

单波束无人船在河流水库存量测量中的应用研究

杨沛林 高晴

江苏煤炭地质物测队, 江苏 南京 210000

[摘要]单波束无人船技术在河流水库存量测量中得到了广泛应用。通过高精度的水下声呐设备,结合无人船的自动导航系统,能够有效获取水域的水深、地形及水库容量等关键数据。这种技术具有高效、精确、低成本和安全等优势,相比传统测量方法,在复杂水域环境下的适应性更强。研究探讨了单波束技术在水库存量测量中的实际应用,分析了相关技术的优势和挑战,并提出了相应的优化策略,为河流水资源管理和水库调度提供支持。

[关键词]单波束技术;无人船;水库存量测量;水资源管理;测量精度

DOI: 10.33142/ec.v8i2.15372

中图分类号: P237

文献标识码: A

Application Research on Single Beam Unmanned Ship in River Water Inventory Measurement

YANG Peilin, GAO Qing

Jiangsu Coal Geological Survey Team, Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: Single beam unmanned ship technology has been widely used in river water inventory measurement. By using high-precision underwater sonar equipment combined with the automatic navigation system of unmanned ships, key data such as water depth, terrain, and reservoir capacity can be effectively obtained in the water area. This technology has advantages such as high efficiency, accuracy, low cost, and safety. Compared with traditional measurement methods, it has stronger adaptability in complex water environments. The study explores the practical application of single beam technology in reservoir inventory measurement, analyzes the advantages and challenges of related technologies, and proposes corresponding optimization strategies to provide support for river water resource management and reservoir scheduling.

Keywords: single beam technology; unmanned ship; reservoir inventory measurement; water resource management; measurement accuracy

引言

随着水资源管理需求的不断提升,传统的水库存量测量方法面临诸多挑战,尤其是在复杂水域环境下,准确性和效率往往无法得到保证。单波束无人船技术的出现,为水库存量测量提供了全新的解决方案。利用其高精度的声呐设备与自动化操作,能够快速采集大量数据,并精确反映水库的水深和容量变化。这一创新技术不仅显著提升了测量效率,也为水资源的科学管理开辟了新的道路。

1 单波束无人船技术概述

1.1 技术原理与发展历程

单波束无人船技术结合了声呐测深技术与无人驾驶船只技术,为水下数据采集提供了一种高效、安全、精准的解决方案。其基本原理是通过船载声呐系统向水下发射声波,声波遇到水下物体或海床后反射回收,系统通过计算声波传播时间来测量水深。无人船平台则通过自动导航技术,在预设路线或目标水域中自动航行,完成水深数据的采集任务^[1]。

单波束无人船技术的起源可以追溯到20世纪中期,最初主要应用于海洋测量领域,随着无人驾驶技术、遥感技术和水下声呐技术的发展,逐步向内陆水域、水库测量等应用扩展。近年来,随着全球水资源管理和环境保护需

求的增长,这一技术在河流水库存量测量中的应用得到了越来越多的关注和研究^[2]。

1.2 无人船平台与声呐系统的组合应用

单波束无人船技术的核心优势之一在于其无人驾驶平台与高精度声呐系统的有机结合。无人船通过搭载先进的自动化导航系统,能够在水域内进行自主航行,无需人工操控,确保长时间、高效率的数据采集。而声呐系统则是无人船技术的关键组成部分,能够实时获取水域的水深信息,并通过精准的时间测量计算出水深数据。相较于传统的人工采测,单波束无人船不仅能够大范围地覆盖水域,还能够在不干扰水域生态环境的前提下,获得大量高精度数据。

现代单波束无人船常配备高精度的定位系统,如差分全球定位系统(DGPS)和惯性导航系统(INS),确保测量过程中位置信息的准确性。这些技术的结合,使得无人船能够在复杂的水域环境中进行高效的水下勘测,尤其在河流、水库等较为狭窄或深浅不一的水域中,具有传统船只难以比拟的优势^[3]。

