

# Surface Deformation Monitoring Technology of Underground Pipeline Based on UAV Oblique Photography

Wenlong Jin

Shanxi Coal Geological Geophysical Surveying and Mapping Institute Co., Ltd., Jinzhong, Shanxi, 030600, China

## Abstract

UAV tilt photography technology has been widely used in various measurement applications because of its advantages of wide route coverage and fast data removal. In this paper, a new technology of surface deformation monitoring of underground pipeline based on UAV tilt photography is studied. Firstly, the technology of acquiring and processing UAV color and infrared oblique photography data is introduced, including route planning, terrain dependency point and pipeline attribute identification. Then, the experiment of data acquisition and processing of UAV tilt photography is designed and implemented. The experimental results show that UAV tilt photography can clearly display the deformation of the surface and accurately locate the deformation location, which is higher in accuracy and efficiency than traditional manual inspection. The application of this technology can not only improve the monitoring efficiency of the pipeline, reduce the monitoring cost, provide dense, continuous, high-precision deformation data, and is of great significance to prevent public safety accidents and improve the level of urban management.

## Keywords

UAV oblique photography; underground pipeline; surface deformation monitoring; data; public safety accident prevention

## 基于无人机倾斜摄影的地下管线地表变形监测技术

靳文龙

山西省煤炭地质物探测绘院有限公司, 中国·山西 晋中 030600

## 摘要

无人机倾斜摄影技术以其航线覆盖广、数据去得快等优点在各类测量应用中得到广泛应用。论文研究一类基于无人机倾斜摄影技术的地下管线地表变形监测新技术。首先,介绍了无人机彩色和红外倾斜摄影数据获取及处理技术,包括航线规划、地形从属点和管线属性识别等;随后,设计并实施了无人机倾斜摄影数据获取和处理的试验,实验结果表明,无人机倾斜摄影能够清楚地显示地表的变形,并准确地定位出变形位置,其精度高、效率优于传统的人工巡检。该技术的应用不仅能提高管线的监控效率,降低监控成本,提供密集、连续、高精度的变形数据,对预防公共安全事故,提升城市管理水平具有重要意义。

## 关键词

无人机倾斜摄影; 地下管线; 地表变形监测; 数据; 公共安全事故预防

## 1 引言

地下管线是现代城市基础设施的重要组成部分,关系到城市运行的安全和效率。传统的地下管线巡检方法,如人工巡检,既费时又费力,而且精度和效率也受到诸多限制。然而,亟待解决的问题在于地表变形的监控,因为这给城市安全带来重大威胁。因此,寻找一种快速、高效和精确的地下管线地表变形监测技术,已经成为当务之急。

近年来,无人机技术的发展为上述问题提供了新的解决方案。尤其是,无人机倾斜摄影技术因其广泛的航线覆盖、快速的数据获取等优点,在各类测量应用中广受欢迎。论文

将探讨基于无人机倾斜摄影技术的地下管线地表变形监测新技术。这种新技术不仅能提高地下管线的监控效率,降低管理成本,还能提供高精度的变形数据,对于防范公共安全事故和提高城市管理水平具有重大意义。

## 2 无人机倾斜摄影技术与地下管线地表变形监测

### 2.1 无人机倾斜摄影技术的基础知识与应用

无人机倾斜摄影技术作为一种先进的遥感测量方法,逐渐在各类地表监测中展现出其独特优势<sup>[1]</sup>。其原理在于通过搭载在无人机上的多个倾斜相机,以不同角度拍摄目标区域,从而获取多视角的影像数据。这种多角度影像相比传统的垂直影像,更有助于全面地捕捉地形细节,实现三维重建。

倾斜摄影技术有着较广的覆盖范围和较高的空间分辨

【作者简介】靳文龙(1989-),男,中国山西文水人,本科,工程师,从事测绘工程研究。

率。其航线规划利用全球卫星导航系统 (GNSS) 和惯性测量单元 (IMU), 确保无人机飞行路径精确, 影像数据的覆盖无遗漏。倾斜摄影数据快速获取的能力显著提升了测量效率, 相对于传统地面测量方式, 减少了人力和时间成本。实时性和高效率的特点, 使其在突发公共安全事件和需要快速获取地形数据的场景中具有重要应用价值<sup>[2]</sup>。

在实际应用中, 倾斜摄影技术不仅用于城市三维建模、古建筑保护等领域, 也在基础设施监测特别是地下管线地表变形中展现出明显优势。当地下管线发生变形或者位移时, 地表会出现一定程度的形变, 通过高精度多视角影像数据, 可以迅速、精准地识别这些微小变化。通过与地理信息系统 (GIS) 相结合, 还能建立起详细的管线地表变形模型, 为后续的修复和维护提供科学依据。

