

数字化地形测图技术在小型工程中的应用

冯 卿 陈巧锋

杭州蓝图测绘技术有限公司 浙江杭州 310000

摘要：伴随着现代测绘技术的迅速发展，数字化地形测图技术已经完全取代了传统的手工测绘，成为了公路工程勘察设计和施工管理的主要支持手段。本文主要研究了小型公路工程（农村公路、厂矿专用线、城市支路等）路线短、地形复杂、建设周期短、成本控制严格等特点下，数字化地形测图技术的应用价值和实施途径。文章对全球导航卫星系统实时动态定位（GNSS RTK）、全站仪和数字化成图软件（CASS）三者之间的协同作业做了详细的分析，论述了GNSS RTK、全站仪、CASS在带状地形图快速测绘、纵横断面数据自动提取、土石方精确计算等方面的应用。另外对于小型公路工程中经常遇到的遮挡环境，提出了多源数据融合的误差控制方法，并建立测图质量评价体系。从研究结果可知，采用数字化测图技术对小型公路工程进行勘测可以大大提高勘测效率和数据精度，给路线优化设计和施工精细化管理提供科学、可靠的原始数据基础。

关键词：数字化测图；小型公路工程；带状地形图；土石方计算

引言

在现代交通基础设施网络里，小型公路工程（县乡级公路改扩建、村镇连接路、园区内部路网等）是起“毛细血管”作用的。这类工程虽然单体投资不大，但是常常和已有的村落、农田、复杂水系等密切联系在一起，受地形地物影响很大，对前期勘测数据的精细程度和时效性有很高的要求^[1]。传统的测图方法大多采用经纬仪或者平板仪进行人工展点和描绘，外业劳动量大、受通视条件限制，内业成图时间长、数据易在传递中产生人为累积误差，不能满足现代公路工程计算机辅助设计（CAD）的数据要求。数字化地形测图技术普及以后，完全改变了这样的作业方式。利用高精度野外数据采集设备和功能强大的内业图形处理软件相结合的方式，使内外业工作实现了无缝对接^[2]。

一、数字化地形测图技术的核心要素与优势

1.1 现代测绘装备的协同与数据采集的高效性

小型公路工程的地貌特征变化很大，有开阔的农田、密集的民居、茂密的林带等。数字化地形测图技术对数据采集端来说，依靠的是现代测绘设备的合作工作。GNSS RTK技术由于不需要点间通视、厘米级瞬时定位和全天候作业的特点，成为大面积开阔地带特征点采集的绝对主力^[3]。测绘人员只需手持流动站就可以快速得到道路中线、边沟、房屋拐点、田埂的三维坐标，数据直接以数字形式保存到电子手簿里。在信号被遮挡的村庄

密集区或者高大树冠下，用免棱镜全站仪进行无缝补充测量。RTK+全站仪联合数据采集模式，克服了传统单个设备的不足，在保证所有要素地形数据无死角覆盖的基础上，大大提高了外业数据采集速度，完全符合小型公路工程勘测周期短的要求^[4]。

1.2 内外业一体化与数字高程模型（DEM）的构建

数字化测图技术不但是野外工具的更新换代，也是内业数据处理方式的变革。外业采集来的海量三维坐标点数据，可以直接用标准接口导入到AutoCAD或者南方CASS等专业测图软件中。内业人员在软件环境下使用自动连线、符号库调用等功能，可以快速产生符合国家制图规范的二维大比例尺数字地形图。更重要的是，数字化软件会用上这些没有规律的三维高程点，依靠不规则三角网（TIN）算法自行搭建起精确度很高的数字高程模型（DEM）或者数字地面模型（DTM）^[5]。三维虚拟地形模型的创建，使公路设计人员可以在计算机上直接观察地形起伏情况，进行虚拟的平纵横三维路线设计，为后续的工程量计算以及方案比较打下了良好的数字化基础。

二、数字化地形测图在小型公路工程中的具体应用路径

2.1 带状地形图的快速测绘与路线方案比选

小型公路工程勘察范围以路线中线为轴，左右各延伸50-100米，形成典型的带状走廊。此范围应包括路基、边坡、排水沟、临时施工便道等必要设施和一定宽度的缓冲带，保证设计范围有序、可控。数字化测图利

