

设备校准。首先需要结合轨道交通施工场景的特点,制定专项测量方案,明确测量范围、精度指标(点云密度、拼接精度)、扫描站点布设原则,站点布设要保证相邻站点之间有 30% 以上的重叠区域,避免出现数据盲区;其次,要进行设备校准,包括激光测距精度校准、姿态传感器校准、标靶精度校验,校准周期要严格按照设备说明书的要求,一般每月校准一次,保证设备处于最佳的工作状态;最后要收集设计图纸、BIM 模型等基础资料,对设计坐标系统进行复核,保证扫描数据 and 设计数据的坐标一致性,为后续数据配准精度提供保障^[5]。

4.2 数据处理阶段的精度优化方法

数据处理阶段为提高测量精度打下了重要的基础,经过一连串的处理后可进一步提高测量的精度。首先进行点云去噪处理,用统计滤波法剔除噪声点(距离平均值超过 3 倍标准差的点),用半径滤波法剔除孤立点,保证点云数据的纯净;其次为点云拼接优化,采用标靶拼接和特征点拼接相结合的方式,标靶拼接控制整体精度,特征点拼接优化局部精度,拼接完成后要对拼接误差进行检测,误差超过允许范围(≤ 2 毫米)时需要重新拼接;再次为数据配准校准,将扫描点云数据与设计 BIM 模型进行配准,采用 ICP(迭代最近点)算法优化配准精度,配准误差要控制在 1 毫米以内;最后为模型构建精度控制,根据施工需求选择合适的建模方法,结构化构件采用参数化建模,复杂地形采用面片建模,保证模型与实际结构的一致性,建模完成后通过现场抽样测量来验证模型精度。

4.3 典型施工场景的实践应用案例

以某地铁 15 号线一期工程为例,该工程有 10 座车站、12 公里隧道,施工测量精度要求轴线偏差 ≤ 3 mm、高程偏差 ≤ 2 mm。采用三维激光扫描技术进行施工测量,具体如下:在车站主体结构施工中,使用 Faro Focus S70 扫描仪布置 20 个扫描点,采集车站主体结构点云数据,数据处理后生成三维实景模型,与设计 BIM 模型比对后快速识别出 3

处结构尺寸偏差(最大偏差 5 毫米),及时指导施工整改,整改后偏差控制在 2 毫米以内;在隧道施工中,用 Leica ScanStation P50 扫描仪对隧道断面每周进行一次动态监测,通过对比不同周期点云数据,精准捕捉到隧道沉降数据(最大沉降 3 毫米),提前预警风险,采取加固措施后沉降得到有效控制。此工程用上了三维激光扫描技术,施工测量精确率达到 99.5%,工期缩减了 15 天,返工成本少了 60 万元,证明该技术实际可行。

5 结语

综上所述,三维激光扫描技术凭借快速、高精度、非接触式的特点,为轨道交通施工测量提供全新的技术手段,突破了传统测量技术的局限。本文研究表明,经过前期准备阶段方案设计、设备校准、数据采集阶段环境控制、参数优化、数据处理阶段去噪拼接、配准校准等一系列步骤之后,可以达到轨道交通施工测量高精度控制的目的。通过实践案例的验证可知,此技术可以提高测量效率,保证施工进度,降低质量风险,改善管理模式,有较好的工程应用价值。随着技术的发展,三维激光扫描技术同 BIM、大数据、人工智能相结合将成为未来的发展方向,可以实现施工测量的智能化、自动化管控,为轨道交通工程高质量建设提供更加有力的技术支持。

参考文献

- [1] 杨雪.城市轨道交通工程精密施工测量技术的应用与研究[J].运输经理世界,2024,(19):16-18.
- [2] 涂小毅,刘迎,朱江枫.城市轨道交通工程铺轨施工测量技术及设备管理[J].大众标准化,2023,(16):42-44.
- [3] 苏涛.城市轨道交通连续箱梁悬浇法施工测量控制要点[J].科学技术创新,2023,(14):183-186.
- [4] 郭岩.轨道交通工程轨道施工技术与质量管控措施研究[J].运输经理世界,2023,(10):7-9.
- [5] 兰新乐.轨道交通地下连续墙施工技术研究[J].运输经理世界,2023,(03):10-12.

