

# At this stage, the application of digital surveying and mapping technology in engineering surveying

Shuoqi Ding

Xingtai Shunxin Construction and Installation Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054000, China

## Abstract

Digital surveying technology integrates modern technological means to achieve automation, high precision, and real-time engineering surveying, significantly improving the efficiency and accuracy of terrain surveying, construction layout, deformation monitoring, and other engineering surveying. This article studies the specific applications in engineering surveying, where unmanned aerial vehicle technology enables rapid collection of large-scale terrain, GNSS-RTK technology optimizes construction control measurement, 3D laser scanning provides sub millimeter level accuracy support for structural health monitoring, and the integration of BIM and GIS promotes the management of the entire life cycle of engineering. These technological advancements not only solve the bottleneck problems of traditional measurement, but also provide data support for engineering quality control and safety management, marking a new stage of digital and intelligent development in engineering measurement.

## Keywords

digital surveying and mapping technology; engineering surveying; apply

## 现阶段数字化测绘技术在工程测量中的应用

丁烁奇

邢台市顺鑫建筑安装有限责任公司, 中国·河北 邢台 054000

## 摘要

数字化测绘技术通过集成现代技术手段, 实现了工程测量的自动化、高精度化和实时化, 显著提升了地形测绘、施工放样、变形监测等工程测量的效率与精度。本文研究了在工程测量中的具体应用, 无人机技术实现了大范围地形快速采集, GNSS-RTK技术优化了施工控制测量, 三维激光扫描为结构健康监测提供了亚毫米级精度支持, BIM与GIS的融合则推动了工程全生命周期管理。这些技术进步不仅解决了传统测量的瓶颈问题, 更为工程质量控制、安全管理提供了数据支撑, 标志着工程测量进入了数字化、智能化的发展新阶段。

## 关键词

数字化测绘技术; 工程测量; 应用

## 1 引言

在工程建设规模扩展、复杂化发展下, 原有测量工作方法已不适用于当代工程建设需求。数字测绘技术是对计算机、空间信息和传感等技术的综合运用, 对工程测量中空间信息的获取和记录情况进行数字化表达。通过数字化测绘技术, 从实际工作进程中的具体数据采集到相关成果的应用均以数据为基础, 可以确保当代工程测量的高度定位、智能记录、全面覆盖, 获得高精度、高效率、高自动化等进步性。笔者对数字化测绘技术的相关内容进行系统梳理, 探讨数字化测绘技术对当前工程测量各部分的运用, 以此对数字化测绘技术在当下工程的测量工作的运用发展提供一定借鉴, 保障我国工程建设的智能高效完成。

【作者简介】丁烁奇(1992-), 男, 中国河北邢台人, 从事测绘工程研究。

## 2 数字化测绘技术的概述

### 2.1 定义与特点

数字化测绘技术就是借助于先进的信息化测绘技术方法, 将传统的测绘工作向数字化、信息化的数据采集、数据处理、数据应用方面转化, 在计算机技术的基础上辅之以传感器技术、通信技术及空间信息技术, 实现了全部测绘工作的自动化及信息化。随着数字化测绘技术的出现, 工程测量工作无需人工劳动、不耗时耗力并且还降低了错误率。

数字化测绘技术的主要特点体现在三个方面: 高自动化, 从采集、处理到成果输出均实现自动化操作或较少操作, 可实现测绘工作的精简化; 高精度化, 现有多维数字化测绘设备如全站仪、三维激光扫描仪可实现毫米级、亚毫米级精度测量, 优于光学仪器测量精度; 实时化, 依托于5G、北斗短报文等的5G通信技术, 可实现现场测量数据实时传输至后台软件, 可实现对工程建设的实时决策。

## 2.2 主要的数字化测绘技术

在全球导航卫星系统 (GNSS) 作为空间位置基础设施的基础上, 其应用从传统的 GPS 到我国的北斗系统已经成熟, 在高原铁路建设中北斗三号系统的短报文, 打破了无人区通信瓶颈, 动态测量 (RTK) 技术将平面定位精度从传统的  $\pm 100\text{mm}$  提高到  $\pm 8\text{mm}+1\text{ppm}$ , 高程精度提高到  $\pm 15\text{mm}+1\text{ppm}$ , 实现了作业方式上的全面突破。

