

# 走航式 ADCP 在水文流量测验中的应用分析

王同鹏

伊犁水文勘测中心

DOI:10.12238/hwr.v9i1.6044

**[摘要]** 走航式ADCP(Acoustic Doppler Current Profilers)作为一种先进的声学多普勒流速剖面仪,近年来在水文流量测验中得到了广泛应用。本文通过分析走航式ADCP的基本原理、技术特点及其在实际应用中的优势与局限性,探讨了其在提高水文流量测验精度、效率和安全性方面的作用。本文旨在为水文流量测验领域的技术人员提供参考,推动水文现代化建设。

**[关键词]** 走航式ADCP; 水文流量测验; 声学多普勒; 流速剖面; 实时测量

中图分类号: P331 文献标识码: A

## Analysis of the Application of Vessel-Mounted ADCP in Hydrologic Flow Measurement

Tongpeng Wang

Yili Hydrological Survey Center

**[Abstract]** As an advanced Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), the vessel-mounted ADCP has been widely applied in hydrologic flow measurement in recent years. This paper discusses its role in improving the accuracy, efficiency, and safety of hydrologic measurements by analyzing the basic principles, technical characteristics, advantages, and limitations of vessel-mounted ADCP in practical applications. The paper aims to provide a reference for technicians in the field of hydrologic flow measurement and promote the modernization of hydrology.

**[Key words]** Vessel-Mounted ADCP; Hydrologic Flow Measurement; Acoustic Doppler; Velocity Profile; Real-Time Measurement

### 引言

水文流量测验作为水资源管理与环境保护的基石,对于准确评估水资源量、有效预测洪水灾害及科学制定水资源分配策略具有至关重要的作用。尽管传统流速仪法在水文流量测验历史上扮演了重要角色,但其固有的操作繁琐、耗时较长及易受人因素干扰等局限性,严重制约了其应用效率与数据精度。科技的进步为这一领域带来了革新,走航式声学多普勒流速剖面仪(ADCP)以其独特的优势脱颖而出。走航式ADCP利用多普勒效应原理,通过发射并接收声学信号来精确测量水流速度,不仅测量范围广、精度高,而且具备实时性强、操作简便等诸多优点。更重要的是,其测验时间短、资料完整且信息量大,极大地提升了水文流量测验的效率和准确性。鉴于此,对走航式ADCP在水文流量测验中的深入探索与研究,不仅有助于推动水文流量测验技术的现代化进程,更是提升水资源管理水平、保障水资源可持续发展的关键所在。

### 1 走航式ADCP基本原理

走航式声学多普勒流速剖面仪(ADCP)是一种基于声学多普勒效应原理的先进水流测量设备,该设备通过发射声脉冲波并

接收反射回来的信号,测量水体中颗粒物的速度,从而推算出水流的流速。其独特的剖面测量能力和数据处理方法使得ADCP在水文流量测验中具有广泛的应用前景和重要的研究价值。

(1) 声学多普勒原理。ADCP利用声学多普勒原理进行流速测量。多普勒效应是指当发射源与接收体之间存在相对运动时,接收到的信号频率与发射信号频率存在差异的现象。在ADCP中,这一原理被应用于测量水流中颗粒物质的运动速度。

(2) 工作原理。ADCP工作时,其换能器向水体发射声脉冲波。这些声脉冲波在水中传播时,会被水体中的颗粒物质(如悬浮物、溶解物质等)散射。散射回波被ADCP的换能器接收,并与发射波进行比较。通过测量发射波与散射回波之间的频率差(即多普勒频移),可以推算出水流中颗粒物质的运动速度。

(3) 相对流速与绝对流速的测量。ADCP测量的流速是水流相对于测量平台的流速,即相对流速。为了得到水流的绝对流速,需要知道测量平台(如测船)的移动速度。这通常通过“底跟踪”方法或GPS定位法来实现。底跟踪方法是通过发射声波遇到海底后反射回来的多普勒频移来计算船速,而GPS定位法则是通过测量经纬度位置反演船速。

(4) 剖面测量与流速分布。ADCP不仅能够测量单点流速,还能够进行剖面测量,即测量水体中不同深度的流速分布。这是通过将水体在垂向上划分为多个有效单元,并分别测量每个单元的流速来实现的。这种剖面测量能力使得ADCP能够更全面地了解水流的动态特性。

(5) 数据处理与流量计算。ADCP测量的原始数据需要经过一系列处理才能得到最终的流速和流量结果。这包括船速处理、声速校正、偏角校正等步骤。通过这些处理步骤,可以消除各种误差因素,提高测量结果的准确性。最终,利用处理后的数据,可以计算出整个断面的流量。

## 2 走航式ADCP技术特点

走航式ADCP以其高精度测量、高机动性与灵活性、多参数同时测量以及高度自动化与智能化等技术特点在水文流量测验中表现出色,这些特点使得ADCP成为水文流量测验中的重要工具,为水资源管理和防洪减灾提供了有力的技术支持。

