

复杂条件下的城市地下管线测量方法探析

刘铃

广州市运通水务有限公司，广东广州，510000；

摘要：在新时期发展背景下，为了能更好地推动城市可持续发展，越来越多的地下管线测量项目正在紧张实施当中，而地下管线的准确测量对于促进城市基础设施管理水平的提升起到了极其关键的作用，尤其在复杂条件下，如地形复杂、管线密集、周围环境干扰等情况下，测量难度显著增加。本文探讨了在这些复杂条件下的地下管线测量方法，包括传统测量技术和新兴技术的应用。主要分析了使用激光扫描、探地雷达（GPR）的优势与局限，通过技术对比，提出了针对不同复杂条件下的测量策略，以提高测量精度，研究表明，综合运用多种测量技术，可以有效应对复杂环境对地下管线测量带来的挑战。

关键词：地下管线测量；复杂条件；激光扫描

DOI：10.69979/3041-0673.24.7.037

引言

我国自改革开放以来，社会经济的发展突飞猛进，这在很大程度上促进了城市化建设进程的加快，对此，我国各大城市中的地下管线布局也变得越来越复杂起来，这给管线的管理和维护带来了极大的挑战。在城市地下空间中，管线密集、交错且埋藏深度不一，传统的测量方法往往无法满足高精度和高效率的需求。在复杂的地形、环境干扰以及管线种类多样的情况下，如何准确地测量地下管线成为待解决的问题。传统的地下管线测量方法主要依赖于物理探测和人工操作，常常受到环境条件限制，如地下障碍物、地面设施干扰等。然而，随着技术的发展，新兴的测量技术如激光扫描、探底雷达和无人机测量等逐渐被引入，并显示出其在复杂条件下的优势，这些技术能够提供高精度的测量数据，并且在处理复杂环境问题时表现出更高的灵活性。

1 传统测量方法概述

传统的地下管线测量方法包括人工探测、测量仪器以及基础的地理信息系统（GIS）应用，流程如表1所见。这些方法虽然在以往的测量工作中取得了一定的成果，但在面对复杂条件时，其局限性愈加明显。

1.1 人工探测

传统的人工探测方法通常依赖于地下探测仪器，如地下探测雷达（GPR）和声波探测仪，通过探测仪器传输信号并接收反射信号，可以判断地下管线的存在和位置^[1]。然而，这种方法在管线密集或地形复杂的环境中常常出现探测盲区，导致测量结果的不准确。

1.2 仪器测量

全站仪、经纬仪等这些仪器可以用于测量地面的管线位置，但对于地下管线的精确定位和深度测量能力有限，传统仪器需要依赖于已知地表标志物进行测量，因此在复杂环境中难以获得准确数据。

1.3 应用 GIS

GIS 系统能够对已有的管线信息进行管理和分析，但其依赖于前期的数据录入和更新。在实际应用中，GIS 系统往往需要结合其他测量技术进行验证和补充，才能保证数据的准确性。

2 新兴测量技术

2.1 激光扫描技术

激光扫描技术是一种先进的测量方法，它通过发射激光束来扫描地下结构，从而获取高精度的三维点云数据。这种技术具有许多显著的优势，使其在地下管线勘测等领域得到广泛应用。与传统的测量方法相比，激光扫描可以在短时间内覆盖更广泛的区域，大大提高了工作效率。这对于地下管线的全面勘测尤为重要，因为地下管线通常分布在广阔的地区，需要大量的时间和资源进行测量。激光扫描技术的高分辨率和高精度使其在复杂环境下的应用效果优于传统方法。传统的测量方法可能会受到环境因素的影响，如地形、建筑物等，导致测量结果不准确。而激光扫描技术可以通过对地下结构的精确扫描，获得更为准确的数据，从而提高了测量的精度和可靠性。然而，激光扫描技术也存在一些挑战和限制。在光线较暗或者光照不均匀的环境下，激光扫描的效果可能会受到影响，导致数据的准确性下降。因此，在实际应用中需要进行优化，如调整扫描时间、增加辅助光源等，以提高激光扫描在各种光照条件下的性能。

