

测绘工程特殊地形的测绘技术

李 宝

天佑工程勘测（天津）有限公司 天津 300392

摘 要：本文围绕测绘工程中特殊地形的测绘技术展开研究，明确特殊地形的界定标准与五大分类，分析各类地形的测绘难点及共性问题。重点阐述无人机测绘、三维激光扫描等核心技术的原理、适用场景及优化措施，结合工程实践案例说明技术应用效果，总结精度控制要点与成果评价方法。研究表明，合理融合各类测绘技术可有效解决特殊地形数据采集难、精度低等问题，为工程建设提供精准数据支撑，对提升特殊地形测绘效率与质量具有重要意义。

关键词：测绘工程；特殊地形；测绘技术

引言：随着我国工程建设向山地、沙漠、岩溶等特殊区域延伸，特殊地形测绘成为工程推进的关键环节。特殊地形因地貌复杂、作业环境恶劣，常规测绘技术难以适配，易出现数据采集不完整、精度不达标等问题，制约工程质量与进度。当前，测绘技术不断革新，无人机、三维激光扫描等新技术的应用为特殊地形测绘提供了新路径。因此，系统研究特殊地形的测绘技术、难点及应用策略，对突破测绘瓶颈、保障工程建设安全有序开展具有重要的现实价值与实践意义。

1 特殊地形分类及测绘核心难点

1.1 特殊地形的界定与主要分类

（1）界定标准：以地形复杂度、作业难度、环境特殊性为核心界定依据，明确特殊地形是指脱离常规平坦地形范畴，因地貌复杂、作业条件恶劣，导致常规测绘技术难以适配，需采用专项方法与设备才能完成测绘工作的地形类型，核心是区别于普通地形的作业特殊性与技术适配难度。（2）主要分类：主要分为五大类，分别是山地高原地形、沼泽湿地地形、沙漠戈壁地形、城镇密集区及地下地形、水域滩涂及岩溶地形，各类地形地貌差异明显，环境条件各具特点，直接决定了其测绘工作的重点方向与核心难点。

1.2 典型特殊地形的测绘难点分析

（1）山地高原地形：地势陡峭、沟壑纵横，山体遮挡严重导致通视条件极差，观测点布设受限；区域环境恶劣，常伴随低温、强风、缺氧等极端天气，既威胁作业人员安全，又会影响测绘仪器的稳定性与精度，进而导致控制点布设困难、点位稳定性不足。（2）沼泽湿地与水域滩涂：沼泽湿地地地泥泞、承载力极低，测绘设备易陷入淤泥无法正常移动，人员作业风险高；水域滩涂水位受季节、潮汐影响波动较大，直接干扰高程测量的准确性，且水下地形复杂，难以实现全方位数据采集，易

出现漏测问题。（3）沙漠戈壁与岩溶地形：沙漠戈壁区域风沙频繁，沙尘易污染仪器镜头、干扰信号传输，且区域内缺乏明显地物标识，难以布设有效控制点；岩溶地形多溶洞、暗河等隐蔽地貌，地表与地下构造差异大，隐蔽性强，地下地形探测难度高，易遗漏关键数据^[1]。

1.3 特殊地形测绘的共性问题

（1）数据采集难度大：各类特殊地形普遍存在通视条件差、信号衰减严重的问题，部分区域作业环境危险，作业人员难以抵达，导致数据采集不全面、不连贯，易出现数据空洞，影响测绘成果的完整性与连续性。（2）精度控制难度高：外界环境干扰因素繁杂，极端天气、地形遮挡、信号干扰等均会影响仪器运行精度，同时地形复杂度高导致仪器系统误差难以修正，易造成数据偏差，难以满足测绘工作的精度标准。（3）作业效率偏低：传统测绘技术依赖大量人工现场作业，特殊环境下测绘设备适配性差、易出现故障，且作业流程繁琐、容错率低，导致整体作业进度缓慢，工期难以精准把控，增加了测绘工作的成本与难度。

2 测绘工程特殊地形的核心测绘技术

2.1 无人机测绘技术及应用

（1）技术原理：无人机测绘技术以轻型无人机为搭载平台，根据测绘需求配备高清可见光相机、激光雷达传感器等核心设备，通过预设航线实现低空自主飞行，同步完成地形影像采集、距离测量与三维数据捕捉。其核心是利用无人机的灵活机动性，突破地面作业限制，结合GNSS定位技术，将采集到的影像数据与位置信息同步传输至地面终端，经专业软件处理后生成高精度地形影像图、三维模型，满足特殊地形测绘的基础数据需求。（2）适用场景：该技术主要适用于人员难以抵达、作业环境恶劣的特殊地形，尤其适配山地、沙漠、沼泽等区域。在山地高原地形中，可规避地势陡峭、通视受

