

4.2 多路径效应对测量结果的影响与修正

多路径效应是为影响 GPS 地形测量精度的关键因素之一。因为信号于高楼、树木等障碍物表面反射，造成接受设备接受到若干路径的信号，终归干扰测量结果的精确性。以便校正多路径效应对测量的干扰，必须于数据处理阶段实施处理。借助观测中剔除受到多路径效应干扰的数据，可以高效提升信号的清晰度。运用尖端的信号处理算法能高效辨别和削弱多路径效应。挑选适宜的观测环境同样是降低多路径效应干扰的关键。应尽可能挑选视野宽广、障碍物稀少的地点实施测量，减少信号反射的可能性。运用优质的天线和接受设备，它们可以抵御信号的失真，提升测量精度。借助这些方法，可以于繁杂地形和干扰环境中高效保证 GPS 地形测量的精度和可靠性。

4.3 复杂地形与干扰环境下的准确性保障

复杂地形和扰动环境要实施措施，保证 GPS 地形测量准确，结合运用多种技术策略。地形波动、稠密植被和建筑物会干扰 GPS 信号接收，造成测量误差。复杂地形要选用合适设备提升信号接收质量，比如高灵敏度天线。设备能降低信号丢失严重问题，信号丢失因为阻挡发生。测量时段要优化，合理调整测量到卫星几何分布好的时段。差异频段数据接收技术要运用，差异频率信号能抵抗电磁扰动。差分 GPS 技术要实施，周边已知点数据用来校正，提高测量结果可靠性。这些方法保证不良环境下，GPS 地形测量仍维持较高精度和可靠性。

5 GPS 技术在地形测量中的应用价值与未来展望

5.1 GPS 地形测量对效率与精度的提升

GPS 技术对地形测量展示快速有效效率和精度提升。依靠卓越立即性和高精度定位功能，GPS 技术有效收集测量数据，快速减少传统测量方法需要的时间和人力资源。全天工作功能保证各种天气平稳开展地形测量，测绘工作提供全面可靠时间保障。精度方面，GPS 技术运用准确卫星定位，结合差分定位和 RTK 实时动态定位技术，全面提升测量数据正确性，减少人为误差和环境因素影响。

复杂地形的调整能力让 GPS 技术在地形和森林等复杂区域保持高效测量功能，拓宽了 GPS 技术的应用范围。依靠传统测量方法的对比，GPS 技术的无接触测量特点在大范围区域测绘中展现优势，高效整合测量数据，优化项目实施方案。融入具体案例分析，GPS 技术的应用提升测量效率和精度，推动地形测量领域走向自动化和智能化发展，激发 GPS 技术在新兴测绘领域的潜力。

5.2 GPS 与传统测量方法的比较分析

GPS 技术与传统地形测量方法比较之后优势显著。传统测量借助依靠全站仪和水准仪等设备实施人工测量，受制于测量环境约束，要求较长时间达成准确数据采集。GPS 技术运用卫星定位系统，达成了更广阔的测量覆盖，降低了人为误差，具备很高的测量精度。GPS 技术可以达成数据刷新，提升了测量效率，使地形测量节约时间和成本。开展大范围测量任务时，GPS 可以在复杂地形中供给稳固且可信的数据支持，且传统方法面临地形起伏时效率明显降低。GPS 的数据处理自动化程度更强，令数据分析与信息提取表现更为便捷。GPS 技术在地形测量中展现出了巨大的优越性，推动了测绘技术的提高和发展。

5.3 GPS 技术在工程测绘领域的技术创新与发展趋势

测绘任务变得非常繁杂而且要求高准确度，GPS 技术在工程测绘领域的创新和发展方向受到很多人重视。使用网络 RTK 技术和多频多星定位技术后，测量精度明显提高，有效解决了传统单频定位精度偏低的问题。整合多种技术的 GNSS 系统大大增强了测量的适应能力，在空间定位和动态观测方面表现出独特优势。低功耗芯片的研发和智能化测绘设备的推广，持续推动测量技术向便携和高效能方向发展。结合人工智能的测量数据处理技术和实时动态监测系统，让 GPS 技术的服务能力变得更加完备。三维建模和无人机测绘的应用，预计将推动工程测绘领域技术的重大升级。

6 结语

本文研究了 GPS 技术在地形测量中的应用，分析其操作要点及优化策略。包括设备选型、数据采集流程、基准站配置与复杂环境下测量优化等方面，并对 GPS 技术的优势与局限性进行讨论。研究指出，合理设置观测参数、优化环境及修正多路径效应是确保测量精度的关键。相比传统测量方法，GPS 技术显著提升了效率和数据精度，但在极端复杂地形条件及设备选型上仍存局限。未来可深入探索与无人机、遥感技术的结合机制，开发精准动态修正算法，并验证其在特殊区域的适用性，为地形测量提供更高效可靠的解决方案。

参考文献

- [1] 吴洪强.基于GPS测量方法的地形测量技术探讨[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2021,(07):0289-0289.
- [2] 鲁英俊.GPS—RTK测量技术在地形测绘中的应用[J].魅力中国,2021,(33):0184-0186.
- [3] 刘喆刘瑞瑞.GPS技术在海底地形测量中的应用思考[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021,(01).

