

# 非接触式流量在线监测技术在山区性河流的应用研究

李庆平 秦文安 毛启红

(恩施州水文水资源勘测局,湖北恩施 445000)

**摘要:**以利川市小河沟水文站为例,采用德国 RQ24 非接触式雷达流量自动化遥测系统进行明渠流量测验并与声学多普勒流速剖面仪(ADCP)流量测验结果对比研究,探讨非接触式流量在线监测技术在山区性河流推广的可行性。

**关键词:**非接触式;多普勒效应;雷达自动测流

中图分类号:P338.9

文献标志码:A

文章编号:1008-8423(2013)03-0354-03

## Application of Non-contact Flow Online Monitoring Technology in Mountainous Rivers

LI Qing-ping, QIN Wen-an, MAO Qi-hong

(Enshi Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Enshi 445000, China)

**Abstract:** This paper takes the hydrologic station for streams in Lichuan City as an example. RQ24 non-contact measurement of discharge with radar is used to measure the open-channel flow, which is compared with the measurement of discharge with Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). The feasibility of popularizing the non-contact discharge online monitoring technology in mountainous rivers is also discussed.

**Key words:** non-contact discharge measurement; Doppler effect; automatic measurement of discharge with radar

水文行业整体的现代化水平偏低,表现在以下两方面:一是流量测报科技含量较低,自动化水平不高,缺乏实时在线监测技术和设备,流量测验仍以传统方法技术为主,流量测验设施、测报技术手段等与防汛要求不相适应,制约着水文的快速发展。二是水文测报系统实用性的软件有待开发完善。目前,计算机的使用已很普及,但水文站在流量数据资料的采集处理上大部分仍用人工施测、校对、点绘水位流量关系图、人工查线,人工编报,无法实现计算机快速自动处理,其原因是缺乏在线实时流量信息采集的测量仪器、数据接口技术和相关软件,无成功经验可以借鉴。德国 SEBA 公司 RQ24 非接触式雷达流量自动化遥测系统,其特点是非接触、非接触式雷达测流系统土建简单,便于随时维护,少受水毁影响,不受污水腐蚀,保障人员安全,不仅可用于平时环境监测,而且特别适合承担急难险重观测任务。全系统由雷达测速、水位传感器等组合而成。该站的建设突破了传统的建站模式,水位、流量、雨量采集仪器均集合在一个带有悬臂的支架上,除建有 2 个基本水准点及一组基本水尺外,无站房、无缆道、无测船、无水位井等传统测验设施设备,通过对非接触式流量在线监测技术在山区河流的应用研究能达到对山区河流、水位变化幅度在 20 m 以内的水库入库站实现无人值守,让非接触式流量监测运用于实际生产。

### 1 基本情况

清江发源于齐跃山东侧的汪营镇龙洞沟,在利川市境内流经石坝、汪营、凉务、大塘、元堡和利川市城区至落水洞进入伏流,经过约 9 km 的伏流至黑洞出流,下游经恩施、长阳,于枝城汇入长江。清江干流在落水洞以上流域面积 836 km<sup>2</sup>,河长 76.6 km,主河纵坡 0.94‰。清江干流上游利川段设有利川水文站,属国家基本站,控制流域面积 513 km<sup>2</sup>。清江从利川城内蜿蜒流过,流经城区的河段长达 10 km 左右,由于下游落水洞泄洪能力有限,稍遇大暴雨,城区就会因回水造成部分区域淹没。为推进利川市城区防洪体系建设,构建稳定和谐利川,加强对城区下游的水位流量监测、预警工作显得十分必要。2009 年 10 月在城区下游小河沟处建设了小河

收稿日期:2013-07-21。

作者简介:李庆平(1963-),女,高级工程师,主要从事水文水资源勘测分析研究。

沟自动遥测水文站,小河沟自动遥测水文站控制流域面积 828 km<sup>2</sup>,包含了利川水文站以下元堡河、三道河共 190.3 km<sup>2</sup>集水面积,小河沟水文站流域水系(如图 1 所示)。

