

基于ADCP技术的河流流量测验精度研究

耿庆功 王帅强

黄河水利委员会河南水文水资源局 河南 济源 454650

摘要: 本文旨在探讨声学多普勒流速剖面仪 (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP) 技术在河流流量测验中的应用及其精度研究。ADCP作为一种先进的测流设备,通过声学多普勒效应原理进行流速和流量的测量,具有高精度、高效率、非接触式测量等显著优点。本文将从ADCP技术的基本原理、分类、应用优势以及影响测量精度的因素等方面进行深入分析,以期为河流流量测验提供理论支持和技术指导。

关键词: ADCP; 河流流量测验; 精度研究; 声学多普勒效应; 流速剖面

引言

河流流量测验是水文监测的重要组成部分,对于水资源管理、防洪减灾等具有重要意义。传统的流速仪法存在测量时间长、精度受环境因素影响大等局限性,难以满足现代水文监测的需求。ADCP技术的出现,为河流流量测验提供了新的解决方案。本文将围绕ADCP技术在河流流量测验中的应用及其精度研究展开论述。

1 ADCP 技术概述

1.1 基本原理

ADCP技术基于声学多普勒效应原理,通过向水中发射固定频率的声波短脉冲,并接收这些脉冲与水中散射物(如浮游生物、泥沙等)相互作用后产生的回波信号,利用多普勒频移计算出水流的速度。ADCP设备通常配备多个声波换能器,能够从不同角度发射和接收声波,从而实现水流速度剖面的全面测量。

1.2 分类

ADCP(声学多普勒流速剖面仪)作为一种先进的水流测量设备,根据应用场景和安装方式的不同,被精细地划分为固定式和走航式两大类型。固定式ADCP,顾名思义,其特点在于“固定”。这类设备通常被稳固地安装在如桥梁、水坝等长期稳定的结构上。得益于其稳定的安装环境,固定式ADCP能够持续、不间断地监测水流数据,为水文研究、防洪预警等提供长期、可靠的数据支持。而走航式ADCP则更加注重灵活性和机动性。它通常被安装在水文测船或小型浮体上,随着船只或浮体的移动,能够横渡水面,对特定断面进行精确的流速分布测量^[1]。这种测量方式特别适用于需要快速获取多个断面数据的场景,如河流、湖泊的水文调查等。走航式ADCP的灵活性,使得它在复杂多变的水文环境中依然能够发挥出色的测量效果。

2 ADCP 在河流流量测验中的应用优势

2.1 高精度测量: 确保数据准确无误

ADCP(声学多普勒流速剖面仪)凭借其先进的超声波探测技术,在河流流量测验中展现出极高的测量精度与稳定性。该设备能够实时、精确地反馈河道的平均流速、流量以及水位等关键数据,为水文分析提供了坚实的基础。尤为值得一提的是,ADCP采用多波束测量方式,这一技术革新使得它能够全面覆盖河流断面,有效减少了因传统单点测量而可能引入的误差,从而确保了测量结果的准确性。

2.2 非接触式测量: 避免流场干扰

与传统流速仪相比,ADCP的一大显著优势在于其非接触式的测量方式。这一设计巧妙地避免了因仪器插入水中而对流场产生的潜在扰动,从而大大提高了测量的准确性和可靠性。这种非侵入式的测量手段,使得ADCP能够在不影响河流自然流态的前提下,精准捕捉流速信息,为水文研究提供了更为真实、客观的数据支持。

2.3 高效便捷: 提升工作效率

ADCP的高效便捷性也是其在河流流量测验中备受青睐的重要原因。它能够实时在线监测河道的流速流量变化,极大地缩短了测量周期,提高了工作效率。同时,ADCP的高度自动化设计减少了人工干预,降低了劳动强度,使得水文工作者能够更专注于数据分析与解读,为河流管理提供了更为及时、有效的决策依据。

3 影响 ADCP 测量精度的因素分析

3.1 环境因素

环境因素是影响ADCP测量精度的重要外部条件,其中水体悬浮物浓度、水温与盐度变化以及水流湍急程度是三个尤为突出的负面因素。水体悬浮物浓度过高,会显著影响声波的传播与反射。悬浮物颗粒对声波的散射和吸收作用增强,导致反射信号减弱,信噪比降低。这不仅使得ADCP难以准确捕捉到流速信息,还可能引发

