

# Analysis of the Application Practice of GPS-RTK in the Field of Engineering Surveying

Xinchao Wang

Jiuhua Geomatics Space (Tianjin) Technology Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

## Abstract

Global Positioning System Real-Time Kinematic (GPS-RTK) technology, as an important tool in the field of modern engineering surveying, has been widely applied in various engineering projects due to its high accuracy and real-time capabilities. This paper systematically expounds the principles of GPS-RTK technology, including the operational principles of single point positioning, differential positioning, and carrier phase differential positioning. Building upon this foundation, the paper focuses on the practical applications of this technology in the fields of control surveying, route positioning, construction layout, and deformation monitoring within engineering surveying. By analyzing specific cases, the paper reveals the significant advantages of GPS-RTK technology in enhancing surveying accuracy and efficiency, providing reliable technical support for engineering surveying.

## Keywords

GPS-RTK; Engineering Surveying; Real-Time Kinematic; Carrier Phase; Differential Positioning

## GPS-RTK 在工程测量领域的应用实践分析

王新超

九华地信空间（天津）科技有限责任公司，中国·天津 300000

## 摘要

全球定位系统实时动态定位（GPS-RTK）技术作为现代工程测量领域的重要工具，凭借其高精度和实时性，在各类工程项目中得到了广泛应用。本文系统阐述了GPS-RTK技术的原理，包括单点定位、差分定位和载波相位差分定位的工作原理。在此基础上，重点探讨了该技术在控制测量、路线定位、施工放线和变形监测等工程测量领域的应用实践。通过分析具体案例，揭示了GPS-RTK技术在提高测量精度和效率方面的显著优势，为工程测量提供了可靠的技术支持。

## 关键词

GPS-RTK; 工程测量; 实时动态定位; 载波相位; 差分定位

## 1 引言

GPS-RTK 技术作为一种高精度实时定位技术，广泛应用于各类工程测量领域。其通过结合卫星定位和载波相位差分技术，可以提供厘米级甚至毫米级的定位精度。该技术在控制测量、路线定位、施工放线以及变形监测等方面显示出显著的优势，特别是在复杂地形和大规模工程项目中，能够显著提高工作效率与测量精度。尽管 GPS-RTK 技术在工程测量中应用广泛，但其测量精度受到多种因素的影响，如卫星信号干扰、参考站间距、接收设备性能等问题，这些因素可能导致测量误差的产生<sup>[1]</sup>。因此，探索并采取有效的解决方案，对于确保测量数据的准确性和可靠性至关重要。

## 2 GPS-RTK 技术原理

### 2.1 单点定位原理

全球定位系统（GPS）是由美国建立的全球性卫星导航系统，其架构由空间段、控制段和用户段三个核心组成部分构成（见图1）。空间段由多颗在轨运行的GPS卫星组成，这些卫星持续向地球表面发射无线电信号。控制段负责卫星的轨道监测、状态管理及系统维护等核心功能。用户段则主要包括GPS接收设备，用于捕获并处理卫星信号以实现定位功能。GPS接收机通过同时接收至少四颗卫星的信号，计算与各卫星之间的伪距，并基于卫星的精确位置信息，采用空间后方交会原理解算接收机的三维空间坐标。然而，受限于大气延迟、卫星轨道误差等因素，单点定位的精度通常维持在10米左右<sup>[2]</sup>。

### 2.2 差分定位原理

为提升GPS定位精度，差分定位技术应运而生。该技术通过建立参考站与移动站之间的空间相关性，有效消除大部分系统性误差。参考站基于已知精确坐标，实时计算各

【作者简介】王新超（1984-），男，中国河北邢台人，助理工程师，从事测绘工程研究。

卫星的伪距误差，并通过数据链将差分改正数据传输至移动站。移动站接收并应用这些改正信息，对自身观测值进行修正，从而显著提高定位精度。通过差分技术的应用，定位精度可从米级提升至厘米级，满足更高精度的测量需求。

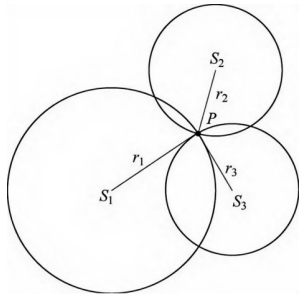


图1 单点定位工作原理示意图

### 2.3 载波相位差分原理

实时动态定位 (RTK) 技术是一种融合了 GPS 定位、数据通信与载波相位观测的高精度定位方法。与伪距差分技术相比，RTK 技术通过对载波相位的精确测量，可实现厘米级甚至毫米级的定位精度<sup>[3]</sup>。其核心原理在于参考站与移动站同步观测同一颗卫星的载波相位，并保持观测值之间的高度一致性。参考站将载波相位观测值与已知精确坐标进行比对，计算载波相位改正数，并通过数据链实时传输至移动站。移动站应用这些改正信息对自身载波相位观测值进行修正，从而消除大部分测距误差，实现高精度实时定位。

