

# 超声波时差法测验技术在东台市堤东灌区水资源监测中的应用

周晓强, 任 华, 王书亮

(江苏省水文水资源勘测局盐城分局, 江苏 盐城 224002)

**摘要:**东台市堤东灌区属江苏省大型灌区,为了有效监控灌区主要进水口门取用水资源状况,在安丰等电力抽水站站下新设以超声波时差法测验技术为主的水资源监测站。结合水资源监测站流量比测率定分析成果,阐述超声波时差法测验技术在东台市堤东灌区水资源监测中的运用,实践证明其具有良好的适用性与可靠性。

**关键词:**流量;率定;超声波;时差法

中图分类号:TV213

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2019)06-0007-05

## Application of ultrasonic time difference method in water resources monitoring in Didong irrigation area of Dongtai City

ZHOU Xiaoqiang, REN Hua, WANG Shuliang

(Yancheng Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Yancheng 224002, Jiangsu)

**Abstract:** The Didong irrigation area of Dongtai City is a large irrigation area in Jiangsu province. In order to effectively monitor the water resources at the main intake gate of the irrigation area, a new water resources monitoring station based on ultrasonic time difference method was set up under the power pumping stations such as Anfeng. Based on the analysis results of flow rate calibration of water resources monitoring station, the application of ultrasonic time difference method in water resources monitoring in Didong irrigation area of Dongtai City was expounded, and the practice proved its good applicability and reliability.

**Key words:** flow; calibration; ultrasonic; time difference method

### 1 基本概况

东台市堤东灌区于1966年经江苏省水利厅批准兴建,其东至海堤,南与南通市海安县接壤,西濒通榆河,北与盐城市大丰区交界,总面积约1655 km<sup>2</sup>。灌区西侧沿线建有安丰、富安、东台等3座电力抽水站,提水设计能力合计为104 m<sup>3</sup>/s。灌区内生产、生活、生态用水,主要通过上述水利设施抽取通榆河河水进行补充调节。

近年来,为了进一步建立基本完善的国家水资

源监控体系和管理系统,为最严格水资源管理制度提供技术支撑,江苏省积极组织实施2016~2018年国家水资源监控能力建设项目,即江苏省国控二期项目。其中,为了有效监测东台市堤东灌区实际取水状况,项目建设处于2018年6月分别在灌区主要抽水站站下建成以超声波时差法测验技术为主的水资源监测站并投入运行。

受江苏省国控二期项目建设处委托,江苏省水文水资源勘测局盐城分局承担上述相关站点流量比测率定工作。现以安丰抽水站水资源监测站为

收稿日期:2018-12-20

作者简介:周晓强(1971—),男,高级工程师,主要从事水文水资源监测与资料整编等工作。

例,对超声波时差法测验技术在东台市堤东灌区水资源监测中的适用性与可靠性加以分析。

## 2 流量测验

### 2.1 断面布设

安丰抽水站水资源监测站设于抽水站站下右岸翼墙,根据《江苏省国家水资源监控能力建设项目(2016~2018年)盐城市灌区水资源监测站流量比测率定方案》,实施流量同步比测的断面布设于监测站下游约 550 m 处。

安丰抽水站站下河道曾于 2013 年前后实施整治,目前河段顺直,河床稳定,两岸水泥护坡完好,具有良好的流量比测条件。

### 2.2 测验技术

安丰抽水站水资源监测站主要采用超声波时差法流速仪和水位计进行测量,然后综合实时流速、水位,以及水位断面面积关系、流量比测率定关系进行过水断面流量推算。

流量比测初期,采用当地水文缆道和 LS68 型旋杯式流速仪进行同步测验。后期为了提高工作效率,引进波特率为 115200 的瑞江走航式 ADCP 进行流量比测。

### 2.3 比测方案

结合抽水站开机工况,以及测验河段高、中、低水位,大、中、小流量(速)等状况,择机开展流量比测工作。

### 2.4 测验成果

2018 年 6~10 月,盐城分局技术人员在安丰抽水站站下引河采用走航式 ADCP 和缆道两种测流方式,与水资源监测站超声波时差法测验设备开展同

期流量比测,共取得 31 次比测成果,具体流量比测成果见表 1。

## 3 率定分析

根据水力学原理,安丰抽水站水资源监测站河道过水断面流量可由式(1)进行推算:

$$Q = A \cdot V \quad (1)$$

式中: $Q$  为断面流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ), $V$  为断面平均流速( $\text{m/s}$ ), $A$  为过水断面面积( $\text{m}^2$ )。

由于超声波时差法测验设备测量的是某一测层的横向剖面平均流速,以及同期测时水位,因此在推算过水断面流量时,需前期分析并建立水位~断面面积( $Z \sim A$ )关系,以及超声波实测横向剖面平均流速~河道断面平均流速( $V_{\text{剖面}} \sim V_{\text{断面}}$ )关系<sup>[1]</sup>。