2.2 探地雷达 (GPR)

GPR 技术通过向地下发送高频电磁波并接收反射信号来探测地下物体，GPR 在探测深度和分辨率上具有较好的表现，特别适用于检测地下管线的深度^[2]。尽管 GPR 技术在复杂地质条件下的效果有所限制，但其在城市地下管线测量中的应用仍然非常广泛，GPR 技术的工作原理如表 1 所见。

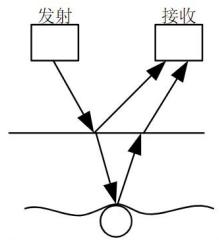


表 1：GPR 技术工作原理

基于电磁波在不同介质中的传播速度差异，当电磁波遇到不同介电常数的介质时，会产生反射、折射或散射现象。通过对这些反射信号的接收和分析，可以推断出地下结构的特征，如物体的位置、大小、形状以及材质等。

2.3 无人机测量

无人机技术可以通过搭载高分辨率摄像头和激光雷达等设备，对地表及地下管线进行高效测量。无人机的高机动性和数据采集能力使其在复杂环境下表现出较强的适应性。然而，无人机的测量结果需要与地面数据进行结合，才能确保地下管线的准确定位。

3 复杂条件下的城市地下管线测量策略

3.1 落实好各项前期准备工作

在目前的发展阶段中，对城市地下管线进行测量的过程中，主要是采用相关先进的测量技术手段和测量仪器设备等，从而能够帮助有关部门准备地了解城市地下管线具体的布设位置，同时也获取地下管线的空间形态以及内部结构等关键参数，只有掌握全面的测量数据，再结合特定区域的地形图，有关单位或部门就能够更好地规划该区域在未来发展阶段当中的开发思路，为降低后期开发过程中的施工难度起到了重要的作用^[3]。众所周知，城市地下管线的布设是非常复杂的，在正式对地下管线进行测量之前，还需要做好以下几个方面的工作，首先是对该区域进行全面的实地勘测工作，通过对测量区域进行综合地分析，就能够进一步明确测量区域中的地下管线情况，在该阶段中，还需要了解该区域地下管线的具体类型，并细致地将这些测量数据记录下来^[4]。

值得注意的是，若当地城市在未来的发展规划中，确认需要实施大规模的开发与建设工作，那么有关技术人员在整个

理地下管线数据的过程中，还要整合各个地区中的城市地下管线的测量数据与综合规划信息，同时建立起一个匹配的数据平台，为后续各项工作所涉及数据的调用提供良好的依据。其次，在实施各项城市地下管线测量工作的过程中，要注意精准定位所需要测量的特定区域，同时还要搜索数据库当中，各类有关测量区域的地下管线数据与信息；最后，技术人员需要结合测量区域的实际地形条件、当前该城市的开发建设方案和未来发展规划等来进一步评估后续地下管线测量工作需要重点关注的重、难点，从而能够避免最终的测量结果受到干扰数据信息的影响^[5]。在细节方面中，要重点分析从数据库当中所调取的各类数据，然后选择适用性最高的地下管线测量方法，为后续测量数据库的更新提供更多高质量的参考依据。