## 3 GPS-RTK 技术在工程测量中的应用

### 3.1 控制测量中的应用

工程测量的基础是确保准确的控制测量，这一过程为后续的所有测量工作提供了必要的坐标基准。在传统的控制测量过程中，依赖人工测量与繁杂的设备设置，效率相对较低且易受人为因素影响。通过引入 GPS-RTK 技术，能够在实时定位的基础上实现对控制点的快速、精确测量，从而显著提高工作效率。相比于传统测量方法，GPS-RTK 技术的应用可使得测量效率提高 5~10 倍<sup>[4]</sup>。控制网的建设依赖于高精度的基准数据，在此过程中，参考站通过提供差分数据，为移动台提供实时的速测与矢量量测支持，进而快速建立起立体的控制网架构。利用这种技术，不仅提高了数据处理的精度，还极大简化了控制网后期的处理步骤，使得整个测量流程更加高效和精准。

### 3.2 路线定位中的应用

GPS-RTK 技术特别适用于公路、铁路、管道等线性工程的测量与定位。由于该技术具备实时、动态的测量能力，能够连续跟踪线路各个关键点的位置，极大地避免了传统测量方法中常见的三角交会、巡测等繁琐操作。这一特性使得 GPS-RTK 在工程实践中能够显著提升工作效率，尤其是在复杂地形环境下，GPS-RTK 的优势更为明显。得益于其高精度和较强的抗干扰能力，即便在复杂的地貌条件下，GPS-RTK 系统依然能够确保线路定位的准确性和可靠性，

从而为线路的规划与实施提供有力保障。

### 3.3 施工放线中的应用

施工放线是将设计图纸转化为实际工程的重要步骤，这一过程需要极高的精准度与效率。传统的放线方法往往依赖大量的人工操作和粗放式的测量手段，容易出现误差且耗时长。通过引入 GPS-RTK 技术，施工放线的精度和效率得到了显著提升。利用 RTK 测量提供的数据，放样过程可以实时进行动态监测，从而确保施工现场各个位置的精准定位。这一技术不仅提高了角点和大范围放线的精准度，还具备较强的灵活性，能够满足各种复杂工况下的放线需求。此外，由于 GPS-RTK 系统具备高精度和快速响应的特点，它能够有效节省大量的人力物力，同时提高施工效率和工程质量。

## 4 GPS-RTK 测量精度影响因素及应对策略

### 4.1 卫星信号干扰

RTK 技术要求至少接收到四颗卫星的信号，以便实现精确定位。然而，当信号受到遮挡时，定位精度会受到显著影响。此类问题通常出现在城区、河谷、隧道等地形复杂或遮挡严重的环境中。卫星信号的遮挡和星间互扰可能导致 RTK 系统失锁，进一步使得测量结果失效。因此，卫星信号的干扰问题是影响 RTK 测量精度的主要因素之一。

为了解决这一问题，可以采取多系统联合接收的方案。当前，除了 GPS 系统外，还可使用如 BDS、Galileo 和 GLONASS 等卫星导航系统。通过联合接收这些系统的信号，可以有效增加可观测的卫星数量，进而提升系统的可靠性和测量精度。通过多系统联合，能够确保不同系统标定的一致性，并提高 RTK 的测量精度，从而在信号干扰的环境中依然能保持较高的定位精度。

### 4.2 参考站间距

RTK 测量精度依赖于参考站提供的高精度差分校正数据。若参考站与测量点之间的距离过远，则由于大气层滞后效应和其他因素，差分数据的有效性将大大降低，最终影响 RTK 测量结果的精度。通常情况下，参考站与测量点之间的距离不应超过 30 公里；若超出这一范围，测量结果可能会受到显著影响。

参考站的布设方式对 RTK 测量的精度至关重要。在选择参考站时，应充分考虑项目区域的地形、地貌特点等因素，优先选择受多路径效应影响较小、开阔的测量点。同时，保证各参考站间的距离尽可能保持在 30 公里以内，以确保差分数据的可靠性和测量结果的准确性。

### 4.3 接收设备性能

RTK 技术的精度与接收器和天线的性能密切相关。GPS 接收机和天线的稳定性及抗干扰能力是决定测量精度的重要因素。若接收器或天线的性能不稳定或抗干扰能力不足，将会限制 RTK 系统的精度上限。

与单频接收机相比，双频接收机在处理电离层延迟效应方面具有明显优势。双频接收机能有效减弱电离层误差，

提升初始值的可靠性,从而改善观测精度。在一些对精度要求较高的测量项目中,建议选择能够接收双频信号的RTK接收机,以确保获得更加精确的测量结果。

#### 4.4 初始化时间

RTK技术的初始化过程是一个重要环节,初始化过程中需要通过接收卫星信号并处理一定的观测数据,以计算出一个可靠的初始值。若初始化时间不足,可能导致初值的不准确,从而影响后续的测量精度。因此,确保充分的初始化时间是提高RTK精度的关键之一。

为了确保RTK测量的精度,可以通过延长观测时间来增加初始值的可信度,并有效降低随机误差。在精度要求较高的测量点,建议使用定解精度评价方法,根据不同的测距范围选择合适的观察时间,以确保测量精度的可靠性。