随着技术的不断进步,单波束无人船的应用领域也在逐步拓展。除了河流水库存量测量外,该技术还被广泛应用于水下地形图绘制、环境监测、航道调查等多个领域,

展现出巨大的潜力和发展空间。

2 河流水库存量测量的传统方法与挑战

2.1 传统测量方法的概述

在河流水库存量测量中,传统方法通常依赖人工采测与测量设备的配合,包括利用水尺、浮标、测深仪和人工巡视等方式。水尺法是通过在水库不同位置设立固定的水尺,根据水位的变化来推算水库存量。浮标法则是通过浮标在水面上漂浮,利用浮标的位移来估算水深。而测深仪则是通过手动放置测深仪器,逐点测量水深,进而计算水库容量。

这些传统方法虽然在早期对水库存量的监测起到了重要作用,但存在着一定的局限性。例如,水尺法受水位变化不及时、地形复杂等因素的影响,容易导致水库存量的估算不准确;浮标法对水流速和浪的敏感性较高,可能导致浮标位置偏差;而测深仪则需要人工操作,不仅耗时耗力,而且无法高效覆盖大面积水域,尤其在水域复杂或航行困难的地区,其适用性受限。

2.2 传统方法面临的挑战

首先,传统测量方法普遍存在效率低、操作复杂的问题。人工巡测不仅费时且容易出错,尤其在一些难以接近的水域,人工操作的风险和难度大大增加。而且传统设备在数据采集时常常依赖现场人员判断,导致测量误差的不可避免。

在复杂水域中,传统方法难以获得全面且精确的数据。许多河流和水库具有复杂的地形,水深差异较大,传统的手动测量往往只能覆盖有限的区域,无法全面反映整个水域的水深变化。因此,这种方法的结果可能与实际水库存量存在偏差,影响水库的管理和调度决策。

随着环境变化和气候变化的加剧,传统测量方法在快速响应和实时监测方面的不足愈加明显。在多变的水文环境中,传统方法无法及时准确地反映水位和水库容量的变化,造成数据滞后,难以以为实时的水资源调度提供有效支持。

传统方法在面对现代水资源管理需求时,逐渐暴露出种种缺陷,亟需借助新技术来提高测量效率与精度。

3 单波束无人船在河流水库存量测量中的应用优势

3.1 高效性与准确性的提升

单波束无人船技术在河流水库存量测量中的应用,显著提高了测量的效率和准确性。相比传统的人工测量,单波束无人船能够在较短的时间内完成大范围的水深数据采集。通过自动化导航系统,无人船能够精准沿着预设航线进行航行,自动记录水深数据,并通过高精度的声呐设备进行水深测量。其自动化操作减少了人工干预,避免了因人为因素引发的测量误差。此外,现代单波束无人船通常搭载高精度的定位系统(如DGPS),能够在复杂地形中保持准确的定位和路径控制,从而进一步提升测量结果的可靠性^[4]。

无人船在河流水库的测量过程中,能够实现连续、稳定的数据采集,并覆盖较大的水域范围。这种高效性不仅降低了测量的时间成本,还避免了因采样点过少而导致的测量误差,提供了更加全面和精准的水深数据,有助于水库存量的精确计算。尤其在复杂的水域环境中,传统测量方法难以有效获取足够的测量数据,而单波束无人船凭借其灵活的操作性和广泛的适应性,能够克服这些难题。

3.2 安全性与操作便捷性的优势

单波束无人船在河流水库存量测量中的另一大优势在于其较高的安全性与操作便捷性。传统的人工测量往往需要人员进入水域,特别是在深水区或水流湍急的地方,存在一定的安全隐患。无人船技术的应用使得工作人员能够在岸上进行遥控操作,完全避免了人工进入危险水域的风险。无人船平台本身具备较强的稳定性和自适应能力,能够在多变的水文环境下进行自主航行,确保测量任务的顺利完成。

单波束无人船的操作也相对简单。现代无人船配备了先进的控制系统,用户只需要通过简单的设置与指令即可完成任务规划与航线设定。无人船在航行过程中,能够自动避开障碍物,自动调整航速,适应不同的水流与天气条件,从而减少了人工操作的复杂性。其无人驾驶特性使得测量工作不受时间、天气和人员限制,可以实现24小时不间断测量,为水资源管理提供更加灵活和高效的数据支持^[5]。