全站仪和电子水准的数字化在测量与标定方面表现为数据流的连续性。智能全站仪具有自动捕获目标的功能, 单一棱镜观测只需 0.3s, 测量结果经由蓝牙直接发送至手持设备。电子水准仪使用的是相位条码标尺, 测量每公里往返测高差中误差小于 0.3mm, 数据处理软件还可以进行测量平差实时计算<sup>[1]</sup>。

卫星遥感和航天摄影测量技术得以实现飞跃式提高。载有 5 台相机的六旋翼无人机在 200m 高度时地面空间分辨率为 2cm, 单次可飞行 2km<sup>2</sup> 左右。密度 200 点 / m<sup>2</sup> 以上时地物分类精度超过 95%。无人机在灾后进行应急测绘可以利用无人机一天拍摄 0.5km<sup>2</sup> 的正射影像, 为抢险决策提供第一手应急影像。

实现了由数据管理向智能分析转变的 GIS。TB 级海量点云数据存储于空间数据库, 叠加分析算法实现 1 平方公里范围内 10 秒进行地形变化检测。在某智慧城市示范项目中, GIS 系统将 20 年间多时相的测绘数据构建到一个空间框架, 采用时空分析预测了地面沉降演变趋势。

BIM (建筑信息模型) 和测绘成果结合成为工程管理的新技术, 激光扫描的点云数据通过 ICP 算法与 BIM 模型进行配准, 配准精度控制在 3mm 以内, 在某超高层项目, 基于 BIM 的施工放样系统将核心筒钢结构安装精度控制在了  $\pm 2\text{mm}$ , 比传统方法的精度提高了 60% 以上, 竣工阶段通过模型比对, 可以自动提示超过 5mm 的施工偏差, 提升了验收效率。

## 3 数字化测绘技术在工程测量中的具体应用

### 3.1 地形测绘与工程勘测

如今在工程勘测领域中, 对地形测量、工程测量的研究中引入了数字化测绘技术, 利用数字化技术在工程测量领域的应用, 将更加广泛。利用无人机航测具有机动灵活、高效等优势, 在大面积的工程测量中, 无人机航测是适用且主要的方式。在某高速公路选线工程中, 利用大疆 M300RTK 无人机搭载 L1 激光雷达, 在飞行 150m 高度下, 单次飞行可拍摄数据的范围为 12km<sup>2</sup>, 数据点密度为 160 点 / m<sup>2</sup>。利用集成的 PPK 后处理软件, 可以达到平面成果精度 3cm、高程成果精度 5cm, 满足地形图 1 : 500 的比例尺精度要求。值得注意的是, 利用激光雷达搭载多回波探测技术, 对植被上下的回波都能采集, 大大减少了在植被茂密地方对林下地形的调绘的工作量, 相比传统航测方法, 大大地减少了

70% 外业调绘的工作量。

精确度达 1 米、间隔可达 0.1 米的高精度数字高程模型 (DEM) 制作已完全实现自动化; 使用点云分类提取的地面点比例均超过 98%, 使用 TIN 三角网构架后的 DEM 格网间隔在 0.1 米内。在南方一个丘陵地区的光伏站场选址项目中, 根据 0.2 米分辨率的 DEM 进行坡度评估, 精确地判定了不适合选建的位置, 为场址优化提供量化的参考; 根据精确度在像素点之上的深度学习的自动矢量化技术, 利用 U-Net 神经网络的自动识别地物边界的技术对房屋等目标的自动提取率超过 90%。在某新城规划项目中, 将 20 平方公里、1 : 1000 比例尺的 DLG 图的制作周期从原来的 30 天缩短到了 5 天。