### 3.1 水位面积关系

根据安丰抽水站水资源监测站实测断面资料分析,其水位~断面面积关系曲线为单一直线,相关系数为 0.996。具体水位~断面面积关系曲线图见图 1,相关公式<sup>[2]</sup>为:

$$A = 42.16Z + 23.3 \quad (2)$$

式中: $A$  为断面面积( $\text{m}^2$ ), $Z$  为水位( $\text{m}$ )。

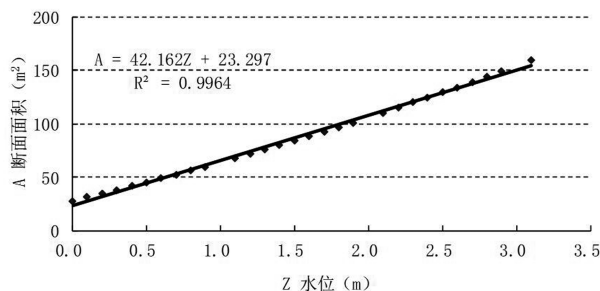


图 1 测流断面水位~面积关系图

表 1 安丰抽水站水资源监测站流量比测成果表

| 测次 | 日期       | 测量时间        | 水位(m) | 河道断面<br>平均流速(m/s) | 监测站剖面<br>平均流速(m/s) | 比测方式 |
|----|----------|-------------|-------|-------------------|--------------------|------|
| 1  | 20180624 | 12:18~12:23 | 2.42  | 0.25              | 0.23               | ADCP |
| 2  | 20180624 | 12:51~12:57 | 2.41  | 0.25              | 0.22               | ADCP |
| 3  | 20180625 | 05:40~06:20 | 2.42  | 0.22              | 0.23               | 缆道   |
| 4  | 20180626 | 06:20~07:00 | 2.38  | 0.22              | 0.24               | 缆道   |
| 5  | 20180708 | 13:05~13:08 | 2.69  | 0.25              | 0.22               | ADCP |
| 6  | 20180708 | 13:48~13:53 | 2.70  | 0.24              | 0.23               | ADCP |
| 7  | 20180708 | 18:05~18:45 | 2.68  | 0.23              | 0.19               | 缆道   |
| 8  | 20180717 | 05:35~06:15 | 2.20  | 0.28              | 0.28               | 缆道   |

(续表 1)

| 测次 | 日期       | 测量时间        | 水位(m) | 河道断面<br>平均流速(m/s) | 监测站剖面<br>平均流速(m/s) | 比测方式 |
|----|----------|-------------|-------|-------------------|--------------------|------|
| 9  | 20180718 | 05:40~06:25 | 2.16  | 0.29              | 0.26               | 缆道   |
| 10 | 20180719 | 06:20~07:05 | 2.16  | 0.28              | 0.26               | 缆道   |
| 11 | 20180720 | 06:05~06:50 | 2.18  | 0.28              | 0.29               | 缆道   |
| 12 | 20180810 | 06:10~06:55 | 2.04  | 0.30              | 0.30               | 缆道   |
| 13 | 20180811 | 06:00~06:40 | 2.06  | 0.28              | 0.29               | 缆道   |
| 14 | 20180927 | 16:07~16:12 | 2.44  | 0.27              | 0.24               | ADCP |
| 15 | 20180928 | 15:32~15:38 | 2.44  | 0.27              | 0.25               | ADCP |
| 16 | 20180928 | 15:45~15:49 | 2.44  | 0.28              | 0.25               | ADCP |
| 17 | 20180928 | 16:07~16:11 | 2.44  | 0.28              | 0.26               | ADCP |
| 18 | 20181008 | 08:27~08:31 | 2.30  | 0.29              | 0.27               | ADCP |
| 19 | 20181008 | 09:10~09:14 | 2.30  | 0.30              | 0.27               | ADCP |
| 20 | 20181008 | 09:52~09:56 | 2.30  | 0.28              | 0.27               | ADCP |
| 21 | 20181008 | 10:41~10:45 | 2.30  | 0.31              | 0.27               | ADCP |
| 22 | 20181008 | 11:22~11:26 | 2.27  | 0.30              | 0.27               | ADCP |
| 23 | 20181008 | 12:25~12:29 | 2.28  | 0.30              | 0.29               | ADCP |
| 24 | 20181008 | 13:32~13:36 | 2.31  | 0.30              | 0.28               | ADCP |
| 25 | 20181008 | 14:18~14:22 | 2.31  | 0.29              | 0.28               | ADCP |
| 26 | 20181008 | 15:09~15:14 | 2.29  | 0.29              | 0.28               | ADCP |
| 27 | 20181008 | 15:52~15:56 | 2.30  | 0.28              | 0.26               | ADCP |
| 28 | 20181009 | 08:27~08:31 | 2.35  | 0.29              | 0.24               | ADCP |
| 29 | 20181009 | 09:18~09:22 | 2.33  | 0.28              | 0.28               | ADCP |
| 30 | 20181009 | 10:00~10:04 | 2.35  | 0.28              | 0.29               | ADCP |
| 31 | 20181009 | 10:47~10:51 | 2.33  | 0.29              | 0.28               | ADCP |

