

Application of Mobile Radar Current Measuring System in Flow Measurement

Zhen Fang¹ Xiaoming Xia²

1. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Yichang City, Hubei Province, Yichang, Hubei, 443000, China
2. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Xiaogan City, Hubei Province, Xiaogan, Hubei, 432100, China

Abstract

The mobile radar wave current measurement system realizes the automation of flow measurement in hydrological station, and solves the difficult problem of flow automatic measurement under unattended condition. This paper introduces the principle of non-contact mobile radar wave current measurement system and its application in Nanyang hydrologic flow measurement. The analysis results show that the data measured by mobile radar wave flow measurement system is relatively stable and has a good correlation with manual and ADCP flow measurement data. By analyzing the application stability and range of the flow measurement system, the advantages and disadvantages of the system in the actual use are summarized, and a new method of flow measurement under unattended condition is explored.

Keywords

radar wave; flow; test; application

移动式雷达波测流系统在水文生产中的应用解析

方祯¹ 夏小明²

1. 湖北宜昌市水文局, 中国·湖北 宜昌 443000
2. 湖北孝感市水文局, 中国·湖北 孝感 432100

摘要

移动式雷达波测流系统实现了流量测验的自动化,很好地解决了在无人值守情况下流量自动测验的难题。论文简介非接触式移动雷达波测流系统技术原理和在南阳水文流量测验中的应用实例。分析结果表明,移动式雷达波测流系统具有相对的稳定性,并与人工及ADCP流量测验数据具有较好的相关关系。通过解析该测流系统在水文生产中的应用实例,总结系统操作和成果的比测方法,为无人值守情况下的流量测验提供指导。

关键词

雷达波; 流量; 测验; 应用

1 引言

在新时期,为满足防汛抗旱和国民经济的需要,水文站网数量成倍增加、传统的水文测验方法和测验模式已远远不能适应需要,必须建立“有人看管,无人值守”监测模式。要实现这种模式,必须借以全自动化监测手段,以彻底改变人工方式测流工作效率低、洪水期测流安全威胁大、高洪水位时流量测验及时性差以及山溪性河流暴涨暴落、水文测验易受漂浮物、滚石影响等难题。论文重点介绍移动式雷达波测流系统在南阳水文站流量测验中的成功应用,具有较广泛的推广价值。

【作者简介】方祯(1967-),男,中国湖北孝感人,本科,高级工程师,从事水文信息化、水文水资源调查评价、水环境保护等方面的研究。

2 雷达波测流系统的基本原理及构成

2.1 基本原理

移动式雷达波在线测流系统由系统硬件设备、系统管理软件、接收管理软件(含整编软件)组成。借助跨河水文缆道,自动控制缆道机器人等所有设备协同工作,水位计自动记录实时水位,判定时段内的水位变幅与用户需求的一致性,自动启动雷达波测速过程,测流完成后,系统可根据实时水位、借助大断面成果,自动进行流量的计算,再通过通讯系统传输到用户,从而实现无人值守的自动测验^[1]。

2.2 系统构成及功能

系统主要由3部分组成:硬件设备(遥测站)、系统管理软件和接收管理软件(含整编软件)。

2.2.1 硬件设备

硬件设备主要由雷达波测流缆道、ADCP过河缆道(比测用)、传感器、缆道机器人、雷达水位计、控制器(RTU)、

交流电转换器、太阳能供电系统、附属传感器（风速仪、温度传感器、视频头等）组成。测站设备可实现四种情况下的实时流量测验：①根据用户的时间要求进行流量测验；②根据实时的水位变率启动流量测验；③在网络稳定时，可实时远程启动流量测验；④在无网络时，可现场启动流量测验。

2.2.2 系统管理软件

接收遥测站发来的全部信息，存入数据库。系统软件可提供 WEB 接口，用户可查看测站数据、远程启动遥测站测流、远程修改遥测站参数。

2.2.3 接收管理软件（含整编软件）

技术人员可通过下载数据库中的测站数据，通过不同软件进行分析、整编，生成各类实用成果。

2.3 流量测验原理

①通过流量测验断面分析，选定具有代表性的测速垂线，在一定的条件下，垂线位置相对固定。②缆道机器人借助跨河缆道，带动传感器在断面左右岸自动移动，到达第一条垂线后，传感器根据指令采集水面流速数据，依次自动移动到每条垂线进行测验。③测流控制器（RTU）自动控制所有设备协同工作，水位计根据记录的实时水位，判定设定时间的水位变幅，当水位上升或下降达到设定的水位变幅值时，自动启动测速过程。④测流过程中完成后，系统软件结合实时大断面成果计算出实时面积和实时流量。并通过软件上传，用户通过软件下载数据库中数据，再进行分析、整编，生成水文成果。

3 南阳水文站应用实例

3.1 流域水系情况

香溪河发源于襄阳市保康县骡马店，在兴山县昭君镇昭君大桥以上分为东西两支，东支为古夫河，西支为南阳河，于秭归县归州镇香溪村注入长江。流域面积 3099 km²，河长 106 km，河道平均坡降 5.54‰，多年平均径流量 20.17 亿 m³。

