

# RT30微波流速仪在策勒站干旱区河流的率定分析

陈文豪

新疆维吾尔自治区和田水文勘测中心

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6745

**[摘要]** 在干旱区山区河流中,传统转子流速仪在高洪、强冲淤和流态复杂条件下存在施测困难、安全性低等问题。微波雷达测速技术以其非接触式测量特点,在复杂水文环境中具有较大应用潜力。本文以策勒(三)水文站为研究对象,利用2025年7—8月同步观测的RT30微波流速仪与缆道转子流速仪实测数据,对RT30微波流速仪的测速精度、适用性及影响因素进行了系统分析。

**[关键词]** RT30微波流速仪; 干旱区河流; 策勒(三)水文站; 流速比测; 雷达测速; 水文测验

中图分类号: S342.1 文献标识码: A

## Application and Calibration Analysis of the RT30 Microwave Current Meter in Arid Mountain Rivers: A Case Study of Cele (III) Hydrological Station

Wenhao Chen

Hotan Hydrological Survey Center of Xinjiang Uygur Autonomous Region

**[Abstract]** In the mountainous rivers of arid regions, traditional rotor current meters face challenges such as difficulty in deployment, low safety, and operational limitations under conditions of high floods, intense sediment transport, and complex flow regimes. Microwave radar velocity measurement technology, with its non-contact measurement characteristics, shows significant application potential in complex hydrological environments. This study focuses on the Cele (III) Hydrological Station in Xinjiang. Using synchronous observation data from an RT30 microwave current meter and a cableway rotor current meter collected from July to August 2025, a systematic analysis was conducted on the velocity measurement accuracy, applicability, and influencing factors of the RT30 microwave current meter.

**[Key words]** RT30 microwave current meter; arid region rivers; Cele (III) Hydrological Station; flow velocity comparison; radar velocity measurement; hydrological survey

### 引言

干旱区内陆河流多源于高山冰雪融水,具有“降水稀少、蒸发强烈、径流年内集中、洪水陡涨陡落”的特点。流域多呈现典型的“山地—绿洲—荒漠”格局,河流坡降大、泥沙含量高、冲淤变化剧烈,对传统水文测验方法构成严峻挑战。在高洪期,河道流速大、水深变化快、漂浮物多,采用缆道悬垂转子流速仪进行测验,不仅操作难度大、安全风险高,而且在流态紊乱、断面变形明显时,测验精度也难以保证。近年来,随着雷达、激光、声学等新技术在水文测验中的应用,非接触式测速、测流技术逐步成为研究和推广的热点。微波雷达测速技术具有无需接触水体、安装维护方便、适应恶劣环境等优势,在国内外已有一定应用。RT30微波流速仪作为一种基于多普勒效应的K波段雷达测速设备,在河道流速监测中具有较大潜力。然而,由于不同河流在水力特性、河床组成、断面形态、流态结构等方面差异显著,微波雷达测速的精度和适用性仍需通过与传统标准方法的比测

率定进行验证。

### 1 研究背景

策勒河是新疆和田地区典型的干旱区山区河流,其流域水文过程具有显著的干旱区内陆河特征。策勒(三)水文站作为国家重要水文站,承担着雨情、水情情报和预报任务,测验项目齐全,资料系列长,具有良好的代表性。本文选取策勒(三)水文站作为研究区域,利用2025年汛期RT30微波流速仪与缆道转子流速仪的同步观测数据,开展以下工作:分析RT30微波流速仪在干旱区山区河流条件下的测速精度与系统误差;探讨RT30微波流速仪测得流速与转子流速仪流速的相关性及校正关系;研究断面冲淤变化、流态改变等因素对RT30微波流速仪测速结果的影响;提出RT30微波流速仪在类似流域推广应用的技术要点与建议。

