

水运工程测绘新技术及应用分析

吴卫锋

浙江兰溪港内河港务有限公司 浙江 金华 321112

摘要：水运工程作为交通基础设施重要部分，对测绘技术需求严格且面临诸多挑战。本文介绍了水运工程测绘新技术体系，涵盖空中三维测绘、水下高精度探测、地表-水下一体化测绘及智能数据处理与分析技术，分析了其在港口工程建设、航道维护、特殊环境测绘及应急测绘等场景的应用。研究表明，新技术在精度、效率及成本优化方面优势显著，能快速响应工程需求，为水运工程全周期提供精准数据支撑，推动水运工程测绘高质量发展。

关键词：水运工程测绘；多波束测深；无人机倾斜摄影；智能监测

1 水运工程测绘技术需求与挑战

水运工程作为交通基础设施的关键部分，对测绘技术有着特定且严格的需求。在规划阶段，需精确测绘水域地形、水深、水流等基础地理信息，为港口布局、航道选线提供科学依据，确保水运设施与自然条件适配。建设过程中，高精度的测绘能保障码头、防波堤等结构物的精准定位与施工，避免因测量误差导致的工程质量问題。运营阶段，实时监测航道淤积、水位变化等情况，有助于及时调整维护策略，保障船舶安全通行。然而，水运工程测绘也面临诸多挑战。水域环境复杂，水流、波浪、潮汐等因素干扰大，影响测量设备的稳定性与数据准确性。水下地形隐蔽，传统测量手段难以全面获取信息，需借助多波束测深、侧扫声呐等先进技术，但设备成本高、操作复杂^[1]。大规模水运工程涉及跨区域、长周期作业，数据整合与管理难度大，对测绘技术的信息化、智能化水平提出更高要求。

2 水运工程测绘新技术体系

2.1 空中三维测绘技术

空中三维测绘技术凭借高空视角与多维数据采集能力，成为水运工程测绘的核心支撑技术之一。该技术以无人机航测系统为核心，集成高清相机、激光雷达（LiDAR）等设备，可快速覆盖港口陆域、航道沿线等大范围区域。作业时，无人机按预设航线自主飞行，激光雷达精准获取地表三维坐标，高清相机同步采集影像数据，通过空中三角测量技术生成DOM（数字正射影像图）、DSM（数字表面模型）等成果。与传统陆地测绘相比，其效率提升5-10倍，单架次无人机单日可完成数十平方公里测绘任务。在港口总平面设计阶段，能快速构建陆域三维地形模型，为场地平整、道路布设提供精准数据；航道选线时，可清晰呈现沿线地形地貌，辅助规避不良地质区域。该技术还具备动态监测能力，通过多

期数据对比可精准分析码头沉降、岸线侵蚀等变化。同时，其无需人员进入危险作业区，在爆破区、陡坡等区域作业时安全性显著提升，不过在恶劣天气（如强风、暴雨）下作业受限，需结合气象条件合理规划。

2.2 水下高精度探测技术

水下高精度探测技术突破了传统水下测绘的精度与效率瓶颈，构建了以多波束测深仪、侧扫声呐及水下机器人（ROV）为核心的技术体系。多波束测深仪通过向水下发射多个声波束，可一次性获取宽幅水下地形数据，测深精度达厘米级，相比单波束效率提升数十倍，能完整呈现水下沙丘、淤积体等微地形特征，为航道疏浚、港池开挖提供精准依据。侧扫声呐则可清晰探测水下碍航物，如沉船、礁石等，通过声呐影像精准定位其位置、尺寸及形态，有效降低船舶搁浅风险。水下机器人搭载高清摄像头、水质传感器等设备，可深入浅滩、桥墩下方等船舶难以到达的区域作业，实现近距离观测与数据采集。在技术应用中，通过多设备数据融合，可构建水下三维可视化模型，直观展示水下地形与构筑物状态。该技术在航道维护中可实现淤积量精准测算，在码头桩基检测中能排查水下结构破损情况，不过其作业受水体透明度、流速影响较大，在浑浊水域需结合其他技术互补使用。

2.3 地表-水下一体化测绘技术

地表-水下一体化测绘技术打破了传统测绘中陆地与水下数据分离的壁垒，实现了工程区域全域数据的同步获取与融合。该技术核心在于集成空中遥感、陆地测量与水下探测设备，通过统一的坐标系统实现多源数据的精准匹配。例如，在港口工程测绘中，无人机航测获取地表地形与岸线数据，多波束测深仪同步采集港池水下地形数据，陆地GNSS基站提供实时定位基准，通过数据融合平台生成涵盖陆域、岸线、水下的全域三维模

