

灌区低成本雷达测流系统的设计与应用

胡锦涛¹, 周克志², 赵建军², 裔九芳², 孙 尹²

(1. 高邮市高邮灌区管理处, 江苏 扬州 225600; 2. 高邮市水利局, 江苏 扬州 225600)

摘要:流量监测是水资源管理的重要措施,在精确测量河道明渠的断面、各取水口、排水口的流量数据方面,具有重要意义。研究提出一种以“操作简单、性能可靠、经济实用”为目的灌区低成本雷达测流系统,用以解决传统灌区测流精度差、仪器成本高、监测点分布广、需求设备数量多的问题,降低灌区测流的整体成本。

关键词:流量监测;灌区;低成本;雷达测流

中图分类号:TP274;S274.2

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2020)01-0054-05

Design and application of low-cost radar flow measurement system in irrigation areas

HU Jinhui¹, ZHOU Kezhi², ZHAO Jianjun², YI Jiufang², SUN Yin²

(1. Gaoyou Irrigation District Management Division of Gaoyou City, Yangzhou 225600, Jiangsu;

2. Gaoyou Water Conservancy Bureau, Yangzhou 225600, Jiangsu)

Abstract: Flow monitoring is an important measure of water resources management, which is of great significance in accurately measuring the section of open channel and the flow data of intake and discharge outlets. A low-cost radar flow measurement system was proposed for the purpose of "simple operation, reliable performance, economical and practical features" in order to solve the problems of poor flow measurement accuracy, high instrument cost, wide distribution of monitoring points and large number of required equipment in traditional irrigation areas, so as to reduce the overall cost of flow measurement in irrigation areas.

Key words: flow monitoring; irrigation areas; low-cost; radar flow measurement

1 概 述

灌区是由水源、渠道、田地、作物组成的复杂环境^[1]。用水管理不仅是灌区管理的核心内容之一,更是灌区实现“信息化”覆盖的重点所在。但是在灌区灌溉系统中,由于各条支渠分布情况复杂、数量较多、距离不定、存在个别偏远地点,故而构建“信息化”系统十分困难,最大的难点之一便是明渠的流量监测。目前,国内外流量在线监测的方法和手段主要有时差法、二线坡能法、ADCP、非接触雷达波在线测流法等,各种监测方法都取得了一些成功案例,但这些监测方法均有其应用边界条件,不

同的监测环境需结合实际选择不同的监测方式。其中,非接触测流系统是一种采用雷达多普勒原理来测量表面流速,借用大断面数据、同步采集或从已有系统获取实时水位,从而推算出流量的新测验方式。该类测流系统具备以下特点:一是非接触、安全低损、少维护、无泥沙影响;二是在洪水期高流速条件下也能进行测验;三是比多普勒声学接触式流速测验系统功耗低很多,一般太阳能供电即可满足测流需要;此外安装结构简单,土建量很少,运行可靠、稳定^[2]。而且,现阶段市场上提供的自动流量监测系统普遍价格昂贵,单站成本高达数十万元,达不到灌区测流低成本、广覆盖的基本要求,而

收稿日期:2019-10-14

作者简介:胡锦涛(1971—),男,工程师,主要从事水利信息化技术研究与应用工作。

雷达测流系统价格低廉,性价比较高。因此本文针对这一系列问题,提出了一种基于雷达监测的低成本河道明渠自动测流遥测站系统,在大幅度降低仪器成本至单个站点价格3~5万元的同时,还保证了自动流量监测的精确度。

2 工作原理

该测流系统采用了一种新型雷达二合一设备,如图1所示,可同时测量流量和水位。其中雷达测水位部分,采用雷达测距效应,用无接触的方法测量水面高度。雷达波以光速发射并反弹再被接收,其差时可以通过电子部件测量并被转换为水位信号^[3]。通过一种特殊的时间延伸方法可以确保极短时间内稳定和精确的测量。再利用水位遥测终端,将雷达信号采集,传输,完成对水位的测量。由信号激励系统产生22~26 GHz的载波,经三角波线性调制信号调制后的高频振荡载波信号,经定向耦合、放大等电路送至天线端进行发射。发射出去的信号在遇到障碍物时返回,形成天馈系统的回波输入。接收单元电路在通过一系列预处理后,与发射系统定向耦合过来的信号进行两级或多级差拍,差拍后的信号就包含有目标的距离信息。

