

无人机结合点云在变电站工程测绘中的应用

田书飞

维坤智能科技（上海）有限公司 上海 200233

【摘要】变电站工程测绘是变电站规划、设计、施工和运维的基础工作，传统的测绘方法主要采用全站仪、GPS等设备，人工操作进行数据采集和处理，效率低、精度不高，难以满足日益复杂的变电站工程需求。随着无人机和点云技术的快速发展，将二者结合应用于变电站工程测绘中，可以显著提高测绘效率和精度，为变电站工程提供高质量的空间数据支持。本文探讨了无人机结合点云技术在变电站工程测绘中的应用，重点分析了无人机点云数据获取、处理和应用的关键技术，总结了该技术在变电站工程测绘中的优势和应用前景，并对存在的问题和未来的发展方向进行了展望。研究表明，无人机点云技术在变电站工程测绘中具有广阔的应用前景，可以有效提升变电站工程的信息化、智能化水平，对促进电力行业的发展具有重要意义。

【关键词】无人机；点云；变电站；工程测绘；应用

引言：

近年来，以无人机航测和激光雷达扫描为代表的现代测绘技术快速发展，为变电站工程测绘提供了新的解决方案。无人机航测技术具有机动灵活、成本低、效率高等特点，可以快速获取变电站场区及周边环境的高分辨率影像数据。激光雷达扫描技术可以获取高精度的三维点云数据，全面刻画变电站的地形地貌、设备设施等空间信息。将无人机航测与激光雷达扫描相结合，形成无人机点云技术，可以充分发挥二者的技术优势，获取变电站工程测绘所需的高质量空间数据。目前，国内外学者对无人机点云技术在变电站工程测绘中的应用开展了一系列研究。研究表明，无人机点云技术可以有效获取变电站高精度的三维空间信息，为变电站工程测绘提供新的技术手段。但是，目前无人机点云技术在变电站工程测绘中的应用还存在一些问题，如高压环境下的飞行安全问题、点云数据噪声干扰问题、海量数据处理问题等，亟需进一步开展系统性研究。本文重点探讨无人机点云技术在变电站工程测绘中的关键技术及应用，分析该技术的优势和局限性，并对未来的发展前景进行了展望，以为变电站工程测绘提供参考。

1 无人机点云技术概述

1.1 无人机航测技术

无人机航测技术是利用无人机搭载航测传感器对地面目标进行遥感探测的技术，可以快速获取目标区域的影像数据。与传统的有人机航测和卫星遥感相比，无人机航测具有机动灵活、响应迅速、重访周期短、成本低等优势。

常用的无人机航测系统主要包括固定翼无人机和多旋翼无人机两类，其中固定翼无人机航时长、航程远，适用于大范围测绘；多旋翼无人机灵活性高、稳定性好，适用于复杂环境下的精细测绘。无人机航测的核心是影像数据的获取和处理。为获取高质量的影像数据，需要合理设计航线参数，如航高、航向重叠度、旁向重叠度等，确保影像数据的完整性和一致性。获取的影像数据需要进行一系列处理，如影像匹配、空三加密、正射纠正等，生成数字表面模型（DSM）、数字正射影像（DOM）等成果数据。为提高数据处理效率，许多学者提出了基于GPU并行计算、分布式处理等优化算法。

1.2 激光雷达扫描技术

激光雷达扫描技术是利用激光束扫描目标表面，获取目标三维坐标信息的技术。与影像测量相比，激光雷达具有主动探测、穿透能力强、不受光照条件限制等特点，可获取高精度、高密度的三维点云数据。机载激光雷达常用于大范围地形测绘，地面激光雷达常用于精细建筑物测量。激光雷达点云数据处理的关键是点云配准、分割、分类等。由于点云数据缺乏语义信息，需要将不同站点获取的点云进行配准，将点云与实景影像进行融合，提取语义特征。为提高数据配准精度，学者提出了基于特征、几何等不同类型的配准算法。在点云分割方面，主要采用基于聚类、边缘检测等方法实现点云的分割。点云分类主要采用基于几何特征、回波特征的分类方法，将点云划分为地面点、建筑物点、植被点等。

1.3 无人机点云技术

无人机点云技术是将无人机航测与激光雷达扫描相结合的技术,同时获取目标区域的影像数据和点云数据,可充分利用影像的纹理特征和点云的几何特征,获取全面、精确的三维空间信息。与单一的无人机航测或激光雷达扫描相比,无人机点云技术具有数据获取效率高、数据丰富度高、应用范围广等优势。无人机点云数据的获取需要综合考虑无人机平台、航测传感器、激光雷达等多种因素,优化航线设计和扫描参数,确保获取高质量的数据。数据处理需要解决影像与点云配准、坐标系统一、点云噪声剔除等问题。在此基础上,可进一步开展地物提取、三维建模、变化检测等应用。无人机点云技术已在地形测绘、城市三维建模、林业调查、文物保护等领域得到广泛应用,取得了良好的应用效果。在电力行业,国内外学者也开始探索将无人机点云技术应用于输电线路巡检、变电站测绘等方面。随着技术的不断发展和完善,无人机点云技术在变电站工程测绘中的应用必将得到进一步深化。

