

城市地下管线 RTK 测量应用研究

唐凡

四川省地质测院有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i5.8037

[摘要] RTK 技术在城市地下管线测量中的应用已成为提升测量精度与效率的重要手段。该技术基于载波相位观测，通过基准站与流动站的协同工作，实时提供厘米级精度的三维定位，并借助 CORS 网络进一步扩展覆盖范围与可靠性。相较于传统方法，RTK 技术具有灵活性强、实时性高、设备轻便等优势，尤其适用于复杂城市环境中的老旧小区改造或偏远区域管线勘测。然而，实际应用中仍需应对信号遮挡、多路径效应及电磁干扰等挑战。以某市某社区项目为例，通过参数转换（七参数法）、优化采样间隔（1 秒）、调整卫星高度角（ 10° – 18° ）及多次重复测量等手段，有效控制了平面误差（ $\pm 2.5\text{cm}$ ）与图根点偏差（ $\pm 1.5\text{cm}$ ），并结合全站仪校核、双频差分观测及电磁环境勘查等措施，显著降低了误差影响。未来，随着算法优化与多技术融合（如 GIS、BIM），RTK 技术将进一步提升抗干扰能力，推动地下管线管理的智能化和三维可视化发展。该技术的推广需结合专业人才培养与标准化体系建设，以保障城市地下基础设施测量的高质量实施。

[关键词] RTK 技术；城市地下管线测量；精度控制

Research on RTK measurement application of urban underground pipeline

Tang Fan

Sichuan Geological Survey Institute Co., LTD.

[Abstract] The application of RTK technology in urban underground pipeline surveying has become an important means to improve measurement accuracy and efficiency. This technology is based on carrier phase observation, providing real-time three-dimensional positioning with centimeter-level precision through the coordinated work of reference stations and rover stations, and further expanding coverage and reliability with the CORS network. Compared to traditional methods, RTK technology offers advantages such as high flexibility, real-time performance, and lightweight equipment, making it particularly suitable for the renovation of old residential areas or pipeline surveys in remote regions within complex urban environments. However, practical applications still face challenges such as signal blockage, multipath effects, and electromagnetic interference. Taking a community project in a certain city as an example, effective control of planimetric errors ($\pm 2.5\text{ cm}$) and geodetic point deviations ($\pm 1.5\text{ cm}$) was achieved through parameter transformation (seven-parameter method), optimized sampling intervals (1 second), adjustment of satellite elevation angles (10° – 18° degrees), and multiple repeated measurements. Combined with total station verification, dual-frequency differential observation, and electromagnetic environment investigation, the impact of errors was significantly reduced. In the future, with algorithm optimization and integration of multiple technologies (such as GIS and BIM), RTK technology will further enhance its interference resistance capabilities, promoting the intelligent management and three-dimensional visualization of underground pipelines. The promotion of this technology requires the combination of professional talent development and standardization system construction to ensure high-quality implementation of urban underground infrastructure surveying.

[Key words] RTK technology; urban underground pipeline measurement; precision control

引言

城市地下管线是维系城市正常运转的核心基础设施，涵盖给排水、电力、燃气、通信等关键系统，堪称城市的“生命线”。随着城市化进程的加速，地下管线的规模与复杂度显著增加，

其精准测量成为城市规划、建设、维护及安全管理的重要基础。然而，传统测量方法如全站仪、水准仪等受限于通视条件、效率低下及环境适应性不足等问题，难以满足现代城市地下管线高精度、高效率的测量需求。在此背景下，实时动态载波相位

差分 (Real-Time Kinematic, RTK) 技术凭借其厘米级定位精度、实时数据获取能力及对复杂环境的适应性,逐渐成为城市地下管线测量的重要技术手段。

本文以某市某社区回迁房地块项目为例,探讨 RTK 技术在城市地下管线测量中的实际应用。该项目涉及超万米给排水管线、电力电缆及燃气管道,测量区域环境复杂,高楼林立且电磁干扰显著。通过采用网络化 RTK 技术,结合七参数坐标转换、多频次图根点测量及误差控制策略,项目团队实现了平面位置误差 $\pm 2.5\text{cm}$ 、高程误差 $\pm 1.5\text{cm}$ 的高精度成果。这一案例不仅验证了 RTK 技术的可靠性,也为类似工程提供了可复用的技术路径。