### 3.2 施工测量与放样

因此, 随着现代化建筑施工生产, 应用数字化测绘技术的施工测量和放样作业的施工方式引起了极大的革命。GNSS-RTK 能够实时输出厘米级定位信息, 成为超大型工程控制测量的常用方法, 新的接收机通过使用多频多系统的解算可以有效应对特殊环境, 且依然可以保证固定解, 平面的定位精度为 8mm+1ppm, 高程定位精度为 15mm+1ppm。例如某超长跨海大桥, 施工企业能够在海上平台架设 GNSS 基准站, 并通过 4G 网络实现 20km 范围内的 RTK 信号播发, 解决实际测量施工中的传统测量船定位困难的问题。另外, 基于云计算平台的 CORS 支持多基站联合解算, 控制网的布设效率提高了 300% 以上, 某工业园区建设中仅用两天的时间完成控制点 20 个的一级控制测量任务。

目前, 全站仪自动测设和 BIM 技术集成是实现自动化施工作业的大趋势。全自动型全站仪装有自动目标识别、伺服驱动等技术, 360° 棱镜可以单人单机作业。在一个超高层工地使用测量机器人, 机器人通过无线局域网, 直接从 BIM 模型读出设计坐标, 自动计算自动放样线路, 从 4 个小时到 1.5 个小时完成标准层的放样作业<sup>[2]</sup>。有趣的是, 放样全过程实测自动采集数据通过网络传输至 BIM 平台进行施工偏差热力图统计, 偏差累积超 5mm 自动报警。在某钢结构安装施工项目中, 通过这样的闭环控制体系, 对构件安装质量从合格率 92% 提高到 99.6%。

### 3.3 变形监测与安全评估

激光三维扫描正成为工程结构健康监测领域新的变形监测参考技术。基于相位式的激光扫描仪, 单台扫描耗时降至 2min, 点间距在 1mm 以内, 变形辨析能力已可接近亚毫米量级。针对某跨江斜拉桥变形监测项目, 在塔与梁的关键监测断面部署 12 个固定激光扫描站, 利用每周一次的数据采集周期开展周期性扫描对比分析, 通过点云配准技术识别出其 0.3mm 级的季节温度变形量级。进一步基于有限元模型反求计算, 通过将多期扫描数据导入有限元模型进行反演, 可同时计算得到结构内力在变形作用下多重分布的数据, 为桥梁的安全监测提供了一些目前激光测量难以为之带

来准确量化的数据信息<sup>[3]</sup>。

**预警与实时监控的发展：**通过部署在工程上的自动化监测网络，例如在某水库大坝上采用了GNSS、倾角、激光测量等多种监测手段，利用5G专网以秒级的数据量传输，自主研发的算法预警平台可基于滑动窗口方差分析法在结构异常变形达到预警指标前30min即可发出预警信息，并在最新一次经历台风影响过程中精准预测了泄洪闸支撑结构微变形的发展趋势，从而提前布置支撑加固的行动。另外，新一批监测系统的出现开始采用基于机器学习的方法对历史数据的学习来建立结构响应的预测模型，误报得以控制。

**新技术重塑工程安全管理：**“基于BIM的某地铁隧道天地一体式施工监测研究”应用卫星遥感、光纤应力传感、三维激光扫描等手段，对地铁隧道的沉降变形、围护结构的水平收敛及沉降进行精密化全包围区域和断面的监测，并且对地面的沉降进行全天候监测，在BIM的基础上对这些数据进行处理。当监测数据发生指定区域出现每日变形0.5mm以上时，会自动预警，指令指定人员进行指定区域的加固，起到了预防事故发生的有效作用。

### 3.4 地下工程测量

随着信息化测量技术在隧道中应用范围的拓展，除了应用常规的测点布置方式对结构及洞室进行实体测量外，在遮挡空间的测量中通过激光扫描的方式可以将其空间实体完整而清晰地“变现”，使一些隐蔽、受限空间的测量更为直观和精确。在某隧道贯通测量方面，已经发展了一套以陀螺全站仪为测量平台的技术方案，目前使用的是光纤陀螺，测点方位角的误差值可以达到1.5，能够在3公里的长隧道内将横向贯通误差值控制在20mm以内。某引水隧洞项目中，测量组将移动激光扫描系统搭载在盾构机上，并利用SLAM技术对掘进过程中的实时断面进行扫描分析，测控超挖量值的误差达±3cm，更进一步地建立贯通误差模型，运用最小二乘平差法预测贯通最终误差值，使5公里的隧道最后的贯通误差值比设计标准增长了40%。