2 无人机点云技术在变电站工程测绘中的应用

2.1 变电站工程测绘的特点和要求

变电站是电力系统中电压变换、电能分配的重要场所,一般由变压器、断路器、隔离开关、电抗器等一次设备和继电保护、安全自动装置、测量仪表等二次设备组成。变电站结构复杂、设备密集,对测绘工作提出了精度高、效率高的要求。变电站工程测绘的主要内容包括:场址测量、地形测量、建(构)筑物测量、设备安装测量、竣工测量等。场址测量主要确定变电站的位置、范围、地形地貌等,为选址决策提供依据。地形测量主要获取变电站场区及周边的地形图,为设计提供基础资料。建(构)筑物测量主要获取变电站内建筑物、构筑物的空间位置信息。设备安装测量主要指导变电设备的安装和调试。竣工测量在工程完工后进行,形成竣工图以备验收和运行维护。传统的变电站工程测绘主要采用全站仪、GPS等设备,通过现场人工测量的方式进行。虽然测量精度可以满足要求,但效率低、工作强度大,且受天气、环境等因素影响大。此外,获取的测绘成果主要为二维图形数据,缺乏三维空间信息,不能直观表达变电站的空间结构。因此,亟需引入新的测绘技术,提高变电站工程测绘的效率和质量。

2.2 无人机点云技术在变电站工程测绘中的优势

(1)数据获取效率高。无人机航测可在短时间内获取变电站场区的高分辨率影像数据,且不受地面条件限制,大大提高了外业测量效率。

(2)空间信息丰富。激光雷达扫描可获取高密度、高精度的三维点云数据,全面反映变电站的地形地貌、建筑物、设备设施等空间信息,弥补了传统测绘方法的不足。

(3)全天候作业。激光雷达主动探测,不受光照条件影响,可在夜间、阴雨天等恶劣条件下进行测绘作业,提高了工作效率。

(4)测绘成果直观。无人机点云数据可直接生成三维实景模型,直观反映变电站的空间结构,便于设计人员和管理人员分析、决策。

(5)应用范围广。无人机点云数据不仅可用于变电站工程测绘,还可应用于变电站资产管理、运行维护等方面,具有良好的应用前景。

2.3 无人机点云数据获取

由于变电站环境复杂,存在大量高压设备,无人机作业面临较大安全风险,需要制定严格的作业规范和应急预案。在进行航线设计时,需要考虑变电站场区面积、地形复杂程度等因素,合理设置航向重叠度和旁向重叠度,一般不低于80%和60%,确保影像数据的完整性。在航高选择上,需兼顾分辨率和效率,过高的航高会降低分辨率,过低的航高会增加飞行时间,一般选择100—300米。激光雷达扫描参数的设置需考虑所需点云密度、飞行高度、扫描角度等因素。扫描密度一般不低于每平方米10个点,以满足精细三维重建的需求。扫描角度需兼顾天顶数据和侧面数据的获取,一般选择20—40度。为保证数据获取的安全性和可靠性,无人机飞行应尽量避免高压设备和电磁干扰源,且需对飞行轨迹和状态进行实时监控。同时,还应做好地面控制点的布设工作,以提高数据处理的精度。

2.4 无人机点云数据处理

无人机获取的海量影像数据和点云数据需要进行一系列处理,以生成可用的测绘成果。影像数据处理的主要步骤包括:影像匹配、空三加密、正射纠正等,生成数字表面模型(DSM)和数字正射影像(DOM)。点云数据处理的主要步骤包括:点云配准、滤波去噪、分割分类等,生成规则点云和分类点云。影像匹配是利用影像之间的重叠关系,自动寻找同名点,计算影像的外方位元素,是影像空三加密的基础。针对变电站环境下特征点匮乏的问题,可采用多尺度融合、区域网络匹配等算法提高匹配精度和成功率。空三加密是反算影像拍摄瞬间的姿态和位置,并解算像点的三维坐标,将二维影像转换为三维实景。需要高精度的控制点数据,可采用GPS-RTK等技术获取。正射纠

