

Application of Radar Wave Current Measurement System in Small and Medium Rivers

Hong Jiang¹, Xiao Gui², Liuqing Xu²

¹Jiangxi Jiujiang Hydrology Bureau, Jiujiang Jiangxi

²Jiangxi Jingdezhen Hydrology Bureau, Jingdezhen Jiangxi

Email: 33288997@qq.com, 273833101@qq.com, 407688722@qq.com

Received: Jan. 11th, 2019; accepted: Jan. 26th, 2019; published: Feb. 2nd, 2019

Abstract

Fixed rotating radar wave flow meter realizes the automation of flow measurement in hydrological stations, and solves the problem of automatic flow measurement in small and medium-sized rivers and mountainous rivers under unattended conditions. This paper briefly introduces the principle of non-contact radar wave flow measurement technology. Taking Chenjiabu hydrological station in Jingdezhen city as an example, the data stability of radar wave flow meter and its correlation with cable flow meter are analyzed, so as to accumulate experience for popularizing the application of radar wave flow meter in medium and small rivers.

Keywords

Radar Wave Flow Meter, River Flow Monitoring, Data Analysis, Small and Medium Rivers

雷达波测流仪在中小河流的应用

江虹¹, 桂笑², 许柳青²

¹江西省九江水文局, 江西 九江

²江西省景德镇市水文局, 江西 景德镇

Email: 33288997@qq.com, 273833101@qq.com, 407688722@qq.com

收稿日期: 2019年1月11日; 录用日期: 2019年1月26日; 发布日期: 2019年2月2日

摘要

固定旋转式雷达波测流仪, 实现了水文站流量测验的自动化, 很好地解决了无人值守条件下中小河流、山区性

作者简介: 江虹, 女, 1982年出生, 大学本科, 主任科员, 从事水文监测、水文资料计算、分析工作。

暴涨暴落河流流量自动测验难题。本文简介非接触式雷达波测流技术原理，以景德镇市陈家埠水文站为例，分析雷达波测流仪数据稳定性以及与缆道流速仪相关关系，为推广雷达波测流仪在中小河流的应用积累经验。

关键词

雷达波测流仪，河道流量监测，数据分析，中小河流

Copyright © 2019 by authors and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前，水文监测面临传统水文站数量多、人工方式控制测流工作效率低、洪水期测流安全威胁大、高洪水位时流量测验及时性差等问题，尤其还存在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。解决无人值守条件下中小河流、山区性暴涨暴落河流流量自动测验难题，可极大地促进传统水文技术的进步，具有广阔的市场前景和社会价值。

固定旋转式雷达波在线测流系统是非接触测流系统，由雷达波流速仪、测流控制及数据传输系统、旋转结构、水位计、太阳能供电系统、支架和中心站管理软件组成。系统利用雷达测速探头实测主槽中泓若干条垂线水面流速，雷达测速控制器可根据测速垂线起点距位置、当前水位等，将雷达测速探头水平和垂直组合旋转一定的角度，完成对指定测速垂线上方水面流速的实测。系统控制器收到雷达测速控制器发送的实测水面流速数据后，将采集到的水位数据一并发送给流量计算终端，实时计算出断面流量，系统控制器将水位、流速、流量及工况数据发送给遥测终端机，并通过 GPRS 网络将数据发送到中心站，从而实现断面无人值守自动测验。

2. 雷达波测流系统

2.1. 工作原理

雷达波流速仪测速的原理是应用多普勒效应(即移动物体对所接收的电磁波有频移的效应)，根据接收到的反射波频移量计算得出被测物体的运动速度。使用雷达波流速仪测量流速时仪器不需接触水体，即可测得水体表面运动速度(水面流速)，属非接触式测量。测速时仪器固定在岸上或桥上，工作时雷达波流速仪发射的微波射到被测水体的水面上，一部分微波被水体吸收，一部分微波被水面波浪的迎波面反射回来，产生多普勒频移信息被仪器天线接收。据此测出反射信号和发射信号的频率差，计算出水面流速。雷达波流速仪的特点是测量速度快，适合在洪水期使用。由于测速时不受水面漂浮物、水质、水流状态的影响，而且流速愈大，漂浮物愈多，反射波愈强，有利于雷达波流速仪工作。