在不考虑其他因素条件下,测目标距离为 R ,光速已知,则雷达接收到的回波信号在时间上与本振信号相比将有 $t=2R/C$ 的时间延迟,将回波信号与发射信号相干混频得到的拍频信号即为延迟时间内信号频率的变化^[4]。

$$R = \frac{cT_m f_b}{4B} \quad (1)$$

式中: R 为目标距离; c 为光速; T_m 为调制周期; B 为频偏量; f_b 为平均差频。

雷达测流量部分采用平面微波技术,用多普勒雷达原理测量水流的表面流速,利用内置的微带雷达技术测量水位。依据流速-面积法,先测得水位换算出断面面积,再由表面流速结合断面参数换算出平均流速,通过建立圆形、矩形和梯形等明渠断面流速分布的经验公式,结合水力模型算法来求取流量;是一种非接触式的,在不改变渠道、河道、管道等边界条件下准确测量流量的测流仪器^[5]。

通过雷达流速探头可以获取并换算平均流速,通过雷达水位探头可以获取并换算水深,断面流量等于平均流速×水流截面积×岸边系数。在灌区明渠中,常见的灌区明渠断面类型有矩形、梯形或者U型;常用的坡地为干、支渠纵坡;2种常用的糙

率为混凝土渠壁和浆砌石渠壁。对于这些常见的明渠,其底坡、糙率均是确定的,在断面的流速分布中,流速具有很强的对称性,而且灌区断面上、下游顺直段较长,且断面左右对称,流速分布具有对称性好的特点。根据断面形式、底(纵)坡和糙率对流速场分布进行修正;使用的湍流数学模型主要是RNG(重整化群) $k-\varepsilon$ 模型,计算精度高,数值稳定性好,计算数据量适中。

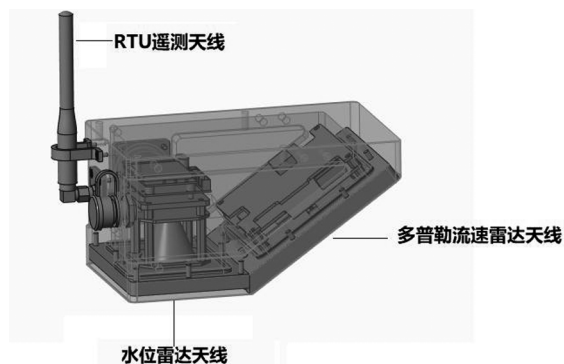


图1 新型二合一雷达流量遥测设备结构

3 系统架构

测流系统由二合一雷达流量监测站、无线通讯网络、数据采集终端、太阳能供电系统构成,如图2所示。该系统通过数据采集终端内嵌的智能采集软件,自动采集水位/流速/流量监测终端的数据并进行分析处理,实现对用水量变化的实时监控;同时,各级监控中心(省、市、县)可通过GIS平台综合监控所有流量监测站点的水位、流速和流量情况,以达到取水量监控预警的目的。

4 系统设计

4.1 二合一雷达流量监测站方案

雷达流量监测站的核心设备为二合一雷达流量计以及智能RTU终端。流量计包含2个探头,一个用于测量水体表面流速,另一个用于测量水位。智能RTU终端内嵌FAMM大断面测流模型,可根据实际水体环境,对内嵌参数进行优化率定,提高测流的精确度,其工作原理如图3所示。

雷达流量监测站是参照“无人值守、有人看管”的管理模式建设而成,以智能自动测流RTU终端作为数据的采集和传输单元,实现水情信息的自动采集和远程传输,同时配置通信终端、供电系统、避雷设备等。监测站所用RTU内置有FAMM模型,可通过预先设定的断面参数,将所测得的表面流速转化为断面平均流速。同时,根据雷达流量计实测水