正是消除影像的几何变形,生成正射影像,需要高精度的DSM数据。点云配准是将不同站点获取的点云数据进行拼接和融合,形成完整的点云场景。由于不同站点点云之间存在平移、旋转等位置偏差,需要采用配准算法进行校正,如ICP、NDT等。点云滤波去噪是去除噪声点和离群点,提高点云质量。针对变电站环境下金属设备产生的噪声,可采用统计滤波、迭代滤波等算法。点云分割分类是将点云划分为不同的对象类别,如地面、建筑物、植被等。常用的分类方法包括基于几何特征的分类、基于回波特征的分类等。在此基础上,可进一步开展三维重建、变化检测等应用。三维重建是在点云数据的基础上,构建变电站的三维实景模型,包括地形、建筑物、设备设施等,可采用Delaunay三角化、泊松重建等方法。变化检测是利用不同时期获取的无人机点云数据,分析变电站场区的地物变化情况,可采用DSM差分、点云距离场等方法。

2.5 无人机点云技术在变电站工程测绘中的应用实例

针对某110kV变电站新建工程,利用无人机点云技术开展工程测绘,获取了变电站场区的高分辨率影像和点云数据,生成了1:500地形图和三维实景模型,满足了设计和施工的需求。在测绘方案设计中,充分考虑了变电站场区约5万平方米、地形较为复杂等特点,选用固定翼无人机和机载激光雷达,飞行高度200米,航向重叠度80%,旁向重叠度60%,激光雷达扫描密度20点/平方米,扫描角度30度,布设了30个地面控制点,无人机飞行时避开了变电站东侧的220kV高压线。在数据处理中,针对高压环境引起的点云噪声问题,采用了统计滤波算法,有效去除了离群点。针对植被遮挡引起的点云缺失问题,采用了多站点数据配准方法,实现了点云的完整性。在此基础上,生成了变电站的数字表面模型和正射影像,并进行了三维实景建模,直观展示了变电站的空间结构。利用获取的无人机点云数据,进一步完成了变电站场地的工程施工放样和竣工测量工作。施工放样时,利用点云数据提取了场地道路、电缆沟等地物的三维坐标,指导施工机械的定位和作业。竣工测量时,利用点云数据检测了建筑物、构筑物的位置、尺寸是否满足设计要求,生成了竣工图。

2.6 无人机点云技术在变电站工程测绘中存在的问题和挑战

无人机点云技术在变电站工程测绘中存在一系列问题和挑战。高压环境下的飞行安全问题尤为突出,变电站内

大量高压设备、输电线路等对无人机的飞行安全构成严重威胁,需要制定严格的作业规范和应急预案,并提高作业人员的安全意识和技能水平。此外,变电站电磁环境复杂,大量的电磁干扰可能影响GPS定位精度和激光雷达测距精度,导致获取的影像数据和点云数据质量下降,出现畸变、漂移等问题,需要采取选择合适测绘仪器、优化航线设计等措施来减少电磁干扰的影响。变电站场区面积较大,获取的海量影像数据和点云数据也给数据处理带来挑战,传统的单机处理方式效率低下,需要引入并行计算、分布式处理等技术来提高处理效率和自动化水平。变电站工程测绘需要将无人机影像、激光雷达点云、全站仪测量等多源异构数据进行融合,面临坐标系不一致、数据格式不兼容等问题,影响数据质量和应用效果,需要研究制定多源数据融合的标准规范和关键技术。此外,无人机点云技术在变电站工程测绘中尚处于起步阶段,缺乏专业技术人才和成熟的技术标准,导致推广应用受限,需要加强技术研发和人才培养,建立健全技术标准和管理规范,促进无人机点云技术在电力行业的规模化应用。

结束语:

无人机点云技术与变电站工程测绘的融合,可显著提高变电站工程的信息化、智能化水平,为变电站的规划、设计、施工和运维提供全空间、高精度的数据支持,在变电站工程的前期测绘、设计模拟、施工放样、竣工测量等环节具有广阔的应用前景。但在实际应用中仍面临诸多问题和挑战,需要在系统性研究的基础上,突破关键核心技术,完善行业技术标准,加强人才培养,推动无人机点云技术在电力行业的规模化应用。未来,无人机点云技术在变电站工程测绘中必将呈现出数据采集自动化、处理智能化、应用精细化的发展趋势,应加强产学研用合作,为智能电网建设和电力现代化发展提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 董志国. 无人机遥感技术在测绘工程测量中的运用策略[J]. 新疆有色金属, 2024, 47(02): 34-35.
- [2] 靳丹, 刘晓光, 石刚, 等. 基于红外图像特征融合的变电站机器人巡视轨迹三维点云配准方法[J]. 红外技术, 2023, 45(06): 678-684.

作者简介:

田书飞(1989.04-), 汉族, 研究方向: 无人机测绘, 无人机系统开发。