在实际应用中，固定旋转式雷达测流仪位于水面上方，以一定的俯角向水面发射雷达波，并接收从水面返回的雷达波信号，根据雷达波反射特性和多普勒测速特性，回波信号的频率变化与水面流速成正比关系，传感器通过检测频率变化得到水面流速。计算公式如下[1][2]：

$$V = \frac{C}{2f_0 \cos \theta} f_D = Kf_D \quad (1)$$

式中：V 为水面流速； f_0 为发射声波频率； f_D 为多普勒频移量(频率差)；C 为电波在空气中传播速度； θ 发射波与水流方向的夹角，是俯角和方位角的合成。

2.2. 技术参数

固定旋转式雷达测流仪采用 RG30 雷达探头，具体参数如下：

测速范围：0.15~15.00 m/s；测速精度： ± 0.02 m/s；

最大测程：30 m；波束宽度： 12° ；

微波功率：最大 130 mA；工作频率：24 GHz。

3. 陈家埠站概况

该站于 2011 年 7 月设立，位于江西省乐平市礼林镇陈家埠村，东经 $117^\circ 09' 55''$ ，北纬 $28^\circ 51' 07''$ 。监测断面设于安殷水，集水面积 615 km^2 ，至河口距离 12.6 km。属国家中小河流水文站、流量三类精度站。测验项目有水位、流量、降水量等。

河道顺直长约 1 km，主河槽呈 U 型，上游约 500 m 处有一大弯道，下游 300 m 处有一沙洲有急滩，沙洲长约 250 m 将安殷水分为左右两支，经过沙洲后合并，下游 600 m 处有一大弯道，对本站中、低水起控制作用。测验河段大致顺直，长约 600 m，中高水主槽宽度为 70~100 m，当水位达 27.50 m 时，左、右岸均有较大滩地，低水时左岸有回流，左、右岸均有死水区。河床由岩石、卵石、泥沙、粘土组成，河床基本稳定，河岸为泥土。滩地均为菜地和水田，河岸生长杂草、树木，枯水期河堤有水草，洪水期漂浮物为杂草、树枝等物，对测验工作有影响，历年大断面图见图 1。

洪水来源为上游降水；一次洪水过程 1~2 天，洪峰持续时间 0.5~1 h，具有暴涨暴落山区河流特性；洪水一般为单峰型，间断性暴雨时也会出现复式或连续多个复式峰型；水位流量关系为单一曲线关系，目前资料整编采用单一曲线法。