### 2 测验河段与断面特征

策勒(三)水文站测验河段顺直长约150米,河槽窄深,主槽

靠左岸,宽16至22米,砂砾石河床冲淤变化较大。两岸为混凝土护岸,无植被。测验河段形态主要受基上约80米处右岸一座铅丝笼卵石挡水坝控制,该坝使河槽保持单式形态。坝上河滩宽阔,滩中有弯曲河槽:中小水时,水流经此槽汇入基本断面,受坝体导流影响,水流左偏,造成右岸淤积、左岸冲刷,主流带位于起点距24至30米;高水时,水流漫滩,流速增大,将中小水期右岸淤积物冲刷搬运,导致右岸在此期间反而冲刷加剧并发生抬升,水退后重新开始淤积。测验断面无明显岔流、回流或感潮影响。冬季因右岸流速小、主流靠左,受冰情影响显著,常需在基上或基下另选合适河段进行测验。

### 3 RT30微波流速仪

OTT HydroMet RT30是一款采用K波段微波雷达技术的非接触式流速测量设备。其基本工作原理是:仪器通过天线向水面发射微波信号,部分信号被水面反射后返回仪器,仪器根据回波信号的多普勒频移计算水面流速。与传统接触式流速仪不同,RT30微波流速仪不需要将传感器浸入水中,因此可以有效避免水流冲刷、泥沙磨损、漂浮物缠绕以及结冰等因素对仪器造成的损害。

RT30微波流速仪具有以下主要特点:(1)非接触式测量。传感器安装于桥梁、缆道支架或专用支架上,俯视水面即可完成测量,避免了接触式仪器在高流速、高含沙水流中的损坏风险。(2)高精度。在良好工况下,流速测量精度可达 $\pm 0.03$  m/s,能够满足多数水文测验对流速精度的要求。(3)抗干扰能力强。内置先进的信号处理与滤波算法,可在一定程度上抑制雨、雪、波浪和水面漂浮物等造成的干扰,提高数据稳定性。(4)安装简便:无需修建复杂的测井或水下结构,可快速安装于已有桥梁或支架上,显著降低土建和安装成本。(5)低功耗运行。设备功耗较低,适合采用太阳能供电,用于偏远地区和无人值守站点的长期监测。(6)坚固耐用。外壳采用耐腐蚀材料,防护等级可达IP68,能够适应低温、高温、风沙等恶劣环境。(7)多种输出接口。支持SDI-12、RS-485、4-20mA等多种工业标准接口,方便与各类数据采集器和水文自动测报系统对接。

### 4 RT30微波流速仪实测数据分析

#### 4.1 数据选用与处理

本次RT30微波流速仪率定试验时间为2025年7月—2025年8月,共计进行流速比测104次。比测期间流速范围为1.60~3.70 m/s,水位范围为1552.45~1553.31m。所有比测数据均与缆道悬垂转子流速仪同步测量获得。在比测过程中,由于策勒(三)水文站断面受洪水冲淤影响较大,7月21日以后,断面V3所在起点距28.0m处形成类似“喇叭口”的局部流态,在水位1552.75m以下流态紊乱,导致铅鱼难以固定,RT30微波流速仪在该位置测速时雷达波束摆动较大,回波信号不稳定,与转子流速仪测得流速相比出现明显异常。经对数据进行分析与筛选,共舍弃明显异常的比测数据43次,最终参与率定分析的有效样本数为61次。

在数据处理过程中,对同步观测的RT30微波流速仪数据与转子流速仪数据进行了以下处理步骤:对原始数据进行时间对

齐和匹配,确保每一组比测数据对应同一时刻、同一垂线位置;对明显超出合理范围的数据进行剔除,如因信号中断、设备故障等造成的缺失或异常值;对保留的有效数据进行统计分析,包括相关关系分析、趋势对比分析以及误差与不确定度计算。

#### 4.2 测点流速相关性分析

为分析RT30微波流速仪与转子流速仪测得流速之间的关系,对V2、V3两个测点的同步测速数据进行了相关性分析,并点绘相关关系图。通过线性回归分析,得到V2、V3两处RT30微波流速仪测得流速与转子流速仪流速的关系方程分别为:

-对于V2测点:  $V_{\text{流速仪}} = 0.7071 \times V_{\text{雷达波}} + 1.449$

-对于V3测点:  $V_{\text{流速仪}} = 0.3092 \times V_{\text{雷达波}} + 2.4285$

从相关关系图可以看出,RT30微波流速仪测得的流速与转子流速仪流速整体上呈较好的线性相关关系,数据点大多分布在拟合直线附近,表明在本试验条件下,RT30微波流速仪对水面流速的反映较为可靠。

#### 4.3 垂线流速趋势分析

为进一步检验RT30微波流速仪对断面流速分布的反映能力,选取校正后的RT30微波流速仪流速与转子流速仪测得的流速各31次,点绘各垂线位置测点流速分布图(见图1、图2)。

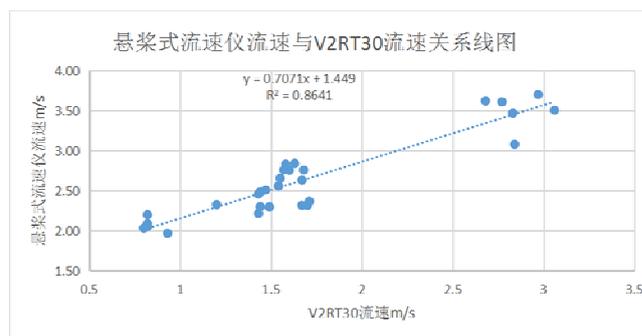


图1 悬梁式流速仪流速与V2RT30流速关系线图

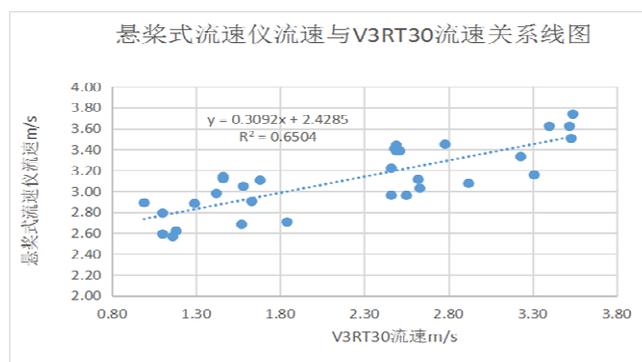


图2 悬梁式流速仪流速与V3RT30流速关系线图

由图1、图2可以看出,在相近水位条件下,RT30微波流速仪在各垂线位置测得的流速与转子流速仪结果在空间分布趋势上基本一致:主流区流速较大,近岸区流速较小;流速沿断面横向的变化趋势相似,高流速带的位置基本一致;各垂线测点流速数值总体接近,未出现系统性的偏高或偏低。综合来看,可以判定

RT30微波流速仪施测的各垂线测点流速与缆道转子流速仪施测结果在变化趋势上一致,且所测流速数值大致相近,说明RT30微波流速仪不仅能够准确反映单点流速,而且能够较好地刻画断面流速分布特征。

#### 4.4 测速精度分析

对61组同步测速数据进行误差分析,计算系统误差、标准差及不同误差范围内的数据点个数,结果如下:(1)V2、V3两处测点的标准差分别为6.9%和6.4%,均在可接受范围内,表明RT30微波流速仪测速结果具有较好的稳定性;(2)系统误差分别为0.0%和1.0%,说明RT30微波流速仪在本断面条件下不存在明显的系统性偏差,或偏差较小;(3)在±8%误差范围内的数据点数量较多,特别是V3测点有27个数据点误差在±8%以内,占该测点参与统计点据的较大比例;(4)最大相对误差分别为14.2%和9.58%,主要出现在流态较为复杂或断面冲淤变化较为剧烈的时段,说明在极端工况下,RT30微波流速仪的测速误差有所增大。综合考虑策勒(三)水文站流量测验精度等级为三类精度,泥沙测验为三类精度,RT30微波流速仪在本研究中的测速误差总体上能够满足该站常规水文测验对流速测量精度的要求。

### 5 结论与建议

#### 5.1 主要结论

根据策勒(三)水文站2025年7—8月RT30微波流速仪与缆道转子流速仪的同步比测数据,经相关性分析、趋势对比分析和误差分析,得出以下结论:

(1)流速相关性良好。在61次有效比测中,RT30微波流速仪测得的各垂线测点流速与转子流速仪结果在变化趋势上高度一致,流速相关关系较好。V2、V3两处测点的流速相关方程分别为: $-V2: V_{流速仪}=0.7071 \times V_{雷达波}+1.449$ ;  $-V3: V_{流速仪}=0.3092 \times V_{雷达波}+2.4285$ 。

(2)测速精度满足三类精度要求。V2、V3两处测点的标准差分别为6.9%和6.4%,系统误差分别为0.0%和1.0%,最大相对误差分别为14.2%和9.58%。在中高水、流态相对稳定条件下,RT30微波流速仪的测速误差总体可控制在可接受范围内,能够满足三类精度水文测验对流速测量的要求。

(3)断面流速分布反映较为准确。通过对各垂线位置流速分布的对比分析可以看出,RT30微波流速仪测得的断面流速分布与转子流速仪结果基本一致,能够较好地反映主流区与近岸区的流速差异,对断面流速场的刻画具有较高的可信度。

(4)适应干旱区山区河流恶劣环境。RT30微波流速仪采用非接触式测量方式,安装简便,无需接触水体,能够有效避免高含沙水流、漂浮物和结冰等因素对仪器的损害,适合在干旱区山区河流高洪期使用,可显著提高测验效率和作业安全性。

(5)对断面冲淤和流态变化较为敏感。当断面发生强烈冲淤或局部流态紊乱时,RT30微波流速仪的测速误差有所增大,部分数据点的相对误差超过10%。这表明在断面形态快速变化或局部流态复杂的工况下,RT30微波流速仪的测速精度受到一定影响,需要结合现场实际情况进行判断和取舍。

#### 5.2 应用建议

结合本研究结果和策勒(三)水文站实际情况,提出以下应用建议:

(1)高洪期可作为重要补充手段。在高洪期,当转子流速仪施测困难或存在安全风险时,可根据现场条件选择采用RT30微波流速仪进行流速测量。在中高水、流态相对稳定条件下,可使用本次率定得到的相关方程对雷达测得流速进行校正,以提高流量计算精度。

(2)严格控制施测条件与信号质量。使用RT30微波流速仪进行测速时,应密切关注外界条件和仪器信号质量。当回波信号强度不足、信号不稳定或出现明显干扰时,不应将该时段的流速数据用于正式测验或流量计算,以免引入较大误差。

(3)重视断面冲淤和流态变化监测。由于RT30微波流速仪对断面冲淤变化及局部流态改变较为敏感,在施测前应尽量掌握断面近期冲淤情况,必要时进行断面测量或流速分布探查。当发现断面形态发生显著变化或局部流态异常时,应谨慎使用RT30微波流速仪数据,必要时采用转子流速仪进行对比验证。

(4)定期开展比测率定。建议每年至少开展1~3次RT30微波流速仪与转子流速仪的同步比测,以检验雷达探头性能是否衰减、仪器是否工作正常,并根据新的比测数据对流速相关方程进行更新,确保仪器长期运行过程中的测速精度与可靠性。

(5)继续积累资料,扩大验证范围。建议在今后的工作中继续同步收集缆道转子流速仪流量与RT30微波流速仪测验资料,尤其是在不同水位级、不同洪水类型和不同季节条件下的数据,进一步验证RT30微波流速仪在更宽流速范围和更多工况下的适用性和稳定性,为在类似干旱区山区河流推广应用提供更充分的技术依据。

#### [参考文献]

- [1]孙一鸣,刘俊,张芳芳,等.非接触式微波流速仪在西北干旱区山洪监测中的应用分析[J].水文,2021,41(4):65-70.
- [2]李志鹏,高凡.基于RT30微波流速仪的干旱区山区河流流量反演模型研究[J].水资源与水工程学报,2022,33(2):123-129.
- [3]SL247—2020,水文资料整编规范[S].

#### 作者简介:

陈文豪(1994—),男,汉族,江苏连云港人,本科,助理工程师,研究方向为水文勘测。