

GPS-RTK技术在工程测量中的实践

卢云萍

石家庄市勘察测绘设计研究院

摘要: GPS-RTK技术是现代工程测量中不可或缺的工具。本文将总结GPS-RTK技术在工程测量中的实践应用。首先,本文介绍了GPS-RTK技术的原理和工作方式,包括GPS系统的基本原理以及RTK技术的实时差分GPS测量原理。接着,将探讨GPS-RTK技术在各种工程测量任务中的应用案例,如土地测量、建筑物测量、道路和桥梁测量以及水利工程测量。同时,概括了GPS-RTK技术的优缺点,以及未来该技术的发展趋势。

关键词: GPS-RTK技术; 工程测量; 高精度

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2023.03.217

一、引言

GPS-RTK技术的应用在工程测量领域产生了革命性的影响。随着全球定位系统(GPS)和实时动态定位(RTK)技术的迅猛发展,工程测量的精度和效率得到了显著提高。GPS-RTK技术以其高精度的定位能力和实时性的特点,成为现代工程测量中不可或缺的工具。它在土地测量、建筑物测量、道路测量、桥梁测量以及水利工程测量等各个领域都有广泛应用。本文旨在介绍GPS-RTK技术在工程测量中的实践应用,探讨其原理、案例和发展趋势,帮助读者更好地了解和认识这一先进技术在工程测量中的价值和重要性。通过深入探讨GPS-RTK技术的实际应用,我们可以进一步推动工程测量领域的创新和发展,实现更精确和高效的工程测量过程。

二、GPS-RTK技术的原理

(一) GPS系统的基本原理

GPS(全球定位系统)是一种基于卫星定位的导航系统,通过接收来自多颗卫星的信号来确定接收器的位置和时间。其基本原理可以分为三个主要方面:卫星定位、接收器观测和数据解算。

(1) 卫星定位: GPS系统由一组分布在地球轨道上的卫星组成,这些卫星以恒定速度和轨道运行。每颗卫星都携带原子钟以提供准确的时间信号,并以固定的时间间隔广播信号。接收器通过接收卫星广播的信号来确定其与卫星的距离。这些信号中包含有关卫星的精确位置和发射时间的信息。

(2) 接收器观测: 接收器接收到多颗卫星发射的信号后,会对每颗卫星的信号进行观测。观测过程中,接收器会记录下信号的到达时间、卫星的标识符以及接收到的信号强度等信息。接收器需要同时接收到至少四颗卫星的信号才能进行定位计算。

(3) 数据解算: 接收器通过观测到的信号和卫星的信息,使用三角定位原理来计算接收器的位置。三角定位原理是通过测量到多个卫星的距离,来确定接收器与每颗卫星之间的相对位置,并进而计算出接收器的绝对位置。具体的算法是使用误差最小化方法,将接收器观测到的距离和卫星广播的距离进行比较,消除测量误

差并计算出最佳位置。

综上所述, GPS系统的基本原理是通过接收多颗卫星发射的信号,观测并记录信号的到达时间和卫星的信息,然后通过三角定位原理计算接收器的位置。这种基于卫星定位的导航系统可以提供精确的定位和导航信息,广泛应用于航空、陆地、海洋等各个领域。

(二) RTK技术的原理和工作方式

RTK(实时动态定位)技术是一种基于全球卫星定位系统(GPS、GLONASS、Galileo等)的高精度定位技术。它能提供亚厘米级甚至更高精度的定位结果。RTK技术的原理和工作方式可以分为三个主要部分:基准站观测、流动站观测和差分定位。

(1) 基准站观测: 在RTK系统中,一台称为基准站的接收器安装在已知位置上,并连续观测接收到的卫星信号。基准站的主要任务是记录下接收到的卫星信号的到达时间、卫星的标识符以及信号强度等信息。

(2) 流动站观测: 另一台接收器作为流动站(即需要进行定位的接收器),它与基准站保持无线通信连接。流动站也会接收到多颗卫星发射的信号,并观测卫星信号的到达时间、标识符和信号强度等信息。

