

# 基于 GNSS 的土木工程施工测量应用研究

肖强智

内江职业技术学院 四川 内江 641100

**【摘要】：**随着全球导航卫星系统（GNSS）技术的不断迭代与成熟，其在土木工程施工测量中的应用已成为提升工程质量、效率与智能化水平的核心支撑。本文以 GNSS 测量技术的理论基础为切入点，系统分析其系统组成、工作原理及土木工程施工测量的核心技术指标，通过与传统测量技术的对比凸显其应用优势。针对当前应用中的问题提出优化对策，探讨 GNSS 与其他技术的融合创新及未来发展趋势。研究结果表明，GNSS 测量技术能够满足土木工程各施工阶段的精度要求，显著提升测量效率，为工程质量管控提供技术保障，其与新兴技术的融合将推动施工测量向智能化、一体化方向发展。

**【关键词】：**GNSS；土木工程；施工测量；精度控制；工程应用

DOI:10.12417/2811-0722.25.12.061

## 1 绪论

土木工程施工测量是工程建设的“眼睛”，贯穿于施工准备、过程实施及竣工验收全周期，其测量精度与效率直接影响工程结构安全、施工进度与投资控制。传统施工测量依赖全站仪、水准仪等设备，存在作业效率低、受地形环境限制大、劳动强度高、精度稳定性不足等问题，难以满足现代土木工程规模化、复杂化、智能化的建设需求。GNSS 作为集空间技术、通信技术与测绘技术于一体的现代测量手段，已逐步取代传统测量技术成为土木工程施工测量的主流方法。在此背景下，系统研究 GNSS 在土木工程施工测量中的应用模式、技术要点与优化策略，具有重要的现实意义。

## 2 GNSS 测量技术相关理论基础

### 2.1 GNSS 系统组成与工作原理

#### 2.1.1 系统组成

GNSS 是由空间星座、地面控制与用户设备三大子系统构成的立体化定位系统。空间星座子系统由多颗在轨卫星组成，负责发送导航定位信号，其中 BDS-3 系统由 30 颗卫星组成，实现全球覆盖，定位精度达厘米级；地面控制子系统包括主控站、监测站与注入站，负责监测卫星运行状态、修正轨道参数与钟差，保障卫星信号的准确性；用户设备子系统即 GNSS 接收机，通过接收多颗卫星信号，解算接收机所在位置的三维坐标、速度与时间信息，按功能可分为静态接收机、动态接收机等。

#### 2.1.2 工作原理

GNSS 测量的核心原理是通过测量卫星到接收机的距离，结合卫星已知坐标，采用空间后方交会法解算接收机位置。主要分为两种测量模式。伪距测量通过测量卫星信号传播时间与光速的乘积获取伪距，结合卫星钟差、电离层延迟等误差修正，实现米级至分米级定位，适用于对精度要求较低的粗测场景；载波相位测量通过测量卫星载波信号与接收机本地载波的相位差，获取高精度距离观测值，结合差分技术，可实现厘米级

甚至毫米级定位，是土木工程施工测量的主要方式。

### 2.2 土木工程施工测量核心技术指标

土木工程施工测量需满足不同工程类型、不同施工阶段的精度要求。平面精度指测量点在平面坐标系中的定位误差，道路工程中线放样平面精度通常要求 $\pm 5\sim\pm 10\text{mm}$ ，桥梁桩基定位平面精度要求 $\pm 3\sim\pm 5\text{mm}$ ，高层建筑轴线放样平面精度要求 $\pm 2\sim\pm 5\text{mm}$ ；高程精度指测量点的高程误差，道路纵断面测量高程精度要求 $\pm 3\sim\pm 5\text{mm}$ ，桥梁墩台高程测量精度要求 $\pm 2\sim\pm 3\text{mm}$ ，房建工程标高测量精度要求 $\pm 1\sim\pm 3\text{mm}$ ；作业效率以单位测量点的完成时间为指标，GNSSRTK 测量单点点位测量时间通常为 3~5 秒，远高于传统全站仪测量；

