

# 超声波时差法流量实时在线监测系统的实现及应用分析

王巧丽, 李 然, 龙少颖

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3日; 发布日期: 2021年6月30日

---

## 摘 要

以金沙江重要控制站攀枝花水文站为例, 简述了超声波时差法测流技术的原理及应用情况, 通过构建时差法流量实时在线综合监测系统, 实现了对流量数据的自动采集、存储和分析处理, 良好实现了无人值守工作模式下精准测流。

## 关键词

时差法, 测流, 自动监测

---

# The Realization and Application Analysis of the Online Monitoring System Based on Ultrasonic Time Difference Flow Measurement Method

Qiaoli Wang, Ran Li, Shaoying Long

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

Received: May 10<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jun. 3<sup>rd</sup>, 2021; published: Jun. 30<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

This paper takes Panzhihua hydrological station, the important control station of Jinsha River, as an ex-

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。

文章引用: 王巧丽, 李然, 龙少颖. 超声波时差法流量实时在线监测系统的实现及应用分析[J]. 水资源研究, 2021, 10(3): 280-287. DOI: 10.12677/jwrr.2021.103030

ample, the principle and application of ultrasonic time difference flow measurement method was briefly described. Through the construction of time difference flow real-time online comprehensive monitoring system, the automatic collection, storage, analysis and processing of flow data are realized, and the accurate flow measurement in unattended mode is achieved.

## Keywords

Time Difference Method, Flow Measurement, Automatic Monitoring

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

为加快水文监测现代化建设的步伐,我国水行政主管部门提出了加强水文监测现代化的总体思路和实施要求,其中在河流流量测验方面明确提出根据水文测站功能和特性,选用声学多普勒流速剖面仪法;雷达测速;声学时差法;比降面积法;图像识别技术;水工建筑物与堰槽测流实现流量在线自动监测的要求。长江委水文局在攀枝花水文站进行了国产声学时差法流量测验技术研究,为国产时差法测流设备的推广使用奠定了基础[1][2][3]。

## 2. 测站概况

### 2.1. 攀枝花基本情况

攀枝花水文站是一类精度水文站,于1965年5月设立,位于四川省攀枝花市江南三路三村,是国家重要水文站和报讯站,是雅砻江汇入金沙江前的金沙江控制站,地理位置 $101^{\circ}43'E$ , $26^{\circ}35'N$ ,集水面积 $259,177\text{ km}^2$ ,现有测验项目:水位、流量、悬沙、颗分、水温、水质、降水和报讯。该站承担了攀枝花城市防汛、用水安全的重要监测任务,随着阿海、金安桥、龙开口、观音岩、二滩等金沙江干支流水利水电工程的建设与运行,特别是作为乌东德电站的入库控制站,攀枝花水文站的水文资料显得愈发重要,其水文站的功能和地位将进一步提高。

### 2.2. 攀枝花测验河段情况及测站特性

攀枝花水文站测流断面位于弯道顺直段,如图1,断面呈“W”形,左深右浅,两岸为乱石组成,河床为乱石夹沙,断面基本稳定,局部略有冲淤变化。断面下游500m有一浅滩,水位在990.00m全部淹没,起低水控制作用;下游弯道和密地大桥束水起高水控制作用;下游15km的雅砻江从左岸汇入,雅砻江水大时有回水顶托。断面上游900m的渡口大桥下,右岸兴建了顺坝一座;断面上游大桥与铁索桥之间右岸围砌了 $22,500\text{ m}^2$ 的滩地作停车场。断面上游200m的左岸围砌了约300m长的河堤作停车场,后延长约100m至上游浮标断面,此两项工程起高水顺流作用。

如图2,攀枝花断面河槽部分基本稳定,年际间略有冲淤,冲淤变化在0.2~0.3m左右。2008年和2016年断面与2005年、2010年、2012年断面相比有较大变化,主要反应在两岸边坡发生了较大程度的淤积,淤积厚度2~3m,其主因分别2008年沿江两岸修建滨江路弃土,2016年则为工程性改变。总体来看,除人为影响因素外,攀枝花水文站测流断面河床变化较小。

