

数字化测绘技术在建筑工程中的融合应用研究

高 军

武汉市洪山区住房和城乡建设局 湖北 武汉 430070

摘 要: 建筑工程正向精细化、信息化、智慧化方向快速发展,传统测绘方法在效率、精度和数据互通性方面存在明显局限。数字化测绘技术包括地面三维激光扫描、无人机倾斜摄影、全球导航卫星系统动态测量等,为工程测量提供了全新的技术手段。本文系统梳理数字化测绘技术体系,研究多源数据融合的理论框架与关键技术,探讨其在建筑工程规划设计、施工建造、竣工验收、运维管理各阶段的融合应用模式。多源数据融合是数字化测绘的核心环节,全生命周期数据贯通是融合应用的价值体现。研究成果可为建筑工程数字化转型提供技术参考。

关键词: 数字化测绘; 建筑工程; 数据融合; 三维激光扫描; 无人机测绘

引言: 建筑业正从传统建造向智能建造转型升级,对测绘数据的精度、效率和信息化水平提出更高要求。传统全站仪、水准仪等单点测量方式存在效率低、信息量少、数据孤立等问题。以三维激光扫描、无人机倾斜摄影、卫星定位为代表的数字化测绘技术,能够快速获取海量空间数据,为建筑工程提供高精度、可视化、可计算的信息支撑。本文从技术体系、数据融合方法、工程阶段应用三个层面展开研究,探索数字化测绘技术在建筑工程中的融合应用路径。

1 数字化测绘技术体系概述

1.1 核心技术分类与功能定位

数字化测绘技术按平台和原理分为三大类。三维激光扫描仪以每秒百万点速度获取目标表面高精度三维坐标,形成点云数据,适用于复杂结构建模和变形监测。无人机倾斜摄影系统从多角度采集影像,通过空中三角测量生成实景三维模型,适用于大范围地形测绘。全球导航卫星系统动态测量利用卫星信号与基准站差分,实现厘米级实时定位,适用于控制测量和施工放样。移动测绘系统集成激光扫描仪、惯导和相机,适用于带状工程测量。各类技术功能互补,共同构成“空-天-地”一体化的数字化测绘技术体系。

1.2 各技术的优势与局限

三维激光扫描的优势在于毫米级高精度、不依赖光照,可形成完整点云模型,局限在于设备成本高、数据处理量大、对镜面反射效果差。无人机倾斜摄影效率高、覆盖广、成果直观,单架次可完成数平方公里采集,局限在于受天气和空域限制、植被区难以获取真实地面高程。卫星定位动态测量全天候作业、无需通视、无误差累积,满足大部分放样需求,局限在于高楼密集区、深基坑、隧道内信号易遮挡。移动测绘系统可沿道路快速

采集,但覆盖范围有限。了解各技术优劣是选型基础^[1]。

1.3 融合应用的必要性

单一数字化测绘技术难以满足建筑工程全场景多样化需求,多技术融合成为必然选择。精度维度上,设计需厘米至毫米级精度,不同工序要求差异大,单一技术无法全面覆盖。尺度维度上,从宏观场地到微观构件需要多尺度数据支撑。数据类型上,激光扫描提供精准几何但缺纹理,无人机影像纹理丰富但几何精度受限,融合可实现互补。作业条件上,施工现场通视受限、环境复杂,单技术存在盲区。融合应用能够发挥各技术优势、规避局限,实现“1+1>2”的综合效益。

2 多源数字化测绘数据融合方法

2.1 数据融合的理论框架

多源测绘数据融合是将不同传感器、平台、时相的测绘数据,在统一空间参考框架下集成处理,形成信息互补、精度提升的融合成果。数据融合分为三个层次:数据级融合直接对原始数据进行合并配准,如多站点云拼接,保留最完整信息但数据量大;特征级融合提取几何特征、边缘等信息后进行融合,计算量较小,适用于不同维度数据联合处理;决策级融合对各类数据分析结果进行综合评判,适用于多源信息支持同一决策的场景,如综合形变数据与监测数据进行安全评估。三个层次由低到高、由数据到决策,可根据需求选择。融合框架还包括数据预处理、坐标统一、精度评估、成果输出等模块,形成完整处理流程。

2.2 坐标统一与配准方法

多源数据融合的前提是将不同坐标系下的数据统一到相同的空间参考框架,包括基准统一和配准对齐。基准统一是将不同数据转换到相同的平面坐标系和高程系统,中小范围工程采用地方独立坐标系,大范围项目需