1 CORS 网络和 RTK 技术概述

1.1 RTK 技术原理

RTK 技术作为新型动态定位技术,基础为载波相位观测值,能将坐标系统中观测站点的三维定位情况实时提供出来,具有较高的精度标准。RTK 技术的基本原理是利用至少两台 GPS 接收机,一台作为基准站,另一台作为流动站。基准站固定在已知坐标的地点,实时接收卫星信号,并将原始数据或差分信号通过无线通信方式发送给流动站。流动站同时接收卫星信号和来自基准站的数据,通过差分计算消除大气延迟、卫星钟差等误差,实现高精度定位。

1.2 CORS 网络技术原理

CORS 技术是 RTK 技术的现代化升级。CORS 技术结合了数字通信技术、计算机技术以及卫星定位技术等多种科技手段。其核心是构建一个由多个连续且固定的 GPS 参考站组成的网络,通过先进的数据通信、计算机和互联网技术,形成一个综合性的网络体系。这个体系能够灵活地满足各种需求和不同层次的目标。CORS 系统主要由基准站、数据处理中心、数据传输模块、用户终端以及数据导航模块构成,通过数据传输模块将监控中心与基准站紧密相连,逐步织就一张统一的网络。CORS 系统能够提供比传统 RTK 技术更广的覆盖范围和更高的数据可用性,还减少了对单个基准站的依赖,从而提高了定位服务的可靠性和效率。

2 RTK 技术的优势

相较于 CORS 技术,RTK 技术在地下管线勘测中展现了独特优势,特别是在处理小型和封闭区域的勘测任务,例如对老旧小区住宅区进行改造时,RTK 技术的灵活性和机动性尤为突出。该技术由基准站、移动站和通信链路组成,设备轻便,易于携带和部署。勘测人员能够迅速搭建基准站,并利用移动站灵活地在小区内移动,即便是在狭窄的楼间小道中也能高效操作。由于不需要依赖广域的网络覆盖,而是通过无线电等通信手段迅速建立测量系统,实时获取管线点的高精度三维坐标,其定位精度可达到厘米级,从而精确描绘出地下管线的布局 and 位置。

3 RTK 技术在城市地下管线测量中的难点

3.1 信号遮挡与多路径效应问题

尽管如此,RTK 技术仍需克服一些难题,尤其信号遮挡与多路径效应问题较为突出。在城市中心区域,高楼大厦、地下停车场等大型建筑物容易遮挡卫星信号,导致信号接收不稳

定,影响测量精度。同时,周围环境中的反射面,如玻璃幕墙、金属结构等,会引起多路径效应,使接收机接收到的信号产生偏差,增加了测量误差的不确定性。

3.2 干扰因素阻碍

城市中无处不在的电磁干扰,如通信基站、电力设施产生的电磁信号,会干扰 RTK 设备接收卫星信号,降低信号质量。此外,地下管线周围的环境变化,周边存在的各类金属管道、线缆等,会对 RTK 设备自身的磁场产生影响,进而干扰测量过程。需要测量人员格外留意并采取相应措施。

4 工程案例与分析

某城市有机更新某社区回迁房地块项目坐落于某市稠城街道,南门街以西、稠州中路以北,其独特的地理位置决定了测量工作的复杂性与重要性。该地块用地面积达 112609.77m^2 ,有 8000 米长给排水管、5000 米电力电缆等。外业测量时,采取了精确的测量技术,以确保能够准确地获取管线点的三维坐标。参数转换采用七参数法,7 个已知控制点精度在 $\pm 1\text{cm}$,确保坐标转换准确。平面测量将流动站采样间隔设为 1 秒,卫星高度角调至合适范围。图根点测量 5 次取均值,偏差控制在 $\pm 1.5\text{cm}$ 内,遇到复杂障碍物增设接收设备。精度分析严格控制误差范围,通过多种措施控制误差,保障了测量精度,为项目顺利推进提供有力支持。