攀枝花站水位流量关系线多年为单一线型,中低水(994.00m以下)历年变化不大,高水(994.00m以上)个别年份有轻微摆动,如图3。

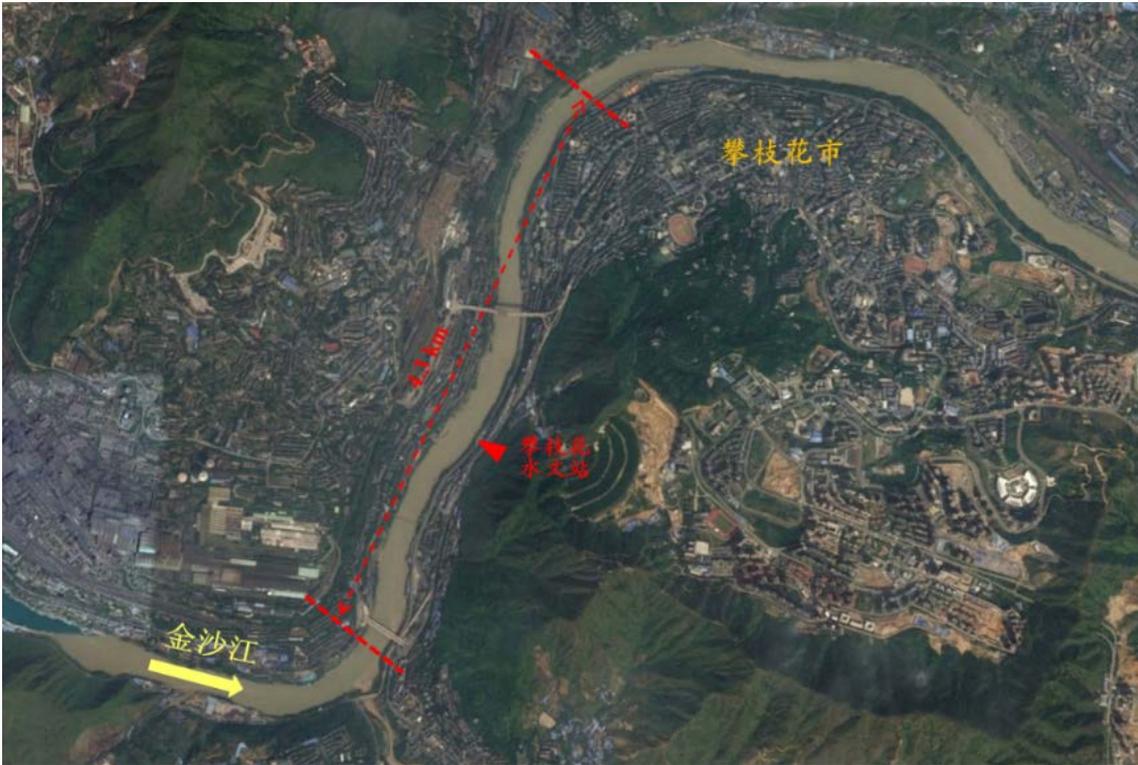


Figure 1. Hydrometry channel segment of Panzhihua hydrological station