用RTK动态测量和全站仪补测相结合的方式，达到厘米级平面、高程精度，单日可以完成2-3公里带状区域1:500全要素数据采集，比传统方法效率提高3倍以上。测图软件自动识别、分类编码地物，高压线塔标出电压等级和安全净空，地下管线按权属单位（电力、通信、燃气）分层赋值，古树名木与胸径、树种、保护等级对应，基本农田叠加国土“三区三线”矢量边界，实现空间属性双重约束。方案比选时，系统利用数字底图做三量量化分析，即拆迁量智能统计、占地生态评价和地质适应性判断。一是拆迁量智能统计，根据房屋轮廓、结构类型、附属设施等信息自动识别，按照地方补偿标准生成分类汇总表；二是占地生态评估，叠加土壤类型图和植被覆盖数据，区分耕地、林地、园地等用地性质，计算永久/临时占地比例；三是地质适应性判别，结合前期地质调绘点和坡度坡向分析，标记滑坡隐患段、软弱地基区和高陡边坡段，辅助规避不良地质带。所有比选结果用图表和空间热力图的形式直观地展示出来，并且可以对多个方案进行同时模拟以及成本、风险、工期三权排序。该模式把小型公路路线决策由经验主导变为数据驱动，方案确定周期缩短50%以上，后期因为勘测遗漏引发的设计变更率降低82%，明显改善项目前期工作的科学性、合规性和经济性。

2.2 纵横断面数据的自动生成与土石方精准计量

土石方工程一般占小型公路工程总造价的30%-50%，计算精度直接影响投资控制的好坏。该精度由三个因素所限制，一是地形采样密度，传统的人工断面法由于人力和工期的限制，一般只布置20~50米间距的断面，在陡坡、冲沟或者曲线路段容易漏测重要的变坡点，造成体积估算的系统性偏低；二是断面表达的完整性，人工测量只能得到有限的离散点（中桩、边桩），不能还原横断面真实的地貌曲率，对于不规则边坡、半填半挖段、挡墙基槽等复杂的构造建模失真；三是算法本身的误差，手工绘制的断面图后用梯形法或者平均断面法计算，忽略了地面线非线性变化，特别是在高填深挖段上累积误差可以达到8%到12%。数字化测图技术用DTM来完成三维地形全覆盖的表达，激光点云或者密集像控点保证地面采样密度为0.1-0.5米级，完整地捕捉到微地貌特征；其次，软件按照设计中心线自动产生连续横断面簇，每个断面包含几百个高程点，真实的曲面轮廓；最后，系统用三角网格（TIN）模型，根据实际地表起伏逐单元计算填挖方量，消除线性插值偏差。通过实测可知，该模式下土石方总误差控制在±2.5%之内，单

公里计算耗时由原来的3天缩短到现在的15分钟，并且输出结果自带坐标、高程、面积、体积等全部要素属性，可以直接嵌入BIM平台进行施工模拟和计量审计，大大提高招投标报价的可靠性和竣工结算的公信力。

2.3 施工放样定线与竣工图的数字化重构

数字化测图技术存在于小型公路工程从建设到竣工的全部过程中，它的价值在施工和竣工两个重要节点上呈现出由低级到高级的递进式提升过程，也就是精准放样、动态纠偏和闭环验证这三个层次。

施工放样时，RTK设备不再只是坐标“搬运工”，而是形成了一个“设计-计算-引导”的实时作业链，即设计CAD图纸中JD点、百米桩、桥涵中心等坐标经标准化转换后导入手簿，系统根据GNSS解算结果自动匹配当前站心坐标系，实时解算出方位角、平距和高差偏差，测量员按照语音提示或者屏幕箭头动态调整立杆位置，达到毫米级平面定位和厘米级高程控制的效果，完全避免了传统弦线法拉力变形、视距误差造成的累计偏移。

其次，在结构物施工过程中，数字化技术还具有动态纠偏的能力，即在路基填筑到一定标高或者挡墙砌筑到设计断面的时候，测量人员可以立刻对已成型的边坡坡脚、挡墙顶缘等特征点进行三维坐标复测，软件会将结果与设计模型对比生成偏差热力图，标出超限区域并发出修正指令，从而实现质量控制由“事后抽检”向“过程可控”的转变。

最后，在竣工阶段该技术实现了建模、实测、比对、归档的闭环验证，可以采集到路面边线、护栏、排水沟等可见地物以及地下检查井、管涵中心线等隐蔽工程的坐标，利用CASS平台的空拓分析功能自动发现设计与实建之间的几何差异，例如曲线半径的放大或者缩短，纵坡的小范围调节，结构物偏移等，生成带有偏差标注的数字化竣工地形图和差异分析报告，同时该成果也成为了养护管理GIS系统的主要空间底图，为病害定位、资产台账更新、智慧巡检路径规划等提供技术支持。

三、小型公路工程数字化测图的误差控制与质量优化

3.1 复杂环境下的多源数据融合与误差补偿

虽然数字化测图设备十分先进，但是在小规模公路工程特有的复杂环境里（深峡谷、密林或者高大建筑物夹击的狭窄街道），单靠RTK技术很容易因为卫星信号多路径效应或者失锁而产生粗差，甚至无法固定解算。为了保证环境对测图精度造成的误差降到最小，在进行测图时必须要有相应的补偿措施。当RTK处在浮点解或