4.1 RTK 技术的应用过程

4.1.1 外业测量

在本次地下管线测量中任务艰巨,地下管线种类繁多,有总长度约 9000 米、管径 150mm-1000mm 的给排水管线,6500 米长、电压 10kV-35kV 的电力电缆,3500 米的燃气管道和 5000 米的通信管线。复杂的管线分布使测量元素超 8 个。测量区域周边环境极具挑战,高楼大厦林立,地下停车场遍布,电磁干扰强,多路径效应明显。测量团队深知,精准数据采集需要捕捉最佳时机。我们凭借专业经验,候着卫星信号稳定、干扰少的时段,快速启动测量,尽量避开干扰的峰值影响。按该地块测量标准,必须规范操作网络化 RTK 技术。给排水管线的阀门、变径点,电力电缆的分支接头、转接箱,燃气和通信管线的检查井、分支处等关键管线点的三维坐标数据,对后续施工和规划意义重大,必须精准获取。

4.1.2 参数转换

参数转换是保证测量数据准确性的关键步骤。首先,利用高精度卫星定位系统获取独立坐标信息,这一过程需要确保卫星信号的良好接收和处理,以保证坐标信息的初始精度。然后,在 RTK 测量技术用于坐标转换时,根据该地块的实际地理环境和地下管线分布特点,经过详细的前期勘查和分析,选择了七参数法进行坐标转换。在这个面积约为 112609.77m^2 的测量区域内,有 7 个经过严格校准的已知控制点,这些控制点的坐标精度高达 $\pm 1\text{cm}$ 。通过网络化 RTK 移动站在各个控制点上获取固定解,并详细记录每个控制点的 WGS-84 坐标点。在这个过程中,对每个坐标点的测量都进行了多次重复和对比,确保转换参数的准确性,从而保障整个测量工作能够保质、保量完成,为后续的地下管线建设和管理提供精准的坐标支持。

4.1.3 平面测量

考虑到某社区回迁房地块区域未来的建设规划和地下管线对施工精度的高要求，平面测量的精度标准设定为平面位置误差控制在 $\pm 2.5\text{cm}$ 以内。在实际操作中，流动站的采样间隔根据管线密度和复杂程度调整为1s，这能够确保在管线交叉、分支频繁的区域也能精确捕捉到如管线分支点、转折点、不同管径变化点等关键位置的坐标信息。同时，由于周边环境复杂，

表1 RTK 技术测量平面技术要求

级别	相邻点距离/m	点位测量误差/cm	边长相对偏差	起始点级别	测量次数
一级	≥ 510	4.5	$\leq 1/3000$	一级	10
图根	≥ 110	4.5	$\leq 1/3000$	四级以上	3

4.1.4 图根测量

在某社区回迁房地块图根点测量中，测量人员为使结果符合我国相关规范标准，对每个图根点测5次，保持测量环境与操作规范统一，取平均值作坐标，偏差控制在 $\pm 1.5\text{cm}$ 内，超范围重测，以此保证坐标准确。测量过程中，部分测量点周边有复杂障碍物，像地下停车场多层结构、老旧建筑基础、临时地下设施等，它们干扰信号传输路径，造成信号衰减和散射，使坐标数据产生明显误差。测量团队经实地勘查分析，在障碍物附近合理增设接收设备，优化布局并调整接收参数，增强信号接收能力，减少传输误差，保障图根点测量顺利和结果准确。对图根点进行平面坐标测量的多次重复操作时，RTK 设备持续捕捉卫星信号，实时解算并记录每次测量对应的高程值。我们首先在水准点上设立仪器，然后按照闭合或附合水准路线的方式，对各个图根点进行高程测量。在测量过程中，严格控制视线长度和前后视距差，以确保测量的精度。并且还定期对水准仪进行检验和校正，以保证测量结果的可靠性。