#### 4.5 局部环境因素

单点RTK测量系统的精度和可靠性容易受到地形、气象条件以及电磁干扰等因素的影响。在复杂地形条件下,地形遮挡可能导致信号接收质量下降,从而影响测量精度<sup>[5]</sup>。此外,参考站的信号质量和覆盖范围对单点RTK的精度也有着直接的影响。局部电磁干扰则可能进一步降低系统的可靠性。

为应对这些问题,可以采用基于网络的RTK测量方法。通过建立一个由多个参考站组成的RTK网络系统,可以增加系统观测数据的冗余度,增强其抗干扰能力,从而提升测量精度。为了充分发挥网络RTK系统的优势,必须合理布设参考站,并对传输网络进行优化,利用精确的数学模型进行系统求解,以确保测量精度和系统的稳定性。

### 5 GPS-RTK 技术应用案例分析

#### 5.1 大桥施工监测

在一些大跨度斜拉桥的建设过程中,由于桥梁的荷载较大以及跨径跨度宽,桥梁的变形监测显得尤为重要,这对于确保桥梁结构的稳定性和安全性具有决定性意义。为了能够实时掌握桥梁在施工与运营阶段的变形状况,项目负责人采用了GPS-RTK技术,搭建了一个全过程的自动化监控系统。该系统的组成包括设于桥墩两端的双频GPS参考站和位于主跨中点的GPS观测站,参考站用于实时监控桥梁的形变数据。这些参考站和观测站通过精确同步,能够高频率地收集并传输监测数据,以确保桥梁形变监测的连续性和可靠性。为了保障观测数据的准确性和稳定性,所有参考站均采用了计算机控制技术,以实现全天候、24小时稳定工作。同时,在桥梁的关键结构部位,专门设计和安装了结构监测装置,以进一步确保其稳定运行。

该系统以1秒钟为周期进行高频率的数据采集,并将观测数据实时传输至地面控制中心。控制中心利用后台复杂的计算算法对收集到的数据进行解算与处理,得出精准的监测结果。通过对监测数据的分析,发现主跨中部的最大竖向位移为 $\pm 5\text{mm}$ ,最大水平位移为 $\pm 10\text{mm}$ ,这一数据与桥梁设计时的预期值高度一致。根据这些监测结果,进一步

检验了桥梁的整体稳定性与结构安全,表明GPS-RTK技术在大跨度桥梁施工中具有良好的应用前景。这种基于GPS-RTK的监测方式相较于传统的传感器检测方法,能够显著节约成本,同时避免了布线困难的问题,并且提供了更加可靠和准确的测量数据。

#### 5.2 城市地下管线测量

城市地下管线的复杂性与数量庞大,传统的光学测量手段在进行大规模管线测量时,往往无法满足高精度和高效率的需求。随着GPS-RTK技术的应用,管线的连续定位与动态测量变得更加可行。以某市管道勘测工程为例,该项目涵盖了50公里的管道,涉及多个不同类型的管道系统,如污水管、雨水管、自来水管等20余种管道。为了提高测量精度和效率,项目团队采用了基于载波相位差原理的GPS-RTK技术,进行了管道线路的定位与测量工作。

在实际应用中,首先通过布设参考站于已知管线点位,进一步提高了整个工程区域的覆盖精度。在此基础上,配备GPS天线的测试车沿着管道的布设路线进行移动,动态地进行测量采样。GPS天线的顶部配有高精度摄像机,可以与实时视频数据同步,以便对管道进行分类和管理。该测量系统每秒采集一次数据,整个管道点位数据的采集工作在短短5天内完成,极大地提高了施工效率。通过对这些动态采集的数据进行后期处理,得到了厘米级精度的管线数据,从而形成了准确、可靠的管线数据库。

相比于传统的人工测量方式,GPS-RTK车测不仅提高了测量效率约60%,还显著降低了人工操作的复杂度和误差。在测量过程中,GPS-RTK系统能够实现管道的连续动态跟踪,精确反映管道走向及位置变化,为管线的精细化管理、绘图及后续的建设提供了可靠的技术支持。

### 6 结语

综上所述,GPS-RTK技术在工程测量领域展现出显著的应用价值。通过对其技术原理的深入分析和实际应用案例的探讨,证实了该技术在提高测量精度、提升工作效率方面的突出优势。在控制测量中,GPS-RTK技术实现了快速、精确的测量;在路线定位中,有效解决了复杂地形下的测量难题;在施工放线中,显著提高了放样精度;在变形监测中,为工程安全提供了可靠保障。尽管该技术在应用中仍面临一些挑战,但其在工程测量领域的广泛应用已充分证明了其重要性和实用性。

#### 参考文献

- [1] 乔斌.GPS-RTK测量技术在秦安县葫芦河堤防工程中的应用[J].大陆桥视野,2023,(08):127-129.
- [2] 杨晋鹏.GPS-RTK技术在路桥工程测量中的应用[J].四川建材,2023,49(04):36-37.
- [3] 杨政勇.GPS-RTK定位技术在测绘工程中的应用[J].价值工程,2022,41(11):163-165.
- [4] 萧钊炜.GPS-RTK测量技术在工程测绘中的应用[J].中国金属通报,2022,(01):190-192.