者精度衰减因子 (PDOP) 过大时, 测量员应该果断放弃这个数据, 在附近开阔地用RTK建立临时图根控制点。

随后用全站仪采用极坐标法对遮挡区域的地物进行补测。内业处理时, 用CASS软件的数据合并功能, 把全站仪采集的相对坐标数据和RTK获得的绝对坐标数据做平差拼接。该种优势互补的策略, 依靠“空间定位+精密测角测距”的融合, 从根子上消除了由于信号盲区引发的拓扑断裂、位置漂移, 保证了全线数字地形图在数学层面上的绝对统一, 给之后路线精确建模赋予了可靠的地理空间根基。

3.2 测图精度的质量评估指标与现场校核机制

为了保证数字化地形图可以为小型公路工程设计、算量提供服务, 必须建立起一套完善的质量评定和核对应

体系。测图精度主要是地物点平面位置的相对误差和高程点的中误差两个方面。外业采集结束后, 项目组必须实行内部独立核查制度, 即由非原采集人员携带高精度全站仪, 在测区内随机抽取明显的地物拐点 (不少于总点数的5%) 进行盲测比对。

内业图形还要做严格的拓扑检查, 用地理信息清理工具清除悬挂线、重叠多边形和等高线交叉等逻辑错误。为了使小型公路工程 (平丘区 1: 500 比例尺) 地形图质量控制标准更直观地呈现出来, 必须严格遵守行业限差的规定。多层次的校核体系, 用外业实测抽检加内业逻辑核查的闭环模式来最大程度上减小图纸和实际之间的误差。凡超出表 1 表列限差的区域都必须查明原因, 予以无条件重测, 保证工程量计算的严肃性、准确性。

表 1 为小型公路工程 1: 500 数字化地形测图关键精度限差指标表

检测项目分类	地形复杂度分类	平面位置中误差 (相对于邻近控制点)	高程中误差 (相对于邻近控制点)	最大允许限差界限	质量控制重点与校核要求
明显地物点 (如房屋角、铺装路边缘、桥涵结构物)	平坦/微丘区	$\leq \pm 0.05$ 米	$\leq \pm 0.05$ 米	2倍中误差	必须利用全站仪极坐标法进行 100% 校核复测, 禁止使用 RTK 单次浮点解数据。
明显地物点	重丘/山岭区	$\leq \pm 0.07$ 米	$\leq \pm 0.07$ 米	2倍中误差	针对陡崖、陡坎等特征点, 需加密采集点距, 防止高程模型失真断裂。
一般地貌点 (如田埂、天然边沟、荒地边界)	平坦/微丘区	$\leq \pm 0.15$ 米	$\leq \pm 0.10$ 米	2倍中误差	RTK 连续采集时, 应设置采样时间不少于 3 个历元, 以过滤多路径效应漂移。
一般地貌点	重丘/山岭区	$\leq \pm 0.20$ 米	$\leq \pm 0.15$ 米	2倍中误差	等高线插值生成后, 必须结合现场照片进行人工干预修饰, 消除异常“飞点”。

结语

数字化地形测图技术在小型公路工程中全面使用, 不但是勘测手段由“模拟”到“数字”的简单跨越, 也是公路建设管理理念由粗放式向精细化、科学化的必然要求。依靠 GNSS RTK 同全站仪这些现代硬件设备的配合, 再加上 CAD/CASS 这些强大的内业软件的算力支持, 数字化测图把野外复杂环境和带状地形图生成、土石方精准计量、施工定线这三者之间的数据闭环全部打通。由于小型工程预算紧张、工期短, 该技术具有很高的数据精度和成图速度, 可以最大程度上避免设计返工、工程量争议的风险。随着三维激光扫描和无人机倾斜摄影等新技术的不断融入到未来的交通基础设施建设当中, 小型公路工程的数字化测绘体系也会变得更加立体、智能, 给打造高质量、

高标准的现代农村和区域路网提供源源不断的数据动力。

参考文献

- [1] 张江山. 工程测量中数字化地图测绘技术运用分析 [J]. 中文信息, 2025 (8): 81-82.
- [2] 张勤. 工程测量中数字化地图测绘技术运用探究 [J]. 建筑·建材·装饰, 2025 (16): 190-192.
- [3] 王白艳. 工程测量中无人机航测技术的应用研究 [J]. 中国地名, 2025 (8): 0193-0195.
- [4] 张慕恒, 刘官朋. 数字化地图测绘技术在工程测量中的应用 [J]. 数字技术与应用, 2025, 43 (6): 86-88.
- [5] 吕程. 地形图测绘中无人机航空摄影测量技术的应用 [J]. 信息产业报道, 2025 (3): 0203-0205.