3.2  $V_{\text{剖面}} \sim V_{\text{断面}}$  关系曲线

根据实测流量资料分析,安丰抽水站水资源监测站超声波实测横向剖面平均流速与河道断面平均流速关系曲线为单一直线,可表示为: $V_{\text{断面}} = 1.047V_{\text{剖面}}$ 。

对关系曲线分别进行符号检验、适线检验、偏离值检验<sup>[3]</sup>,各项检验结果均显示定线合理。上述  $V_{\text{剖面}} \sim V_{\text{断面}}$  关系曲线图、流量关系线检验分析成果表分别见图 2、表 2。

3.3 流量测验误差分析

综上所述,安丰抽水站水资源监测站过水断面

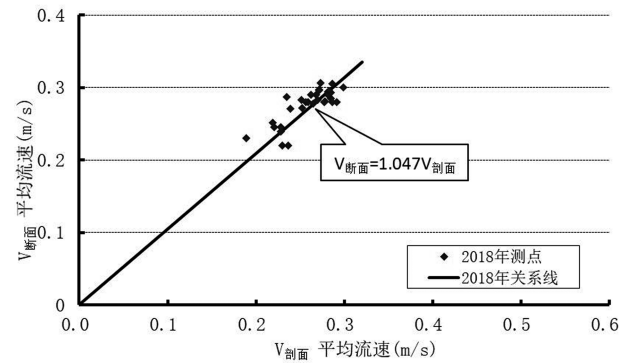


图 2  $V_{\text{剖面}} \sim V_{\text{断面}}$  关系曲线图

表 2 流量关系线三种检验分析成果表

| 分 析 内 容     |      | 分 析 结 果               |
|-------------|------|-----------------------|
| 测点总数(个)     |      | 31                    |
| 正号点数(个)     |      | 17                    |
| 负号点数(个)     |      | 11                    |
| 线上点个数(个)    |      | 3                     |
| 符号变换次数(次)   |      | 13                    |
| 偏离±10%      | 次    | 28                    |
|             | 占(%) | 90.3                  |
| 偏离±15%      | 次    | 29                    |
|             | 占(%) | 93.5                  |
| 最大偏离误差(%)   |      | 16.7                  |
| 测点标准差 Se(%) |      | 6.9                   |
| 符号检验        |      | $u=0.90<1.15$ ,定线合理   |
| 适线检验        |      | $u=0.55<1.28$ ,定线合理   |
| 偏离数值检验      |      | $ t =1.45<1.70$ ,定线合理 |

流量,可根据超声波时差法测验设备获取的测时水位与超声波横向剖面平均流速,以及根据率定分析所得的水位面积关系、超声波横向剖面平均流速与河道断面平均流速关系进行推算<sup>[4]</sup>,即:

$$Q=1.047V_{\text{剖面}}\times(42.16Z+23.3)\tag{3}$$

式中: $Q$ 为断面流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ), $V_{\text{剖面}}$ 为超声波横向剖面平均流速( $\text{m}/\text{s}$ ), $Z$ 为测时水位( $\text{m}$ )。

在此基础上,以同期比测的走航式 ADCP 和缆道实测流量为参考值,对推算所得的水资源监测站过水断面流量进行测验误差分析。经相关计算与统计,采用率定关系推算的 31 次水资源监测站过水断面流量,所有分析样本平均误差为 0.3%,相对最大误差为 16.0%;相对误差不大于 10% 的测点占比为 83.9%,不大于 15% 的测点占比达到 93.5%。结果表明,安丰抽水站水资源监测站利用上述分析率定成果进行流量推算,其精度可满足水资源监测要求。具体流量测验误差分析详见表 3。