型。相比传统分区域测绘模式，该技术避免了数据拼接误差，提升了整体数据一致性，全域测绘效率提升30%以上。在航道整治工程中，可同步分析岸线侵蚀与水下淤积的关联关系，为整治方案制定提供全面依据；在跨海大桥建设中，能精准呈现桥位区地表地形、水深及地质条件，辅助桥墩基础设计。该技术还具备动态更新能力，通过定期复测可实现地表-水下地形变化的一体化监测，不过其设备集成度要求高，数据处理需专业算法支撑，前期技术投入相对较大。

2.4 智能数据处理与分析技术

智能数据处理与分析技术为水运工程测绘数据的高效利用提供了核心支撑，通过人工智能、大数据及云计算技术实现数据处理的自动化、智能化升级。传统数据处理需人工干预的环节，如数据去噪、异常值剔除、格式转换等，现可通过机器学习算法自动完成，处理效率提升80%以上，且人为误差大幅降低。例如，通过深度学习模型可自动识别水下测深数据中的礁石、沉船等异常目标，并精准标注其位置与属性^[2]。在数据融合方面，该技术可实现空中、陆地、水下多源数据的快速融合，生成统一的三维可视化模型，支持工程设计、施工进度管控等场景的可视化决策。在数据分析层面，通过大数据挖掘可发现地形地貌演变规律，如航道年淤积量变化趋势、码头沉降规律等，为工程运维提供预测性支撑。此外，借助云计算平台可实现测绘数据的远程存储、共享与协同分析，支持多部门同步开展工作，不过其对数据安全防护与算法适配性要求较高，需结合工程实际优化模型参数。

3 新技术应用场景

3.1 港口工程建设测绘

在港口工程建设全周期中，新技术体系实现了测绘工作的精准化与高效化升级。勘察设计阶段，空中三维测绘技术快速获取港口陆域地形与岸线数据，生成高精度数字高程模型，为总平面布局、堆场规划提供基础数据；水下高精度探测技术同步采集港池、航道水深数据，结合地质勘察数据构建水下地质三维模型，辅助确定码头结构形式与基础埋深。施工阶段，地表-水下一体化测绘技术实时监测施工区域地形变化，为土方开挖、桩基施工提供精准定位指导，如通过GNSS实时动态监测技术实现码头桩基安装的厘米级定位。同时，智能数据处理技术快速分析施工监测数据，及时反馈基坑沉降、边坡位移等风险隐患。竣工验收阶段，通过多源数据融合生成竣工三维模型，与设计模型对比核查施工质量，如核查码头前沿水深是否满足设计要求、陆域场地平整

度是否达标。在港口改扩建工程中，新技术还可对比分析历史与现状测绘数据，明确场地地形演变规律，为改扩建方案制定提供依据，有效缩短勘察设计周期，降低施工返工风险。

3.2 航道维护与动态监测

新技术体系为航道维护与动态监测提供了高效解决方案，实现了从“定期巡检”到“实时监测”的转变。在日常维护中，水下高精度探测技术定期对航道水深进行扫描，结合智能数据处理技术自动测算淤积量，生成淤积分布热力图，精准定位需疏浚区域，相比传统方法减少30%以上的疏浚工程量，降低维护成本。例如，通过多波束测深仪每月对航道进行一次全覆盖探测，快速识别淤积严重区域并制定针对性疏浚计划。在动态监测方面，地表-水下一体化测绘技术结合物联网传感器，实现航道地形、水深及水流速度等参数的实时采集，数据通过无线传输至监测平台，一旦出现水深不足、航道变形等异常情况，系统自动报警。对于通航繁忙的航道，无人机空中测绘可快速排查航道内的漂浮物、搁浅船舶等碍航物，及时反馈至海事部门处置。另外，智能数据分析技术通过长期监测数据挖掘，预测航道淤积趋势，如根据季节变化规律提前制定汛期疏浚预案，保障航道通航安全。该技术在长江、珠江等内河航道维护中应用广泛，有效提升了航道通行效率与安全性。

3.3 特殊环境测绘

在极地航道、内河急流浅滩等特殊环境测绘中，新技术体系突破了传统技术的适应性瓶颈。极地航道测绘中，低温、暴雪、冰层覆盖等极端条件限制了人工作业，无人机空中三维测绘技术搭载耐寒设备，可在-40℃环境下自主飞行，获取冰面地形与冰厚数据；水下机器人搭载破冰装置，深入冰层下方采集水深与地质数据，结合卫星定位技术实现精准定位。通过数据融合构建极地航道三维模型，为船舶通航提供冰情、水深等关键信息^[3]。内河复杂水域如西南山区急流险滩，传统船舶测绘易受水流冲击，水下高精度探测技术采用无人测量船搭载多波束测深仪，通过遥控操作实现险滩区域水下地形测绘，避免人员安全风险；空中三维测绘技术同步获取两岸山体地形数据，分析滑坡、泥石流等地质灾害隐患。在河口潮汐区域，地表-水下一体化测绘技术结合潮汐观测数据，实现不同潮位下的地形测绘，精准呈现潮汐对航道水深的影响，为航道整治方案制定提供精准数据，填补了特殊环境下高精度测绘的技术空白。