Optimization of Engineering Technology Methods and Quality Control of Surveying and Mapping Results Oriented by Innovation in Real-Scene 3D Construction

Weilin Ou

Hunan Provincial First Surveying and Mapping Institute, Changsha, Hunan, 410000, China

Abstract

The construction of real-scene 3D is the spatial foundation support for the digitalization of Hunan Province. Its engineering technology level and result quality affect the effectiveness of digital transformation. This paper takes the real-scene 3D project in Hunan Province as the research object, combines its terrain characteristics of "seven mountains, two waters and one field" and the "provincial and municipal collaboration" construction mode, and focuses on the optimization of engineering technology methods oriented by innovation and the construction of a quality control system for surveying and mapping results. It analyzes the problems such as low efficiency of multi-source data fusion, insufficient modeling accuracy in complex terrain, and poor coordination of quality control processes in the current real-scene 3D construction in Hunan Province. It builds an intelligent multi-source data fusion model, innovates adaptive modeling technology for complex terrain, and develops a provincial and municipal collaborative production management platform. At the same time, a full-process quality control system is established, including closed-loop management of "two-level inspection, first-piece verification, and provincial verification", application of intelligent quality inspection systems, and "embedded" quality inspection service models. Practice shows that the optimized technology methods improve modeling efficiency, increase quality inspection coverage, and improve the quality of results.

Keywords

Real-scene 3D; Optimization of engineering technology methods; Quality control of surveying and mapping results; Provincial and municipal collaboration; Hunan Province

实景三维创新导向工程技术方法优化与测绘成果质控

欧为林

湖南省第一测绘院, 中国·湖南长沙 410000

摘要

实景三维建设是数字湖南构建的空间基底支撑, 其工程技术水平与成果质量影响数字化转型成效。本文以湖南省实景三维项目为研究对象, 结合其“七山二水一分田”的地形特征与“省市协同”建设模式, 聚焦创新导向的工程技术方法优化与测绘成果质控体系构建。分析当前湖南实景三维建设中多源数据融合效率低、复杂地形建模精度不足、质控流程协同性差等问题, 构建多源数据智能融合模型, 创新复杂地形自适应建模技术, 研发省市协同生产管理平台; 同时建立全流程质控体系, 包括“两级检查、首件验证、省级核查”闭环管理、智能质检系统应用及“嵌入式”质检服务模式。实践表明, 优化后的技术方法使建模效率提升, 提高质检覆盖率和成果优良率。

关键词

实景三维; 技术方法优化; 测绘成果质控; 省市协同; 湖南省

1 引言

数字经济加速发展推动实景三维成为新型基础测绘的核心成果, 作为数字政府、智慧社会建设的时空基底, 其在国土空间规划、智慧文旅、灾害防治等领域的应用价值日益凸显。湖南省紧跟国家实景三维建设部署, 以“全省一盘棋”

思路推进项目实施, 省第一测绘院牵头完成的“省市协同的实景三维智能化建模与服务关键技术及应用”项目已获自然资源科技进步二等奖, 为全省建设奠定技术基础。然而, 湖南省复杂的地形地貌给实景三维建设带来诸多挑战: 湘西北武陵山区地形切割强烈, 湘中丘陵沟壑纵横, 湘南喀斯特地貌发育, 传统技术方法难以兼顾建模精度与效率; 同时, 全省数十家生产单位参与建设, 技术标准不统一、质控流程脱节导致成果质量参差不齐。当前, 湖南实景三维建设仍面临多源数据融合碎片化、复杂地形建模自动化程度低、质控手段滞后等问题, 制约了成果的权威性与应用深度。

【作者简介】欧为林(1972-), 男, 中国湖南望城人, 本科, 副高, 从事基础测绘、实景三维、低空无人机遥感等研究。

2 湖南省实景三维建设现状与核心挑战

2.1 建设基础与发展需求

湖南省已形成“标准引领、平台支撑、应用驱动”的实景三维建设格局：编制完成系列地方标准规范，明确基础地理实体数据与三维模型生产要求；研发省市协同生产管理平台，实现省、市、县三级数据资源统筹；成果已在智慧选址、空间规划、林草调查等领域初步应用。随着数字湖南建设深入，对实景三维提出更高要求，需实现 1:2000 比例尺全域覆盖，LOD2.0 级城市模型精度达 0.1 米，同时满足地灾防治、智慧农业等多场景动态应用需求^[1]。

2.2 核心技术与质控挑战

技术层面，当前湖南实景三维建设主要采用“航飞摄影+倾斜建模”技术路线，但在复杂场景中存在明显短板：多源数据融合方面，无人机航飞数据、激光点云、历史矢量数据难以高效衔接，数据预处理耗时占比超 60%；复杂地形建模中，山区植被遮挡导致点云空洞，丘陵地区房屋密集造成模型拓扑错误，自动化建模合格率仅 65% 左右。质控层面，面临“规模大、类型多、标准杂”的困境：全省年建模面积超 1 万平方公里，涵盖城市、山区、水域等多种类型，传统人工质检效率低下，二维质检软件无法适配三维成果特性；部分生产单位“两级检查”流于形式，质量问题整改不及时，首批成果优良率仅 72%，低于全国先进省份水平^[2]。

