

# 雷达波在线测流系统在崇义水文站的应用

刘运珊, 刘明荣

(江西省赣州市水文局, 江西 赣州 341000)

**摘 要:** 介绍雷达波在线测流系统构成、测流原理及工作流程。通过在崇义水文站应用, 与人工实测流量比测, 分析该系统流量与实测流量相关性, 并提出提高测量精度的措施建议, 探索雷达波在线流量替代常规流量测验的可行性。

**关键词:** 雷达波; 在线测流; 比测分析; 崇义水文站

**中图分类号:** P333      **文献标识码:** P      **文章编号:** 1004-4701(2020)04-0286-06

随着经济社会快速发展, 国家不断加大对水文的投入力度, 加快补齐水文基础设施建设短板, 同步加快水文基础设施及技术装备和流量测验等相关技术标准的修订<sup>[1]</sup>。水文基础设施设备得到较大改善, 测报技术手段显著提升, 信息的准确性和时效性显著提高, 监测服务能力显著增强。以水文巡、间测为主的测验方式是水文监测现代化的共识, 是提高水文监测能力的必经之路<sup>[2]</sup>。为了构建“驻巡结合、巡测优先、测报自动、应急补充”的水文监测体系; 利用先进技术设备逐步替代传统的人工观测<sup>[3]</sup>, 雷达在线流量系统便是应运而生的一种水文流量测验系统设备, 具有自动监测、传输、计算、展示的功能, 可以实现河道流量测验自动监测, 为防汛抗旱和水资源管理提供有力支撑。

## 1 雷达波在线测流系统介绍

### 1.1 系统构成

雷达波在线测流系统由数据采集端和服务端构成。数据采集端包括雷达波流速仪(以下简称 HR-20A)、雷达波水位计(以下简称 HR-30A)、RTU、太阳能电池板和免维护蓄电池组。服务端设置在市水文局机房内, 包括服务器(硬件)和在线系统(软件)。HR-20A 测速范围为 0.15~15.00m/s, 测速精度为 $\pm 0.02$ m/s, 有效

距离为 0.5~30.0m, 适用于顺直、稳定、水流集中的测验河段。

### 1.2 HR-20A 测流原理

HR-20A 是根据多普勒雷达测速原理, 借用岸边升杆、桥梁或其他合适的载体, 仪器安装在河道中泓位置, 对水流的表面流速进行测量。雷达探头向河道水面发射雷达波, 波束在遇到水流反射进而测得某一区域内的平均流速(指标流速), 通过建立实测断面平均流速与指标流速的关系, 然后利用测得的指标流速换算为雷达波断面平均流速, 再将雷达波断面平均流速乘以测时水位下的断面面积, 即为断面的瞬时流量。

### 1.3 系统工作流程

数据采集端每 5min 测量并接收一次水位及流速数据, 并将数据由 RTU 加密后自动向服务端实时发送。服务端接收到数据后, 进行加密解析, 将解析后的数据进行流量计算, 原始测验数据和流量计算数据都存储于数据库中, 再由浏览器展示给用户。

## 2 测站概况

### 2.1 测验河段基本情况

崇义水文站位于江西省崇义县横水镇塔下村, 东经 114°18'01.9", 北纬 25°42'31.3", 属于长江流域赣江

水系章江二级支流小江, 建站于2016年1月1日, 为中小河流水文站, 常年站, 集水面积356km<sup>2</sup>。

测验河段顺直, 单式河床无岔流、串沟现象。左岸为石质防洪堤, 右岸为土质河岸, 河床由砾石、粗沙组成。河床无冲淤影响, 无坍塌现象。上游约40m有座公路桥, 400m处有一弯道, 约500m处2010年建一拦河坝, 650m处右岸有一小支流加入; 下游约60m有座桥, 125m处有一弯道, 300m处有一翻板式拦水坝。受上下游拦水坝影响, 无水生植物。右岸滩地是蔬菜地, 树木稀少。

## 2.2 断面情况

崇义水文站自2016年建站至今, 测验断面位置未发生变动。2019年1月至2020年4月, 崇义站实测流速仪测流断面3次。通过对所测大断面面积和平均河底高程变化分析, 可知断面在平水期稳定几乎无变化, 但洪水过后可能会发生冲刷, 需及时实测断面。实测大断面图详见图1, 相邻测次断面对比分析结果详见表3。