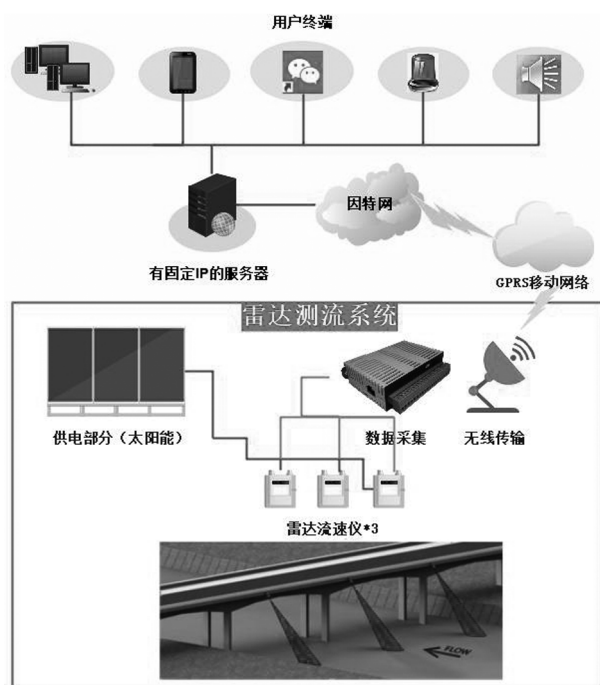


图2 测流系统架构图

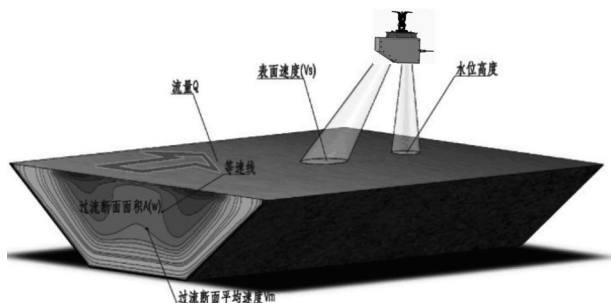


图3 二合一雷达流量计工作原理

位数据,结合断面几何参数,可自动推算出断面面积,再根据流速面积法公式,即可求得流量。除此之外,该 RTU 终端内嵌的遥测协议具备极强的兼容性,可兼容使用《水文监测数据通信规约 SL651-2014》的水文水资源中心站平台,并支持对其他通讯协议的扩展。

雷达流量监测站选用的二合一雷达流量计是一款基于微波技术的全自动流量计,它采用先进的 K 波段平面雷达技术,通过非接触的方式测量水体的流速和水位,根据内置的软件算法,计算并输出实时断面流量及累计流量;该产品具有功耗低、体积小、可靠性高、维护方便的特点;测量过程不受温度、泥沙、河流污染物、水面漂浮物等因素的影响。配合一定的率定手段进行校准,可以达到更精确的流量测算。该雷达流量计的组成包括:雷达流速传感器、雷达水位传感器、安装支架等,既可以通过数字(485、232)或者模拟(4-20 mA)的方式传

输测量结果;也可以通过无线 Lora 技术实现 5 km 的数据传输。具体参数详见表 1。

4.2 二合一雷达流量监测站安装

河道非接触式流量监测,是在满足测流精度要求的情况下,根据引水河道断面情况,按照河道宽度,选择不同的监测方案:10 m 以下河道采用单点(杆式)安装测流方式,10~20 m 河道采用双点(杆式)安装测流方式,20 m 以上河道采用阵列(缆道或者桥侧)安装测流方式,并根据不同安装方式配置适当的测流设备。

4.2.1 单点杆式安装方式

杆式流速仪支架由主钢管柱、水平钢管、钢筋混凝土基础 3 个部分组成。主钢管柱高 5~6 m,选用直径 300~200 mm、壁厚 8 mm 的热镀锌八棱变径钢管,太阳能电池板安装在柱顶;水平钢管悬臂长度为 2~6 m,选用直径 250~150 mm、壁厚 6 mm 的热镀锌八棱变径钢管。钢筋混凝土基础根据地质情况可采用图 4 独立基础或桩基础,当建设地点位于河道内、较陡斜坡上或地基土较差时采用桩基础。