图 1. 攀枝花水文站测验河段图

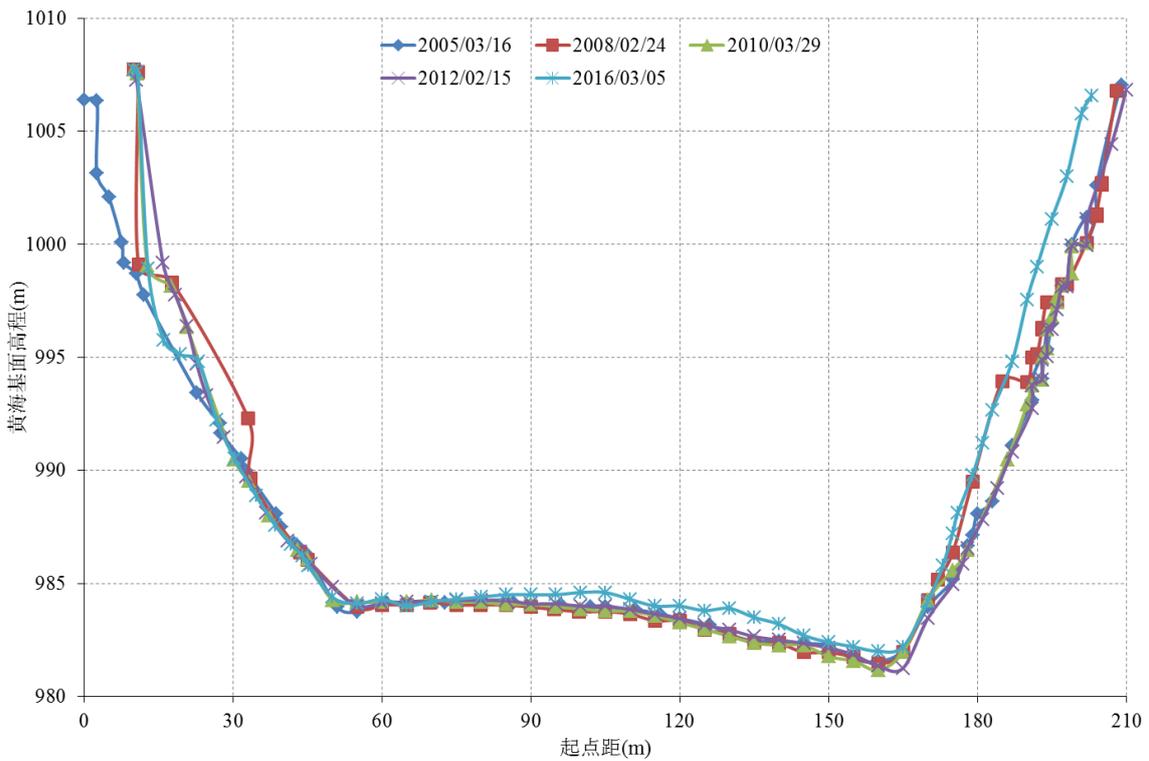


Figure 2. Changes of hydrometry section at the Panzhihua hydrological station in recent years