Research on engineering topographic mapping technology based on UAV aerial survey and 3D laser scanning

Ming Liu

Jinghe Design Group Co., Ltd., Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract

As one of the important technical means to carry out infrastructure construction and natural resource exploration, engineering surveying and mapping still has the potential to be developed in terms of core technology and equipment. In the case of low work efficiency, limited coverage area and poor adaptability of complex terrain in the previous technical equipment (total station, GPS single point measurement method), how to meet the needs of engineering surveying and mapping is a problem. To this end, this paper combines UAV aerial survey and three-dimensional laser scanning (Triangulated Laser Scanning) technology (TLS) technology to carry out technical tests of engineering surveying and mapping, and the test results show that the improvement of the matching degree of coverage area and detail accuracy of this technology can reduce the surveying and mapping engineering time by 40%~60%, which can make engineering surveying and mapping have a technical solution of "thickness and fineness" integration, which is convenient for surveyors to carry out engineering project surveying and mapping in complex environments.

Keywords

UAV aerial survey; 3D laser scanning; engineering topographic surveying and mapping; point cloud data; Accuracy comparison

基于无人机航测与三维激光扫描的工程地形测绘技术研究

刘明

境和设计集团有限公司, 中国·吉林 长春 130000

摘要

工程测绘作为开展基础设施建设与自然资源勘探的重要技术手段之一,其核心技术装备方面仍然存在亟须发展的潜力。以往的技术装备(全站仪、GPS单点测量法)在工作效率低、覆盖面积有限、复杂地形适应性差的情况下,如何满足工程测绘的需要是个问题。为此,本文将无人机航测和三维激光扫描(Triangulated Laser Scanning, TLS)技术相结合进行工程测绘的技术试验,获得的试验结果表明,该技术对覆盖面积和细节精度匹配程度的提高使得测绘工程时间相对减少40%~60%,可使工程测绘具备一种“粗细”一体化的技术解决方案,方便测绘人员在复杂环境下进行工程项目测绘。

关键词

无人机航测; 三维激光扫描; 工程地形测绘; 点云数据; 精度对比

1 引言

基于无人机的动力系统,并配合搭载一些高精度传感器和设备的高效高精度数据采集技术便为无人机航测技术,该技术可有效精准地采集到被测点地理位置的相关信息^[1]。该技术原理主要是在探测被测点的位置上用三维激光扫描技术实现深空探测目标点的作用原理,它会在目标点位置处发射一道激光信号,然后将信号时间返回检测器位置来计算出目标点与探测器的距离^[2]。本文主要研究的是基于无人机航测和三维激光扫描技术的工程地形勘察技术。

2 双技术优势对比与互补性

尽管无人机航测和激光扫描在各自的优越性上都各有所长,但均有着功能强大的优势。无人机航测具有宽广、高效的特性,在短时间内可以对大面积的区域进行巡查,对地理信息进行迅速地收集。无人机搭载不同的探测工具,例如激光雷达、摄像机等等,满足不同的调查需求。对于通过无人机进行的数据采集,可以很快生成数字化的高程、正射影像等测绘结果,为规划设计、决策提供强大的支持。三维激光扫描能够确保超高的三维立体性特征,能够获取物体的三维细节,建构三维高质量模型。针对一些复杂地形和建筑物可以为更加精细、全面的数据获取提供作用,对精细型的建模及变形监控作用等具有一定影响。实践应用中二者具有很强的互补性,无人机航空遥测对复杂地貌大片测量取到全貌数据,随后由特定区域或需要更高精度的部分采用3D激光

【作者简介】刘明(1992-),男,中国吉林人,本科,工程师,从事测绘工程研究。

扫描建模技术,可以优化两种技术长处,提升了测量的效率与精度,例如水力发电设施的场地测量阶段,无人机可以快速获得全部建筑物周边的地貌信息为项目规划提供数据,而对于较为重要的水库、泄水口等部分则可以利用3D激光扫描技术制作高度精细的模型以便于项目前期规划与建设过程中地形数据获取^[3]。

3 数据采集与处理

3.1 外业数据采集规范

具体确定无人机生产厂家如下步骤:根据卫星图片提前预览,从而理解测绘场所的大体地表形貌、地形地貌及设施的具体设置位置等情况;确定具体的飞机场。然后再到实地进行具体考察,结合具体地形地貌如地面形貌、障碍物位置、气象条件等情况调整之前的场所确定,从而保证无人机的起飞、降落、运转等情况的安稳性。测量区域布设的控制点分布应在整个区域内均匀分布,特别是在地势高低差较大、地貌特征强烈的位置适当增加控制点密度,布设的控制点大小方面,以适当大小为佳,如布设30cm×30cm~50cm×50cm大小的控制点,并考虑到便于辨识,选择与周围环境对比强烈如白色、红色的色彩来布置。三维扫描仪器安装时应借助脚架将其支撑固定,并确保扫描过程中产生的振动不会使其产生晃动;此外要根据其扫描范围和扫描形状调节好反射贴片的粘贴位置及数量,使其粘贴在光滑洁净的表面上,能有效提高所获得扫描数据的精度。

