,将流量计设备组建成一个物联网。通过远程模块将主机接入远程网络,对服务系统定向寻址,实现远程访问流量计,从而实现流量计的远程监测。

### 4.3 远程信息监测内容

远程维护通过互联网浏览器对流量计设备集

中管理维护,可以真正做到“足不出户”地监测远程流量计设备,监测内容主要包括实时数据的查看、分析、汇总、统计。

(1)流量计的远程信息监测。远程查看设备日志,分析系统有无报错信息,中间有否停电或测量中断,是否存在隐患,防止水量漏记或错记,远程检查换能器信号,诊断发射和接收的超声波形,检查信号强度。远程检查各声道的信号线缆的导通性是否正常,模拟输入及通讯数据是否正常等,分析流量计的分层流速是否合理,各层的水温测量是否正常,导出并查看分析历史测量数据是否正常,有无异常和错误测量信息。

(2)流量计诊断。诊断系统,查找故障原因,软件系统故障随时解决,硬件故障应查找出故障部件、故障原因,为现场实地修复做好初步准备。

## 5 结 语

在中运河刘老涧泵站引河渠道上采用以时差法超声波流量计为重要组成的流量实时监测系统,进行现场存储、转发,确保数据稳定可靠,促进了水利信息化建设,提升了泵站监测能力。其分层流速数据可根据需求进行最小采集间隔设置,满足水文分析计算、水资源管理等需求,具有一定的应用价值。

### 参考文献:

- [1] 潘忠良,顾晓蕾,王维汉,等.超声波流量计在泵站单位电量提水量率定中的应用实践[J].浙江水利科技,2015,43(5):80-82,96.
- [2] 杜晓泽,刘胜祥.时差法超声波流量计流量系数影响因素分析[J].工业计量,2019,29(2):14-15,38.
- [3] 孙振华.超声波流量计在大型泵站流量测试中的应用[J].中国农村水利水电,2010(3):130-131,135.
- [4] 周济人,杨华,成立,等.超声波流量计测试大型低扬程泵站流量的模型试验[J].排灌机械,2009,27(1):51-54.
- [5] 邹蓬,吕传玉,李凤名.时差法超声波流量计的原理和设计[J].建设科技,2012(4):88-89.
- [6] 吉庆伟,李进东,张一祁,等.时差式超声波流量计在刘老涧泵站中的应用及分析[J].浙江水利科技,2021(6):68-71.
- [7] 陈兴农,李仪,胡天忠,等.时差法超声波流量计在大型渠道的应用分析[J].水利信息化,2021(3):32-36.
- [8] 水利部水文局,水利部水利信息中心.河流流量测验规范:GB 50179—2015[S].北京:中国计划出版社,2015.