

水下地形测量精度评定的方法研究

王专成

江苏筑宇工程技术有限公司 江苏 扬州 225000

摘要：水下地形测量在水资源管理、海洋工程、环境监测等领域具有关键作用，测量精度直接影响相关决策与规划的科学性。本文深入探讨水下地形测量精度评定方法，分析不同评定方法的原理、适用场景及优缺点，结合实际案例阐述方法应用，并提出提升测量精度的策略，旨在为水下地形测量工作提供科学、有效的精度评定参考，推动测量技术发展与应用。

关键词：水下地形测量；精度评定；方法研究；误差分析

引言：水下地形测量是获取水下地形地貌信息的重要手段，其测量成果广泛应用于港口建设、航道疏浚、海洋资源开发、水域生态保护等众多领域。随着经济社会的快速发展，对水下地形测量成果的精度要求日益提高。精度评定作为衡量测量成果可靠性的关键环节，不仅能够反映测量过程中误差的大小与分布情况，还能后续数据处理、成果应用提供重要依据。然而，水下地形测量环境复杂，受水流、水质、气象等多种因素干扰，测量误差来源多样，这给精度评定工作带来诸多挑战。因此，深入研究水下地形测量精度评定方法具有重要的理论意义与实践价值。

1 水下地形测量误差来源分析

1.1 仪器设备误差

测量仪器自身的精度与稳定性是影响水下地形测量精度的重要因素。例如，多波束测深系统中的换能器，其安装角度偏差、频率稳定性不足等问题，会导致测深数据出现系统误差；定位设备如差分全球定位系统（DGPS）的定位精度、信号接收稳定性等，也会使水下地形点的平面位置产生偏差；声速仪测量声速的准确性直接影响深度计算的精度，若声速测量存在误差，将导致测深数据整体失真。

1.2 环境因素误差

水下地形测量环境复杂多变，诸多环境因素会对测量结果产生干扰。水流速度与方向的变化会使测量船产生摇摆与偏移，导致换能器发射的声波传播路径发生改变，进而影响测深数据的准确性；水质浑浊度影响声波在水中的传播，浑浊度过高时，声波能量被大量吸收与散射，降低声波的探测距离与分辨率，增加测量误差；气象条件如风浪、海雾等也会对测量船的航行稳定性与仪器设备的正常工作造成不利影响，间接导致测量精度下降。

1.3 人为操作误差

测量人员的操作技能与经验水平对测量精度有着显著影响。在仪器安装过程中，若换能器安装位置不准确、角度偏差过大，将直接导致测深数据出现偏差；在测量过程中，测量人员对仪器参数设置不当，如采样间隔、脉冲宽度等，可能无法准确获取水下地形信息；此外，数据处理环节中，数据编辑、滤波、插值等操作不当，也会引入人为误差，影响最终的测量成果精度。

2 水下地形测量精度评定方法

2.1 统计检验法

统计检验法基于概率论与数理统计原理，通过对大量测量数据的统计分析，评估测量结果的精度。常用的统计检验方法包括正态性检验、独立性检验与等精度检验等。（1）正态性检验用于判断测量误差是否服从正态分布，若误差服从正态分布，则可利用正态分布的性质进行精度评定；（2）独立性检验分析测量误差之间是否存在相关性，若误差相互独立，则说明测量过程中不存在系统误差的累积效应；（3）等精度检验判断不同测次或不同测量点的测量精度是否一致，为后续精度评定提供基础。在实际应用中，首先收集一定数量的测量数据，计算各测量点的深度误差与平面位置误差^[1]。然后运用卡方检验、夏皮罗-威尔克检验等方法进行正态性检验，若误差数据通过正态性检验，则计算误差的均值、标准差等统计量，以均值衡量系统误差大小，以标准差衡量随机误差大小。通过独立性检验判断误差之间是否存在相关性，若存在相关性，需进一步分析原因并采取相应措施消除。等精度检验可采用方差分析方法，比较不同测次或不同测量点的方差，判断测量精度是否一致。