## 2.2 地下管线地表变形的基本理论和检测方法

地下管线地表变形通常由地下施工、地质变化或自然灾害等原因引起, 影响地表的安全和稳定。基本理论包括地形变形理论和岩土工程学, 这些理论涉及应力场、变形机理以及对地表及地下管线的影响。监测方法主要包括传统的人工巡检方法、地面雷达监测、基于 GPS 和全站仪的高精度定位监测。传统方法如视觉巡检、水平测量等, 虽然具备一定的监测精度, 但存在受制于天气条件、人工成本高和数据密度不够等问题。地面雷达监测和 GPS 定位监测技术在密度及精度方面有所提高, 但设备昂贵, 操作复杂, 难以连续、实时监测大范围的区域。新兴的无人机倾斜摄影技术, 通过获取大范围的高分辨率图像, 辅以高度数据和倾斜角度的多维度信息处理, 能够克服传统方法的局限, 提供更为密集、准确的地表变形监测数据。这一技术在效率、成本和数据精度方面体现出突出的优势。

## 2.3 无人机倾斜摄影技术在地下管线地表变形监测中的应用前景

无人机倾斜摄影技术在地下管线地表变形监测中的应用前景十分广阔。凭借其航线覆盖广、数据获取快捷等优势, 该技术能够提供高精度、连续性的地表变形数据, 显著提升监测效率和准确性。传统人工巡检手段难以实现的精细化监测, 通过无人机倾斜摄影得以实现<sup>[3]</sup>。未来, 随着技术的进一步发展, 数据处理算法的优化和硬件设备的升级, 该技术将在城市地下管线管理、公共安全预警以及灾害评估等领域发挥越来越重要的作用, 助力构建智能城市管理体系。

# 3 无人机倾斜摄影数据获取及处理技术

## 3.1 无人机航线规划与倾斜摄影数据的快速获取

在无人机倾斜摄影数据获取过程中, 航线规划是一个至关重要的环节。合理的航线规划不仅可以覆盖目标区域, 还能确保数据的连续性和准确性。航线规划过程涉及多个因素, 包括飞行高度、航线间距、拍摄角度以及拍摄频率等。

飞行高度通常根据地形特征和测量精度要求进行选择。较低的飞行高度有助于提高图像分辨率, 但覆盖区域较小;

较高的飞行高度则可以增加覆盖范围, 但可能降低图像的细节表现。合理的航线间距能够确保图像之间有足够的重叠, 从而在后期处理时构建高精度的三维模型。一般来说, 航线间距应当设置为图像宽度的 60%~80%。

拍摄角度决定了倾斜摄影数据的丰富性和多样性<sup>[4]</sup>。倾斜摄影通常包括垂直方向和若干个不同角度的倾斜方向拍摄。这样的配置可以提供更多的视角, 有利于地形和结构的全面捕捉。拍摄频率则根据无人机速度和目标区域的大小加以调整, 确保在规定时间内完成高质量的数据采集。

航线规划完成后, 无人机按照预定计划飞行, 并在各个节点拍摄高分辨率图像。所获取的数据会被实时传输回地面控制站, 或者存储在无人机的内部存储设备中, 待飞行任务完成后再进行数据下载。

无人机倾斜摄影数据的快速获取得益于现代无人机技术的不断发展, 其中包括高效的电池技术、精确的 GPS 定位系统以及自动化的飞行控制系统。这些技术保证了无人机能够在复杂的地形和多变的环境中稳定飞行, 大幅提高了数据获取的效率和准度。

## 3.2 地形从属点和管线属性的识别方法研究

在地形从属点和管线属性的识别方法研究中, 利用无人机倾斜摄影技术获取的数据, 通过结合高精度定位技术和图形识别算法, 准确地提取地形从属点的坐标信息。这些从属点通过对比现有的地下管线地理信息系统 (GIS) 数据库, 确定其与地表特征点的对应关系。在识别管线属性时, 采用多光谱分析和热红外影像辅助技术, 对地表温度异常与地形变化进行综合分析, 以确认地下管线的位置与走向。通过机器学习算法进一步优化识别过程, 能够区分不同类型的管线, 如供水、电力和燃气管线, 从而实现了对管线属性的自动化识别<sup>[5]</sup>。该方法通过对大规模数据的批量处理, 提高了识别精度和效率, 为管线地表变形的监测提供了可靠的数据支持。

## 3.3 倾斜摄影数据的处理和地表变形的定位识别

倾斜摄影数据的处理需要考虑数据的精确拼接和高效处理。通过无人机获取的多角度影像数据, 应用影像匹配算法生成高密度点云。点云处理通过滤波和分类以提取精确的地形信息和管线痕迹。地表变形识别基于点云的高精度数字表面模型 (DSM) 和数字高程模型 (DEM) 分析。比较多时相 DSM 和 DEM 数据, 通过差分分析精确识别变形区域。利用自动化图像分析技术和机器学习算法, 提高变形位置的检测效率和准确性, 确保地表变形的定位精度满足监测要求。