3.4 应急测绘与灾害评估

在洪涝、地震、船舶碰撞等突发事件中，新技术体

系实现了应急测绘的快速响应与精准评估。灾害发生后，无人机空中三维测绘技术可在1-2小时内抵达现场，快速获取受灾区域地表影像与地形数据，生成灾害现场三维模型，直观呈现码头损毁、岸线坍塌、航道堵塞等情况；水下高精度探测技术同步排查水下碍航物与沉船位置，为救援船舶通航提供保障。智能数据处理技术快速分析测绘数据，量化灾害损失，如计算码头损毁面积、航道淤积量、货物损失数量等，为应急指挥提供数据支撑。在灾后重建阶段，地表-水下一体化测绘技术获取受灾区域详细地形与地质数据，结合灾害评估结果制定重建方案，如确定码头重建的基础埋深、航道疏浚的范围与深度。例如，在港口洪涝灾害中，无人机60分钟内完成受灾区域测绘，生成的三维模型精准定位了3处沉船位置与2段坍塌岸线，智能分析系统测算出淤积量约5万立方米，为救援疏浚与灾后重建提供了精准依据，大幅提升了应急处置效率。

4 水运工程测绘新技术优势

4.1 精度与效率提升

水运工程测绘新技术在精度与效率方面实现了质的飞跃，远超传统技术水平。精度提升方面，空中三维测绘技术采用激光雷达与高清相机融合采集，地表点云密度达每平方米50-100个点，平面精度优于5厘米，高程精度优于3厘米；水下高精度探测技术中多波束测深仪的测深精度达10厘米，结合声速剖面仪修正水体声速误差，可精准捕捉水下厘米级微地形变化。相比传统全站仪测绘1-2厘米的平面精度、单波束测深仪0.5米的测深精度，新技术精度提升显著。效率提升方面，无人机空中测绘单日可完成50平方公里陆域测绘，是传统人工测绘效率的10倍以上；无人测量船搭载多波束测深仪单日可完成20公里航道水下测绘，效率提升5倍以上。智能数据处理技术实现数据自动处理与分析，处理周期从传统的数天缩短至数小时，如100平方公里的测绘数据可在4小时内完成处理并生成成果。精度与效率的双重提升，使新技术能快速响应工程需求，为设计、施工提供及时精准的数据支撑。

4.2 成本优化

新技术体系通过流程优化、效率提升及风险降低，实现了水运工程测绘成本的显著优化。在设备投入方面，虽然新技术设备初期采购成本较高，但长期使用中运维成本更低，如无人机相比传统测绘船舶，年运维成本降低60%以上，且无需大量船员配备。人力成本方面，新技术自动化程度高，单项目测绘团队人数从传统的10-15人减少至3-5人，人力成本降低50%-70%；智能数据处理技术替代人工数据整理，进一步减少数据处理环节的人力投入^[4]。作业成本方面，新技术大幅缩短作业周期，如港口勘察测绘周期从传统的30天缩短至10天，减少了设备租赁、场地占用等费用；精准的测绘数据降低施工返工率，如码头施工中因测绘误差导致的返工率从传统的8%降至1%以下，大幅减少返工成本。另外，新技术在灾害应急测绘中快速响应，减少灾害造成的间接损失，如航道堵塞时快速定位碍航物，缩短航道中断时间，降低航运企业损失，整体实现测绘及关联工程成本降低30%左右。

结束语

水运工程测绘新技术体系的构建与应用，为行业发展注入了强大动力。从空中到水下、从地表到全域的一体化测绘，结合智能数据处理，极大提升了测绘的精度、效率并优化了成本。在各类应用场景中，新技术展现出强大的适应性与实用性。未来，随着技术的不断创新与完善，水运工程测绘将更加精准、高效、智能，为保障水运交通安全、促进水运事业可持续发展提供更坚实的支撑。

参考文献

- [1]姚彦夫.浅析水运工程测绘新技术的应用和预测[J].建筑·建材·装饰,2019(20):102,105.
- [2]李奕燃.数字化测绘技术在工程测量中的应用研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2023(1):0022-0024
- [3]吴文霞,高恺,刘加龙,高蔚.BIM+GIS技术在水库工程可研阶段勘察设计应用研究[J].中国农村水利水电,2023(1):139-145,151.
- [4]张锐.无人机技术在内河水运工程测绘中的运用[J].科海故事博览,2024(36):16-18.