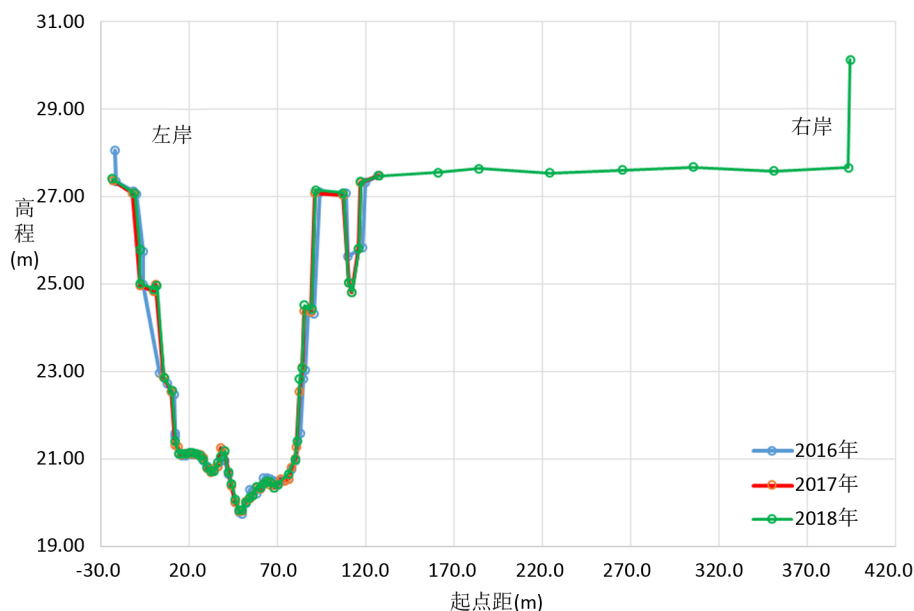


Figure 1. Large section map at Chenjiabu hydrological station in past years

图 1. 陈家埠水文站历年大断面图

4. 比测试验

4.1. 设备安装

雷达波在线测流系统探头总共有 3 个，分别悬挂在江村大桥上，探头前端逆水流方向并与垂直方向夹角为

45°，根据控制系统发出的指令每隔一个小时进行测量 3 条垂线水面流速，安装位置见图 2。

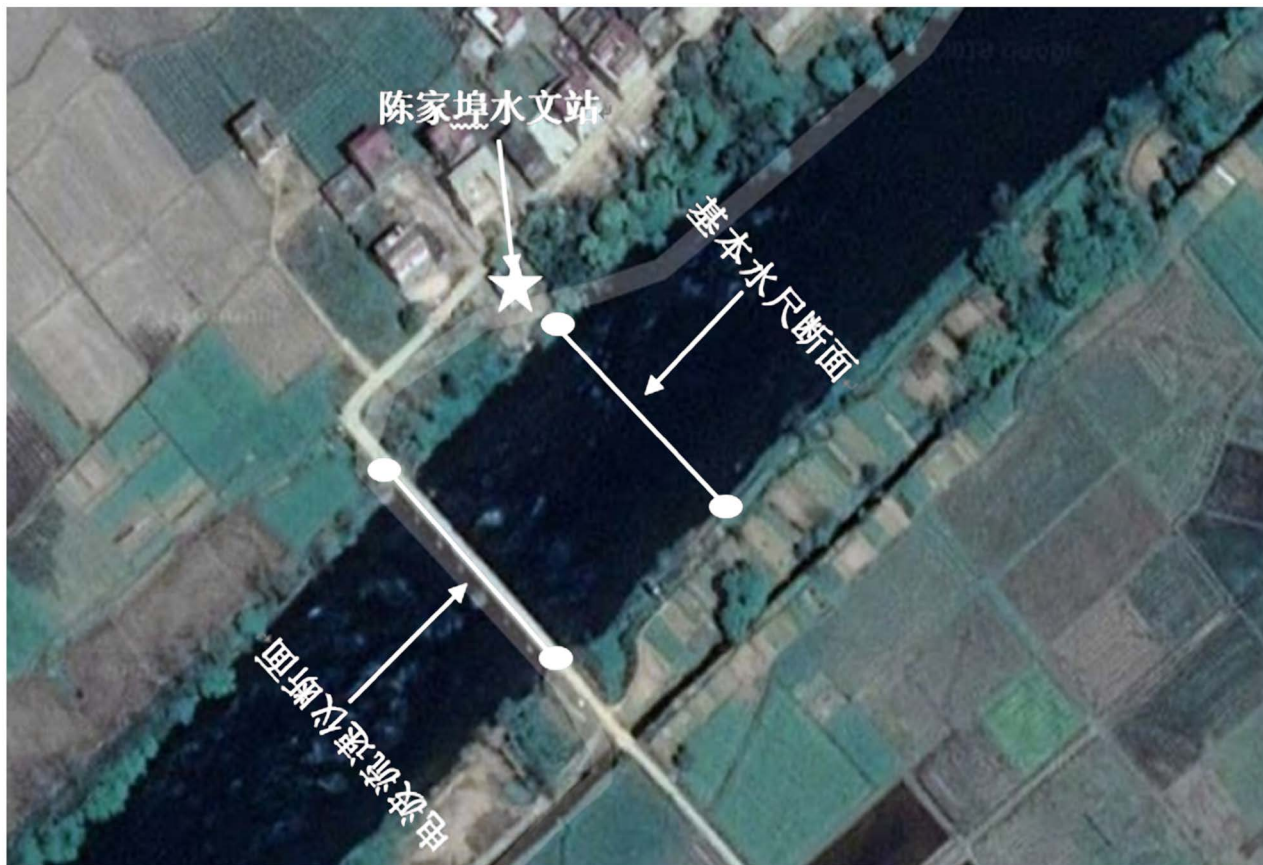


Figure 2. Installation location of radar wave current meter at Chenjiabu hydrological station

图 2. 陈家埠水文站雷达波测流仪安装位置

4.2. 试验情况

陈家埠水文站 2016~2018 年雷达波在线数据共 13,076 组；其中 2017 年数据 6831 组，数据缺失率低，连贯性好，最具代表性，本次分析采用 2017 年雷达波在线数据。同时采取缆道流速仪法的实测流量资料 41 份。

5. 成果分析

5.1. 数据稳定性分析

为分析雷达波测流仪测流数据的稳定性，将 2017 年各相同水位流量数据进行描述统计分析，分析结果见表 1，从表中可以看出，在 21.6 m 以上雷达波测流数据较稳定，原因是水位在 21.6 m 时，陈家埠水文站雷达波测流断面河床多出裸露，影响回波因素较多，导致测流数据不理想。

5.2. 雷达波测流仪水位流量关系相关分析

将雷达波测流数据按月划分系列，每个系列中，将相同水位下的流量数据平均处理，点绘雷达波水位流量相关图(见图 3)，可以看出在水位 21.60 m 以下点据分布散乱，21.60 m 以上点据分布呈带状分布，说明在水位 21.60 m 以下雷达波流量测验不稳定，选取 21.60 m 以上雷达波流量数据，点绘水位流量关系图，见图 2，根据《水文资料整编规范》(SL 247-2012) [3]进行三检计算，结果见表 2。

Table 1. Statistical results of radar wave flow measurement data
表 1. 雷达波测流数据描述统计结果