图 2. 攀枝花水文站测验河段图攀枝花断面近年变化

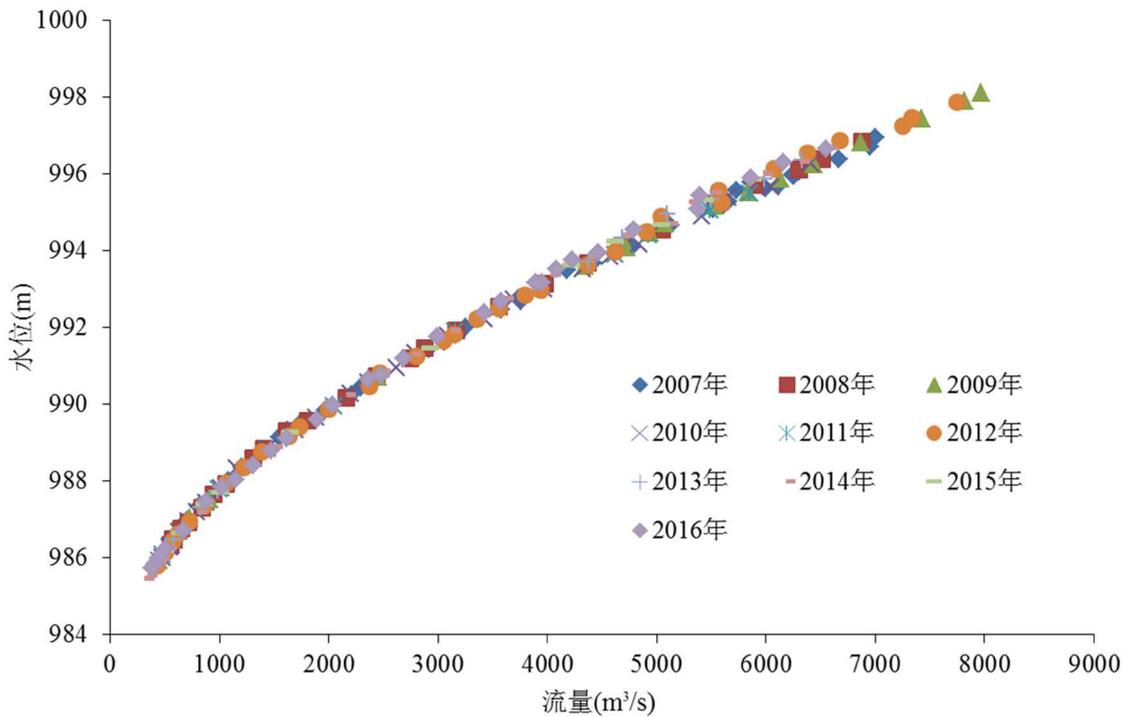


Figure 3. Z-Q relationship curve of the Panzhuhua hydrological station  
图 3. 攀枝花水文站 Z-Q 关系曲线

### 3. 超声波时差法在线测流系统测量方法及原理

超声波时差法测流系统基于流速 - 面积法，主要由安装在待测段边壁上不同高度的一对或数对超声换能器和一个转换器(主机)组成，每对换能器可以测得该声道高度上的线平均流速，由这些线平均流速在水深方向进行积分即可获得断面的流量。明渠中的超声流量计还需配备水位计量水位。相比于多普勒超声测流，时差法超声测流的优点在于使用顺流和逆流传播的时间差来反映流体的流速，克服了声速随流体温度变化而变化带来的误差，其原理图如图 4 所示。

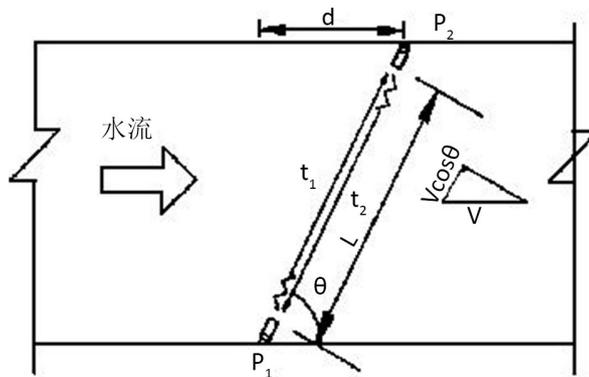


Figure 4. The principle diagram of ultrasonic time difference measurement  
图 4. 超声波时差法测量原理图

超声波时差法流量在线监测装备，通过分布于河道两岸的主机、从机间的特高频(UHF)无线通信协作，相互接收由对方发送的经河道传播的水声信号，测量并计算出同步时间差值，最后经数据处理获得断面的平均流速。

通过安装在河道旁边的气泡水位计，实现水位数据获取；RTU 将获取的平均流速、实时水位测量数据结合河床断面数据，通过流速积分和人工标定的流量系数计算出河道流量数据，使用无线公共网络传输至前端数据接收平台。数据接收平台再对接收的河道流量数据进行校正处理。

#### 4. 超声波时差法在线测流系统组成和安装

超声波时差法在线测流系统，根据布设在河渠二岸的换能器之间信息通讯方式分为有线和无线两种。攀枝花水文站采用超声波无线时差法测流系统。

##### 1) 超声波时差法在线测流系统设备组成

超声波时差法流量在线监测装备分为主机和从机两部分，主机和从机通过射频电台进行数据通信，基于 GPS/BD 校时模块实现主机和从机的时钟同步，安装于水下的超声波换能器通过发射和接收超声波信号实现流速的测量，主机设计有水位传感器及 RTU 通信接口，用于水位获取、参数设置及数据传输等，系统总体架构如下图 5 所示。