3.2 断面情况

南阳水文站为三峡蓄水顶托影响后推求流量的辅助站，控制流域面积 672 km²，属典型的山溪性河流，测站控制条件较稳定；河床由沙砾石组成，断面稳定，主槽靠左岸^[2]。

南阳水文站缆道雷达波在线测流断面位于基本断面下 80 m，断面呈宽 U 形。南阳水文站按照测验要求布置测线测点，高水（177.90 m 以上）垂线数 8~10 根、中水（175.80~177.90 m）垂线数 10~15 根、低水（水位 175.80 m 以下）垂线数不少于 15 根，均采用水面一点法。低枯水（174.8 以下）断面水深小、流速小，该系统进行流量测验不适合。

4 系统比测成果分析

4.1 资料合理性检查

4.1.1 水位合理性检查

基本水尺断面水位采用浮子式水位计监测，水位记录完整，资料可靠；缆道雷达波在线测流系统采用气泡式水位计监测水位，供缆道雷达波在线系统计算流量时采用，两者

距离为 80 m，经比测分析，浮子式水位计与气泡式水位计实测水位具有较好的一致性，水位资料可靠^[9]。

4.1.2 水位流量测点合理性检查

采用人工实测流量与缆道雷达波在线同步实测流量的方式，进行比测分析。在比测过程中，收集同步期人工施测流量 31 次，缆道雷达波在线流量 902 次，分别对流量资料进行水位面积测点审查、水位平均流速审查、水位水面宽审查、水位平均水深测点审查、水位流量关系曲线定线审查。经审查，两个系列资料均较为可靠，一致性、代表性较强，均能够采用。

4.2 水位流量系数率定比测

4.2.1 人工流量与缆道雷达波流量同步相关分析

①拟合水位流量关系。

采用人工实测资料与缆道雷达波测流同步施测的 31 次流量，建立两系列测次相关关系，求出系数 K 值，其计算公式为： $K = \frac{Q_{人工}}{Q_{雷达}}$ ，相关关系为直线，相关系数 $r=0.999$ ，相关关系良好， $y=0.7881x-3.8837$ ， $r^2=0.9989$ 。

②拟合点对点水位流量系数关系。

采用同水位下人工实测流量与缆道雷达波在线流量的比值计算出 K 值， $K = \frac{Q_{人工}}{Q_{雷达}}$ ，建立 Z—K 相关关系，如图 1 所示。

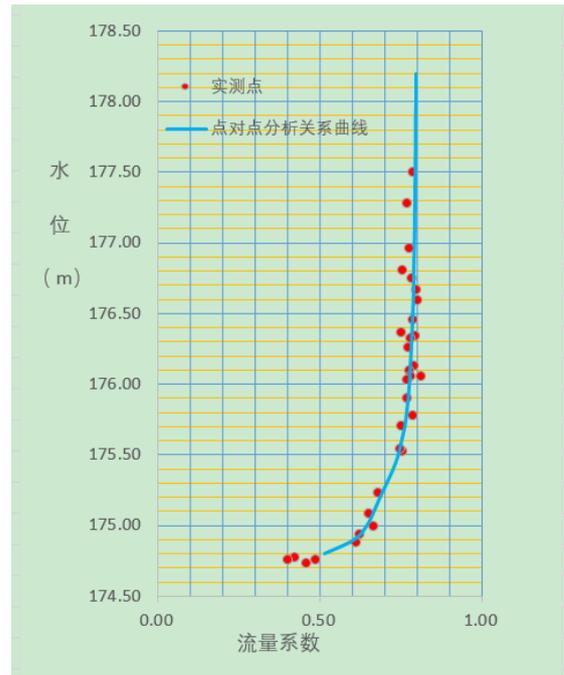


图 1 Z 与 K 值关系图

③标准差计算。

根据图 1 选择关系点，按照规范要求计算 Z—K 关系线标准差 Se、随机不确定度 X'。标准差计算公式：

$$Se = \left[\frac{1}{n-2} \sum \left(\frac{Ki - Kci}{Kci} \right)^2 \right]^{1/2}$$

经计算 $Se=2.3\%$ ，随机不确定度： $X'=2Se=4.6\%$ ，系统误差 -0.4% ，满足 SL247—2012《水文资料整编规范》二类精度站单一曲线系统误差 $\pm 1\%$ 、随机不确定度 10% 的要求，关系线合理。

从 K 值线型也可分析出， K 值变化符合缆道雷达波在线施测时受水流变化的特性，低枯水时水流流速小及受固体物等影响雷达回波， K 值变化较大；中高水水面流速大，波浪大而稳定，所以雷达波回波也稳定， K 值趋于稳定于定值并逐渐接近渐近线。

4.2.2 人工水位流量关系曲线、缆道雷达波在线测流系统水位流量关系曲线相关分析

分析采用人工实测资料和缆道雷达波在线系统实测资料，分别拟合水位流量关系曲线，由两条关系曲线上分别选取同时水位对应流量值求出 K_c 值， $K_c = \frac{Q_{\text{人工拟合线上流量}}}{Q_{\text{雷达波拟合线上流量}}}$ ，建立 $Z-K_c$ 相关关系。