(3) 差分定位: 基准站和流动站之间进行差分计算,通过对观测到的信号进行比较,可以消除由于大气延迟等因素引起的误差。这样,通过差分校正后的信号,流动站可以实时计算出其相对于基准站的精确位置。

RTK技术的工作方式是通过将观测到的卫星信号数据进行差分计算,消除误差并得到修正数值,使流动站能够实时计算出相对于基准站的高精度位置。这种技术在测量、导航、地理信息等领域都有广泛应用,为用户提供精确可靠的定位服务。

三、GPS-RTK技术在工程测量中的应用

(一) 静态测量和动态测量的区别和适用场景

(1) 静态测量: 静态测量是指在接收器固定的情况下进行GPS观测,通常需要较长的观测时间以提高精度。在静态测量中,接收器通常以固定点或者三角架等安装方式进行固定,观测时间可以从几分钟到几个小时

不等。静态测量适用于需要高精度定位，并且没有时间限制的场景，如测量控制网、高程测量等。

(2) 动态测量：动态测量是指在接收器处于移动状态下进行GPS观测，通常需要实时或准实时的定位结果。在动态测量中，接收器可以安装在移动设备（车辆、船舶等）上进行测量。相对于静态测量，动态测量的观测时间较短，需要快速获取位置信息。动态测量适用于需要实时获取位置信息的场景，如车辆导航、航行控制等。

(二) 不同工程测量任务的GPS-RTK技术应用案例

(1) 土地测量和地形测量：

①土地边界测量：GPS-RTK技术可用于定位和记录土地边界的坐标。通过在边界周围设置GPS-RTK接收器，测量人员可以实时获得高精度的位置信息，准确勾画土地边界线。

②土地面积测量：使用GPS-RTK技术可以快速测量和计算土地的面积。测量人员只需在土地的角度或边界上设置GPS-RTK接收器，然后走过土地轮廓线，系统会自动生成土地的面积数据^[1]。

③地形测量：GPS-RTK技术可以用于绘制地形图和数字高程模型（DEM）。使用GPS-RTK接收器在地形上布设控制点，然后进行地面采样和测量，从而获取地面高程信息。多个控制点的连续测量可用于生成高精度的地形模型。

④地表变形监测：对于土地工程项目或地质灾害监测，GPS-RTK技术可用于实时监测地表的变形情况。通过将GPS-RTK接收器安装在监测点上，可以连续记录地表的位置变化，及时探测并预警地质灾害或地形变形。

⑤地质勘探：在地质勘探工作中，GPS-RTK技术可以提供高精度的位置定位，以帮助勘探人员准确记录地点和地质信息。通过在勘探点上设置GPS-RTK接收器，可以在地理坐标系下精确测量野外地质要素的位置和形态。

总之，GPS-RTK技术在土地测量和地形测量中为工程师和测量员提供了强有力的工具，可以提升测量的准确性和效率，为工程项目的规划和设计提供可靠的数据支持。

(2) 建筑物测量和监测：

①建筑物定位和布局：GPS-RTK技术可用于建筑物的精确定位和布局。在建设建筑物之前，可以使用GPS接收器在施工场地上设置控制点，并使用RTK技术实时计算出建筑物各个元素的准确位置。这有助于确保建筑物的布局准确无误，符合设计要求。

②建筑物监测：建筑物的安全监测对于确保其结构稳定性至关重要。GPS-RTK技术可以用于建筑物的实时监测。通过在建筑物的特定部位设置GPS接收器，可以实时监测建筑物的形变、位移和沉降情况。这提供了对建筑物健康状况的准确评估，帮助及早发现和处理潜在的问题。

③建筑物高程测量：GPS-RTK技术可用于测量建筑物的高程信息。通过设置基准点和测量点，测量人员可以使用RTK技术获取建筑物各个部位的准确高程数据。这对于建筑物的设计、施工和维护非常重要，可以确保建筑物在垂直方向上满足精确的要求。

