

# 赣江上游中小河流固定式缆道雷达波测流系统 应用分析

——以黄陂水文站为例

曾国龙,何文,许攀,肖丹

(赣江上游水文水资源监测中心,江西 赣州 341000)

**摘要:**赣江上游地区中小河流分布众多,洪水陡涨陡落,急剧的水势变化对洪水流量测验效率提出了更高的要求。为更好控制中小河流水文站洪水流量变化过程,提高测验效率,在黄陂水文站使用固定式缆道雷达波流速仪与常规缆道流速仪法进行比测分析,建立了雷达波流速与断面平均流速线性回归方程,对比测成果进行流量及整编成果分析,结果满足规范要求。黄陂站雷达波在线流量替代常规流量测验是可行的,但是在水位247.00 m以上的雷达波流速和实测断面平均流速相关性较差,后续仍需要改进雷达波流速仪的测验方式,以提高数据的准确性。

**关键词:**中小河流;固定式缆道雷达波流速仪;比测分析;黄陂水文站;赣江上游

**中图分类号:**TV123 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-9235(2025)S2-0079-03

赣江上游地处东南丘陵地区,丘陵面积占总面积的75%以上,流域内分布着众多中小河流,河流均发源于边缘山区,向中部汇拢<sup>[1-2]</sup>。受山高坡陡的丘陵地貌影响,赣江上游地区的降雨可迅速转化为地表径流,流域内的中小河流受此影响,水位陡涨陡落,易发突发性山洪灾害<sup>[3]</sup>。准确掌握中小河流水情动向、及时测报是当前中小河流防汛预警的重点<sup>[4]</sup>。

黄陂河系赣江二级支流,梅江一级支流,为赣江上游地区典型中小河流。黄陂水文站位于黄陂河上游,系黄陂河的监测站。测验项目包括水位、流量、降水,属三类精度站。目前黄陂站的流量测验方法主要为缆道流速仪法,其测验过程耗时较长,洪水流量测验时,河道水流湍急,水面杂物较多,且陡涨陡落,使用传统的流速仪法在洪水流量测验过程中效率欠佳。为保证洪水过程数据收集和及时测报黄陂河流域水情,需要寻求更为高效的流量测验方法。

雷达波流速仪法是一种更为简单高效的流量测验方法,其利用多普勒效应测得水面流速,并通过率定转换系数,从而计算出整个断面平均流速,乘以测时水位以下断面面积即得断面瞬时流量。该方法在河道流量监测中具有实时在线、操作简便、可缩短测验历时和数据连续性等应用优势,目前已广泛应用于水文测站的流量监测当中。吴汉等<sup>[5]</sup>在都江堰(内江)、沙坝、威州水文站将雷达测速仪与缆道流速仪法进行比测分析,建立相关关系,进行单值关系检验和随机不确定度控制分析,比测分析结果均满足规范要求。宋健<sup>[6]</sup>在切德克水文站将RG30型雷达波流速仪与LS25-1型转子流速仪进行比测分析,构建了精度更高的水位-流量关系曲线,所比测分析出的水面流速系数可应用于该测站。

本文在黄陂水文站进行了传统缆道流速仪法流量测验和固定式缆道雷达波流速仪的比测分析,确定了固定式缆道雷达波流量监测系统在黄陂水

文站的应用方式,为黄陂站提供了一种快速高效的流量测验方法,也为赣江上游地区中小河流防汛减灾和水资源管理提供了坚实的技术支撑。

## 1 测站情况

黄陂水文站属巡测站点,位于江西省宁都县黄陂镇王布村,河流水系呈树叶状,利于水流集中,洪水暴涨暴落。黄陂站位于黄陂河上游,测站以上集水面积 $211\text{ km}^2$ ,系黄陂河监测站,测验项目包括水位、流量、降水,属Ⅲ类精度站。