①拟合水位缆道雷达波在线流量关系。

采用在线实测流量 902 测次进行多项式拟合，水位流量关系良好，相关系数达到 0.995。

②拟合线对线水位流量系数关系。

用人工实测流量确定水位流量关系线推求流量 $Q_{\text{人工}}$ ，用水位与缆道雷达波在线流量确定关系线，推求 Q 在线，计算 K_c 值， $K_c = \frac{Q_{\text{人工}}}{Q_{\text{在线}}}$ 。以水位与同水位下的 K_c 建立关系，关系良好，见图 2。

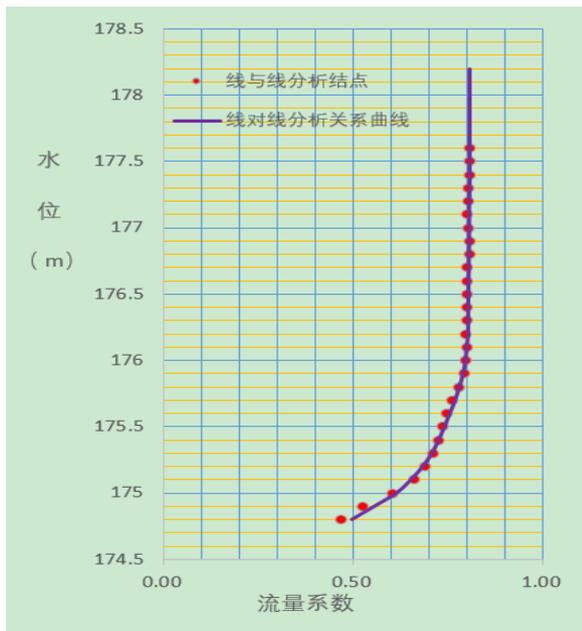


图 2 Z 与 K_c 关系图

③标准差计算。

根据图 2 关系点，按照整编规范，计算 $Z-K_c$ 关系线标准差 Se 、随机不确定度 X' 。经计算 $Se=1.6\%$ ，随机不确

定度： $X'=2Se=3.2\%$ ，系统误差 -0.4% ，满足 SL247—2012《水文资料整编规范》二类精度站单一曲线系统误差 $\pm 1\%$ 、随机不确定度 10% 的要求，关系线合理。

从 K_c 值线型也可分析出， K_c 值变化符合缆道雷达波在线施测时受水流变化的特性，低枯水时， K_c 值变化较大；中高水时， K_c 值趋于稳定于定值。

④流量系数 K 、 K_c 关系线比较。

将点对点 $Z-K$ 与线对线 $Z-K_c$ 关系图进行对比分析。 $Z-K_c$ 下部点距比 $Z-K$ 略小，下部最小 K 、 K_c 值的误差 7.8% ；曲线上部最大 K 、 K_c 值的误差为 1.2% ，均在误差允许范围内，由 K_c 值进一步验证了 K 确定方法正确性以及数值的准确性。

5 定线推流成果合理性分析

5.1 各时段径流量允许误差分析

为进一步验证缆道雷达波在线实测成果及分析出 K 值的可靠性和合理性，采用实测水位流量关系线法、缆道雷达波在线测流实测流量过程线法及 $Z-K$ 关系线推求水位流量关系线、分别计算 1—11 月径流总量、4—10 月汛期径流量、场次径流量，分析计算三种方法的各时段径流量。

通过三种方法定线推流计算，误差满足 SL195—2015《水文巡测规范》规定的误差要求，满足定线推流要求，各项指标计算值均符合 SL195—2015《水文巡测规范》要求。

5.2 实测资料验证

验证采用南阳水文站人工实测流量与缆道雷达波实测流量进行分析。

①点绘水位流量系数点对点关系图，将人工实测流量与缆道雷达波在线同步流量计算 K 值，并将两系列资料点绘关系图，两系列几乎重合。

②点绘同水位下流量系数线对线关系图，将同水位下的实测水位流量关系线流量值与缆道雷达波实测水位流量关系线 K_c 值进行点绘分析，两系列几乎重合。

6 结论

①通过测验成果误差统计分析及线性对比，雷达波在线测流系统施测的流量资料具有一定的可靠性，能够满足整编规范要求的要求。

②缆道雷达波在线测流系统是一种非接触式测速模式，具有较好的稳定性、适用性、安全性。通过系统应用，可以减轻劳动强度，提高安全系数，具有方便快捷、省时省力的特点，为水文巡测提供了解决方案。

③该系统成果技术指标能够满足《水文巡测规范》《河流流量测验规范》《水文资料整编规范》等要求，并具有较广泛的推广价值。

参考文献

- [1] 王春泽. 水文知识读本[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.
- [2] SL 247—2012 水文资料整编规范[S].
- [3] SL337—2006 声学多普勒流量测验规范[S].