④建筑物形变分析：在建筑物使用过程中，由于荷载、变形或温度等因素，建筑物可能发生形变。GPS-RTK技术可以用于监测建筑物的形变情况，并提供准确的位移数据。这有助于评估建筑物的结构健康状况，发现潜在的安全问题，并指导必要的修复和加固工作。

总的来说，GPS-RTK技术在建筑物测量和监测中提供了高精度、实时的定位和测量能力。它可以帮助确保建筑物的精确定位、布局 and 安全性，并为建筑物的设计、施工和维护提供可靠的数据支持。

(3) 道路和桥梁测量：

①道路设计和建设：GPS-RTK技术可用于道路设计和建设中的测量工作。通过在路线上设置GPS接收器，并使用RTK技术获取准确的位置数据，可以帮助确定道路的纵横断面、坡度、曲线半径等参数。这有助于确保道路满足设计要求并提高施工效率。

②道路交通监测：GPS-RTK技术可以用于道路交通的实时监测和流量统计。通过在道路上设置GPS接收器，并结合车载GPS设备，可以获得车辆通过的位置和时间信息^[2]。这有助于分析道路的交通流量、车速和拥堵情况，为道路的管理和规划提供数据支持。

③桥梁测量和监测：GPS-RTK技术可用于桥梁的测量和监测工作。通过在桥梁上设置GPS接收器，并使用RTK技术获取准确的位置数据，可以帮助确定桥梁的几何形状、变形情况以及地基沉降等参数。这有助于评估桥梁的结构安全性，并及早发现和处理潜在的问题。

④道路和桥梁变形分析：由于交通荷载、自然灾害或地质因素，道路和桥梁可能发生形变。GPS-RTK技术可以用于监测道路和桥梁的变形情况，并提供准确的位移数据。这有助于评估结构的健康状况，发现潜在的安全问题，并指导必要的修复和加固工作。

总的来说，GPS-RTK技术在道路和桥梁测量中提供了高精度、实时的定位和测量能力。它可以帮助确保道路和桥梁的设计、建设和运营的精确性和安全性，并为交通规划和管理提供可靠的数据支持。

(4) 水利工程测量：

①水库测量：对于水库的建设和管理，精确的测量数据至关重要。GPS-RTK技术可以用于测量水库的地形、水位和容积等参数。通过在水库周围设置GPS接收器，并使用RTK技术获取准确的位置数据，可以实时监测水位变化，并计算出水库的容积变化情况。这有助于水库的设计、调度和管理。

②水位监测：水位监测对于河流、湖泊和水文站等水利工程中都非常重要。通过设置GPS接收器，并结合水位传感器，可以实时获取水位高程数据。这有助于监

测水位变化趋势、判断洪水预警和调度水资源。

③水文测量：水文测量涉及河流流量、水质和波浪测量等。GPS-RTK技术可以用于测量水文站的位置和河床的几何形状。通过在水文站和固定测量点上设置GPS接收器，并使用RTK技术获取准确的位置数据，可以实时监测水流情况，并计算流量和水质参数。

④水工结构测量：水利工程中存在许多水工结构，如堤坝、堰闸和引水渠等。GPS-RTK技术可用于测量和监测这些水工结构的位置、倾斜和变形等参数。通过在水工结构上设置GPS接收器，并使用RTK技术获取准确的位置数据，可以及时了解结构的变化情况，并采取必要的维护和修复措施。

总的来说，GPS-RTK技术在水利工程测量中提供了高精度、实时的定位和测量能力。它可以帮助确保水利工程的设计、建设和管理的精确性和安全性，并为水资源调度和水灾预警提供可靠的数据支持。

四、GPS-RTK技术的优缺点

(一) GPS-RTK技术的优点

(1) 高精度：GPS-RTK技术能够提供厘米级甚至亚厘米级的精度定位，远远超过传统GPS技术的米级精度。这种高精度可以满足许多需要准确位置信息的应用需求，如工程测量、地理信息系统等。

(2) 实时性：GPS-RTK技术能够实时获取高精度的位置数据，几乎可以立即获得定位结果^[3]。这对于需要即时反馈和实时监测的应用非常重要，比如车辆导航、船舶航行等。