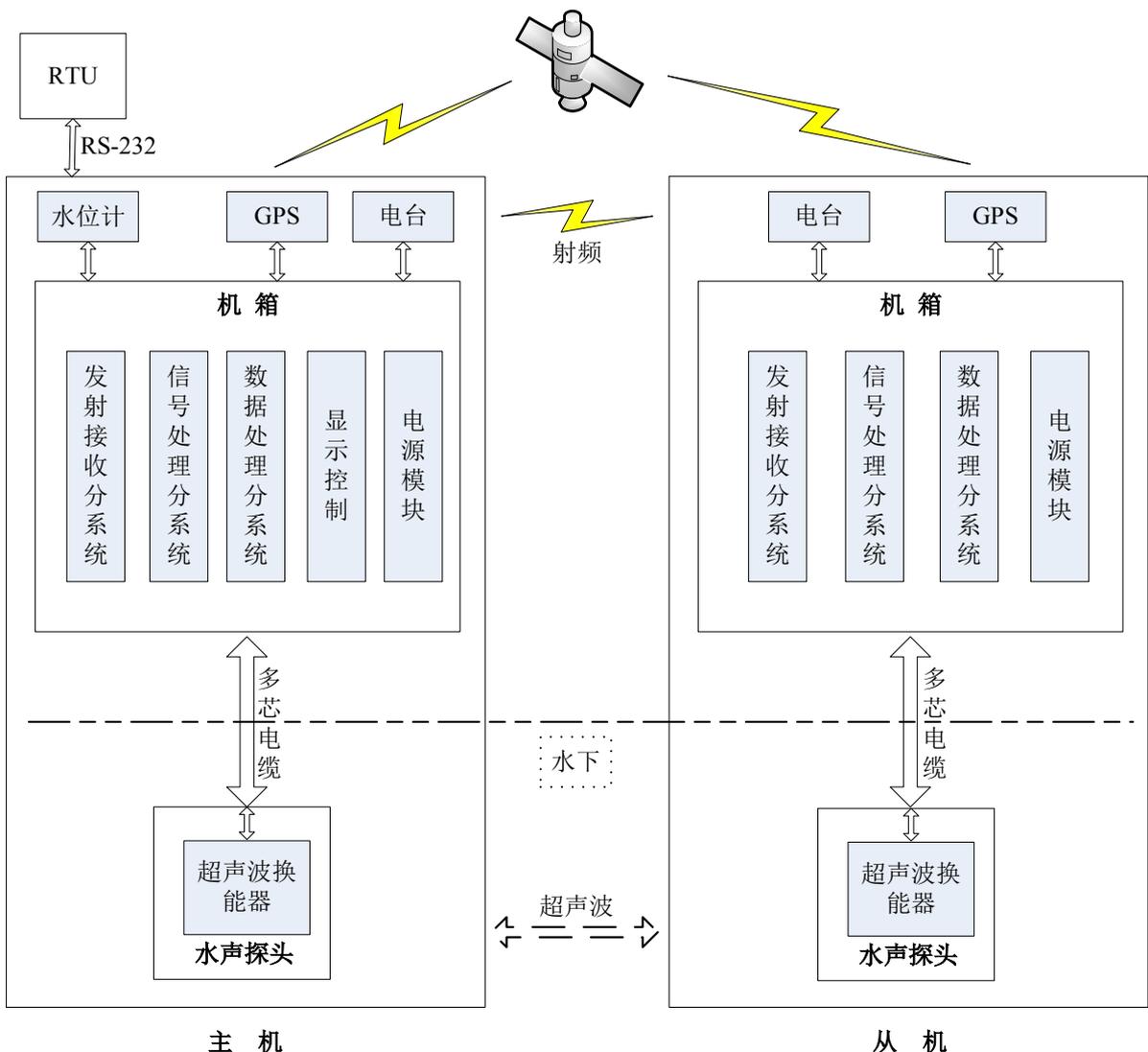


Figure 5. The architecture of the ultrasonic time difference measurement  
图 5. 超声波时差法测流系统总体架构图