### 2 RQ24 非接触式雷达测流系统测量原理

小河沟水文站采用 RQ24 非接触式雷达测流系统,由雷达测速仪、雷达水位计、数据采集平台、GSM 数据传输模块和中心站流量管理软件组成<sup>[1]</sup>。通过电学多普勒原理测量流速,脉冲式雷达波测量相应水位。将雷达传感器与水位测验结合,组成一个流量测验系统。流速传感器和水位传感器安装在牢固的机箱里,可适应风、雨、雪等恶劣的环境,而且,传感器部分有角度调整基准装置,操作较简单。



图 1 小河沟水系及站网分布图  
Fig.1 The stream water and station net distribution map

#### 2.1 流速测量

小河沟水文站自动测定流速基于多普勒原理。多普勒法测量原理是依据声波中的多普勒效应,其检测量为漂移量。发送、接收天线发出 24 G 赫兹固定频率的雷达波,雷达波在水面产生反射后被天线接收,并得到一个具体的位移值。接下来,对接收到的信号进行过滤,进行频谱分析。处理单元对测验信号进行进一步的统计和数学评估,得出表面流速值 V,通过串口或以 4~20 mA 的模拟量输出<sup>[2]</sup>。

#### 2.2 水位测验

与传统水位观测设施不同,小河沟水文站水位计采用非接触的雷达水位计,基本原理为测定发送和回声返回之间的时间间隔,测量的是水位计基准点至水面的距离。雷达向测流河道发射低于微秒范围长度的脉冲,雷达波以光速进行散射,信号发射与接收的时间间隔和传感器与水面的距离是成比例的。

#### 2.3 流量测验

将雷达传感器与水位测验结合,即可组成一个流量测验系统。测验系统可以计算当前流量值 Q,并以模拟信号或者通过串口输出,将水位、流量信息传输到恩施州水情分中心,从而实现水情信息实时在线测流。

根据连续性原理,断面过水面积乘以断面平均流速即得流量  $Q = V_M \times A$ 。

其中: Q 表示流量(m<sup>3</sup>/s); V<sub>M</sub>表示平均流速(m/s); A 表示过水面积(m<sup>2</sup>)。

雷达所测表面测点流速 V<sub>1</sub>与断面平均流速 V<sub>M</sub>是不同的,其关系为:  $K = V_M / V_1$ , 替换得:  $Q = A(h) \times V_1 \times K$ <sup>[2]</sup>

式中: K 表示流量系数(断面形状与河段糙率对流量的综合影响因素); V<sub>M</sub>表示平均流速(m/s); V<sub>1</sub>表示测点表面流速(m/s)。K 值取决于测验时的水位,可以通过施测不同水位的流量或者利用模型(例如, SIMK 模型)事先率定<sup>[1]</sup>。过水面积 A 可根据水位与水位面积关系计算得到,过水面积值和对应的 K 值都储存在传感器的参数表中。

### 3 比测情况

为了检验该系统,利用走航式 ADCP 流量测验<sup>[3]</sup>对其进行比测。在比测过程中,RQ24 非接触式雷达测流系数 K 值在中水以上偏小,从流量测验比测结果看,两者之间还有一定偏离,比测结果如表 1。

水位误差产生原因复杂,与断面形状变化情况、实时气象、水文因素影响有关,高水时因风浪影响与人工观测值会有浪值误差。由水位流量关系图得到,当水位在超过 1.061 m 后,同水位下遥测流量比实测流量小,分析原因是因为水文测验中多种不确定条件因素综合影响造成,通过改正流量系数 k 值为 -11.9 进行修订完成误差纠偏。小河沟水文站现运行稳定,利用回归分析率定小河沟水文站水位~流量关系线,能满足生产实践需求,回归方程<sup>[4]</sup>如下:  $y = 3E-11x^4 + 4E-08x^3 - 5E-05x^2 + 0.0282x + 1056.3$ 。

$$R^2 = 0.9986$$

$$\text{测点标准差按下式计算: } S_s(\%) = \sqrt{\frac{1}{(n-2)} \times \sum \left( \frac{Q_i - Q_{ci}}{Q_{ci}} \right)^2} = 6.2$$

随机不确定度按下式计算:  $X_a' = 2S_e = 12.4^{[4]}$ . 系统误差(%): 采用测点对关系线相对误差的均值-3.0. 计算结果满足三类精度水文站水位流量关系精度指标.