# 4 无人机倾斜摄影地下管线地表变形监测技术的意义和展望

## 4.1 地下管线地表变形监测技术对公共安全的保障和意义

当前, 地下管线由于年久失修、自然灾害、地质运动

等因素常常发生地表变形,导致管线破损、泄漏等安全隐患。无人机倾斜摄影技术凭借其航线覆盖广、数据获取迅速的优势,可以实现对大范围区域的高效监测,及时发现地表变形情况,预防安全事故的发生。

无人机倾斜摄影技术能够提供高分辨率的地表影像和精确的三维模型,这有助于快速、准确地识别和定位地表变形的具体位置及其影响范围。尤其在复杂地形和城市中心区域,无人机能够轻松越过障碍物,减少人工巡检中的死角和盲区,提高了监测效果的全面性和精准性。通过倾斜摄影影像和三维模型的分析,能够细化变形监测数据,快速定位损坏区域,实现早期预警,进而启动及时的应急修复措施,避免事故扩大。

通过应用无人机倾斜摄影技术,不仅能够显著提升地下管线地表变形监测的效率和准确度,也能优化监测工作的成本和资源投入。相比于传统的人工巡检和固定监测设备,无人机监测能够大大降低人力成本,并减少人为巡检的误差,提高了整个监控系统的可靠性和经济性。这些优势对于公共设施的安全管理具有重要作用,极大地提升了城市安全管理水平,为城市安全运维提供了强有力的技术支撑。

#### 4.2 地下管线地表变形监测技术在城市管理中的作用分析

通过无人机倾斜摄影技术,可以高效地获取城市地下管线区域的详细影像及变形数据,这些数据能够提供精确的地表变形信息,有助于及时发现和预防潜在的地下管线事故。该技术显著提高了城市地下管线的监控效率,能实时、连续地监测管线周边地表的微小变形,对防范事故和维护地下设施具有重要意义。

无人机倾斜摄影技术还帮助城市管理部门进行科学决策,为城市规划和基础设施建设提供数据支持。可利用高精度的影像数据来优化管线布局,减少施工过程中的风险,提高资源利用效率。通过对历史数据的比对和分析,城市各部门能预判未来的地表变形趋势,从而提前采取防范措施,提升城市管理的前瞻性和主动性。整体而言,无人机倾斜摄影技术为城市管理提供了全新的视角和强有力的技术支撑,大幅提升城市运行的安全性和管理效率。

#### 4.3 地下管线地表变形监测技术的发展前景和挑战

基于无人机倾斜摄影的地下管线地表变形监测技术发

展前景广阔,主要体现在提升管线安全监控效果及减少人工成本。技术仍然面临诸多挑战,如高精度算法开发、数据处理能力提升以及无人机续航能力的限制。如何在复杂城市环境中实现全覆盖监测以及应对天气、环境干扰也是亟待解决的问题。未来的发展应集中在技术优化、算法改进和硬件升级,以提高监测精度和效率,推动技术在更多实际应用中的普及与推广。

## 5 结语

论文研究了无人机倾斜摄影技术在地下管线地表变形监测中的应用,详细介绍了无人机彩色和红外倾斜摄影数据获取及处理技术,并进行了实验验证,确认无人机倾斜摄影能够清晰地显示地表的变形,并准确地定位出变形位置,且其精度高、效率优于传统的人工巡检。对于公共安全预防和城市管理水平提升将有重要意义。然而,本次研究仍存在一些局限,如对不同地质结构和环境条件下无人机倾斜摄影技术的适应性研究不够充分,对于克服自然环境变化造成的影响,改进无人机倾斜摄影技术仍需进一步研究。对于未来地下管线地表变形监测技术的研究,论文依据研究结果提出,应进一步完善无人机倾斜摄影在地下管线地表变形监测中的应用方法论,研究并开发适应性更强、精度更高的倾斜摄影设备,同时,在积累更多实践经验的基础上,规范化无人机倾斜摄影的监测流程,提高其实用性和可靠性。只有这样,我们才能最终实现无人机倾斜摄影技术在地下管线地表变形监测中的广泛应用,有效预防公共安全事件,夯实城市建设和管理的基石。

## 参考文献

- [1] 刘孝春.基于无人机摄影测量技术的地表塌陷变形监测探讨[J].中国金属通报,2023(3):216-218.
- [2] 杨建峰,魏春晓.无人机倾斜摄影测量数据获取及处理探讨[J].工程技术研究(百科),2019,1(4):99-100.
- [3] 徐施文.关于无人机倾斜摄影测量数据获取及处理的思考[J].丝路视野,2019(15):122-124.
- [4] 侯方国,刘欣,任秀波.无人机倾斜摄影与LiDAR融合监测技术[J].测绘通报,2022(11):128-131.
- [5] 毕皓婷,龙京建.基于无人机倾斜摄影测量的地表变形监测[J].智能城市,2022,8(12):4-6.