## 2) 测流系统信息采集与传输

综合考虑本地域信号覆盖情况，以及系统的经济性、时效性、稳定性及可靠性，本系统选用 4G/GPRS 数据传输方式。RTU 遥测终端机直接获取平均流速数据和水位数据后，将计算出的河道流量数据与过程数据通过无线公用网络，发送至前端的数据接收平台。数据接收平台将接收的平均流速、流量及水位存储至本地数据库，数据展示平台通过读取数据接收平台数据库进行数据的展示，实现过程如下图 6 所示：

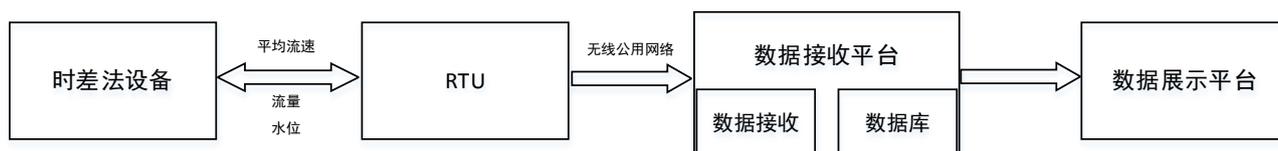


Figure 6. Schematic diagram of information collection and transmission of the online system

图 6. 流量实时在线监测系统信息采集与传输示意图

## 3) 超声波时差法测流设备安装

新建的超声波时差法测流系统安装见图 7。安装要求基建稳固牢靠，并且换能器位置需设计过水挡墙装置，河岸两侧基建基本一致，主机包含超声波时差法测流系统安装基建；从机侧位于对岸岸边，从机侧基建包括机柜基建、监控杆基建两部分。结合攀枝花的实地勘察调研，确定机柜、监控杆基建安装位置，结合现场情况，设计换能器安装支架，使得换能器可上下、水平方向可调整，通过激光校准仪、全站仪等辅助测量仪器确定主从机换能器声道路径与流速流向成  $45^\circ$  夹角，主机、从机侧时差法换能器安装水平高度一致，考虑超声波信号间的干扰，同时保证超声波时差法测流设备的测高性能，以兼顾全量程流量在线监测。



Figure 7. The installation diagram of the ultrasonic time difference measurement monitoring system

图 7. 流量实时在线监测系统安装示意图

## 5. 超声波时差法在线测流系统比测率定

超声波时差法测流系统在攀枝花水文站比测时间分别在 2020 年和 2021 年，比测期间实测水位在 986.37~996.28 m 之间，实测流量在 498~5910  $\text{m}^3/\text{s}$  之间，超声波时差法测流系统测得流量在 516~5890  $\text{m}^3/\text{s}$  之间，涵盖了高中低枯水。

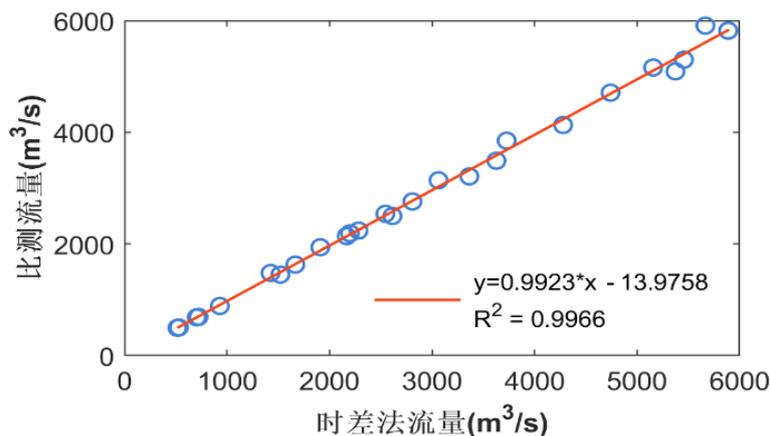
表 1 为超声波时差法测流系统流量与流速仪实测流量误差分析表，相对误差在-4.1%~5.6%之间，有 92%测次相对误差小于 5%。

高水期随机不确定度为 9%，中水期随机不确定度为 7%，全部测次系统误差为 1.7%，这表明系统测流值偏大，全部测次随机不确定度为 7%。

图 8 为超声波时差法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。时差法测流符合规范中一类精度站测流的精度要求。