水位	项目	平均	标准误差	中位数	众数	标准差	方差	峰度	偏度	区域	最小值	最大值	求和	观测数
21.2		11.18	2.52	7.34	7.34	6.18	38.14	-0.06	1.28	14.16	7.34	21.5	67.06	6
21.25		17.29	1.88	15.90	7.96	7.77	60.40	1.42	0.95	29.24	7.96	37.2	293.94	17
21.3		21.90	0.78	18.50	18.50	9.22	85.03	28.12	4.06	86.32	8.58	94.9	3021.68	138
21.4		30.24	0.81	29.40	21.10	9.29	86.38	-0.32	-0.16	43.66	9.84	53.5	3961.14	131
21.5		36.69	1.13	41.30	43.90	9.37	87.72	-0.15	-0.48	47.4	11.1	58.5	2531.3	69
21.6		48.57	0.53	46.40	46.40	4.40	19.38	4.26	2.19	21.5	43.4	64.9	3302.8	68
21.7		53.17	0.38	52.80	51.40	2.60	6.77	5.93	2.39	12.7	50.6	63.3	2499.1	47
21.8		58.44	0.48	57.80	57.80	3.05	9.33	30.31	5.20	21.1	55	76.1	2337.6	40
21.9		63.37	0.25	62.90	62.90	1.20	1.45	6.48	2.69	4.5	62.5	67	1457.6	23
22		68.81	0.25	68.70	#N/A	0.66	0.44	2.41	1.23	2.1	68	70.1	481.7	7
22.1		79.04	1.01	78.00	78.00	3.65	13.30	6.88	2.35	15	74.8	89.8	1027.5	13
22.2		88.19	1.30	87.30	#N/A	3.43	11.75	-1.37	0.59	8.8	84.4	93.2	617.3	7
22.3		98.35	1.68	97.50	#N/A	5.30	28.12	-0.23	0.40	17.8	90.2	108	983.5	10