阻的问题,完成山体坡面、沟壑等区域的影像采集;在沙漠戈壁区域,可快速覆盖广阔范围,捕捉沙丘形态与分布数据;在沼泽湿地区域,无需人员进入即可完成地表影像与高程数据采集,避免设备陷入淤泥、人员遭遇安全风险,同时可兼顾水域滩涂的地形监测,实现全方位、无死角的数据获取^[2]。(3)技术优势与优化:无人机测绘技术最突出的优势是机动性强、作业效率高,相较于传统人工测绘,可大幅缩短作业工期,降低人工成本,且能在复杂环境中实现高效作业。针对特殊环境的适配优化,重点开展高原、强风环境的设备改造与航线优化:对无人机动力系统升级,提升高原低气压环境下的续航能力;优化机身结构,增强抗风稳定性,应对强风天气的飞行干扰;通过预设避障航线、调整飞行高度与速度,减少地形遮挡与环境干扰,确保数据采集的精度与完整性。

2.2 三维激光扫描技术及应用

(1)技术原理:三维激光扫描技术又称“实景复制技术”,其核心原理是通过激光发射器发射高频激光脉冲,激光脉冲接触地形地物表面后反射,接收器捕捉反射信号并计算传播时间,结合定位系统精准获取目标点的三维空间坐标,快速生成海量三维点云数据。该技术无需接触目标物体,可实现远距离、非接触式测量,有效规避特殊地形对作业人员的安全威胁,同时能精准捕捉地形地物的细微特征,为后续数据处理与建模提供高质量基础数据。(2)适用场景:主要适用于地形复杂、地物密集或存在隐蔽构造的特殊地形,包括城镇密集区、岩溶地形、山地峡谷等。在城镇密集区,可穿透建筑遮挡,精准捕捉建筑物轮廓、道路布局及地下管网浅部信息,避免人工测量的盲区;在岩溶地形中,能捕捉地表岩溶裂隙、塌陷坑等特征,同时辅助探测地下溶洞的大致范围;在山地峡谷区域,可应对地势陡峭、通视受阻的问题,实现峡谷两岸地形的全方位扫描,获取完整的三维地形数据,为工程设计提供支撑。(3)数据处理流程:三维激光扫描采集的原始点云数据易受环境干扰,存在噪声点、冗余数据及数据缺失等问题,需经过规范的处理流程提升数据质量。具体流程为:1)进行点云去噪,通过专业软件剔除沙尘、植被遮挡等产生的噪声点,保留有效数据;2)进行点云拼接,将不同扫描站点采集的点云数据进行对齐融合,消除拼接误差;3)进行建模处理,结合地形特征与实际需求,构建三维地形模型或地物模型,同时对模型进行精度校准,确保数据的准确性与完整性,满足特殊地形测绘的精度要求^[3]。

2.3 其他辅助测绘技术及融合应用

(1)GPS/RTK与全站仪结合技术:该技术是特殊地形测绘中控制点布设与局部细节测量的核心辅助技术。GPS/RTK技术利用卫星定位系统实现实时动态定位,可快速获取控制点的三维坐标,解决特殊地形中控制点布设困难、定位不准的问题,尤其适用于山地、沙漠等缺乏地物标识的区域;全站仪则具备高精度测量优势,可针对局部细节区域(如岩溶裂隙、建筑边角、地形突变点)进行精准测量,弥补GPS/RTK技术在局部细节测量中的不足,两者结合实现“快速布控+精准补测”,提升测绘数据的整体精度。(2)遥感技术:主要用于大范围特殊地形的宏观测绘与动态监测,作为核心测绘技术的补充。通过卫星或航空遥感设备,可快速覆盖广阔的特殊地形区域,获取宏观地形影像与地形分布数据,辅助确定测绘重点区域,减少盲目作业;同时可实现动态监测,实时跟踪地形变化,如沙漠沙丘移动、沼泽水位变化、岩溶区域塌陷等,为测绘成果的更新与维护提供数据支撑,尤其适用于沙漠戈壁、大范围水域滩涂等区域的宏观测绘^[4]。(3)地面穿透雷达技术:针对岩溶、地下隐蔽地形的专项辅助测绘技术,其原理是通过发射高频电磁波,穿透地表介质(土壤、岩石等),电磁波遇到地下构造,溶洞、暗河、地下管线等后反射,接收器捕捉反射信号并进行分析,精准探测地下构造的位置、形态与规模。该技术有效解决了岩溶区域、地下隐蔽地形难以直接观测的问题,可弥补常规测绘技术的探测盲区,为地下地形测绘提供精准数据,保障工程建设的安全性与科学性。