## 3 雷达波在线测流系统比测应用情况

### 3.1 比测仪器

利用流速仪和雷达波在线测流系统进行比测。HR-20A安装在崇义站基本断面下游50m公路桥中泓位置, 采用固定式安装。

### 3.2 比测方法

#### 3.2.1 水位

以雷达式遥测水位计摘录的水位为准。每日8时人工检查遥测水位与校核水位是否一致, 不一致时调整遥测水位, 遇暴涨暴落时增加校测检查次数。当遥测出现故障时, 采用人工观测水位, 月年最高、最低水位测记准确, 洪峰、洪谷测记准确。

应用雷达波测量河道水位已有较长的时间, 技术成熟, 测量精度能够满足GBJ 138-90《水位观测标准》的规定<sup>[4]</sup>, 不再做水位误差分析。只对流量数据进行误差分析。

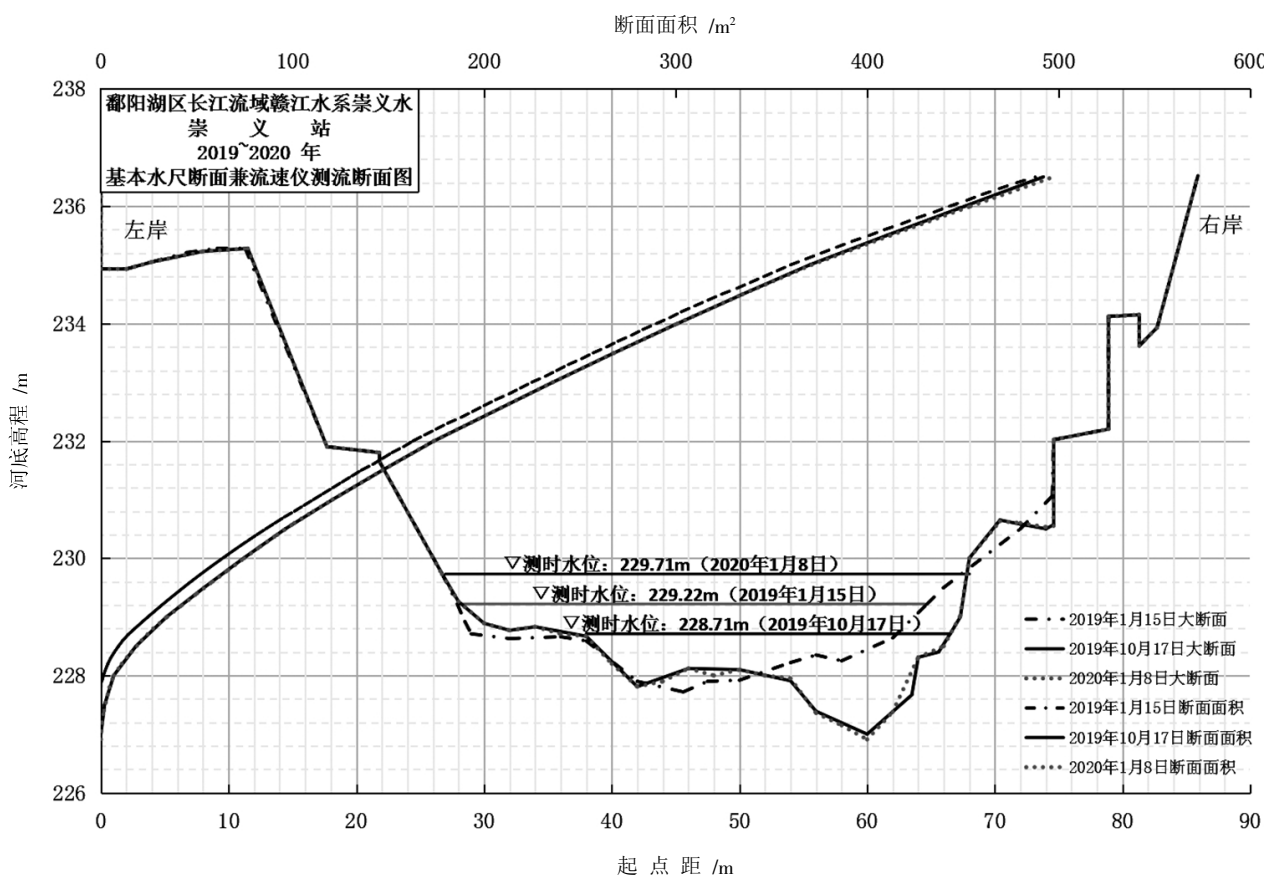


图1 崇义水文站断面情况

表3 崇义站 2019~2020 年断面变化分析表

| 水位/m | 第一次面积/m <sup>2</sup> | 第二次面积/m <sup>2</sup> | 第三次面积/m <sup>2</sup> | 第二次与第一次偏离/% | 第三次与第一次偏离/% | 第三次与第二次偏离/% |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| 229  | 22.3                 | 34.3                 | 34.6                 | 53.81       | 55.16       | 0.87        |
| 230  | 61.2                 | 74.5                 | 74.8                 | 21.73       | 22.22       | 0.40        |
| 231  | 108.0                | 121.0                | 121.0                | 12.04       | 12.04       | 0           |
| 232  | 161.0                | 174.0                | 174.0                | 8.07        | 8.07        | 0           |
