

工程测量 GNSS 测量技术

苏怀坡

上海功大建设工程检测有限公司 上海 200444

摘要: GNSS测量技术凭借高精度、实时性等优势,在工程测量领域广泛应用。本文首先阐述GNSS测量核心原理,包括基本构成、信号传播特性与定位逻辑;接着介绍静态、动态及实时动态测量等核心方法;分析接收机、天线等核心设备选型与使用要求;探讨其在控制测量、地形测量、工程施工测量及变形监测等工程测量核心方向的应用。通过全面剖析,展现GNSS测量技术对工程测量的重要支撑作用。

关键词: GNSS测量技术;工程测量;定位原理;测量方法;设备选型

引言:工程测量是各类工程建设的基础环节,其精度直接影响工程质量与安全。传统测量方法受地形、距离等限制,效率与精度难以满足现代工程需求。GNSS测量技术凭借全球覆盖、高精度、实时定位等优势,突破传统局限,成为工程测量的关键手段。从空间段卫星信号发射,到用户段接收机精准解算,GNSS技术构建起完整的测量体系。深入探究其核心原理、方法、设备及应用,对提升工程测量水平、保障工程建设质量具有重要意义。

1 GNSS测量技术核心原理

1.1 GNSS测量基本构成

GNSS测量系统由空间段、控制段和用户段三部分协同构成,三者相互关联、缺一不可。空间段由多颗中地球轨道卫星组成,卫星搭载高精度原子钟,持续向全球广播包含自身轨道、钟差及健康状态的信号,不同卫星系统均遵循这一基本架构^[1]。控制段由全球分布的监测站、主控站及上行注入站组成,负责跟踪卫星运行状态,修正轨道与钟差偏差,生成并注入修正数据,保障卫星信号的准确性。用户段主要为GNSS接收机,包含接收天线与信号处理模块,能够捕获、跟踪卫星信号,解析信号中的导航信息,完成定位解算并输出观测数据,接收机精度可根据应用需求分为单频与双频类型。

1.2 GNSS信号传播特性

GNSS信号以高频电磁波为载体,搭载导航电文与测距码实现信息传输,传播速度接近光速,在理想空天环境中呈直线传播。信号从卫星传输至接收机过程中,会受到多种因素影响导致传播特性发生变化。电离层与对流层会对信号产生延迟效应,电离层延迟随太阳活动强度变化,对流层延迟则与大气湿度、温度相关。地表建筑物、地形起伏会引发信号反射与遮挡,形成多路径效应,导致信号传播路径变长,影响测量精度。此外,信

号传播过程中还会出现多普勒频移,反映卫星与接收机的相对运动状态,可作为速度解算的重要依据。

1.3 GNSS定位核心逻辑

GNSS定位本质是基于空间后方交会与三边测量的几何解算过程,核心逻辑是通过测量接收机与多颗卫星的距离,结合卫星精确位置解算接收机三维坐标。定位过程需满足至少四颗卫星的观测条件,通过接收机捕获卫星信号,计算信号传播时间,进而换算出接收机与卫星的伪距。伪距测量受卫星钟与接收机钟偏差影响,需通过导航电文中的钟差参数修正卫星钟偏差,接收机钟偏差则作为未知参数与坐标参数一同解算。通过多颗卫星的伪距观测值构建方程组,求解得到接收机的经度、纬度、高程及钟差修正量,完成定位过程。根据定位模式不同,可分为单点定位与相对定位,前者依托单台接收机实现绝对坐标解算,后者通过基准站与流动站的协同观测,削弱公共误差,提升定位精度。

2 GNSS测量技术核心方法

2.1 静态测量方法

静态测量方法是GNSS高精度测量的基础方法,适用于控制测量、地形测绘等对精度要求较高的场景。测量过程中,将GNSS接收机固定在待测点位上,长时间连续观测卫星信号,积累充足观测数据以削弱偶然误差与系统误差^[2]。观测时长根据测量等级与观测环境确定,通常从数十分钟到数小时不等,观测期间接收机保持静止状态,避免点位偏移影响测量结果。通过对观测数据的事后解算,结合基准站观测数据进行差分处理,可实现毫米级至厘米级的定位精度。该方法核心在于通过长时间观测抵消信号传播过程中的各类干扰,提升坐标解算的稳定性与准确性,广泛应用于大地控制网建立、工程变形监测等领域。