## 2 比测方法

### 2.1 比测方法

黄陂水文站安装JY. SVR-0A型雷达波流速仪1台,雷达波测流断面与流速仪测流断面一致,固定于起点距 $21\text{ m}$ 处,测速点主要控制中泓主流,采用控制变量法进行分析,根据缆道流速仪法实测断面平均流速对雷达波水面流速进行率定,通过大断面成果表查算测时水位的水道断面面积,率定后流速与断面面积相乘计算得到雷达波流速仪流量,对流量成果进行分析。

#### 2.1.1 水位比测

以压力传感器遥测水位计摘录的水位为准。每日8时通过人工核对遥测水位与水尺读数水位是否一致,不一致时调整遥测水位,并根据问题对数据进行修正,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。水位变化过程、洪峰(谷)测记准确。

缆道雷达波系统和流速仪法采用同一套水位设施设备,使用压力传感器测量河道水位已有较长时间,测量精度能够满足水位观测标准规定,流量测验时采用人工观测,水位数据准确,故本文不再进行水位误差分析,只针对流量数据进行比测分析。

#### 2.1.2 断面面积

雷达波测流断面与缆道流速仪测流断面一致,位于基本水尺断面上游 $8\text{ m}$ 处,断面面积借用实测大断面数据,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。断面数据在每次施测大断面后及时进行更新。

#### 2.1.3 雷达波流速-断面平均流速率定

在相同的时间和相应水位的前提下,采用回归分析法,建立雷达波流速与断面平均流速之间的相关关系,得到回归方程。

#### 2.1.4 流量

根据回归方程,将雷达波流速仪测得水面流速转换成断面平均流速,与断面面积相乘后得到雷达波流速仪流量,将雷达波流速仪流量与实测流量、整编成果进行对比分析。

### 2.2 率定资料

此次比测流量测验共收集了2023年1—9月的27个实测流量资料,期间包含3次较大洪水过程。

## 3 比测分析

### 3.1 断面情况分析

受河道整治影响,2022年左岸河底高程变化较大,面积线分布较为集中,分级水位面积变化较小。计算近5a各级水位相邻年份面积偏离情况,发现黄陂站近5a断面有冲有淤,246.00m水位以上断面年际变化较小,年际面积变化偏离值最大为9.3%。计算2023年断面面积偏离情况,发现年内有冲淤现象,246.00m水位以上面积偏离度最大为-3.79%。

对近5a大断面及各级水位面积情况进行分析,可以发现黄陂站测流断面较为稳定。在汛前、汛中施测大断面并在大洪水过程后及时施测更新断面数据的情况下,缆道雷达波可借用断面。

### 3.2 流速关系分析

流速相关关系建立:将27次实测平均流速与相应时间缆道雷达波所测流速进行对比分析,因测流断面上游 $8\text{ m}$ 处有巨大岩石(岩石高程 $247.20\text{ m}$ ),影响断面流态,雷达波流速按分级水位 $247.00\text{ m}$ 级建立关系。水位在 $247.00\text{ m}$ 以下时实测平均流速与缆道雷达波流速有较明显的线性关系, $x$ 为雷达波流速, $y$ 为实测平均流速, $y=0.9741x-0.1907$ , $R^2=0.9246$ ,相关性良好;水位在 $247.00\text{ m}$ 以上时二者