4 结 论

(1)多年来,东台市始终注重水利基础设施建设,目前为堤东灌区提供生产、生活、生态用水的安

表 3 流量测验误差分析表

| 测次 | 水位(m) | 断面面积( $\text{m}^2$ ) | 监测断面流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 比测断面流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 相对误差(%) |
|----|-------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------|
| 1  | 2.42  | 125                  | 29.8                            | 30.5                            | -2.3    |
| 2  | 2.41  | 125                  | 28.7                            | 31.0                            | -7.4    |
| 3  | 2.42  | 125                  | 30.1                            | 26.2                            | 14.9    |
| 4  | 2.38  | 123                  | 30.4                            | 26.2                            | 16.0    |
| 5  | 2.69  | 138                  | 31.9                            | 33.8                            | -5.6    |
| 6  | 2.70  | 139                  | 33.2                            | 33.0                            | 0.6     |
| 7  | 2.68  | 138                  | 27.3                            | 30.3                            | -9.9    |
| 8  | 2.20  | 115                  | 33.4                            | 30.5                            | 9.5     |
| 9  | 2.16  | 113                  | 31.0                            | 30.9                            | 0.3     |
| 10 | 2.16  | 113                  | 30.6                            | 29.8                            | 2.7     |
| 11 | 2.18  | 114                  | 34.1                            | 29.7                            | 14.8    |
| 12 | 2.04  | 108                  | 33.8                            | 30.8                            | 9.7     |
| 13 | 2.06  | 109                  | 33.2                            | 28.7                            | 15.7    |
| 14 | 2.44  | 126                  | 31.5                            | 34.8                            | -9.5    |

(续表 3)

| 测次 | 水位(m)   | 断面面积(m <sup>2</sup> ) | 监测断面流量(m <sup>3</sup> /s) | 比测断面流量(m <sup>3</sup> /s) | 相对误差(%)              |
|----|---------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| 15 | 2.44    | 126                   | 33.2                      | 35.0                      | -5.1                 |
| 16 | 2.44    | 126                   | 33.1                      | 33.3                      | -0.6                 |
| 17 | 2.44    | 126                   | 33.8                      | 35.4                      | -4.5                 |
| 18 | 2.30    | 120                   | 33.7                      | 35.0                      | -3.7                 |
| 19 | 2.30    | 120                   | 34.0                      | 33.2                      | 2.4                  |
| 20 | 2.30    | 120                   | 33.9                      | 33.9                      | 0.0                  |
| 21 | 2.30    | 120                   | 34.3                      | 36.8                      | -6.8                 |
| 22 | 2.27    | 118                   | 33.5                      | 36.1                      | -7.2                 |
| 23 | 2.28    | 119                   | 35.6                      | 37.0                      | -3.8                 |
| 24 | 2.31    | 120                   | 35.6                      | 35.9                      | -0.8                 |
| 25 | 2.31    | 120                   | 35.8                      | 35.5                      | 0.8                  |
| 26 | 2.29    | 119                   | 35.0                      | 35.5                      | -1.4                 |
| 27 | 2.30    | 120                   | 33.3                      | 33.6                      | -0.9                 |
| 28 | 2.35    | 122                   | 30.0                      | 35.2                      | -14.8                |
| 29 | 2.33    | 121                   | 35.2                      | 34.6                      | 1.7                  |
| 30 | 2.35    | 122                   | 36.4                      | 34.9                      | 4.3                  |
| 31 | 2.33    | 121                   | 35.6                      | 36.0                      | -1.1                 |
| 统计 | 最大误差(%) | 最小误差(%)               | 平均误差(%)                   | 相对误差不大于<br>10%的占比(%)      | 相对误差不大于<br>15%的占比(%) |
|    | 16.0    | 0                     | 0.3                       | 83.9                      | 93.5                 |

丰等抽水站,其站下河道顺直,断面规整,为采用超声波时差法测验技术进行水资源监测提供了良好的测验条件和流量率定分析条件。

(2)在水资源监测站利用测验设备获得实时水位及流速的基础上,结合经分析并建立的河道过水断面水位面积关系,以及超声波横向剖面平均流速与河道断面平均流速关系,对河道过水断面流量进行推算,其精度满足水资源监控要求。此外,通过对同样采用超声波时差法进行水资源监测的富安抽水站开展流量关系率定与监测流量推算,其分析成果也表明该测验技术在东台市堤东灌区水资源监测中,具有良好的适用性和可靠性。

(3)为了进一步确保东台市堤东灌区水资源监

测站运行正常,切实发挥为实现最严格水资源管理制度提供技术支撑的作用,建议相关部门加强测验设备与测验数据传输系统的日常监控与维护。

参考文献:

[1] 钟维斌.时差法流量监测系统的建立与实践应用分析[J].水资源开发与管理,2018(7).  
[2] 赵德友.运河水文站流量自动监测系统建立与实现技术[J].水利信息化,2011(3).  
[3] 沈寿珊.超声波时差法测流速技术在(朗木)梨水文站的应用[J].水利水电技术,1982(4).  
[4] 辛忠明,于吉庆,李春红.超声波技术在水库测流中的应用[J].东北水利水电,2007(8).