表 1 利川小河沟水位流量比测表

Tab.1 Lichuan river channel water flow ratio measuring instrument

| 实测水位    | 遥测水位    | 水位误差  | 实测流量  | 遥测流量 | 流量误差  | 相对误差  | 实测水位    | 遥测水位    | 水位误差  | 实测流量  | 遥测流量 | 流量误差  | 相对误差  |
|---------|---------|-------|-------|------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|------|-------|-------|
| 1056.96 | 1057    | 0.04  | 21.3  | 24   | 2.7   | 0.13  | 1059.6  | 1059.58 | -0.02 | 165.0 | 152  | -13.0 | -0.08 |
| 1059.71 | 1059.73 | 0.02  | 174.0 | 155  | -19.0 | -0.11 | 1059.54 | 1059.61 | 0.07  | 167.0 | 149  | -18.0 | -0.11 |
| 1059.14 | 1059.21 | 0.07  | 140.0 | 127  | -13.0 | -0.09 | 1058.84 | 1058.9  | 0.06  | 121.0 | 109  | -12.0 | -0.10 |
| 1058.42 | 1058.51 | 0.09  | 97.9  | 85.8 | -12.1 | -0.12 | 1057.56 | 1057.76 | 0.2   | 44.5  | 47.1 | 2.6   | 0.06  |
| 1057.54 | 1057.55 | 0.01  | 49.1  | 40.4 | -8.7  | -0.18 | 1057.54 | 1057.6  | 0.06  | 50.8  | 42.3 | -8.5  | -0.17 |
| 1056.94 | 1056.84 | -0.1  | 23.2  | 18.6 | -4.6  | -0.20 | 1057.02 | 1057.05 | 0.03  | 26.2  | 22.4 | -3.8  | -0.15 |
| 1057.87 | 1057.71 | -0.16 | 75.2  | 48.4 | -26.8 | -0.36 | 1058.02 | 1057.98 | -0.04 | 85.1  | 59.1 | -26.0 | -0.31 |
| 1058.14 | 1058.12 | -0.02 | 93.3  | 66.9 | -26.4 | -0.28 | 1058.36 | 1058.34 | -0.02 | 109.0 | 81.4 | -27.6 | -0.25 |
| 1058.52 | 1058.52 | 0     | 120.0 | 93.1 | -26.9 | -0.22 | 1058.7  | 1058.66 | -0.04 | 130.0 | 101  | -29.0 | -0.22 |
| 1058.84 | 1058.84 | 0     | 124.0 | 112  | -12.0 | -0.10 | 1059.2  | 1059.29 | 0.09  | 148.0 | 139  | -9.0  | -0.06 |
| 1059.22 | 1059.39 | 0.17  | 145.0 | 141  | -4.0  | -0.03 | 1059.1  | 1059.3  | 0.2   | 131.0 | 132  | 1.0   | 0.01  |
| 1058.9  | 1059.12 | 0.22  | 130.0 | 119  | -11.0 | -0.08 | 1058.86 | 1059.08 | 0.22  | 121.0 | 116  | -5.0  | -0.04 |
| 1058.81 | 1059.02 | 0.21  | 123.0 | 113  | -10.0 | -0.08 | 1058.64 | 1058.87 | 0.23  | 102.0 | 104  | 2.0   | 0.02  |
| 1058.63 | 1058.8  | 0.17  | 110.0 | 102  | -8.0  | -0.07 | 1058.3  | 1058.53 | 0.23  | 78.3  | 85.9 | 7.6   | 0.10  |
| 1058.06 | 1058.35 | 0.29  | 75.5  | 74.3 | -1.2  | -0.02 | 1058.06 | 1058.27 | 0.21  | 78.5  | 73.3 | -5.2  | -0.07 |
| 1056.36 | 1056.36 | 0     | 7.56  | 3.69 | -3.9  | -0.51 | 1056.35 | 1056.36 | 0.01  | 7.71  | 3.97 | -3.7  | -0.49 |
| 1056.34 | 1056.35 | 0.01  | 7.23  | 3.65 | -3.6  | -0.50 | 1056.32 | 1056.34 | 0.02  | 6.78  | 3.72 | -3.1  | -0.45 |
| 1056.3  | 1056.32 | 0.02  | 6.37  | 3.22 | -3.2  | -0.49 | 1062.9  | 1062.9  | 0     | 445.0 | 435  | -10.0 | -0.02 |
| 1062.92 | 1062.92 | 0     | 436.0 | 435  | -1.0  | 0.00  | 1062.92 | 1062.92 | 0     | 448.0 | 431  | -17.0 | -0.04 |
| 1062.9  | 1062.92 | 0.02  | 420.0 | 438  | 18.0  | 0.04  | 1062.9  | 1062.91 | 0.01  | 430.0 | 436  | 6.0   | 0.01  |
| 1062.63 | 1062.7  | 0.07  | 410.0 | 409  | -1.0  | 0.00  | 1062.38 | 1062.49 | 0.11  | 400.0 | 386  | -14.0 | -0.04 |
| 1062.01 | 1062.12 | 0.11  | 362.0 | 364  | 2.0   | 0.01  | 1061.86 | 1061.98 | 0.12  | 351.0 | 356  | 5.0   | 0.01  |
| 1061.68 | 1061.81 | 0.13  | 343.0 | 339  | -4.0  | -0.01 | 1061.36 | 1061.46 | 0.1   | 311.0 | 313  | 2.0   | 0.01  |
| 1060.94 | 1061.02 | 0.08  | 274.0 | 272  | -2.0  | -0.01 | 1060.72 | 1060.74 | 0.02  | 269.0 | 247  | -22.0 | -0.08 |
| 1060.77 | 1060.77 | 0     | 261.0 | 247  | -14.0 | -0.05 | 1060.72 | 1060.76 | 0.04  | 254.0 | 241  | -13.0 | -0.05 |
| 1060.23 | 1060.32 | 0.09  | 217.0 | 207  | -10.0 | -0.05 | 1059.9  | 1059.99 | 0.09  | 194.0 | 180  | -14.0 | -0.07 |
| 1059.62 | 1059.74 | 0.12  | 173.0 | 163  | -10.0 | -0.06 | 1059.2  | 1059.28 | 0.08  | 144.0 | 129  | -15.0 | -0.10 |
| 1059.08 | 1059.13 | 0.05  | 141.0 | 119  | -22.0 | -0.16 |         |         |       |       |      |       |       |