(1) 高精度测量。走航式ADCP利用声学多普勒原理进行流速测量,其测量误差在4%以内,高水期甚至达到1%左右。这种高精度测量能力得益于先进的信号处理技术和精确的算法,使得测量结果更加可靠和准确。在水文流量测验中,高精度的测量结果对于评估水资源量、预测洪水灾害等具有重要意义。

(2) 高机动性与灵活性。走航式ADCP安装在测船或小型浮体上,可以横渡水面测量断面及流速分布。这种安装方式使得ADCP具有极高的机动性和灵活性,能够迅速响应测量需求,适用于大江大河、河口及洪水时的流量测量。此外,走航式ADCP还可以根据不同的测量需求进行灵活配置,如调整测量频率、波束角度等参数,以适应不同的水流条件和测量环境。

(3) 多参数同时测量。走航式ADCP不仅能够测量流速,还能同时获取水深、断面数据等水文参数。这种多参数同时测量的能力使得ADCP在水文流量测验中更加全面和高效。通过测量水深和流速分布,可以计算出断面的流量,进而评估水资源的利用情况。同时,ADCP还可以提供底速度、水温、航向等附加信息,为水文研究提供更丰富的数据支持。

(4) 高度自动化与智能化。走航式ADCP内置GPS和罗经等导航设备,无需附加定位装置即可实现自动定位。此外,ADCP还配备了先进的数据处理软件 and 用户界面友好的操作界面,使得测量过程更加自动化和智能化。用户可以方便地设置测量参数、监控测量状态并实时查看测量结果。这种高度自动化和智能化的特点大大提高了测量效率和准确性,降低了人工操作的复杂性和误差。

## 3 走航式ADCP在水文流量测验中的应用优势

走航式声学多普勒流速剖面仪 (ADCP) 在水文流量测验中展现出了显著的应用优势,这些优势不仅提高了测验的效率和准确性,还降低了劳动强度并增强了安全性。以下结合新疆天山北坡高寒地带地区的水文特点,详细阐述走航式ADCP的四大应用优势。

(1) 提高测流效率。新疆天山北坡高寒地带,地形崎岖复杂

加之极端的气候条件,使得水文流量测验工作面临重重挑战。传统流速仪由于测量方式限制,不仅耗时长,且需人工逐点测量,难以应对这一特殊环境的高效测验需求。而走航式ADCP不仅能够一次性测量整个河流断面的流速分布,而且不受极端天气和复杂地形的限制,即使在严寒的冬季和恶劣的气象条件下,也能保持稳定的测量性能。这一特性使得测验人员能够迅速、准确地获取到关键的水文数据,无需再耗时费力地进行逐点测量,显著加快了测验进程。

(2) 降低劳动强度。在新疆天山北坡高寒地带进行水文流量测验,传统流速仪的使用往往需要工作人员在极端严寒、风雪交加的环境中长时间作业,不仅劳动强度极大,且因恶劣条件导致测量误差和人为错误的风险增加。而走航式ADCP的应用显著改变了这一状况,它允许工作人员在相对温暖和安全的操控室内,通过电脑监控仪器状态,即可轻松完成流速测量。这不仅极大地降低了工作人员的劳动强度,避免了长时间户外作业带来的健康风险,同时也显著提升了测量的稳定性和准确性,确保了在极端气候条件下仍能获取高质量的水文数据。

(3) 提高测流安全性。在天山北坡高寒地带,河流往往流经崎岖的山区,冰期长且水流湍急,测流过程中存在较大的安全风险。走航式ADCP支持无线操作,工作人员可以在岸上通过简易过河索等装置安装并操控ADCP,无需亲自渡河,从而避免了在冰冷刺骨、水流湍急的河水中作业的风险。这不仅大大降低了测流过程中的安全风险,还提高了测验的灵活性和适应性。

(4) 提高测量准确性。新疆天山北坡高寒地带的气候条件对河流流速和形态有着显著影响。由于气温低,河流的结冰期和封冻期较长,导致河流在特定时期内的流速变化更为剧烈。ADCP还能够测量整个河流断面的流速分布,这对于计算流量值具有重要意义。通过测量河流断面不同位置的流速,ADCP可以生成流速分布图,进而更精确地计算出流量值。这对于水文监测、水资源管理和防洪减灾等方面都具有重要意义。除了流速测量外,ADCP还能够提供水深、底速度等额外水文信息。特别是在新疆天山北坡高寒地带,这些信息有助于我们更全面地把握河流的水文特征,为当地的水资源管理、防洪减灾和生态保护提供科学依据。

## 4 走航式ADCP在水文流量测验中的应用局限

走航式声学多普勒流速剖面仪 (ADCP) 在水文流量测验中虽然具有显著优势,但也存在一定的应用局限性。

(1) 含沙量影响。走航式ADCP作为声学测验设备,其测量效果受到河流中含沙量的显著影响。当河流中含沙量较大时,泥沙颗粒会削弱仪器声波的发射和接收,导致测量信号减弱,从而影响测量结果的准确性和可靠性。因此,在含沙量较大的河流中使用ADCP时,需要选择低频率的ADCP以减小泥沙对声波的影响,或者结合其他测量手段(如雷达流速仪、激光流速仪等)进行联合测量,以提高测量结果的准确性。