转换至国家2000坐标系。配准对齐是将不同来源数据在空间位置上精确匹配,核心在于同名特征识别和转换参数解算。刚性配准通过迭代最近点算法求解转换参数,以两点云间最近点对距离平方和最小为目标迭代计算最优变换。激光点云与影像配准时需提取影像特征点并与点云反射强度匹配。配准精度要求优于2倍点云分辨率,控制点辅助配准可显著提升精度和可靠性^[2]。

2.3 多源数据融合的关键技术

多源数据融合涉及多项关键技术,直接影响融合成果质量。点云与影像融合是最常见需求,激光点云提供高精度三维坐标,影像提供色彩纹理,融合后生成彩色点云或实景纹理模型。多站点点云拼接通过公共区域特征匹配实现自动拼接,邻站误差控制在毫米级,整体平差消除累积误差。多期数据比对用于变形监测,配准后计算点位偏差生成偏差色谱图,直观展示形变分布。空地数据融合将无人机整体模型与地面扫描细部模型融合,形成完整建筑模型。数据抽稀与压缩采用体素滤波、曲率自适应采样等方法减少数据量。精度评估采用独立检查点方法,将融合后数据与高精度检核数据对比统计,评估整体精度水平。

3 数字化测绘技术在建筑工程各阶段的融合应用

3.1 规划设计阶段

规划设计阶段是数字化测绘融合应用的重要起点。地形图测绘方面,采用无人机倾斜摄影获取数字正射影像和数字表面模型,生成大比例尺地形图,效率比传统方法提升5倍以上。既有建筑改造测绘中,三维激光扫描获取完整点云,经配准、去噪、建模后生成精细三维模型,为改造设计提供毫米级精度现状基础。场地分析与土方计算方面,无人机获取施工前数字高程模型,与设计模型比对自动计算填挖方量,同时可进行坡度分析、汇水区划分等辅助设计。多源数据融合的应用模式为:无人机数据覆盖宏观场地、激光扫描覆盖重点区域、卫星定位布设控制框架,形成由粗到精、从宏观到微观的数据支撑体系,显著提升规划设计阶段的数据质量和作业效率。

3.2 施工建造阶段

施工建造阶段是数字化测绘融合应用最密集的环节。控制测量采用卫星定位建立首级平面控制网,全站仪加密次级控制点,多技术联合保证控制基准精度。施工放样方面,BIM模型直接驱动放样,从模型提取坐标进行现场标定,避免数据转录错误。大型构件安装前采用三维激光扫描进行预拼装检测,偏差超标时提前修正。土石方动态计量通过定期无人机航测生成数字高程模型,与设计模型对比计算阶段完成土方量。施工质量检测利用

激光扫描获取点云与BIM模型比对,生成偏差色谱图,偏差一目了然。变形监测融合全站仪机器人、倾斜仪、卫星定位等多传感器数据,实现24小时连续监测和超限预警,有效保障施工安全与质量^[3]。

3.3 竣工验收阶段

竣工验收阶段是数字化测绘成果交付的关键节点。三维激光扫描可快速获取建筑内外完整点云,生成全要素竣工模型,大幅缩短现场作业时间。管线、预埋件等隐蔽工程在覆盖前完成扫描记录,避免后期无法测量。竣工BIM模型构建将点云与设计模型配准,识别施工偏差,将偏差值录入模型属性,对超限部位进行标注说明。多源数据融合体现为:无人机获取外立面影像,地面激光扫描获取室内细部,卫星定位布设控制框架,各类数据在统一坐标系下融合,形成内外一致的竣工数字模型。系统还可自动比对实测数据与验收规范,计算开间尺寸、净高、垂直度等指标,生成标准化验收报告,为数字化交付奠定基础。

3.4 运维管理阶段

运维管理阶段是数字化测绘成果价值持续释放的周期。竣工BIM模型作为数字底座,承载构件信息、设备参数等基础数据。发生装修改造时,三维激光扫描可更新模型,保持数字与物理实体一致。持续性变形监测融合全站仪机器人、静力水准仪、卫星定位等多源传感器,实现全天候实时监测,自动识别异常变形并预警。定期激光扫描与竣工模型形变对比,可识别结构形变、裂缝发展等潜在问题^[4]。历史建筑数字化测绘可实现“数字建档”,精细记录现状作为保护依据。物联网集成将传感器数据在BIM模型中进行空间化表达,实现设备定位、管线查询的可视化管理。竣工模型接入实时监测数据后升级为动态数字孪生,将“静态数字资产”激活为“动态管理工具”。