#### 4 结论

非接触式测量技术具有测量速度快、能保障测量人员安全、减少测量仪器损失、安装更为便捷等优势,但在测量精度和稳定性方面,接触式测量较高<sup>[5]</sup>. 小河沟水文站经过两年运行,人工水位与雷达水位基本相符;流量在线施测成果适线检验符合测验精度要求;水位流量关系定线精度满足三类站精度要求. 说明 RQ24 非接触式雷达测流系统其测流精度和稳定性还有待提高<sup>[6]</sup>,但采用 RQ24 非接触式雷达测流系统可连续取得实测流量资料,这对于工程水文及设站条件不具备的山区性河流,是流量实时监测的一种新手段,尤其在解决复杂流态的流量测验问题方面将起到积极的作用. 在山区性河流推广应用具有可行性.

#### 参考文献:

- [1] RQ24 流量测验系统用户手册[Z]. 德国 SEBA 公司, 2008.
- [2] 声学多普勒流量测验规范[Z]. 中华人民共和国水利部, 2006.
- [3] 蒋松年. ADCP 的观测及资料处理技术[J]. 海洋技术, 1992(1): 274-276.
- [4] 张云辉. 多元线性回归在月高水位预报方程中的应用[J]. 东北水利水电, 2004, 22(2): 15-16.
- [5] 陆伟佳. 时露. 浅谈雷达测流技术在美国的发展[J]. 水利水电发展, 2006, 12(4): 43-45.
- [6] 马淇. 非接触式水位测量技术在美国的发展[J]. 水利水电自动化, 1999(1): 49-53.