2.2 动态测量方法

动态测量方法适用于移动载体的定位与轨迹监测,允许接收机在观测过程中随载体移动,实时获取移动点位的坐标信息。测量时,接收机持续捕获卫星信号,同步解算自身位置,无需保持固定状态,可满足移动测量的时效性需求。该方法通过连续观测卫星信号,实时更新伪距观测值与坐标参数,虽定位精度略低于静态测量方法,通常为厘米级至分米级,但能实现移动过程中的连续定位。其核心是通过优化信号跟踪算法,减少载体移动对信号捕获与解算的影响,适配车辆导航、船舶定位、航空测绘等动态场景,为移动载体的轨迹记录与位置监控提供技术支撑。

2.3 实时动态测量方法

实时动态测量方法融合静态测量的高精度优势与动态测量的实时性特点,通过基准站与流动站的协同运作实现实时高精度定位。基准站固定在已知坐标的点位上,持续接收卫星信号并计算观测误差,将误差修正数据通过无线通信方式实时传输至流动站。流动站接收卫星信号的同时,接收基准站的修正数据,实时对观测值进行修正并完成坐标解算,可在移动过程中实时输出厘米级定位结果。该方法核心是通过实时差分技术削弱电离层延迟、对流层延迟等公共误差,兼顾实时性与高精度,广泛应用于工程施工放样、地形测绘、无人机航测等需要实时获取高精度点位信息的场景,大幅提升测量效率与成果可靠性。

3 GNSS测量核心设备

3.1 接收机类型及核心功能

GNSS接收机作为信号接收与解算的核心设备,按信号频率可分为单频接收机与双频接收机。单频接收机仅接收单一频率卫星信号,结构简单、成本较低,适用于精度要求适中的测量场景,解算过程中需通过模型修正电离层延迟误差,定位精度可达分米级至米级。双频接收机可同时接收两种不同频率卫星信号,能通过双频组合自主消除大部分电离层延迟误差,定位精度显著提升,可达厘米级,适用于高精度控制测量、工程变形监测等场景^[3]。接收机核心功能包括捕获并跟踪卫星信号、解析导航电文、计算伪距与载波相位观测值、完成坐标解算并输出观测数据,部分高端接收机还具备数据存储、无线传输功能,可实现观测数据的实时传输与后续处理,适配不同测量模式的需求。

3.2 天线选型及使用要求

GNSS接收天线负责捕获卫星信号并将其传输至接收机,选型需结合测量精度与观测环境确定,主流类型包括微带天线与螺旋天线。微带天线体积小、重量轻、功

耗低,适配移动测量与便携式接收机,信号接收稳定性较强,广泛应用于动态测量、无人机航测等场景。螺旋天线信号接收增益高,抗多路径效应能力较强,适用于高精度静态测量,能有效减少地表反射信号的干扰,提升观测数据质量。使用过程中需保证天线安装水平,固定牢固,避免振动与偏移,天线中心需与待测点位精准对齐,减少对中误差。同时需远离高大建筑物、树木等遮挡物,避免信号遮挡与多路径效应,确保天线能稳定捕获足够数量的卫星信号,保障测量工作顺利开展。

3.3 辅助设备及应用

GNSS测量辅助设备虽不直接参与信号解算,但能提升测量效率与数据可靠性,主要包括三脚架、数据传输设备、电源设备及气象仪器。三脚架用于固定接收机与天线,提供稳定的安装平台,减少观测过程中的设备晃动,确保点位对中精度,其稳定性直接影响观测数据的一致性。数据传输设备分为有线与无线两种,用于实现接收机与计算机、基准站与流动站之间的观测数据传输,保障数据实时共享与事后处理的便捷性。电源设备包括蓄电池、太阳能充电器等,为接收机、天线及传输设备提供持续稳定的电力支持,避免因断电导致观测中断,适配野外等无市电供应的观测场景。气象仪器用于采集观测环境的温度、湿度、气压等参数,这些参数可用于修正对流层延迟误差,进一步提升坐标解算精度,确保测量成果符合行业规范要求。

4 GNSS测量技术在工程测量中的核心应用方向

4.1 控制测量应用

控制测量是工程测量的基础环节,核心是建立统一的平面与高程控制网,为后续各类测量工作提供基准。GNSS测量技术打破传统控制测量受地形、距离限制的局限,无需通视条件即可完成控制点布设与观测,大幅提升控制测量效率^[4]。采用静态测量或实时动态测量方法,可实现不同等级控制网的精准布设,定位精度能满足从大地控制网到工程控制网的各类需求。布设过程中,通过多台接收机协同观测,积累充足观测数据并进行事后解算,削弱各类系统误差与偶然误差,确保控制网的稳定性与一致性。该应用可覆盖公路、铁路、水利、建筑等各类工程,为工程选址、设计、施工提供精准的基准坐标,是保障工程整体精度的前提。作为工程测量的基础支撑,GNSS控制测量彻底解决了传统控制测量效率低、受地形限制大的问题,为各类工程的后续测量工作奠定了精准、可靠的基准基础。