(2) 河底推移质影响。河底推移质运动是河流动力学中的一个重要现象,它会对ADCP的测量结果产生一定影响。在形成推移

质的河段,河底泥沙颗粒的运动干扰ADCP的声波信号,导致测量误差增大。特别是在洪水期或河床形态复杂的河段,推移质的影响更为显著。因此,在测量过程中需要特别注意控制误差,如通过增加测量次数、优化测量参数等方法来提高测量结果的准确性。同时,对于推移质影响较大的河段,可以考虑采用其他测量手段进行补充测量,以确保测量结果的可靠性。

(3) 盲区影响。走航式ADCP在测量过程中存在盲区,即仪器无法直接测量到的区域。盲区的大小与ADCP的波束角度、测量频率以及水流速度等因素有关。盲区的存在会影响流量测验的准确性,因为盲区内的流速信息无法被直接获取。为了减小盲区对测量结果的影响,可以采取以下措施进行校正:一是通过调整ADCP的安装位置和测量参数来优化测量范围,尽量减小盲区的大小;二是在测量过程中结合其他测量手段(如流速仪、水位计等)进行联合测量,以获取更全面的流速信息;三是对测量结果进行后处理,利用数学模型对盲区内的流速进行估算和校正。

### 5 走航式ADCP在水文流量测验中的注意事项

走航式ADCP在水文流量测验实际应用过程中,需要注意设备保护、参数设置和数据质量控制等关键问题。只有严格按照规范进行操作和数据处理,才能确保测量结果的准确性和可靠性。

(1) 设备保护。走航式声学多普勒流速剖面仪(ADCP)的换能器设计成全封闭形式,有效地屏蔽了外界环境对其内部结构的潜在损害。尽管如此,当ADCP的内部结构,尤其是主板等核心部件发生故障时,维修工作不仅复杂,而且成本高昂。因此在日常使用中,我们必须高度重视设备的保护工作:在测船航行期间,驾驶员和操作人员应密切注意周围环境,确保测船不会与桥墩、浮标、岸边或其他船只等障碍物发生碰撞。同时,在装卸和运输过程中,也要小心轻放,避免ADCP受到物理冲击;为了确保ADCP的长期稳定运行,应将其存放在干燥、通风良好的室内环境中。在户外作业时,应尽可能减少设备暴露在潮湿或尘土飞扬的环境中的时间。每次测量结束后,应及时清理ADCP的外壳和换能器表面,去除积累的尘土和水分,防止它们对设备内部造成损害。通过这些措施,我们可以确保ADCP始终处于良好的工作状态,从而提高测量数据的准确性和可靠性。

(2) 参数设置。由于每个断面的水流条件、河床形态和测量需求都不同,因此在使用走航式ADCP进行水文流量测验时,需要

根据实际情况合理设置参数:根据河流的实际情况,合理设置测量断面,确保测量范围覆盖整个河流断面;根据水深、流速和测量精度的要求,选择合适的波束角度和测量频率。一般来说,水深较大时,应选择较低的频率和较大的波束角度;流速较快时,应选择较高的频率和较小的波束角度;测船的行驶速度应根据水流条件和测量要求进行调整,以确保测量结果的准确性和稳定性。

(3) 数据质量控制。走航式ADCP观测资料的质量控制是确保测量结果可靠性的关键步骤。在数据处理过程中,需要综合考虑多种因素,包括船速处理、声速校正、偏角校正等。具体来讲:在测量过程中,应控制测船的行驶速度,避免过快或过慢导致测量误差增大。同时,需要对船速进行精确测量和记录,以便在后续数据处理中进行校正;由于声速受水温、盐度和压力等因素的影响,因此需要对声速进行校正。在实际操作中,可以利用声速剖面仪等工具进行声速测量,并将测量结果输入到ADCP中进行校正;由于测船在行驶过程中可能会受到风浪等因素的影响而产生偏角,因此需要对偏角进行校正。可以通过安装姿态传感器等设备来实时监测船的偏角,并在数据处理过程中进行校正。

### 6 结束语

走航式ADCP以其高精度、高效率、自动化和信息化等优点,在水文流量测验中得到了广泛应用。然而,其应用也受到含沙量、河底推移质和盲区等因素的影响。因此,在使用走航式ADCP进行水文流量测验时,需要充分考虑这些因素,并采取相应的措施进行校正和控制。同时,随着技术的不断进步和应用的深入,走航式ADCP在水文流量测验中的作用将更加突出,为水文现代化建设提供有力支持。

### [参考文献]

- [1]李吉林,陈冰.ADCP在水文监测中的应用分析[J].山东水利,2014,(12):7-8.
- [2]SL.声学多普勒流量测验规范:SL337-2006[S].2006.
- [3]吴志勇,徐梁,唐运忆,等.水文站流量在线监测方法研究进展[J].水资源保护,2020,(4):1.

### 作者简介:

王同鹏(1990--),男,汉族,新疆伊犁哈萨克自治州人,本科,工程师,研究方向为水文。