

水下地形测量技术在水利工程中的应用

黄仁冲 农俊

广西珠委南宁勘测设计院有限公司 广西 南宁 530000

摘要：水下地形测量技术作为水利工程中的重要组成部分，对于保障工程的安全、性能和使用寿命具有至关重要的作用。本文旨在探讨水下地形测量技术在水利工程中的应用，分析其主要工作内容、特点、方法以及发展趋势。

关键词：水下地形测量；技术方法；技术应用

引言

水下地形测量技术是指利用测绘手段，获取水下测点定位、水深及高程信息，以进一步绘制地形图或数字高程模型的工作。在水利工程中，水下地形测量技术广泛应用于水库、湖泊、河流等水域的工程建设和监测管理。

1 水下地形测量的主要工作

1.1 控制测量

控制测量是水下地形测量的基础，其目的是在陆地上建立一系列高精度、稳定的控制点，作为整个测量工作的参考框架。这些控制点通常通过GPS（全球定位系统）、GNSS（全球导航卫星系统）等现代定位技术进行精确测定，确保它们的位置信息准确无误。控制点的布局需考虑测量区域的大小、形状以及后续测量的需求，以确保在整个测量过程中都能获得可靠的参考。

1.2 水深测量

水深测量是水下地形测量的核心环节，旨在获取水下各点的深度信息。传统的水深测量方法包括使用测深杆、测深锤等直接接触水底的工具，但这些方法在现代测量中已逐渐被更高效、更精确的回声测深仪所取代。回声测深仪通过发射声波并接收其在水底反射回来的信号来测量水深，具有测量范围广、速度快、精度高等优点。此外，随着技术的发展，多波束测深系统逐渐成为主流，它能够在一次扫描中覆盖更宽的测深范围，并提供更为详细的水下地形信息。

1.3 测深点的平面定位

测深点的平面定位是将水深测量数据与地面控制点相结合，以确定水下地形点在水平面上的精确位置。这一过程通常涉及将测深仪获取的深度数据与GPS或GNSS等定位系统提供的平面坐标进行匹配，从而得到每个测深点的三维坐标（经度、纬度、深度）。准确的平面定位是绘制水下地形图的基础，它确保了地形图的地理准确性和可读性。

1.4 内业绘图与数据处理

内业绘图是在收集到足够的水深测量和平面定位数据后，进行的图形绘制、地图编辑和输出工作。这一步骤包括数据的整理、清洗和校验，以确保数据的准确性和完整性；随后，利用专业的绘图软件或地理信息系统（GIS）将测量数据转换为可视化的水下地形图或数字高程模型（DEM）。在内业绘图过程中，还需考虑地图的比例尺、符号系统、注记等要素，以确保地形图既美观又实用。此外，随着大数据和人工智能技术的发展，内业绘图工作正逐渐向自动化、智能化方向迈进，提高了绘图的效率和精度^[1]。

2 水下地形测量技术的特点

水下地形测量技术，作为探索与描绘水下世界地貌的重要手段，具有一系列独特且鲜明的特点。它不仅关注平面的位置信息，还涉及高程的精确测量，形成了平面与高程并重的测量体系。由于水下环境的特殊性，地形起伏无法直接观察，测量时不得不依赖测深线法或散点法来科学合理布设测点，通过间接方式获取水下地形的详细信息。相较于陆地地形测量，水下测量的内容相对精简而专注。它并不追求对地貌细节的详尽描绘，而是侧重于通过等高线或等深线来直观展示水下地形的整体变化趋势和关键特征。这种表示方法既简洁又高效，便于快速理解和分析水下地形结构。更为关键的是，为了确保水下地形图与陆地地形图的无缝拼接和统一分析，水下地形测量在平面和高程基准上必须与陆地保持一致。这通常意味着采用相同的坐标系统，如UTM（通用横轴墨卡托）投影，以及遵循统一的高程基准，从而确保测量数据的准确性和可比性。

3 水下地形测量技术的方法

3.1 传统测量技术

传统的水下地形测量技术，作为早期探索水下地形的重要手段，主要依赖于一系列光学定位方法。这些方法在当时的技术条件下，为水下地形的初步描绘提供了宝贵的数据支持。

3.1.1 经纬仪测量

经纬仪是一种用于测量角度的精密仪器，通过观测目标点与已知点之间的角度关系，结合三角测量原理，可以推算出目标点的平面位置。在水下地形测量中，经纬仪常被用于测量测深点相对于控制点的方位角，进而确定其平面坐标。然而，经纬仪测量受到天气条件、视线遮挡以及仪器精度等因素的限制，测量范围有限，且精度和效率相对较低。