4 发展趋势与展望

4.1 技术发展趋势

数字化测绘技术正呈现硬件轻量化、处理实时化、应用智能化的显著趋势。硬件方面,三维激光扫描仪从架站式向手持式、背包式方向发展,设备重量从十余公斤降至不足两公斤;无人机平台小型化、长航时化,挂载设备向多传感器集成方向发展。数据处理方面,从“先采后处”向“即采即处”模式演进,点云实时配准、实时比对技术逐步成熟,施工现场可即时获得初步成果。云计算与边缘计算分工协作:现场端完成快速预处理,云端完成大规模精细建模。成果呈现方面,从二维图纸向三维模型、从静态成果向动态交互演进,增强现实和虚拟

现实技术使测绘成果更加直观易用。这些趋势推动数字化测绘从“专业工具”向“普惠技术”转型。

4.2 人工智能与测绘的深度融合

人工智能技术正在深刻改变数字化测绘的数据处理模式。深度学习在点云语义分割方面取得显著进展,基于PointNet、RandLA-Net等模型,可实现建筑物、道路、植被等类别的自动识别,分类准确率达90%以上,为BIM自动建模提供支撑。卷积神经网络可自动识别影像中的建筑物轮廓、角点等特征,用于无人机影像的三维重建。机器视觉辅助的自动目标识别,在施工放样和变形监测中可实现无人化测量。机器学习通过对历史监测数据训练,建立正常变形模式,实时数据与模型比对可自动识别异常趋势,提前预警潜在风险。人工智能与测绘的融合正在推动测绘从“自动化”向“智能化”跨越^[5]。

4.3 数字孪生与全生命周期管理

数字孪生是数字化测绘价值的最终体现。数字孪生建筑是物理建筑在数字空间的实时映射,覆盖规划设计、施工建造、运维管理全生命周期。测绘数据在数字孪生中扮演“骨架”角色:规划阶段构建场地现状模型;施工阶段持续更新模型状态,形成“施工过程孪生”;竣工阶段校准模型至竣工状态;运维阶段接入物联网数据,反映建筑实时状态。从设计BIM到竣工BIM再到运维BIM的无缝传递,是数字孪生贯通的关键挑战,目前数据格式转换、语义映射、模型轻量化等问题仍需突破。“勘测-设计-施工-运维”一体化数字链路是发展方向,实现“一模到底”。

4.4 建筑工程测绘技术展望

建筑工程测绘技术正朝“空-天-地-室”一体化、实时动态化、无人自动化方向演进。一体化测绘体系整合卫星遥感、无人机、地面激光扫描、室内移动测绘,实现建筑内外无缝覆盖,形成全空间数字模型。实时动态测绘与施工机械联动,挖掘机、推土机搭载定位传感器,与

设计模型比对自动调整作业参数,实现自动化施工。无人化自动测量系统逐步取代人工,测量机器人自动设站、照准、记录,无人机自动航线规划、起降、充电,实现常态化无人巡检。区块链技术应用于测绘数据存证,确保数据不可篡改、来源可追溯。建筑工程测绘正从“人的测绘”走向“智能测绘”,从“阶段性服务”走向“全周期伴随”。

结束语

数字化测绘技术正在深刻改变建筑工程测绘的技术范式和工作模式。本文系统梳理了三维激光扫描、无人机倾斜摄影、卫星定位等数字化测绘技术体系,分析了各技术的优势与局限,论证了多源数据融合的必要性和可行性。在此基础上,研究了多源数据融合的理论框架、坐标统一方法及关键融合技术,并探讨了数字化测绘在规划设计、施工建造、竣工验收、运维管理各阶段的融合应用模式。未来应持续推动人工智能与测绘的深度融合、数字孪生与全生命周期管理的衔接、“空-天-地-室”一体化测绘体系建设,为建筑工程智能建造和智慧运维提供更加精准、高效、智能的测绘技术支撑。

参考文献

- [1]贾广琪.数字化测绘技术在建筑工程测量中的应用探究[J].科技资讯,2025,23(9):37-39.
- [2]林志标.数字化测绘技术在建筑工程中的应用[J].建筑与装饰,2022(13):147-149.
- [3]梁杰明.数字化测绘技术在建筑工程测量中的创新应用探讨[J].建筑·建材·装饰,2025(18):175-177.
- [4]尚英学.数字化测绘技术在建筑工程测量中的应用探究[J].建筑与装饰,2024(15):157-159.
- [5]陈展朋.数字化测绘技术在建筑工程测量中的应用[J].江西建材,2023(8):134-135.