3 特殊地形测绘技术的工程实践与精度控制

3.1 工程实践案例分析

(1)山地高原测绘案例:某高原水电站建设中,采用“空天地水一体化”测绘模式,融合无人机测绘、三维激光扫描与GPS/RTK技术。针对高原低温、强风、通视受阻的难点,改造无人机抗风性能、优化飞行航线,利用激光雷达穿透植被遮挡,同步结合水下探测设备,完成库区及周边山地、水下地形的数据采集。实践表明,该模式有效解决了高原控制点布设难、数据采集不全的问题,测绘效率较传统技术提升50%以上,精度满足水电站坝体选址、库容计算的核心要求,提供了精准的数据支撑。(2)城镇密集区测绘案例:某旧城改造工程中,采用三维激光扫描与无人机倾斜摄影融合技术。针对建筑密集、遮挡严重、地面作业空间有限的问题,用三维激光扫描精准捕捉建筑轮廓、墙体结构及地下管网浅部信息,结合无人机倾斜摄影获取旧城全景影像、构建三维实景模型。通过数据融合,清晰呈现建筑布局、地形起伏及基

基础设施分布,为改造方案设计、拆迁量核算、施工管控提供全方位测绘成果,提升了工程效率与科学性。(3)水域及岩溶地形测绘案例:高原盐湖水下测绘中,采用无人机遥感与水下声呐探测结合技术,规避高盐、低温对设备的腐蚀干扰,精准获取水下地形高程与沉积物分布数据;大型水库坝址岩溶探测中,融合三维激光扫描与地面穿透雷达技术,捕捉地表岩溶裂隙、塌陷坑特征,探测地下溶洞、暗河的位置与规模,规避岩溶地质对坝体安全的隐患,为工程安全建设提供可靠保障。

3.2 特殊地形测绘精度控制要点

(1)前期准备:开展全面的测区勘察,明确测区地形特征、环境条件及精度要求,梳理可能影响测绘精度的干扰因素;对所有测绘仪器进行严格校准,包括无人机、激光雷达、全站仪等,消除仪器系统误差;结合测区实际,合理布设控制点,优先选择地势开阔、稳定性强的区域,优化作业方案,明确各环节技术参数与操作规范,为后续精度控制奠定基础。(2)过程控制:在数据采集环节,根据测区环境与地形特点,灵活调节仪器参数,如无人机飞行高度、激光扫描频率等,确保数据采集的清晰度与完整性;主动规避环境干扰,强风、暴雨天气暂停作业,沙漠区域做好仪器防尘防护,水域区域避开水位剧烈波动时段,同时加强现场巡查,及时发现并解决数据采集过程中的偏差问题,保障采集数据的真实性与准确性。(3)后期处理:对采集的原始数据进行规范处理,首先通过专业软件完成数据去噪,剔除噪声点、冗余数据,弥补数据空洞;其次进行数据校正,修正仪器误差、环境干扰带来的偏差,对不同技术采集的数据进行融合处理,确保数据的一致性;最后对处理后的成果进行精度校准,对比规范要求,调整优化,降低整体误差,全面提升测绘成果的精度与可靠性^[5]。

3.3 测绘成果质量评价标准与方法

(1)评价标准:严格遵循国家及行业相关测绘规范,

明确核心评价指标,其中平面误差、高程误差需符合工程设计要求,一般特殊地形平面误差不超过5cm,高程误差不超过3cm;同时要求测绘成果完整、规范,包含地形影像图、三维模型、数据报告等相关资料,数据格式符合行业标准,能够满足工程设计、施工、验收等各环节的使用需求。(2)评价方法:采用实地验证法与数据对比法相结合的方式,验证测绘成果的准确性与可靠性。实地验证法通过选取测区内若干控制点,采用高精度仪器进行实地测量,将测量数据与测绘成果数据进行对比,核算误差值;数据对比法将本次测绘成果与历史测绘数据、相邻区域测绘成果进行对比分析,排查数据偏差与矛盾,确保测绘成果的一致性与合理性,全面保障成果质量。

结束语

综上所述,特殊地形测绘是一项兼具复杂性与专业性的系统工程,其难点集中在数据采集、精度控制与作业效率三大方面。无人机、三维激光扫描等核心技术的融合应用,有效破解了传统测绘的局限,结合科学的精度控制体系与成果评价方法,可实现特殊地形测绘的精准化、高效化。未来需持续优化技术适配性,推动多技术深度融合,完善相关标准规范,为各类特殊地形测绘工程提供更可靠的技术支撑,助力工程建设高质量发展。

参考文献

- [1]戴骏睿.测绘工程中特殊地形的测绘技术研究[J].工程技术研究.2024,9(24):89-93.
- [2]宋冬冬.测绘技术在建筑工程施工中的应用分析[J].智能建筑与智慧城市.2023,11(8):132-136.
- [3]孙金波.测绘工程中特殊地形的测绘技术分析[J].四川建材.2022,48(4):217-219.
- [4]张学才.多源观测技术在黄浦江三维地形河道测量中的应用[J].测绘通报.2024,(S2).82-85.
- [5]陈文坤,吴传彦,李章超,等.数字化技术在水利工程测绘设计中的应用研究[J].长江技术经济.2022,(S1):248-250.