2.2 对比分析法

对比分析法是将水下地形测量成果与已知高精度参考数据或其他可靠测量成果进行对比，以评定测量精

度。参考数据可以是经过长期验证的水下地形基准数据,也可以是采用更高精度测量方法获取的成果。对比分析的内容包括深度数据对比、平面位置数据对比以及地形特征对比等。(1)在深度数据对比方面,计算测量成果与参考数据之间的深度差值,统计差值的分布情况,计算深度误差的中误差、最大误差等指标^[2]。例如,在某港口航道测量中,将多波束测深系统测量成果与单波束测深仪高精度测量成果进行对比,发现深度误差中误差为 $\pm 0.2\text{m}$,最大误差为 $\pm 0.5\text{m}$,通过对比分析可直观了解测量成果的深度精度。(2)平面位置数据对比则通过计算测量点与参考点之间的平面距离误差,评估平面位置测量精度。(3)地形特征对比关注测量成果对水下地形地貌特征的反映程度,如水底沟壑、礁石等特征的形状、位置与尺寸误差,判断测量成果能否准确反映实际地形。

2.3 不确定度评定法

(1)不确定度评定法综合考虑测量过程中各种误差来源及其对测量结果的影响,以不确定度的形式量化测量结果的精度。根据测量模型与误差传播定律,将测量误差分为A类不确定度与B类不确定度。A类不确定度通过统计分析测量数据的重复性或复现性获得,采用贝塞尔公式计算标准偏差作为A类不确定度的估计值;B类不确定度则基于仪器设备的校准证书、技术说明书等资料,结合经验判断确定。(2)在水下地形测量中,对于深度测量不确定度评定,先分别计算A类不确定度与B类不确定度,再根据误差传播定律合成总不确定度。例如,深度测量中,A类不确定度由多次重复测量的标准偏差确定,B类不确定度考虑换能器安装误差、声速测量误差等因素,通过查阅相关标准与仪器说明书确定各误差分量的分布范围与包含因子,计算B类不确定度分量,最后将A类与B类不确定度分量合成,得到深度测量的总不确定度,以此评估深度测量的精度水平。

2.4 图形分析法

图形分析法通过绘制误差分布图、等值线图等图形,直观展示测量误差的空间分布特征与变化规律,辅助精度评定。(1)误差分布图将各测量点的误差值以不同颜色或符号在地图上标注,便于观察误差的空间分布趋势,判断是否存在系统误差的区域性分布特征。例如,若误差分布图显示某一区域深度误差普遍偏大,可能表明该区域存在水流干扰或测量仪器在该区域性能不稳定等问题。(2)等值线图则将测量误差或地形高程等值化,绘制等误差线或等高线,直观反映误差或地形的变化梯度。通过分析等值线图的形态、疏密程度等,可

了解测量误差的空间变化规律,评估测量成果对地形特征的反映精度。在某大型湖泊水下地形测量中,绘制深度误差等值线图,发现湖泊中心区域误差等值线稀疏,说明该区域测量精度较为均匀;而靠近岸边区域误差等值线密集,表明岸边区域测量误差变化较大,可能受水流、水深变化等因素影响,为后续精度改进提供方向。

3 不同精度评定方法的应用案例分析

3.1 案例背景

某沿海城市为进行港口扩建工程,需对港口附近海域进行水下地形测量,测量面积约10平方公里,水深范围为5~20m。测量采用多波束测深系统与DGPS定位设备,为确保测量成果满足工程设计与施工要求,需对测量精度进行评定。

3.2 精度评定方法应用

(1)统计检验法:收集了5个测区的测量数据,每个测区包含约1000个测量点。对深度误差进行正态性检验,采用夏皮罗-威尔克检验方法,结果显示误差数据服从正态分布。计算深度误差的均值为 -0.05m ,标准差为 0.15m ,表明系统误差较小,随机误差在可接受范围内。通过独立性检验,发现误差之间不存在显著相关性,说明测量过程中系统误差未出现累积效应。等精度检验采用方差分析,结果表明各测区的测量精度一致。(2)对比分析法:选取部分区域,采用单波束测深仪进行高精度复测作为参考数据。将多波束测深系统测量成果与单波束复测成果进行对比,深度误差中误差为 $\pm 0.18\text{m}$,最大误差为 $\pm 0.4\text{m}$;平面位置误差中误差为 $\pm 0.3\text{m}$,最大误差为 $\pm 0.6\text{m}$ ^[3]。同时对比分析发现,多波束测量成果对水下礁石、沟壑等地形特征的反映较为准确,与单波束复测成果在地形特征位置与形状上基本一致。(3)不确定度评定法:在深度测量不确定度评定中,A类不确定度通过20次重复测量计算得到标准偏差为 0.12m ;B类不确定度考虑换能器安装误差($\pm 0.05\text{m}$)、声速测量误差($\pm 0.08\text{m}$)等因素,合成总不确定度为 $\pm 0.20\text{m}$ 。该不确定度结果表明,深度测量结果在95%的置信水平下,测量值与真实值之间的误差范围在 $\pm 0.20\text{m}$ 以内,满足工程对深度测量精度的要求。(4)图形分析法:绘制深度误差分布图与等值线图。误差分布图显示,大部分测量点的深度误差集中在 $-0.1\sim 0.1\text{m}$ 范围内,仅少数点误差较大,主要分布在测量区域边缘与水流湍急区域。等值线图表明,深度误差在测量区域内分布较为均匀,未出现明显的区域性误差集中现象,进一步验证了测量成果的整体精度可靠性。