3.1.2 六分仪测量。六分仪，又称反射式测角仪，是一种利用反射镜原理测量天体或地面目标与海平线之间角度差的仪器。在水下地形测量中，六分仪可以用于测量太阳或星星的高度角，结合时间信息和天文导航原理，推算出测量点的纬度。但六分仪测量同样受到天气、时间以及观测者经验等因素的影响，测量精度和可靠性有限。

3.1.3 测距仪测量。测距仪是一种能够直接测量两点间距离的仪器。在水下地形测量中，测距仪可以用于测量测深点与岸边控制点或相邻测深点之间的距离^[2]。然而，由于水下环境的复杂性和测距仪本身的精度限制，这种方法在实际应用中往往受到诸多限制，如测距范围有限、测量精度受水流和潮汐影响等。

3.2 现代测量技术

3.2.1 定位测量技术

目前，水下地形测绘的测量定位主要依赖于GPS、GNSS全球卫星定位系统，以及RTK实时动态载波相位差分定位技术、CORS和PPK态后处理定位技术。这些技术以其高精度、高效率的特点，能够实时提供测站点在指定坐标系中的三维定位结果，为水下地形测量奠定了坚实的基础。GPS和GNSS技术通过接收卫星信号，实现全球范围内的精确定位；RTK技术则通过实时差分处理，进一步提高了定位的精度和实时性；而CORS和PPK技术则分别提供了连续运行和态后处理的定位解决方案，满足了不同测量场景的需求。

3.2.2 水深测量技术

水深测量技术中，回声探测技术是最为主要且广泛应用的测量方法。其中，单波束测量技术以其操作简单的特点，在早期的水深测量中发挥了重要作用。然而，随着测量需求的不断提高，单波束测量技术难以实现测量区域全覆盖的局限性逐渐显现。为此，多波束测深技术应运而生。多波束测深技术以带状的方式进行测量，实现了“由线到面”的作业方式，不仅克服了单波束测深的缺点，还具有测量范围大、速度快、精度高等显著优点。这一技术的广泛应用，极大地提高了水下地形测

量的效率和准确性。

3.2.3 新型设备的结合测量技术

为了进一步提升测量效率和精度，现代水下地形测量技术不断探索与新型设备的结合应用。无人船、水下机器人等新兴定位设备与现代测量技术的相结合，为水下地形测量带来了革命性的变革。无人船能够自主航行、自动避障，并搭载各种测量设备进行高精度测量，大大降低了劳动强度；水下机器人则能够深入水下进行精细测量，获取更为准确的地形数据。这些新型设备的应用，不仅提高了测量的精度和效率，还避免了人工测量的安全隐患，为水下地形测量工作提供了更为安全、高效、准确的解决方案。

4 水下地形测量技术在水利工程中的应用

4.1 水利设施建设

在水利设施的建设过程中，如水库、堤防、水电站、航道等关键基础设施的规划与施工，准确的水下地形数据是确保这些设施稳定性、安全性和功能性的基石。水下地形测量技术以其高精度、高效率的特点，在这一环节中发挥着至关重要的作用。对于水库建设而言，水下地形测量能够帮助工程师精确掌握库区的水深分布、河床形态以及潜在的地质构造，从而合理确定水库的蓄水位、坝址选择以及溢洪道的布置。这些数据对于水库的防洪、蓄水、发电等多功能设计至关重要，能够确保水库在极端水文条件下的安全运行。在堤防建设中，水下地形测量技术同样不可或缺。通过测量堤防沿线的水下地形，工程师可以识别出可能存在的薄弱环节，如河床冲刷、岸坡不稳定等，进而采取针对性的加固措施。同时，准确的地形数据还有助于优化堤防的断面设计，提高堤防的抗洪能力。对于水电站建设，水下地形测量则关系到水轮机组的布置、进水口和出水口的设计，以及电站尾水渠的规划。精确的地形数据能够确保水电站的高效运行，减少水头损失，提高发电效率。此外，在航道建设和维护中，水下地形测量技术也是必不可少的。通过定期测量航道的水下地形，可以及时发现并处理航道中的淤积、浅滩等问题，确保航道的通航能力和安全性。

4.2 变形监测

在水利工程中，大坝、堤防等大型结构物由于长期承受水压、风浪、地震等自然力的作用，其结构形态和稳定性可能会发生变化，这种变化如果得不到及时发现和处理，就可能引发严重的安全事故。因此，对这些结构物进行定期的变形监测是确保水利工程安全稳定运行的重要环节。水下地形测量技术，凭借其高精度、高效