4 单波束技术在水库存量测量中的数据处理与分析

4.1 数据采集与处理流程

单波束技术在水库存量测量中,首先通过无人船平台搭载的声呐设备进行数据采集。无人船沿着预设航线行驶,声呐系统向水下发射声波,声波遇到水下物体或海床后反射回收,经过计算得到水深数据。声波反射的时间间隔与传播速度相乘,可精确测量水深。无人船的自动导航系统确保了整个航程的高效性与精确性,能够覆盖广泛的测量区域,实时记录下各点的水深信息。

在数据采集完成后,采集到的原始数据需要经过一系列的处理与分析。首先是数据的清洗过程,即剔除不符合标准的噪声数据和错误数据。由于水面波动、环境噪声或仪器误差等因素,部分采集数据可能存在误差,因此需要通过算法和滤波技术进行去噪。清洗后的数据会进行坐标校正,通过差分GPS等定位系统对数据点进行精确定位,确保每个数据点的空间位置精确无误。

水深计算公式:

$$h = \frac{c \Delta t}{2}$$

其中: h 为水深(单位:米); c 为声波在水中的传播速度(单位:米/秒); Δt 为声波从发射到接收的时间差(单位:秒)。

接下来,数据会进入分析阶段。基于水深数据与水域地理信息,利用数字地形模型(DTM)对水库的水底地形进行重建。这一过程将原始水深数据转化为水底地形图,帮助用户直观地了解水体的形态、地形起伏等关键信息。数字水库模型则将水深数据与水库的容量模型相结合,通过水库的调度规则进行容量分析,预测不同水位条件下的水库容量变化。根据水库容量模型,水库容量 V 可以通过以下公式计算: $V = \int_{\Omega} h(x, y) \cdot dA$ 其中: V 为水库容量(单位:立方米); $h(x, y)$ 为坐标点 (x, y) 处的水深; dA 为小面积单元(单位:平方米)。

表 1 单波束技术数据处理流程

步骤	描述	关键技术与工具
数据采集	使用无人船搭载声呐设备进行数据采集	无人船平台、声呐系统
数据清洗	剔除噪声和错误数据,进行去噪处理	滤波技术、算法
坐标校正	利用差分 GPS 等技术对数据进行精确定位	差分 GPS、定位系统
数据分析	基于水深数据与水域地理信息进行数字地形建模	数字地形模型(DTM)
容量分析	基于水库容量模型进行不同水位下的容量分析	数字水库模型、容量分析工具

4.2 测量精度与误差控制

单波束技术在水库容量测量中,其测量精度是影响结果可靠性的重要因素。在数据处理过程中,精度控制尤为关键。首先,误差来源包括水深测量误差、定位误差和地形模型误差等。在水深测量方面,声呐系统的分辨率与精度直接影响测量结果的准确性。为了确保测量精度,现代单波束系统常采用高频声呐设备,能够提供较高的测量分辨率,并减少因水体条件(如水温、盐度)变化引起的误差。

定位误差是影响单波束技术精度的另一个因素。由于水库及河流通常存在复杂的水下地形,定位系统的精度对数据的准确性至关重要。为解决这一问题,单波束无人船平台一般配备高精度的差分 GPS(DGPS)或惯性导航系统(INS),通过多重定位手段修正误差,保证数据的准确性。

在数据分析阶段,地形建模和容量计算过程中也可能出现误差,特别是在水深变化较大或地形起伏复杂的区域。因此,在处理过程中,通常会进行多次数据采集与多角度分析,通过数据融合技术和误差修正算法,减少由于单一数据来源产生的偏差,确保结果的可靠性与精度。