**Table 1.** Error analysis table of the ultrasonic time difference measurement and current meter measured flow  
**表 1.** 时差法流量与流速仪实测流量误差分析计算表

分级	时间	水位(m)	Q 实	Q 时差法	相对误差(%)
			(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	
高水	2020-6-23 23:52	996.07	5910	5667	-4.1
	2020-6-28 9:15	994.66	4710	4742	0.7
	2020-6-29 9:06	995.1	5160	5157	-0.1
	2020-7-15 9:32	994.02	4130	4279	3.6
	2020-7-19 10:44	995.36	5090	5375	5.6
	2020-7-21 7:56	996.28	5820	5890	1.2
	2020-7-28 9:40	995.67	5300	5458	3.0
		随机不确定度(%)			9
中水	2020-5-18 9:10	989.08	1450	1520	4.8
	2020-6-1 9:53	990.64	2140	2167	1.2
	2020-6-10 10:36	990.26	1940	1910	-1.5
	2020-6-16 11:26	991.76	2760	2809	1.8
	2020-6-18 9:24	992.22	3140	3063	-2.5
	2020-7-1 9:24	993.47	3850	3728	-3.2
	2020-7-8 11:10	991.32	2500	2614	4.6
	2020-7-17 9:10	992.65	3210	3364	4.8
	2020-7-18 10:40	993.1	3490	3628	4.0
	2020-10-27 9:18	990.74	2240	2283	1.9
	2020-10-30 9:37	991.3	2540	2545	0.2
	2020-11-1 9:45	989.41	1630	1666	2.2
	2020-11-7 10:36	990.58	2190	2199	0.4
	2021-1-22 16:28	988.93	1480	1425	-3.7
		随机不确定度(%)			7
低枯水	2020-11-18 11:26	986.37	504	530	5.1
	2021-1-10 9:22	987.06	694	722	4.0
	2021-2-23 11:16	987.03	685	704	2.8
	2021-3-13 16:22	987.69	889	930	4.6
	2021-3-18 9:15	986.48	498	516	3.6
整体系统误差(%)		1.7	整体随机不确定度(%)		7



**Figure 8.** Scatter diagram of the ultrasonic time difference measurement and measured flow by current meter

**图 8.** 时差法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,时差法系统流量与实测流量相对误差在 $-4.1\% \sim 5.6\%$ 之间,约92%测次相对误差在 $\pm 5\%$ 以内。时差法高水期、中水期随机不确定度分别为9%、7%,全部测次系统误差为1.7%,随机不确定度为7%。符合规范中一类精度站的精度要求。

针对2020年3次洪峰流量在 $2900 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上的洪水过程对时差法流量数据与攀枝花水文站水位流量关系推流数据进行分析发现,三场洪水洪峰流量误差在4%以内,确定性系数DC均在0.94以上,时差法流量偏大,各场次洪水过程拟合精度良好。

## 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] 刘正伟,张丽花.多声路时差法在牛栏江滇池补水工程流量自动监测中的应用[J].水利水电技术,2016,47(12):96-99.  
LIU Zhengwei, ZHANG Lihua. Application of multipath ultrasonic transit-time method to automatic flow monitoring of Nilulan River to Dianchi Lake Water Diversion Project. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(12): 96-99. (in Chinese)
- [2] 李飞.超声波时差法测流技术在三角洲站的应用[J].湖南水利水电,2020(3):124-126.  
LI Fei. Application of ultrasonic time difference method in delta station. Hunan Water Resources and Hydropower, 2020(3): 124-126. (in Chinese)
- [3] 苏海松,梁军,崔军,周许.江苏省中小河流流量自动监测方案分析[J].江苏科技信息,2015(13):71-73.  
SU Haisong, LIANG Jun, CUI Jun and ZHOU Xu. Analysis on the scheme of automatic monitoring middle and small rivers flow in Jiangsu Province. Jiangsu Science and Technology Information, 2015(13): 71-73. (in Chinese)