率以及实时监测的能力,在水利工程变形监测中发挥着越来越重要的作用。通过在水下布置测点,利用先进的测量仪器和设备,可以实时获取大坝、堤防等结构物在水下的变形数据,包括沉降、倾斜、位移等关键参数。这些数据通过专业的分析软件进行处理,可以生成直观的变形图表和报告,帮助工程师及时了解结构物的变形情况和趋势。一旦发现变形超过预设的安全阈值,或者出现异常的变形模式,系统就会立即发出预警信号,提醒工程师采取必要的应对措施。水下地形测量技术在变形监测中的应用,不仅提高了监测的准确性和时效性,还大大降低了人工监测的成本和风险。它使得工程师能够更加及时、准确地掌握结构物的变形情况,为水利工程的维护、修复和加固提供有力的数据支持^[3]。此外,水下地形测量技术还可以与其他监测手段(如GPS监测、应力应变监测等)相结合,形成多源、多维度的监测体系,进一步提高变形监测的全面性和准确性。这种综合监测方法的应用,将为水利工程的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

4.3 泥沙淤积监测

在水利工程中,特别是梯级水库系统中,筑坝拦沙是常见的工程措施,用于减少下游河道的泥沙含量,保护下游生态和水利设施。然而,这一措施也带来了水库库区的泥沙淤积问题,对水库的蓄水能力、发电效率以及运行安全构成了威胁。因此,对水库的泥沙淤积进行定期监测和评估显得尤为重要。水下地形测量技术,在这一环节中发挥了关键作用。通过高精度的测量手段,该技术能够详细描绘出库区的水下地形和泥沙淤积形态,包括淤积物的厚度、分布范围以及淤积速率等重要信息。这些数据为工程师提供了宝贵的依据,用于深入了解水库的淤积规律,评估淤积对水库运行的影响,并制定相应的应对措施。基于水下地形测量数据,工程师可以选用合适的库容计算方法,如体积法、面积法等,来准确评估水库的有效库容和淤积库容。这有助于调整水库的调度运行方式,如优化蓄水和放水计划,以平衡水库的蓄水需求和淤积控制目标。通过合理的调度运行,可以延长水库的使用寿命,提高水库的综合效益。此外,水下地形测量技术还可以结合泥沙运动理论、水动力学模型等先进方法,对水库的淤积过程进行模拟和预测。这有助于工程师提前识别潜在的淤积风险,制定预防性的管理措施,确保水库运行的安全性和稳定性。

5 水下地形测量技术的发展趋势

随着科技的飞速进步,特别是通讯技术、空间技术和计算机技术的日新月异,水下地形测量技术正经历着

前所未有的变革与发展。这一技术的未来趋势,不仅体现在硬件设备的升级与革新上,更在于其系统功能的集成化、外观设计的优化,以及测量精度、效率、自动化和智能化水平的全面提升。首先,在系统功能方面,水下地形测量技术将更加注重多源数据的融合与集成处理。通过整合不同传感器、不同测量手段获取的数据,形成全面、立体的水下地形信息,为水利工程提供更加详尽、准确的基础资料。同时,随着云计算、大数据等技术的广泛应用,水下地形测量数据的存储、管理和分析也将更加高效、便捷。其次,在外观设计上,水下地形测量设备将朝着小型化、轻便化的方向发展。这不仅可以降低设备的运输和安装成本,提高测量的灵活性,还有助于在复杂、狭窄的水下环境中进行高效测量。此外,随着材料科学的进步,测量设备的耐用性和抗腐蚀性也将得到显著提升。在测量精度和效率方面,水下地形测量技术将不断突破现有技术的局限。通过采用更先进的测量仪器、更精确的校准方法以及更高效的算法,实现更高精度的水深测量和地形绘制。同时,通过优化测量流程、提高数据处理速度,可以大幅提升测量的整体效率,缩短测量周期。自动化和智能化是水下地形测量技术未来发展的重要方向^[4]。随着人工智能、机器学习等技术的不断成熟,水下地形测量将实现更程度的自动化操作。例如,通过训练智能算法来自动识别和处理测量数据中的异常值、噪声等干扰因素,提高测量的准确性和可靠性。此外,还可以利用无人机、无人潜航器等自主航行平台进行远程、实时的水下地形测量,进一步拓宽测量技术的应用范围。

结束语

水下地形测量技术在水利工程中发挥着至关重要的作用。通过准确的水下地形测量,我们可以获得水下地形的详细数据,为水利工程的建设、监测和管理提供基础数据和图件支持。随着技术的不断发展,水下地形测量技术将在水利工程中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]张辉,胡宗强.水下地形测量的影响因素及解决方法[J].内蒙古煤炭经济,2020(10):172+180.
- [2]刘士付.水下地形测量技术分析[J].工程技术研究,2020,5(23):229-230.
- [3]郑善磊.基于GPS的水下地形测量及实践分析[J].水利建设与管理,2020,40(06):54-59.
- [4]舒晓龙,黎银.无人船在水下地形测量中的应用与探讨[J].内蒙古煤炭经济,2020(10):170-171.