3 创新导向的工程技术方法优化路径

3.1 多源数据智能融合技术优化

针对湖南省实景三维建设中多源数据融合碎片化的核心问题，依托省市协同平台架构，构建“数据预处理—智能配准—动态更新”三级融合模型，实现数据高效整合与利用。在数据预处理阶段，重点攻克无人机航飞数据云雾干扰、激光点云植被杂点等影响数据质量的问题，研发适配湖南地形特征的自适应降噪算法：算法可根据湘西北山区、湘中丘陵、湘南喀斯特等不同区域的影像特性，自动调整滤波参数，精准剔除云雾造成的模糊像素点与植被覆盖产生的杂散点云，相比传统人工预处理方式，数据处理效率提升 50%，为后续建模提供洁净、规整的基础数据。智能配准环节，突破传统人工配准精度低、耗时久的瓶颈，引入深度学习算法构建地形特征提取模型：通过训练湖南典型地形样本数据，算法能自动识别山脊线、河流边界、建筑角点等关键特征点，实现航飞影像与激光点云的全自动配准，将配准误差严格控制在 0.05 米以内，满足 LOD2.0 级三维模型的精度要求，彻底解决多源数据衔接不精准的问题。动态更新层面，结合湖南省实景三维规模化建设与动态应用需求，建立“基期数据+增量更新”机制：通过时序航飞影像比对技术，自动识别地形地貌变化区域（如城市新建区域、山区地质变化区、农田改造区），仅对变化部分开展数据采集与融合处理，无需对全域进行重复作业，大幅降低重复劳动成本，同时保障数

据时效性，为实景三维成果动态更新提供技术支撑^[3]。

3.2 复杂地形自适应建模技术创新

结合湖南省武陵山区、湘中丘陵、湘南喀斯特等差异化地形特点，分类创新复杂地形自适应建模技术方案，实现不同区域建模精度与效率的双重提升^[4]。

3.3 省市协同建模管理平台升级

依托湖南省现有生产管理平台，重点迭代升级“智能调度+在线协同+成果管理”三大功能模块，强化平台对全省实景三维建设的统筹与支撑能力。智能调度模块基于全省项目进度大数据，构建任务与资源匹配模型，可根据各市县生产单位的设备配置、技术专长、人员规模等信息，自动分配适配的建模任务，确保技术资源与任务需求精准对接，提升全省建模资源利用效率。在线协同模块突破传统分散式建模的局限，支持多单位实时共享建模成果，通过云端标注工具实现跨区域建模协作，方便不同单位共同修正模型边界衔接问题，有效解决传统“各自建模、边界脱节”的难题，保障全域实景三维成果的连续性与一致性。成果管理模块融入模型质量预检测功能，在建模过程中自动运行质量检测算子，实时筛查模型拓扑错误、纹理失真等常见问题，并向生产单位推送针对性整改建议，将质量管控提前至建模环节，减少后期返工成本。平台升级后，进一步强化了省市县三级协同能力，大幅提升建模任务响应效率与成果质量，为湖南省实景三维规模化、标准化建设提供关键平台支撑^[5]。

4 适配湖南特点的测绘成果质控体系构建

4.1 全流程闭环质控管理机制

在适配湖南特点的测绘成果质控体系构建中，全流程闭环质控管理机制是核心抓手。该机制借鉴外地成熟经验并结合湖南实际，构建“首件验证—过程检查—一级验收—省级核查”的“四步闭环”模式，形成从生产源头到成果入库的全链条质量管控。首件验证环节聚焦技术标准统一，要求每个参与实景三维建设的生产单位在承接任务后，先完成规定范围的试点建模工作，由省级质检站对试点成果开展全面检测，重点核验建模精度、数据规范性等是否符合湖南地方标准，只有通过验证的单位方可开展批量生产，从源头避免因技术标准理解偏差导致的质量问题。过程检查阶段注重实时质量把控，明确生产单位需采用“智能自检+人工复检”的双重模式，每日将建模成果上传至省级管理平台，平台通过内置检测算法自动筛查精度、拓扑、纹理等关键指标问题，同时生产单位安排专业人员对智能检测标注的疑似问题区域进行人工复检，确保问题早发现、早整改。一级验收环节强化差异化质量核查，针对湖南不同区域的应用需求实行“重点区域 100% 详查+全域概查”，对城市建成区、灾害隐患点等对成果质量要求高的重点区域，逐模型开展精细化检测，对山区、农村等一般区域按比例抽样核查，在保障质量的同时兼顾效率。省级核查阶段聚焦成果最终把关，建立动态问题清单，对一级验收中发现的质量问题进行汇总梳