的关系较差,点值分布较为离散, $y=0.1565x+1.0752$ , $R^2=0.2845$ ,相关性较差。

### 3.3 相关关系检验

#### 3.3.1 流量误差分析

根据黄陂站水位 247.00 m 以上和 247.00 m 以下 2 条实测断面平均流速与雷达波流速线性回归方程,得到雷达波流速对应的率定流速,根据相应水位下的河道断面面积,计算得到雷达波率定流量。对雷达波率定流量和断面流量进行关系检验,测点标准差  $S_e=2.3\%$ ,随机不确定度为 4.6%,达到规范精度要求,系统误差为 -2.3%,系统误差绝对值小于 3%,满足 SL 195—2015《水文巡测规范》规范要求。检验计算如下:①符号检验,总点数  $n=27$ , $k=10$ ,计算得  $u=0.77$ , $u$  小于 1.15,认为合理,符号检验通过;②适线检验,总点数  $n=27$ ,符号“1”出现次数为 10,即  $k=10$ ,计算得  $u=0.98$ , $u$  小于 1.28,认为合理,适线检验通过;③偏离数值检验,总点数  $n=27$ ,平均相对偏离值为 2.3%,相对偏离值标准差为 2.38,平均相对偏离值标准差 2.04,统计量  $t=0.06$ ,统计量  $t$  绝对值小于 1.33,认为合理,偏离数值检验通过。

通过上述 3 种方法对雷达波率定流量进行关系检验,均达到规范要求,认为雷达波率定流量与断面流量关系定线合理。

#### 3.3.2 整编成果误差分析

以临时曲线法与雷达波流速相关关系整编计算 2023 年 1—9 月黄陂水文站径流量,总量相对误差为 3.49% (<5%),径流总量合理;计算汛期 4—9 月总径流量,相对误差为 3.36% (<6%),汛洪径流量合理;计算最大一次洪水过程(6 月 22 日 0 点至 6 月 26 日 0 点)径流量,相对误差为 -4.03% (<8%),次洪径流量合理。

## 4 结论

在黄陂水文站对固定式缆道雷达波法和缆道流速仪法进行流量测验比测分析,对测流断面、流速和流量进行分析,发现测验断面稳定性较好,缆道雷达波流速仪法可借用断面;确定了缆道雷达波流速和断面平均流速之间的关系:黄陂站水位在

247.00 m 以下,断面平均流速( $y$ )与缆道雷达波流速( $x$ )的线性关系为: $y=0.9741x-0.1907$ ,水位在 247.00 m 以上,线性关系为  $y=0.1565x+1.0752$ ;通过率定流量三检计算,认为定线合理;经整编成果分析,采用相关关系进行计算的整编成果年总量误差 3.49%,小于 5%,汛期总量误差 4.59%,小于 6%,一次洪水过程径流量相对误差 -4.03%,绝对值小于 8%,满足 SL 195—2015《水文巡测规范》规范中对时段径流总量误差的要求。

根据以上分析成果,通过比测分析后的固定式缆道雷达波法可用于黄陂水文站流量测验,但该方法仍有不足。在黄陂站水位 247.00 m 以上的雷达波流速和实测断面平均流速相关性较差,在该水位以上,起点距 21 m 处的水面流速代表性较差,为能够准确的掌握高洪流量数据,需要考虑改进雷达波流速仪的测验方式,例如可选择使用多探头的固定式缆道雷达波,或其他更先进的流量测验设备。同时本次比测分析的水位范围为 245.42~247.83 m,当水位不在该范围内时,实测流量按洪水期测次布设,并与相关关系线进行对比,修正关系线,扩大相关关系的水位应用范围。

#### 参考文献:

- [1] 刘光旭,王小军,徐新创,等. 低山丘陵区暴雨洪水特征与洪灾风险评估:以赣江上游为例[J]. 水土保持通报,2019,39(5): 236-241.
- [2] 王小军,刘光旭. 南方丘陵区流域提取及洪水淹没模拟以赣江上游为例[J]. 中国农村水利水电,2017(5):161-165.
- [3] 胡涛,李兴,李青,等. 不同降雨重现期下山洪流过程关键因子识别研究:以赣江上游为例[J]. 自然灾害学报,2019,28(6): 182-191.
- [4] 王宝童. 中小河流自动测报站在暴雨洪水中发挥的重要作用[J]. 陕西水利,2023(7):51-52.
- [5] 吴汉,宋丽琼. 雷达测速仪水文测验的应用研究[J]. 中国水利,2014(7):58-59.
- [6] 宋健. 切德克水文站 RG30 型雷达波流速仪水面系数比测分析[J]. 陕西水利,2022(3):51-53.

(责任编辑:向飞)