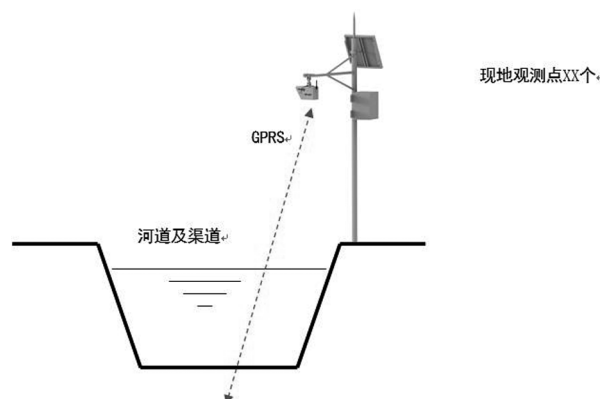


图4 单点杆式安装方式

4.2.2 多点阵列式安装方式

当河道宽度大于 20 m 时需要布置多个测点的时候,最好的安装方式是借助现有的桥侧安装固定,如果没有可以利用的桥面,需要采用缆道的安装方式,由缆道钢管柱、拉索、钢柱基础、地锚基础四部分组成。缆道钢管柱高 6 m,选用直径 300~200 mm、壁厚 12 mm 的热镀锌八棱变径钢管,柱顶固定流速仪拉线和拉锚索;拉线规格为 1×7Ø11.40 镀锌钢绞线,长度应根据现场实际情况确定。钢柱基础、地锚基础均采用 C30 独立基础,以天然地基作为基础持力层,地基承载力特征值不小于 120 kPa。图 5 为利用桥侧安装的示意图。

4.3 供电系统

测流系统一般采用太阳能供电,但考虑到长时

表 1 二合一雷达流量计技术参数

设备参数	雷达多普勒流速部分	平板雷达水位部分
雷达功率	100mW	100mW
雷达频率	24GHz	24GHz
测量距离	40m	40m
测速范围	0.03 ~ 20m/s	/
测速精度	0.01m/s	≤ ± 5mm
天线角度	12°	11°
测量方向	自动识别水流方向,内置垂直角度自动校正	

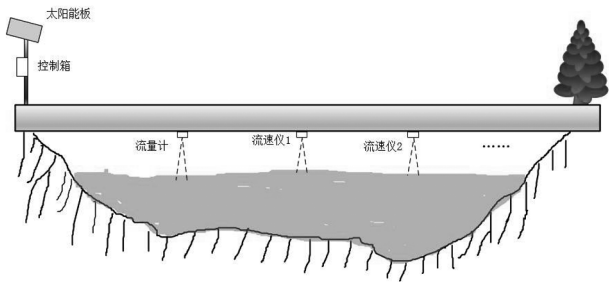


图 5 多点阵列式安装方式

间阴雨天气的特殊气候状况,为保证雷达流量监测站设备总成能够正常工作,测流系统配备大容量蓄电池,支持太阳能/市电两种浮充供电方式,该蓄电池可在断开充电电路后连续工作 1 个月左右。

4.4 测流工具软件

测流系统还配套了相关软件,通过该软件可实现参数率定的可视化操作,如图 6 所示。同时,针对不同水体情况,检测人员可通过软件实时优化模

型参数,提高河渠流量的测量精确度。该软件与 RTU 终端可通过串口连接,实现河渠流量的现场测量、率定及计算。

5 实际应用

按照《河流流量测验规范》(GB50179 - 2015)规定,流速仪比测试验系统误差不超过 ± 1%,比测条件好的相对偏差不超过 ± 3%,比测条件差的不超过 ± 5%^[6]。同时,参照《声学多普勒流速仪测流规范》,岸边流速系数 α 的取值范围为 0.67 ~ 0.75^[7]。