4.2 地形测量应用

地形测量的核心是获取地表地形、地貌的空间位

置信息,绘制地形地形图,为工程设计提供基础资料。GNSS测量技术结合动态测量与实时动态测量方法,可实现地形点的快速采集,无需传统地形测量的复杂测站布设,适配平原、山地、丘陵等各类地形场景。测量过程中,接收机可随测量人员移动,实时获取地表点位的三维坐标,同步记录地形特征点信息,大幅减少野外作业时间。采集的数据可直接导入测绘软件,自动生成等高线、地形地貌图,减少人工绘图误差。该应用适配各类工程的前期勘察阶段,能快速、精准获取地形数据,为工程选址、场地平整、土方量计算等提供可靠依据,提升工程设计的科学性与合理性。其核心优势在于高效、精准、适配性强,大幅缩短了地形测量的野外作业周期,减少人工干预带来的误差,为工程前期设计提供了高质量的地形基础数据。

4.3 工程施工测量应用

工程施工测量贯穿施工全过程,核心是将设计图纸中的点位精准放样至施工现场,指导施工开展,确保施工偏差符合规范要求。GNSS实时动态测量方法凭借实时高精度定位优势,成为施工测量的主流手段,可实现建筑物基础、轴线、基坑、管线等各类施工点位的精准放样。施工过程中,基准站固定在已知控制点上,流动站携带至放样点位,实时接收修正数据并完成坐标解算,快速判断放样点位的偏差并调整,提升放样效率与精度。该应用可适配建筑工程、道路桥梁工程、水利工程等各类施工场景,涵盖基础施工、主体结构施工、管线铺设等多个环节,有效避免施工偏差导致的工程质量问题,保障工程施工符合设计要求。它贯穿工程施工的全流程,精准衔接设计与施工,有效规避施工偏差风险,是保障工程施工质量、提升施工效率的核心技术支撑。

4.4 变形监测应用

变形监测是工程运维阶段的重要工作,核心是监测工程建筑物、构筑物及周边地形的变形量,及时发现安全隐患,保障工程运行安全。GNSS测量技术采用静态测

量或实时动态测量方法,可实现变形点的长期连续监测或定期监测,定位精度可达毫米级,能精准捕捉微小变形量。监测过程中,在变形体上布设监测点,将接收机固定在监测点上,持续或定期观测卫星信号,通过对比不同时期的观测数据,计算变形点的位移量、沉降量等参数,分析变形规律与趋势^[5]。该应用广泛应用于高层建筑、桥梁、大坝、隧道、边坡等工程,可实时掌握工程变形状态,为工程运维、安全评估提供数据支撑,及时预警安全风险,保障工程长期稳定运行。作为工程运维阶段的核心安全保障手段,GNSS变形监测凭借高精度、连续性的优势,能精准捕捉微小变形,为工程安全预警与运维决策提供可靠的数据支撑。

结束语

GNSS测量技术凭借其独特的优势,在工程测量的多个核心方向发挥着不可替代的作用。从控制测量为工程奠定精准基准,到地形测量提供基础资料,再到施工测量指导工程建设,以及变形监测保障工程安全,GNSS技术贯穿工程全生命周期。随着技术不断发展,其测量精度与效率持续提升,应用场景也将不断拓展。在工程测量领域,GNSS测量技术已成为推动行业进步的重要力量,为各类工程建设的高质量开展提供坚实保障。

参考文献

- [1]王建华.工程测量领域中GNSS技术的应用[J].内蒙古科技与经济,2025(10):153-156.
- [2]谢助兵.GNSS测量技术在工程测量中的应用[J].价值工程,2024,43(25):115-118.
- [3]完绍鹏.基于GNSS技术的勘测工程测量精度提升研究[J].砖瓦世界,2025(13):43-45.
- [4]张浩.工程测量领域中GNSS技术的应用探究[J].中国建筑金属结构,2024,23(5):57-59.
- [5]马友俊,金沙,周学涛,等.GNSS测量技术在工程测绘中的应用[J].中国住宅设施,2024(6):109-111.