3.3 案例总结

通过综合运用统计检验法、对比分析法、不确定度评定法与图形分析法对该港口附近海域水下地形测量成果进行精度评定,结果表明测量成果满足工程设计与施工要求。不同精度评定方法相互补充,从不同角度全面评估了测量精度,为工程决策提供了科学依据。同时,通过精度评定发现了测量过程中可能存在的问题,如测量区域边缘与水流湍急区域误差相对较大,为后续测量工作改进提供了方向。

4 提升水下地形测量精度的策略

4.1 优化仪器设备

选用高精度、高稳定性的测量仪器设备,并定期进行校准与维护。例如,采用具有更高频率稳定性与指向性的多波束换能器,提高声波探测精度;选用高精度DGPS定位设备,增强定位信号接收能力,降低定位误差。同时,建立仪器设备档案,记录设备的校准周期、维护情况等信息,确保仪器设备始终处于良好工作状态。

4.2 改进测量方法

根据测量区域的水文地质条件与测量任务要求,选择合适的测量方法与参数。在水流湍急区域,适当减小采样间隔,增加测量点密度,提高测量数据的可靠性;在复杂地形区域,采用多波束测深系统与侧扫声呐相结合的测量方法,全面获取水下地形地貌信息。此外,优化测量航迹设计,确保测量区域覆盖完整,减少测量盲区。

4.3 加强人员培训

提高测量人员的专业技能与综合素质,加强测量技术培训,使测量人员熟练掌握测量仪器的操作方法、数据处理流程与精度评定技术。定期组织技术交流与经验分享活动,让测量人员了解行业最新动态与技术发展,不断提升自身能力水平^[4]。同时强化测量人员的质量意识与责任意识,严格按照测量规范与操作流程进行测量工作,减少人为误差。

4.4 完善质量控制体系

建立完善的水下地形测量质量控制体系,从测量方案制定、仪器设备准备、测量实施到数据处理与成果验收,全过程实施质量控制。制定详细的质量控制标准与检查流程,对每个环节进行严格把关。例如,在测量过程中,设置检查点进行重复测量,对比测量结果,及时发现并纠正测量误差;在数据处理环节,采用多种方法进行数据验证与滤波处理,确保数据处理结果的准确性。

结语

水下地形测量精度评定是一项复杂而重要的工作,对于保障测量成果质量、推动相关领域发展具有重要意义。本文系统分析了水下地形测量的误差来源,深入研究了统计检验法、对比分析法、不确定度评定法与图形分析法等多种精度评定方法,并结合实际案例阐述了方法的应用过程与效果。通过案例分析可知,不同精度评定方法各有优劣,综合运用多种方法能够更全面、准确地评估测量精度。同时,针对测量过程中存在的误差问题,提出了优化仪器设备、改进测量方法、加强人员培训与完善质量控制体系等提升测量精度的策略。未来,随着测量技术的不断发展,应进一步探索更加高效、精准的精度评定方法,不断提高水下地形测量水平,为经济社会发展提供更可靠的水下地形信息支持。

参考文献

- [1]赵忠文,张旭,官福红,等.雷达动态精度快判方法研究[J].中国测试,2023,49(12):101-107.
- [2]张亚奇,鲁高飞,颜元,等.一种基于RCS测量的精度评定方法[J].无线电工程,2022,52(09):1678-1682.
- [3]朱峻可,李丽娟,林雪竹.激光雷达测量系统的现场精度评价方法[J].长春理工大学学报(自然科学版),2021,44(01):28-35.
- [4]潘鑫,张俐,何凯.激光雷达复材型面测量精度分析方法[J].北京航空航天大学学报,2020,46(07):1398-1404.