为验证测流系统的实际应用情况,本文通过对同水位比测试验的 16 份流量资料列表进行计算,得出了雷达测流系统的绝对误差和相对误差数据,详见表 2 及图 7。

通过对比走航式测流数据与雷达测流数据,可分析两者的相对误差基本控制在 12% 以下,满足规

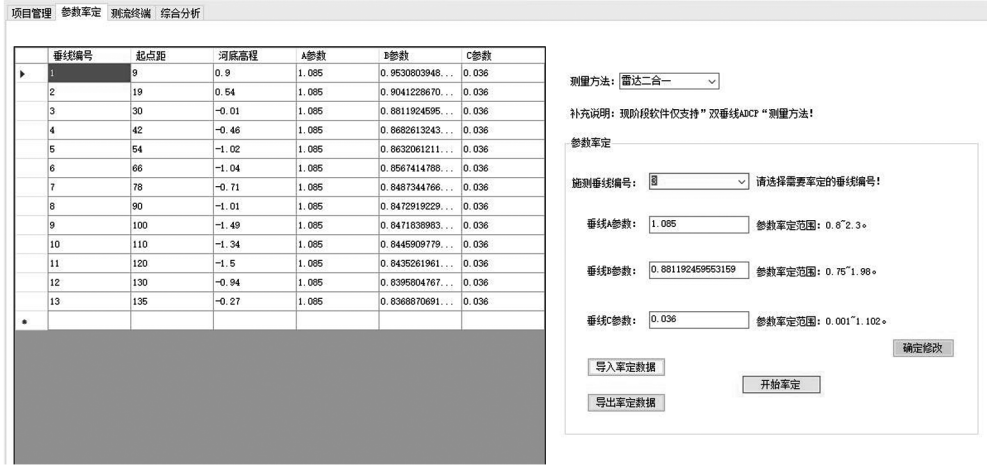


图 6 配套软件截图

表 2 雷达测流系统的实际应用误差分析

序号	水位(m)	走航实测流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	雷达实测流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	绝对误差	相对误差比值
1	1.72	21.87	22.56	0.69	0.03
2	1.81	27.09	30.45	3.36	0.12
3	1.98	47.41	54.07	6.66	0.14
4	2	55.46	61.58	6.12	0.11
5	2.1	89.74	83.28	-6.46	-0.07
6	2.18	86.61	92.92	6.31	0.07
7	2.45	139.43	171.56	32.12	0.23
8	2.47	167.70	196.90	29.20	0.17
9	2.87	277.88	308.00	30.12	0.11
10	2.99	336.91	353.47	16.55	0.05
11	3.01	346.48	360.08	13.61	0.04
12	3.12	435.79	396.27	-39.52	-0.09
13	3.21	475.37	423.67	-51.70	-0.11
14	3.23	472.41	465.22	-7.19	-0.02
15	3.31	500.64	517.57	16.93	0.03
16	3.51	546.83	566.87	20.04	0.04

范的技术要求。

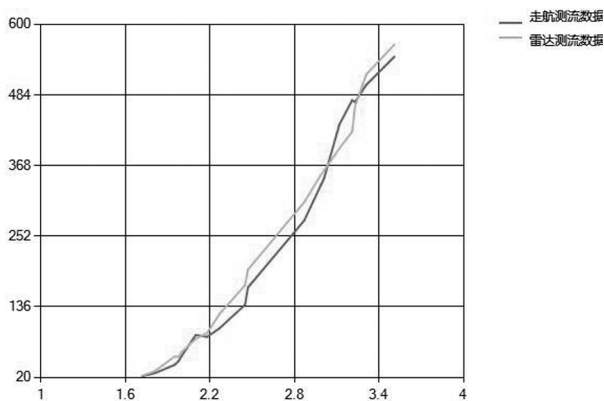


图 7 测流数据对比图

6 结 语

本文所应用系统是以二合一雷达测流站为核心,结合灌区灌溉用水特点,将计算机通信技术、网络技术和自动控制技术集成起来,组成一个完整的灌区测流系统。该系统成本低廉、操作便捷、更配有太阳能供电系统,适用于地形复杂的灌区情况,可以广泛推广,具有极高的使用价值。

参考文献:

- [1] 郭荣祥,马磊,马和平. 基于 GPRS 的灌区明渠测流系统研究与设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2010(5): 96-98.
- [2] 李子龙,解传奇,邓启勇. 水文缆道耦合雷达波在线测流系统应用研究[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2019, 36(1): 10-13.
- [3] 周克志,胡锦辉. 浅析我国灌区排灌站流量计算方法及监测技术[J]. 陕西水利, 2018(A01): 86-88.
- [4] 周凌芸,潘仁红, ZHOU Lingyun, 等. 非接触式雷达测流技术在阳朔水文站的应用[J]. 广西水利水电, 2014(2): 56-59.
- [5] 周密,庞超. 基于 K 波段的雷达水位计设计[J]. 中国农村水利水电, 2013(06): 95-97.
- [6] 鲁秉晓,马龙剑,庆文生. 雷达波测流仪在李家村水文站水面流速系数确定试验中的应用分析[J]. 地下水, 2019(9): 146-147.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 河道流量测验规范: GB50179—2015[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- [8] 中华人民共和国水利部. 水文资料编整规范: SL247—2012[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.