| 233  | 223.0                | 236.0                | 234.0                | 5.83        | 4.93        | -0.85       |
| 234  | 287.0                | 301.0                | 301.0                | 4.88        | 4.88        | 0           |
| 235  | 358.0                | 370.0                | 371.0                | 3.35        | 3.63        | 0.27        |
| 236  | 440.0                | 451.0                | 454.0                | 2.50        | 3.18        | 0.67        |

### 3.2.2 流量

崇义水文站流量为三类精度站。流量测验现状为优先采用缆道流速仪法进行测流，缆道故障必须在24h内恢复，如无法及时恢复，可采用ADCP或桥测流速仪法施测流量。测验测次应按水位级布设，涨幅超1.5m的较大洪水，峰谷附近不少于1次，涨落面不少于2次，涨幅在0.5~1.5m的一般洪水，洪峰附近不少于1次，涨落面不少于1次；平水期相邻测次时间间隔为7~10天。特殊时期或受变动回水影响或混合影响时，加密测次，具体以能测得流量变化过程为度。

本次比测采用流速仪测流时间为准，摘录雷达波在线测流系统数据，雷达波自动测流系统借用基本断面水深计算指标流量。

### 3.2.3 大断面

崇义站流速仪测流断面与基本水尺断面相同，断面测深方法采用压力测深或全站仪涉水测量，岸上部分采用三等水准测量，起点距采用缆道计数器。

### 3.3 比测次数

本次分析采用2019年6月至2020年4月的25次比测成果进行分析。实测水位变幅为229.08~232.05m；流速仪实测流速变幅为0.39~2.84m/s，流量

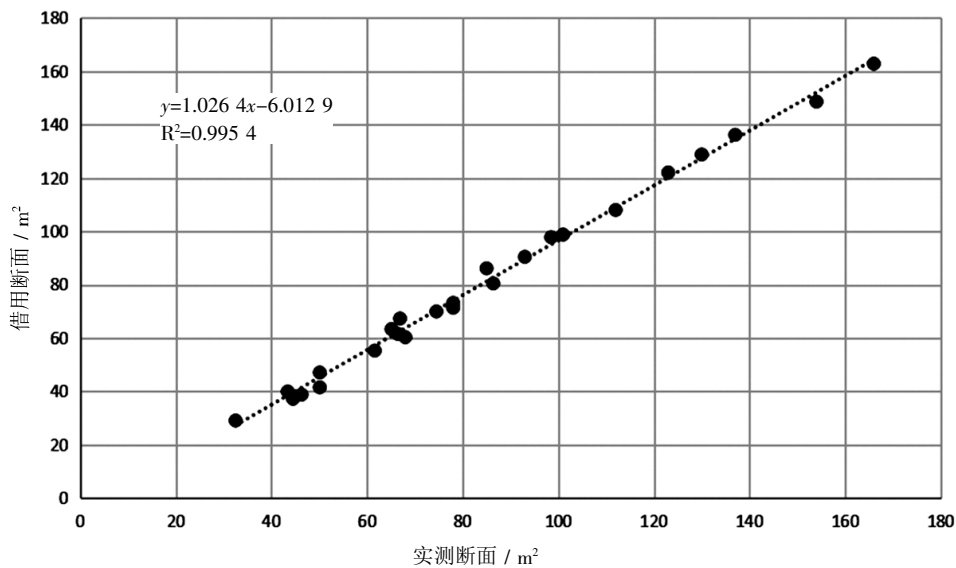


图2 实测流量面积与HR-20A借用面积对比图

变幅为 13.6~404.0m<sup>3</sup>/s。HR-20A 测得流速变幅 0.41~2.77m/s。比测资料含高、中、低水测次,施测次数和 水位变幅均基本满足开展相关分析需求。