误判,严重影响测量精度。特别是在浑浊的河流或湖泊中,高浓度的悬浮物几乎成为ADCP测量的“盲区”,使得测量结果的可靠性大打折扣。水温与盐度的变化对声波传播特性的影响同样不容忽视。水温的升高或降低会直接导致声速的变化,进而影响声波在水体中的传播时间和距离。这种变化在海洋环境中尤为显著,因为海水温度随深度变化较大,且盐度分布也不均匀。这种复杂的声速场使得声波的传播路径变得难以预测,从而增加了测量误差^[2]。此外,盐度的变化还会引起声波的折射和反射特性的改变,进一步加剧了测量精度的不确定性。水流湍急程度是另一个对ADCP测量精度构成严重威胁的环境因素。在湍急的水流中,声波的传播路径变得极其复杂,因为水流中的涡旋、漩涡等结构会对声波产生强烈的散射和干扰。这种散射和干扰不仅使得声波的传播方向发生偏移,还可能导致反射信号的丢失或畸变。因此,在湍急的水流环境中,ADCP的测量精度往往难以保证,甚至可能出现完全错误的结果。

3.2 设备性能

尽管ADCP设备在设计和制造上取得了显著的进步,但其性能仍然受到一些技术局限性的制约,这些局限性同样会对测量精度产生负面影响。工作频率的选择是ADCP测量中的一个关键问题。虽然高频声波能够提供更精细的流速分布信息,但其对水体中散射体的敏感性也更高,容易受到微小颗粒的干扰。而低频声波虽然穿透力较强,但分辨率较低,难以捕捉到细微的流速变化。这种频率选择上的矛盾使得ADCP在测量过程中难以兼顾精度和范围,从而限制了测量精度的提升。测量范围与分辨率的权衡也是设备性能中的一个重要问题。ADCP的测量范围决定了其能够覆盖的水体区域大小,而分辨率则决定了其能够捕捉到的流速变化细节。然而,在实际应用中,往往难以同时满足大范围和高分辨率的需求。如果为了扩大测量范围而牺牲分辨率,那么测量结果将无法准确反映水体的真实流速分布;反之,如果为了追求高分辨率而缩小测量范围,那么又可能遗漏重要的流速信息。这种权衡使得ADCP在测量过程中难以达到理想的精度水平。设备老化也是影响ADCP测量精度的一个重要因素。随着使用时间的增长,设备内部的电子元器件会逐渐老化,导致性能下降。这种老化可能表现为声波发射功率的减弱、接收灵敏度的降低或信号处理能力的减弱等。这些变化都会直接影响ADCP的测量精度和稳定性,使得测量结果变得不可靠。

3.3 操作方法

除了环境因素和设备性能外,操作方法也是影响

ADCP测量精度的一个重要方面。在实际操作中,人为因素的干扰往往会对测量结果产生显著的影响。测量位置的选择对于ADCP测量精度至关重要。然而,在实际操作中,由于缺乏对水流分布规律的深入了解或受到现场条件的限制,测量位置的选择往往难以达到最优。如果测量位置选择不当,如位于水流分布不均的区域或受到其他干扰因素的影响,那么测量结果将难以准确反映水体的真实流速分布。测量参数的设置也是影响ADCP测量精度的一个重要环节。在实际操作中,采样间隔、测量深度等参数的设置需要根据实际测量需求和设备性能进行综合考虑。然而,由于缺乏经验或对设备性能的不了解,操作人员往往难以准确设置这些参数。如果参数设置不当,如采样间隔过大或测量深度不足,那么测量结果将无法准确捕捉到水体的流速变化细节,从而导致测量精度的降低^[3]。数据后处理是ADCP测量过程中的一个重要步骤。然而,在实际操作中,由于缺乏专业的数据处理知识或对数据处理方法的不了解,操作人员往往难以对数据进行有效的后处理。如果数据后处理不当,如未进行适当的滤波或误差校正等处理,那么测量结果中的噪声和误差将无法得到有效消除,从而影响测量精度的提升。

4 提高 ADCP 测量精度的策略

4.1 环境因素校正

环境因素是影响ADCP测量精度的首要外部条件,其中水体悬浮物浓度、水温、盐度等参数的变化对测量结果产生显著影响。为了校正这些环境因素带来的误差,需要建立环境参数与测量误差的关系模型,并实时监测环境参数进行实时校正。首先,通过实验研究,可以建立水体悬浮物浓度、水温、盐度等环境因素与测量误差之间的定量关系模型。这一模型应基于大量的实验数据,通过统计分析、回归分析等方法,揭示各环境因素对测量误差的具体影响规律。例如,可以研究不同悬浮物浓度下声波反射强度的变化,以及这种变化如何影响流速的测量结果;同时,也可以探究水温和盐度变化对声波传播速度和折射特性的影响,进而推导出对测量精度的具体影响。在建立模型的基础上,需要在测量过程中实时监测环境参数,并根据模型进行实时校正。这要求在测量现场配备高精度的环境参数监测设备,如悬浮物浓度计、温度计、盐度计等,以确保能够实时获取准确的环境参数数据。同时,还需要开发相应的校正算法,将实时监测到的环境参数数据代入模型中,计算出校正系数,并对ADCP的测量结果进行实时校正。这样,就可以在很大程度上消除环境因素对测量结果的影响,