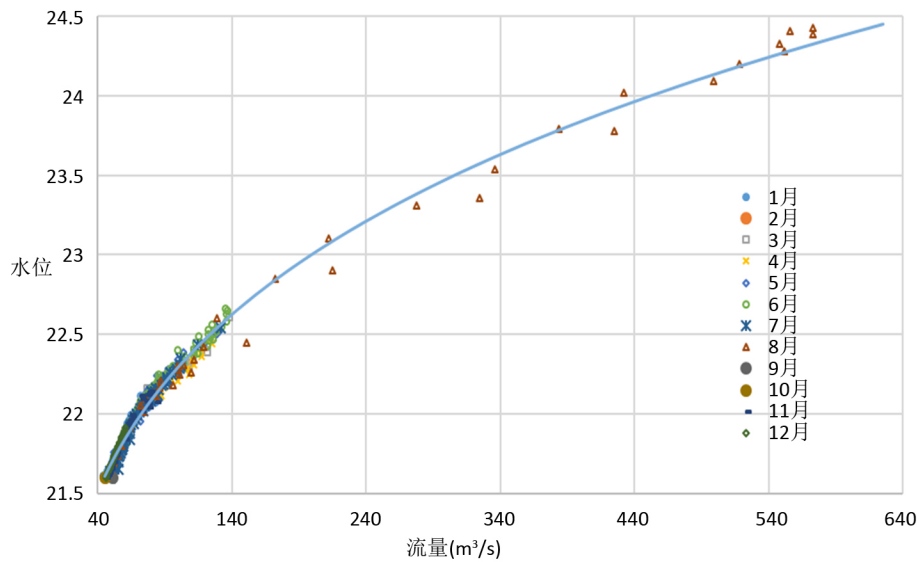


Figure 3. Water level and flow diagram of radar current meter at Chenjiabu hydrological station
图 3. 陈家埠水文站雷达波测流仪水位流量关系图

Table 2. Test results of water level-flow relation of radar wave flow meter
表 2. 雷达波测流仪水位流量关系检验成果表

项目	计算值	允许值	合理性
符号检验	0.52	1.15	合理
适线检验	不做检验	1.64	合理
偏离数值检验	0.23	1.28	合理
系统误差(%)	0.11	±2%	合理
随机不确定度(%)	5.2	6.0	合理

5.3. 雷达波测流仪与缆道流速仪相关分析

为实现陈家埠站在线式 ADCP 正式应用的目的，依据《声学多普勒流量测验规范》(SL337-2006) [4]有关规定及相关技术要求，必须开展指标流速与断面平均流速关系的比测率定工作。要求在高中低各水位级同步测量 30 组对比数据以上，通过线性回归的率定分析方法确定其流量或流速关系。

根据上述分析结果及缆道流速仪测流成果，在相同水位下分别摘取缆道流速仪法流量和雷达波流量数据，点绘流量关系图，见图 4。可以看出，在水位 21.60 m 以上水位流量关系稳定，河道流量三检结果见表 3。

$$Q = 0.000009Q_{\text{雷达}} - 0.0014Q_{\text{雷达}} + 1.147Q_{\text{雷达}} - 29.783 \quad (2)$$