## 4 比测分析

### 4.1 断面分析

通过对 25 次实测流量断面数据与同时期的 HR-20A 借用断面数据对比分析,可知,实测流量断面面积与 HR-20A 借用断面面积总体相关性较好,相关系数

R<sup>2</sup> 为 0.995 4。面积相关关系见图 2。

### 4.2 指标流速率定

本次选取了崇义站 2019 年 6 月 10 日~2020 年 4 月 6 日 25 次缆道流速仪法实测的断面平均流速与相应测流起讫时间内 HR-20A 指标流速,建立相关关系,见图 3。对流速进行比较,得到二元回归方程, $y=-0.568 9x^2+2.737 9x-0.628 8$ , R<sup>2</sup> 为 0.910 3。

### 4.3 流量分析

通过率定后的流速计算得到各时段断面平均的计算流量,见表 4,流量相关关系见图 4,流量过程拟合情

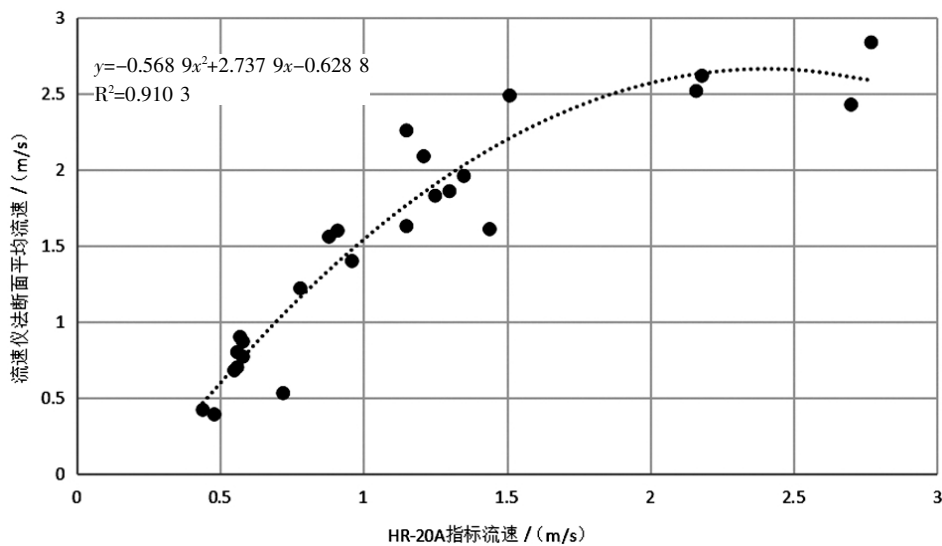


图 3 指标流速与断面平均流速对比图

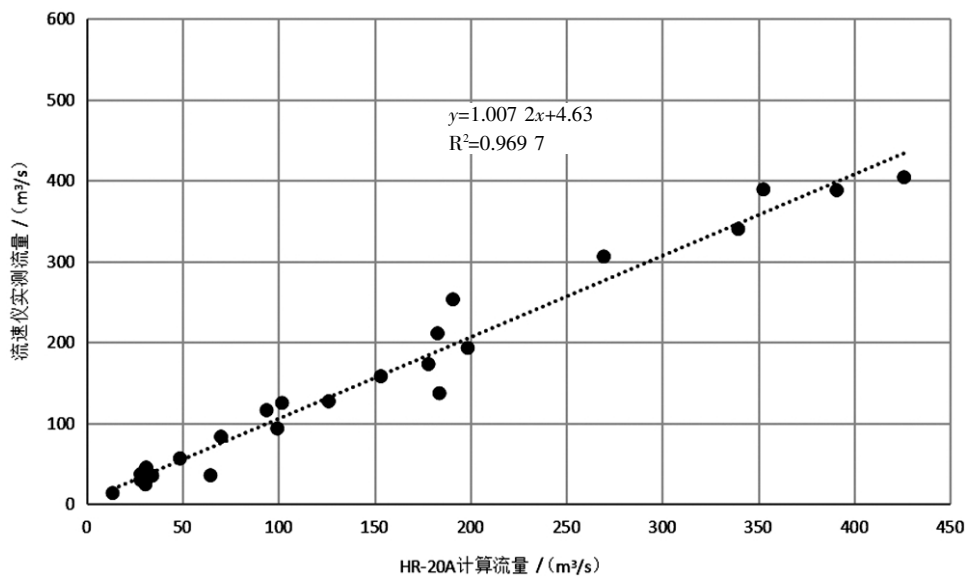


图 4 计算流量与断面平均流量关系图

表4 崇义站断面平均流速与HR-20A指标流速对比结果

| 时间              | 水位     | 指标流速<br>/(m/s) | 断面平均流速<br>/(m/s) | 流速仪实测流量<br>/(m <sup>3</sup> /s) | 指标流速率定后计算流量<br>/(m <sup>3</sup> /s) | 流量绝对误差<br>/m <sup>3</sup> | 流量相对误差<br>/% |
|-----------------|--------|----------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------|
| 2019-6-10 10:09 | 230.53 | 1.44           | 1.61             | 137.0                           | 184.0                               | 46.90                     | 34.20        |
| 2019-6-12 22:33 | 230.81 | 1.21           | 2.09             | 211.0                           | 183.0                               | -28.10                    | -13.33       |
| 2019-6-13 0:18  | 230.63 | 1.30           | 1.86             | 173.0                           | 178.0                               | 5.12                      | 2.96         |
| 2019-6-13 3:42  | 231.01 | 1.15           | 2.26             | 253.0                           | 191.0                               | -62.10                    | -24.55       |
| 2019-6-13 5:21  | 231.53 | 2.77           | 2.84             | 389.0                           | 353.0                               | -36.30                    | -9.34        |
| 2019-6-13 10:18 | 231.42 | 2.18           | 2.62             | 340.0                           | 340.0                               | -0.46                     | -0.14        |
| 2019-6-13 11:18 | 231.29 | 1.51           | 2.49             | 306.0                           | 269.0                               | -36.50                    | -11.93       |
| 2019-6-13 17:29 | 230.79 | 1.35           | 1.96             | 193.0                           | 199.0                               | 5.61                      | 2.91         |
| 2019-6-14 10:41 | 230.14 | 0.96           | 1.40             | 93.4                            | 99.4                                | 5.98                      | 6.40         |
| 2019-7-14 10:31 | 232.05 | 2.70           | 2.43             | 404.0                           | 426.0                               | 21.90                     | 5.43         |