5 单波束无人船技术的优化与未来发展方向

5.1 技术改进与创新点

随着单波束无人船技术在河流水库容量测量中的广泛应用,针对其性能和应用场景的进一步优化已成为技术发展的核心目标。首先,声呐系统的改进是优化的一

个重要方向。当前,单波束声呐系统虽然能提供较为精确的水深数据,但在一些复杂水域(如水草繁茂、深水区域等)中的表现仍然存在一定局限。因此,未来可以通过开发更高频率、更宽频段的声呐系统,以提高在特殊环境下的探测能力,尤其是在浅水或深水区域的测量精度。

定位系统的进一步提升将为数据的精确性提供更强保障。尽管目前的差分 GPS(DGPS)技术已经相当成熟,但在一些复杂或偏远的地区,信号弱或缺失的情况时有发生,这时精度控制就会受到影响。未来可以结合惯性导航系统(INS)和激光雷达(LiDAR)技术,进行更精确的三维定位与导航,尤其在动态环境下,能够确保无人船的航行路径和测量点的精度。此外,传感器融合技术的应用也将是提升定位与测量精度的重要手段。

单波束无人船的自主导航系统也是技术优化的关键。当前,无人船在航行过程中主要依赖预设航线进行导航,虽然其操作便捷,但在复杂水域或水面障碍物较多的环境下,可能会影响航行安全和效率。因此,未来的优化方向应集中在自主避障技术的提升上,通过集成更先进的传感器(如超声波、视觉传感器等),使无人船在不规则水域中能够更好地进行避障、动态路径规划和实时调整,提升其在复杂环境中的适应性和安全性。

5.2 应用前景与挑战分析

单波束无人船技术未来有着广阔的应用前景,尤其是在水资源管理、环境监测、灾害评估等领域。随着技术的不断进步,单波束无人船将在更多类型的水域中得到应用,尤其是在小型水库、偏远地区和恶劣环境中的优势将更加突出。例如,在一些难以到达或人力无法进入的水域,单波束无人船能够高效、安全地进行测量,为水资源管理和决策提供更准确的数据支持。

随着应用领域的拓展,单波束无人船技术也面临一些挑战。首先,技术标准和规范的缺乏可能会导致不同系统之间的数据兼容性差,影响测量结果的统一性和数据共享。其次,虽然单波束无人船在自动化和精度控制方面已取得显著进展,但在极端天气、强水流等恶劣环境下,其稳定性和可靠性仍需进一步提升。此外,操作人员对无人船技术的掌握程度和对复杂水域的适应性要求,也使得相关技术的普及和培训成为未来发展的重点。

6 结语

单波束无人船技术在河流水库容量测量中的应用,凭借其高效、精准、安全的优势,已成为水资源管理的重要工具。随着声呐系统、定位技术和自主导航能力的不断优化,该技术在复杂水域环境中的应用前景广阔。然而,仍需克服技术标准、极端环境适应性等挑战,才能实现更加广泛和高效的应用。未来,随着相关技术的不断创新与完善,单波束无人船将在水资源管理和环境监测领域发挥更

大作用。

[参考文献]

- [1]马传宁,王明亮,关辅兴,等.基于HLJCORS的单波束测深系统在水下地形测量中的应用[J].测绘与空间地理信息,2024,47(1):9-11.
- [2]周海春,金裕平.基于单波束条带测深仪的大中型水库水下地形图测绘方法[J].北京测绘,2024,38(10):1498-1503.
- [3]马海波,来向华,胡涛骏,等.基于无人机摄影测量的潮间带单波束测深空间插值精度评估[J].海洋学研究,2024,42(1):83-90.
- [4]沙红良,费新龙,叶飞,等.声惯一体单波束测深系统在长江河道勘测中的应用[J].测绘通报,2022(9):162-166.
- [5]吴敬文,潘与佳,高健,等.复杂水域精密单波束测深关键技术研究[J].人民长江,2019,50(12):51-54.

作者简介:杨沛林(2001.8—),毕业院校:南京晓庄学院,所学专业:地理信息科学,当前就职单位名称:江苏煤炭地质物测队;高晴(1996.4—)毕业院校:扬州大学,所学专业:土木工程,当前就职单位名称:江苏煤炭地质物测队。