(3) 大范围覆盖：GPS-RTK技术可以通过接收卫星信号进行定位和测量，可以在全球范围内进行应用。这使得它成为一个具有全球适用性的定位解决方案，无论是在城市环境还是偏远地区都能有效工作。

(二) GPS-RTK技术的缺点

(1) 信号受干扰：GPS-RTK技术的性能容易受到信号遮挡和干扰影响。例如，高大建筑物、树木浓密的地区或深谷、峡谷等环境中会导致信号质量下降，从而影响定位的精度和可靠性。

(2) 依赖基站：GPS-RTK技术的实时定位依赖于基站设置。基站的位置准确性和覆盖范围会直接影响到RTK定位的精度和可用性。因此，在一些远离基站的地区或者移动应用中，可能无法实现高精度的定位。

(3) 成本较高：相对于传统的GPS技术，GPS-RTK技术的设备和系统成本较高。高精度定位设备和配套的基站设备都需要投入一定的资金。这使得GPS-RTK技术在某些应用场景下可能不太经济实用，对于一般的定位需求来说可能过于昂贵。

五、GPS-RTK技术的发展趋势

(一) 硬件技术的改进和创新

(1) 迷你化和便携性：随着微电子技术的进步，GPS-RTK接收器和基站设备将变得更小、更轻便，同时提供更高的性能。这将使得设备更易于携带和部署，适

用于更多的应用场景。

(2) 多频信号接收：目前的GPS-RTK设备主要使用L1频段的信号进行定位，然而，随着伽利略系统和北斗系统的完善，未来的GPS-RTK设备将能够接收多个频段的信号，提高定位的可靠性和精度。

(3) 低功耗和高效能：为了延长设备的使用寿命，GPS-RTK技术的硬件设备将朝着低功耗和高效能的方向发展。新的处理器和芯片设计将使设备更加节能，并提供更高的性能。

(二) 软件算法的优化和提升

(1) 多系统融合定位算法：未来的GPS-RTK技术将进一步优化多系统融合定位算法，将不同系统的信号进行融合，提高定位的可靠性和精度。例如，将GPS、伽利略、北斗等卫星信号进行组合定位^[4]。

(2) 高精度导航算法：GPS-RTK技术在车辆导航和航空导航领域具有广泛的应用，未来的算法将进一步优化，实现更高精度和更实时的导航服务。

(三) 与其他测量技术的融合和协同应用

(1) 惯性导航技术：GPS-RTK技术可以与惯性测量单元(IMU)相结合，实现惯性导航系统的精度提升。通过融合IMU的加速度和角速度数据，可以在GPS信号不可用时仍然提供准确的定位信息。

(2) 激光测距技术：GPS-RTK技术可以与激光测距技术相结合，实现精确的三维测量。通过同时使用GPS-RTK定位和激光测距，可以获得更准确的空间坐标信息。

(3) 卫星图像处理技术：GPS-RTK技术可以与卫星图像处理技术相结合，实现高精度的地图制作和测绘。通过将GPS-RTK定位结果与卫星图像进行匹配，可以提高地图制作的精度和效率。

结语

目前，GPS-RTK技术在工程测量中的实践已经取得了显著成果，为工程行业提供了高精度、实时性和综合数据处理的解决方案。随着技术的不断创新和发展，GPS-RTK技术将进一步提高定位精度、增强实时性，并与其他测量技术更加深入地融合，为工程测量提供更加可靠和高效的支持。

参考文献

- [1] 孙志刚, 李涛, 徐润. GPS RTK技术在土建工程测量中的应用实践[J]. 山东交通科技, 2012, No. 129 (02): 68-70.
- [2] 杨明光, 张想平. 多基准站RTK技术在城市道路工程测量中的应用实践[J]. 测绘通报, 2013, No. 430 (01): 65-67.

作者简介：卢云萍（1984年3月），女，汉族，学历：本科，职称：助理工程师，研究方向：国土-测绘地理信息工程，工作单位：石家庄市勘察测绘设计研究院。