| 2019-7-14 11:14 | 231.82 | 2.16           | 2.52             | 388.0                           | 391.0                               | 2.88                      | 0.74         |
| 2020-2-15 18:54 | 230.04 | 0.58           | 0.87             | 56.4                            | 48.7                                | -7.72                     | -13.69       |
| 2020-2-15 22:03 | 229.67 | 0.56           | 0.70             | 35.0                            | 34.2                                | -0.78                     | -2.24        |
| 2020-2-15 23:34 | 229.49 | 0.55           | 0.68             | 29.7                            | 28.2                                | -1.49                     | -5.01        |
| 2020-2-16 17:28 | 229.08 | 0.44           | 0.42             | 13.6                            | 13.6                                | -0.03                     | -0.21        |
| 2020-3-19 10:26 | 229.86 | 0.48           | 0.39             | 24.3                            | 30.7                                | 6.36                      | 26.19        |
| 2020-4-2 12:14  | 230.01 | 0.72           | 0.53             | 35.5                            | 64.6                                | 29.10                     | 81.89        |
| 2020-4-3 2:08   | 230.14 | 0.88           | 1.56             | 116.0                           | 93.8                                | -22.20                    | -19.14       |
| 2020-4-3 3:25   | 230.27 | 0.91           | 1.60             | 125.0                           | 102.0                               | -23.20                    | -18.52       |
| 2020-4-3 13:07  | 230.23 | 1.15           | 1.63             | 127.0                           | 126.0                               | -0.86                     | -0.68        |
| 2020-4-3 16:18  | 230.42 | 1.25           | 1.83             | 158.0                           | 153.0                               | -4.66                     | -2.95        |
| 2020-4-4 0:21   | 229.98 | 0.78           | 1.22             | 83.2                            | 70.1                                | -13.10                    | -15.80       |
| 2020-4-4 12:33  | 229.54 | 0.57           | 0.90             | 45.1                            | 31.1                                | -14.00                    | -31.13       |
| 2020-4-5 18:07  | 229.46 | 0.56           | 0.80             | 37.1                            | 28.2                                | -8.89                     | -23.97       |
| 2020-4-6 14:17  | 229.40 | 0.58           | 0.77             | 34.1                            | 28.6                                | -5.47                     | -16.04       |