3.2 内业数据处理流程

内部数据资料包含的处理内容有:无人机数据资料和三维测量数据资料。对无人机数据资料首先采用UAV-PPK工具结合地面基准点(GSP)以及无人机飞行路径GPS轨迹的配合,对无人机位置信息精准计算,提高数据定位精度;采用Pix4Dmapper软件制作模型,将解析过的影像信息加载到软件中,软件会自动对数据进行像片内定向、空中三角测量等操作,并生成模型及正射影像。首先需要将3D扫描所得的数据进行预处理,将利用3D扫描仪器扫描后得到的原始信息进行预处理转换成点云数据。然后完成抽稀及裁剪工作,使用CloudCompare软件进行抽稀及裁剪。抽稀是依照实际需要产生的点云数据进行抽稀,去掉多余点从而减少点云数据的量;裁剪是对不用的点进行删除。最后对完成预处理的点云数据结合无人机构建的物体模型数据,得到完整的测量结果。

4 案例分析

4.1 项目背景

X江水库所在地位于广东省,为大型水利工程,需对水库坝区(约为5km²)和库区(约为20km²)各进行1:1000比例尺地形测量。主要进行坝体边坡稳定情况以及库区泥沙淤积情况。

4.2 技术方案

采用大疆的Matrice300RTK无人机以及搭载的L1激光雷达与P1全画幅相机在200米高度进行航飞工作。无人机航高200米,前后重叠率80%,正侧重叠率70%,单架次飞行可覆盖8km²左右的区域,总计航飞3架次即可完成库区20km²区域扫描。最终利用Pix4Dmapper软件进行处理后得到库区DEM(分辨率为0.2m)、DOM(分辨率为0.1m)和三维实景模型。

针对坝体边坡(长度1.2km,平均斜率65°)和溢洪道(8m×5m,深)这种较复杂地形,使用FAROFocusSS70扫描仪(精度±1mm,最大探测距离70m),分别在坝顶及坝底设置6个测站点,两个测站间隔约30~50m,每台设备扫描约40min即可获取密集度50点/cm²的点云数据,通过CloudCompare软件进行点云去噪并通过多站点拼接(目标球匹配,最大容许拼接误差±0.5mm)得到高精度的坝体点云模型。

4.3 数据对比与表格设计

为量化无人机航测与三维激光扫描的技术差异,选取覆盖范围、单点精度、数据处理时间、适用场景4项关键指标进行对比(表1)。

表1 无人机航测与三维激光扫描技术对比

指标	无人机航测 (以 Matrice 300+L1 为例)	三维激光扫描 (以 FARO Focus S70 为例)
覆盖范围 (单架次)	5-20 km ² (飞行高度 200-500 m)	0.01-0.1 km ² (单站射程 70 m)
单点精度	平面±5 cm, 高程±6 cm (无像控点); 平面±2 cm, 高程±3 cm (有像控点)	平面±1 mm, 高程±1 mm (室内); 平面±2 mm, 高程±2 mm (室外)
数据处理时间 (1 km ² 影像处理)	2-4 小时 (Pix4Dmapper); 激光点云处理: 1-2 小时 (UAV-PPK)	点云去噪+拼接: 4-6 小时 (CloudCompare)
适用场景	广域地形 (平原、丘陵、低山); 应急测绘局部复杂地形 (高陡边坡、建筑物立面、矿坑); 高精度变形监测 (如桥梁、坝体)	广域地形 (平原、丘陵、低山); 应急测绘局部复杂地形 (高陡边坡、建筑物立面、矿坑); 高精度变形监测 (如桥梁、坝体)

4.4 应用效果

传统方法(全站仪+RTK)完成同类测绘需15人/日,本方案仅需3人/日(2名飞手+1名扫描操作员),周期缩短75%。

无人机航测生成的库区DSM与实测RTK点对比,高程中误差±4.8cm(满足1:1000比例尺±5cm的精度要求);三维扫描生成的坝体点云与人工量测结果对比,局部特征(如裂缝宽度)误差≤±1mm,可直接用于边坡稳定性分析。

5 多场景实践与效果验证

5.1 水利水电工程测绘

搭载式激光雷达在水力发电工程中对1:500~1:10000比例尺地形图测绘具有重要意义,能够迅速准确地绘制出精细的DEM模型和真实的3D场景模型,从而快速精确地记录出地形起伏状况,为水库库容的确定或坝址的选择等提供了基础地形数据,实际3D场景模型能够通过直接观察施工场