3.2 多技术融合测量

在复杂条件下的地下管线测量中，多技术融合是一种有效的方法，通过将不同测量技术的优势进行综合应用，可以显著提高测量的准确性。传统的单一测量方法在面对地形复杂、管线密集和环境干扰等挑战时，往往存在局限性，而多技术融合则能够有效弥补这些不足，提供更为可靠的数据支持。激光扫描技术能够快速获取地下管线周围环境的三维点云数据，提供详细的空间信息和精确的地表地形数据，其高分辨率的点云数据能够清晰地描绘出地下管线的外部轮廓和环境特征。探地雷达技术则能够通过电磁波探测地下结构，准确获取管线的深度和位置数据，GPR 在识别不同材质和位置的地下物体方面具有较强的能力，特别适用于探测地下管线的深层位置。通过将激光扫描与 GPR 技术相结合，可以实现数据的互补和优化。激光扫描提供的高精度三维数据可以帮助准确定位 GPR 探测的区域，并对 GPR 数据进行空间配准，提高测量结果的精度，GPR 技术获取的深度信息可以用于对激光扫描数据中的地下结构进行深度分析和验证，融合在一起不仅提高了地下管线测量的全面性，还减少了单一技术在复杂环境下的局限性。

3.3 分区测量

分区测量是一种在复杂条件下提高地下管线测量精度和效率的有效方法，该方法通过将测量区域划分为若干小区，逐一进行测量和数据整合，能够有效应对地下管线分布密集、地形复杂以及环境干扰等问题。分区测量的核心在于对复杂区域的合理划分，在城市环境中，地下管线往往交错复杂，传统的整体测量方法容易因环境干扰或数据覆盖不足而产生误差，通过将测量区域细分为若干较小的区块，可以减少每个区块内的干扰因素，提高测量精度。在实际操作中，可以

根据管线分布、地形特征以及施工环境等因素进行分区，确保每个小区内的测量工作尽可能地精准。分区测量时，先对目标区域进行初步勘查和规划，根据地形、管线密度及环境因素划分测量区域，之后针对每个小区选择合适的测量技术和设备。例如，在地形起伏较大的区域，可以使用激光扫描技术获取详细的地面信息；在地下管线密集的区域，则可以采用探地雷达（GPR）进行深度探测，通过分区测量，能够对每个小区内的管线进行详细探测，减少因区域过大而导致的测量误差，其探测场景如图1所示。



图1：探地雷达设施应用场景示意图

值得注意的是，分区测量还具有灵活性，可以根据实际情况调整测量方案。例如，在遇到地质结构复杂或存在障碍物的区域时，可以进一步细分小区，进行更为精细的测量。同时，分区测量能够有效分散工作压力，提升作业效率，在测量过程中，利用分区数据进行实时监控和调整，可以及时发现并解决潜在的问题，提高整体测量结果的可靠性。数据整合是分区测量中的关键步骤，每个小区的测量数据需要经过处理和整合，形成全面的地下管线分布图，通过将各个小

区的数据进行空间配准和整合，可以得到完整的地下管线信息，这一过程通常需要结合地理信息系统（GIS）等技术，将不同来源的数据进行融合，确保测量结果的准确性。

4 结论

总之，在复杂条件下的城市地下管线测量中，传统的方法已无法满足现代城市管理的需求。新兴技术如激光扫描、探地雷达（GPR）、无人机测量的引入，为地下管线的准确测量提供了有效的解决方案，通过多技术融合测量、分区测量，可以显著提高测量的精度和效率。然而，技术的选择和应用仍需根据具体环境和测量需求进行合理配置，才能实现最佳效果。

参考文献

- [1] 张彦飞. 复杂条件下的城市地下管线测量方法分析 [J]. 建材发展导向, 2023, 21(23): 34–36.
- [2] 刘清龙, 肖安亮. 复杂条件下的城市地下管线测量方法探讨 [J]. 现代物业: 中旬刊, 2022(5): 3.
- [3] 唐吉林. 城市地下管线测绘测量技术方法 [J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2024(3): 175–177.
- [4] 孙永兵. 复杂条件下的城市地下管线测量方法 [J]. 自动化应用, 2023, 64(15): 135–137.
- [5] 李思琪, 陈起金, 牛小骥, 等. 城市地下管线惯性测量仪管道接缝探测算法及其对定位精度的影响分析 [J]. 传感技术学报, 2023, 36(6): 893–900.