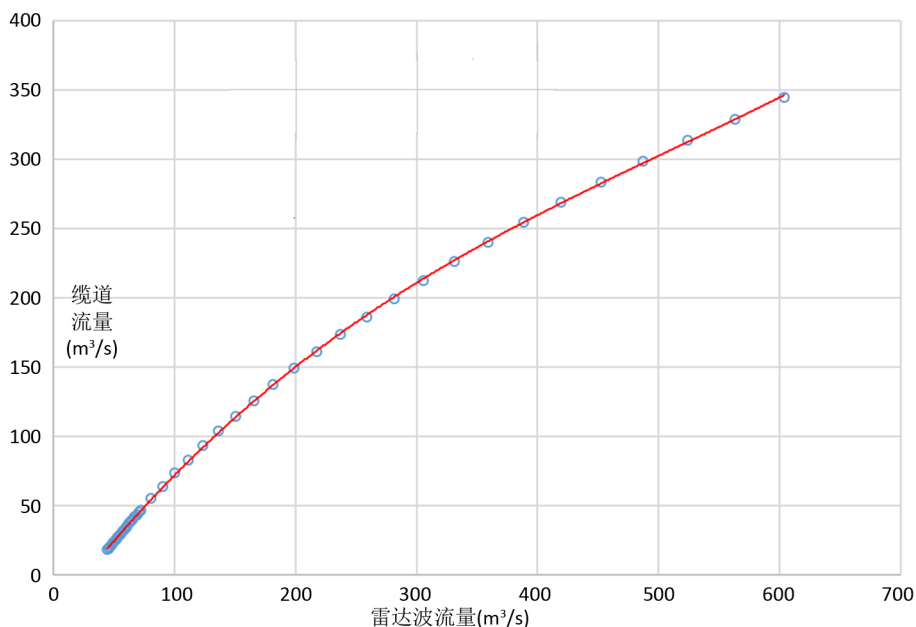


Figure 4. Flow relation diagram of radar wave flow meter and cable flow velocimeter
图 4. 雷达波测流仪与缆道流速仪流量关系图

Table 3. Test results of relationship between radar wave current meter and cable flow meter
表 3. 雷达波测流仪与缆道流速仪关系检验成果表

项目	计算值	允许值	合理性
符号检验	0.62	1.15	合理
适线检验	不做检验	1.64	合理
偏离数值检验	0.43	1.28	合理
系统误差(%)	1.05	±2%	合理
随机不确定度(%)	4.9	6.0	合理

建立了雷达波测流仪与缆道流速仪流量相关关系后，在实际工作中即可采用雷达波测流仪数据，根据公式(1)计算出河道流量，从而真正实现流量的在线监测。

6. 结语

通过在陈家埠水文站的实验成果分析，认为通过雷达设备测量水面流速解决陈家埠水文站中高水测流难题的方案是切实可行的，而且具有安全快捷、测量数据效果佳的特点。下一步陈家埠水文站将做好数据收集，资

料分析工作,并及时增加、完善有关配套的 RTU 等远程数据传输设备,实现长期自动在线监测功能,同时对景德镇水文局其它中小河流站进行仪器安装,数据分析等工作,充分发挥该项技术的便捷、高效性能。

雷达波测流系统是集测流、无线传输、测验数据库管理、网站发布、业务处理于一体的全自动流量测验系统,软件操作和设备安装简便,易行易学易会,无需设备进入水体,是一种较为理想的测验方式,特别是随着目前中小河流水文站网建设逐步完善,水文系统面临站点多、人员少的困难,雷达波测流系统是实现“无人值守”较为理想的选择。

参考文献

- [1] 林祚顶. 水文现代化与水文新技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
LIN Zuoding. Hydrological modernization and new hydrological technologies. Beijing: China Water Resources and Hydropower Publishing House, 2008. (in Chinese)
- [2] 王春泽. 水文知识读本[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.
WANG Chunze. Hydrological knowledge reader. Beijing: China Water Resources and Hydropower Publishing House, 2011. (in Chinese)
- [3] 水文资料整编规范(SL 247-2012) [S].
Hydrological data reduction code (SL 247-2012). (in Chinese)
- [4] 声学多普勒流量测验规范(SL337-2006) [S].
Specification for acoustic Doppler flow measurement (SL337-2006). (in Chinese)