提高测量精度。

4.2 设备性能优化

设备性能是影响ADCP测量精度的内部因素。为了优化设备性能,可以从选用高性能ADCP设备和定期校准与维护两个方面入手。首先,根据测量需求选用具有高精度、高分辨率的ADCP设备是提高测量精度的关键。在选择设备时,应充分考虑测量范围、分辨率、工作频率等性能指标,选择那些能够满足测量需求且性能稳定的设备。同时,还可以考虑采用具有先进技术的设备,如采用多波束技术的ADCP,以提高测量的空间分辨率和精度。其次,建立严格的校准与维护制度对于确保设备性能稳定至关重要。应定期对ADCP设备进行校准,包括声波发射功率、接收灵敏度、信号处理能力等关键参数的校准,以确保设备处于最佳工作状态^[4]。同时,还需要对设备进行定期的维护和保养,包括清洁设备、检查电缆和传感器等,以延长设备的使用寿命并保持其性能稳定。通过定期的校准与维护,可以有效减少设备性能波动对测量结果的影响,提高测量精度。

4.3 操作方法改进

操作方法是影响ADCP测量精度的另一个重要因素。为了改进操作方法,可以从优化测量位置与参数设置和加强数据后处理两个方面入手。首先,通过实验研究确定最佳的测量位置和参数设置方案是提高测量精度的关键。应充分考虑水流分布规律、水体特性以及测量需求等因素,选择那些能够代表水体真实流速分布且受干扰较小的测量位置。同时,还需要通过实验研究确定最佳的采样间隔、测量深度等参数设置方案,以确保能够捕捉到水体的真实流速变化细节。在实际操作中,应严格按照确定的测量位置和参数设置方案进行测量,以减少操作不当对测量结果的影响。其次,加强数据后处理是提高测量精度的另一个重要环节。应采用先进的数据处理算法对测量数据进行滤波、去噪和误差校正等处理。例如,可以采用卡尔曼滤波、小波去噪等算法来消除测量数据中的噪声和干扰;同时,还可以采用误差校正算法来修正因设备性能、环境因素等引起的测量误差。通过加强数据后处理,可以进一步提高测量结果的准确性

和可靠性。

4.4 综合应用多种技术

除了上述策略外,还可以综合应用多种技术来提高ADCP的测量精度。其中,结合GPS与GIS技术以及融合其他测流技术是两种有效的手段。首先,结合GPS与GIS技术可以实现精确定位和空间分析,从而提高测量精度和效率。GPS技术可以为提供精确的地理位置信息,确保测量位置的准确性;而GIS技术则可以对测量数据进行空间分析,揭示水流分布的空间特征。通过结合这两种技术,可以实现测量位置的精确定位和流速分布的空间可视化,进一步提高测量精度和效率。其次,融合其他测流技术可以形成多源数据融合,提高测量结果的可靠性和准确性。例如,可以结合传统流速仪法、雷达测速仪等测流技术,将它们的测量结果与ADCP的测量结果进行融合。通过多源数据的融合和对比分析,可以更全面地了解水体的流速分布情况,并修正因单一测流技术带来的测量误差。这样,就可以在提高测量精度的同时,增强测量结果的可靠性和准确性。

结语

ADCP技术作为一种先进的测流设备,在河流流量测验中具有高精度、高效率、非接触式测量等显著优点。然而,其测量精度受到多种因素的影响,需要通过优化设备配置、加强环境监测和改进操作方法等策略来提高。未来,随着技术的不断发展和完善,ADCP在河流流量测验中的应用前景将更加广阔。

参考文献

- [1]方斯喆,胡长和.走航式ADCP河流横断面流量算法[C]//四川省声学学会,上海声学学会,山东声学学会,黑龙江省声学学会,重庆声学学会.2020'中国西部声学学术交流会论文集.中国船舶集团第七一五研究所,2020:4.
- [2]刘洋,李伟,田长涛.ADCP河流流量测量应用实例分析[J].科技创新与应用,2018,(13):170-171.
- [3]黄炜,王丽,王聪聪.非接触式河流流量监测技术研究[J].江苏水利,2022,(09):19-22.
- [4]李旭光,石瑞花.河流生态流量强监管技术研究[J].水利发展研究,2020,20(08):18-21.