在管线探测技术上，从单一的电磁感应发展至多个传感器综合利用的联合探测，新型的探地雷达设备工作频率为100MHz-2GHz，三维成像软件可探测埋深为3m、管径为50mm以上的各种管线<sup>[4]</sup>。某工程地下管廊项目采用电磁法-地质雷达-惯性定位的探测模式，创建地下管网三维管线图并有效标识出572条管网，定位精度达到埋深的5%。特别是利用深度学习研究的识别管线算法能够自动判别给水管、燃气管等不同材质的管线，分类识别率达到90%以上。

**可视化地下空间建模引领“透明城市”建设。**采用车载移动测量系统，集成激光扫描仪、全景相机和惯性导航装置，1h完成10km道路下城市地下空间的数据采集工作。在某智慧城市建设项目中建成的三维地下管网模型精度达

5cm，可实现任意剖面下的开挖分析，城市道路施工中管线事故发生率降低了60%，极大地提升了地下工程测量的精度与效率，实现了从“看不见”到“看得清”的飞跃，为城市地下空间科学开发与利用提供技术保障。

### 3.5 竣工测量与工程验收

验收测量、竣工测量是近年来数字化测绘技术加快工程质量监督的全过程环节，在竣工阶段充分用上高分辨率点云，比对BIM模型，实现三维激光扫描竣工复测，精度±2mm<sup>[5]</sup>。如在某大型体育馆工程扫描了156个测站，产生了8亿点云，经点云ICP算法配准后，点云自动配准，同时自动生成偏差色谱图，12345个检测点都在8小时内实现了扫描点云与竣工BIM模型的自动对比完成测量竣工验收。更重要的是，自主的点云深度学习算法，自动提取点云中的构件对象，例如区别检测螺栓球节点、网架杆件，验收速度提高5倍以上。点云精细化验收使得某大型机场航站楼幕墙安装由±8mm强制管理为±3mm以内。

工程数据的管理一体化主要体现在工程数据多源数据的统一管理分析和基于GIS的功能操作，例如某轨道交通工程项目的竣工GIS数据库能够统一融合20公里（共计532站）的多源扫描点云数据、1864个点线控制点测量成果及管线埋深属性信息。依据时空数据库管理系统来实现时序观察、各标段节点工程发展情况的功能，可快速自动导出符合规范要求的CJJ/T8-2011竣工测量报告。进一步可以依据GIS的空间分析能力得出任意路段净空断面成果，为营运后期的运营维护分析提供可靠的依据。针对某海底隧道项目竣工300Gb点云数据在后期营运期间养护，可对各隧道段毫米量级的变形趋势进行分析。

## 4 结语

现代测绘数据处理技术的全面融入使得工程测量工作的定位与质量水平进一步提升，对于高精度实施与控制、动态监测与实时掌控、三维重建与虚拟模拟、自动化预警与智能分析等技术的要求越来越细。相信随着后续智能化技术、5G技术等新技术的逐步加入，将来必定会使数字化测量更加智能化、更加人性化。

### 参考文献

- [1] 毛文亮.智能化发展下工程测量中的数字化测绘技术探析[J].水上安全,2023(14):64-66.
- [2] 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(08):134-135.
- [3] 吴金明.数字化测绘技术在工程测量中的运用研究[J].科技资讯,2023,21(06):23-26.
- [4] 吴嫣婷.数字化测绘技术在工程测量中的应用[J].工程技术研究,2023,8(19):84-86.
- [5] 罗娟.浅析数字化测绘技术在工程测量中的应用[J].城市建设理论(电子版),2024(02):169-171.