况见图5。

根据上述分析计算表明,HR-20A计算流量与实测断面平均流量相关性为0.9697,流量过程拟合度较好。将相关线进行符号检验、适线检验、偏离数值检验,随机不确定度及系统误差不符合《河道流量测验规范》(GB 50179-93)第五章浮标法测流精度要求。分析其原

因有:一是测次选用期断面不稳定,冲刷较大;二是对比测次偏少,尚不足30次。

## 5 结 语

崇义站雷达波在线测流系统和流速仪两种方法的

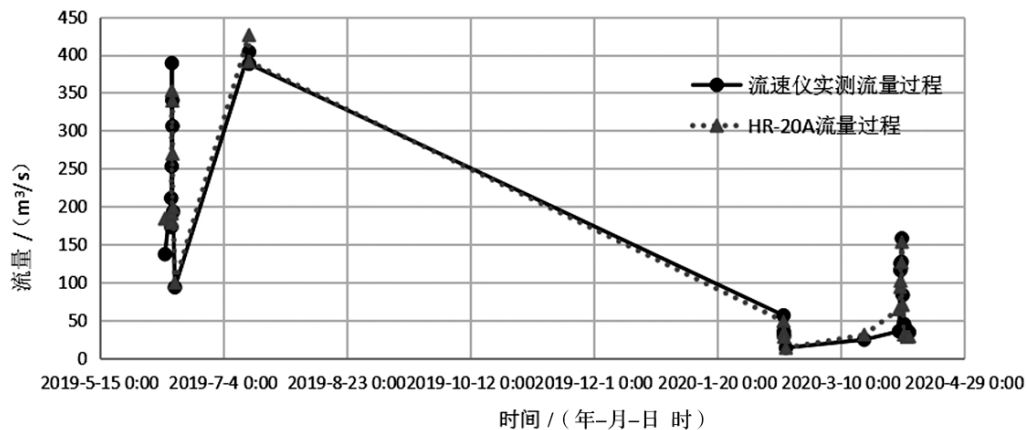


图 5 计算流量过程与断面平均流量过程对比拟合图

流量相关关系式为  $y=1.007 2x+4.63$  时相关系数  $R^2=0.969 7$ , 相关关系拟合较好, 但精度尚不符合《河道流量测验规范》(GB 50179-93)第五章浮标法测流的三类精度水文站的要求。应选取断面稳定期增加比测次数, 继续研究该站雷达波测流精度问题。若该站雷达波在线测流系统精度可满足规范则建议在该站断面稳定时期投入常规应用, 建议: 一是使用时应在大洪水后或有其他影响断面变化因素时及时施测大断面并更新系统数据, 以保证雷达波在线测流系统的准确性; 二是每日 8 时人工检查遥测水位与校核水尺水位是否一致, 不一致时调整遥测水位, 遇暴涨暴落时增加校测检查次数

以提高测验精度。经验成熟后该系统可在测验断面稳定、水流集中的测站推广使用。

#### 参考文献:

- [1] 蔡建元. 深入贯彻落实总基调 全面加快水文事业发展[N]. 中国水利报, 2020-02-12(001).
- [2] 李敏欣, 鲁祥. 新模式下水文监测技术的现状及未来发展趋势[J]. 黑龙江水利科技, 2020, 48(02): 257~260.
- [3] 香天元, 梅军亚. 效率优先: 近期水文监测技术发展方向探讨[J]. 人民长江, 2018, 49(05): 26~30.
- [4] 杨建东, 方金鑫, 姜敏. 雷达波实时在线测流系统在丽江市的应用[J]. 水利信息化, 2017(02): 50~53.

编辑: 张绍付

## Application of radar wave on-line current measuring system in Chongyi county hydrological station

LIU Yunshan, LIU Mingrong

(Ganzhou Hydrologic Bureau of Jiangxi Province, Ganzhou 341000, China)

**Abstract:** The structure, principle and working process of radar wave on-line flow measurement system are introduced. This paper analyzes the correlation between the discharge of the system and the measured discharge, and puts forward some measures to improve the measurement accuracy, so as to explore the feasibility of the radar wave on-line discharge replacing the conventional discharge measurement.

**Key words:** Radar wave; On-line current measurement; Comparative analysis; Chongyi county hydrological station

翻译: 刘运珊