4.1.5 精度分析

在测绘某社区回迁房地下管线时，保障测量质量的关键是科学检测单基站 RTK 技术的精度与稳固性。对于平面控制点的外业检查，采用全站仪对边长与角度进行高精度测量。在边长测量方面，要求校核边长测距中的误差必须控制在 0.8cm 以内，边长较差的相对误差需 $\leq 1/10000$ 。在角度测量上，校核角度测角需精确控制在 $6''$ 以内，角度较差应 $\leq 20''$ 。对于坐标较差中的误差，严格要求控制在 3cm 以内。在高程外业检查环节，选用高精度水准仪结合三角高程测量方法，确保高程较差 $< 2.5\text{cm}$ 。这些严格标准能把控制测量结果质量，及时纠错，确保数据可靠。

5 误差来源及精准度控制

在某市某社区回迁房地块地下管线测量中运用 RTK 技术时，误差来源多样，严重影响测量精准度。

(1) 坐标转换时，坐标系选择和已知点精度至关重要。选错坐标系，如混淆地方和国家坐标系或忽略二者差异，会使坐标转换偏差大。同时，该社区施工复杂，周边地下工程施工引发的地面沉降、震动会让已知控制点坐标位移、精度降低，用这些点转换坐标会将误差传递至整个测量结果。

(2) 系统本身也存在多种误差因素。天线相位中心虽出厂校准，但长期使用和复杂环境下可能有 $\pm 0.5\text{mm}$ 的微小偏差，

建筑物高度和密度对卫星信号遮挡严重，我们根据现场实际情况，通过多次试验和调整，将卫星高度角设定在 $10^\circ - 18^\circ$ 之间，以此保证在复杂的城市环境下，流动站能接收到足够数量（至少6颗）和质量的卫星信号，最大限度地减少信号遮挡和多路径效应的影响，保障平面测量的高精度。有关平面测量采用 RTK 技术的实际要求。

这在高精度测量中影响不容小觑。社区在市中心，周边通信基站、高压电线和电子设备多，电磁信号干扰卫星信号接收和处理，致信号失真或丢失。温湿度、气压等气象因素改变大气折射，影响信号传播路径，季节和天气变化时更明显。高楼大厦、金属广告牌等反射物产生多径误差，轨道、电离层、对流层误差等也会随时间和空间变化增加测量结果不确定性。

(3) 观测条件对测量精准度影响显著。某社区周边地形地貌复杂，地势起伏。地势低的地方，卫星信号易被建筑物和地形阻挡；地势高的地方，多路径效应明显。地形变化使流动站和基准站间信号传播路径复杂，改变信号传播时间和强度。而且周边商业场所和通信设施的大功率信号发射设备产生的磁场，会与卫星信号相互作用，使接收机信号畸变，产生测量误差。鉴于误差情况复杂，为有效控制误差、提升测量结果精度，需采取综合措施。

6 结论与展望

RTK 技术在城市地下管线测量中的成功应用，不仅为城市基础设施建设提供了高精度数据保障，更推动了测绘行业从传统模式向智能化、数字化转型的进程。未来，随着 5G 通信、物联网及数字孪生技术的深度渗透，RTK 技术有望与智慧城市管理平台无缝对接，实现地下管线的实时监测与风险预警。然而，技术落地的可持续性仍需以问题为导向，持续优化设备性能、完善标准体系并强化人才支撑，方能真正释放其技术潜能，为城市地下空间的安全开发与高效运维注入持久动力。

本文的研究成果既是对 RTK 技术工程化应用的实证总结，也为类似项目提供了技术参考与优化思路。期待未来更多学者与从业者在此基础上深化探索，共同推动城市地下管线测量技术向更高精度、更强适应性与更广应用场景迈进，助力智慧城市建设的可持续发展。

【参考文献】

- [1]杨超.测绘技术在城市地下管线测量中的应用[J].造纸装备及材料, 2022, 51(02): 124-126.
- [2]陈倍.基于 CORS 系统的网络 RTK 技术在城市地下管线测量中的应用[J].测绘与空间地理信息, 2021, 44(05): 163-165+168.
- [3]杨立树, 姚益峰, 路佳.GPS RTK 技术在地下金属管线控制测量中的应用研究[J].世界有色金属, 2021, (03): 176-177.