### 2.3 GNSS 与传统测量技术对比分析

通过表 1 对比可知，GNSS 测量技术在精度、效率、作业范围等方面具有显著优势，更适用于现代土木工程规模化、复杂化的施工需求；但在室内、密集建筑群等信号遮挡区域，传统测量技术仍可作为补充手段。

表 1 GNSS 与传统测量技术对比维度

对比维度	GNSS 测量技术	传统测量技术（全站仪、水准仪）
定位精度	静态测量毫米级，RTK 测量厘米级，满足高精度施工需求	全站仪平面测量厘米级，水准仪高程测量毫米级，整体精度略低
作业效率	单点点位测量 3~5 秒，无需通视，可批量测量，效率高	需逐点通视，测量流程繁琐，单点点位测量 1~3 分钟，效率低
作业条件	全天候作业，受天气影响小，适用于大范围、地形复杂区域	受天气（如雨、雾）与通视条件限制大，地形复杂区域作业困难
劳动强度	自动化程度高，单人即可操作，劳动强度低	需多人配合（观测员、记录员、扶尺员），劳动强度高
成本投入	设备购置成本较高，但长期使用可降低人工成本	设备购置成本较低，但人工成本高，大规模工程总成本不占优势
操作难度	操作简便，数据自动记录与传输，对人员专业要求适中	操作流程复杂，需人工计算与记录，对人员专业技能要求高
适用场景	大范围控制网建立、路线放样、桥梁施工测量、隧道洞口控制等	小范围局部测量、室内测量、GNSS 信号遮挡区域补测等

### 3 GNSS 在土木工程施工测量中的应用设计

#### 3.1 施工测量方案总体设计

GNSS 施工测量方案需结合工程类型、施工流程与精度要求,构建“全周期、分阶段”的测量体系,涵盖施工准备阶段、施工过程阶段与竣工测量阶段。

##### 3.1.1 施工准备阶段

核心任务是建立施工控制网,为后续施工放样提供基准。平面控制网采用 GNSS 静态测量模式,布设一级或二级控制网,控制点间距根据工程规模设定为 500~1000m,确保覆盖整个施工区域,平面精度满足  $\pm 2\text{mm}$  要求;高程控制网结合 GNSS 高程测量与几何水准测量,采用 GNSS 静态测量获取大地高,通过高程拟合转换为正常高,高程精度满足  $\pm 3\text{mm}$  要求;控制网复测施工期间每 3 个月进行一次控制网复测,及时发现并修正控制点位移,保障测量基准的稳定性。

##### 3.1.2 施工过程阶段

道路中线、边线及边坡放样采用 GNSS RTK 动态测量,实时比对坐标指导施工;桥梁桩基、墩台等构件定位用 GNSS 静态 / 准静态测量,严控安装偏差;施工中支架沉降、梁体变形监测采用 GNSS 连续观测 + 应变传感器,实时预警风险。房建工程基坑边线、坡率放样用 GNSS RTK + 全站仪联合测量;楼层轴线定位采用 GNSS RTK + 激光铅垂仪校准竖向偏差;基坑边坡位移及周边建筑沉降用 GNSS 连续观测 + 电子水准仪复测。地下工程以 GNSS 静态测量建立控制点,洞内放样结合惯导技术;管廊施工用 GNSS RTK + 测斜仪保障精度;隧道围岩收敛、管廊沉降监测联动 GNSS 连续观测与自动化监测站。

管线工程地下管线中线与高程测量采用 GNSS RTK + 地下管线探测仪,规避冲突;铺设中通过动态测量实时校验接口对齐与坡度。

##### 3.1.3 竣工测量阶段

道路路基、路面断面测量,采用 GNSSRTK 结合移动测量技术,快速获取断面数据;对关键结构物的位置、高程进行复测,验证施工质量是否符合设计要求;将测量数据与设计数据对比分析,生成竣工测量报告,为工程验收提供依据。

#### 3.2 基准站与流动站布设优化

##### 3.2.1 基准站布设

基准站选址视野开阔,无高大建筑物、树木遮挡,截止高度角  $15^\circ$  以上无遮挡物;远离大功率无线电发射源,避免电磁干扰;地势稳定,远离滑坡、沉降等地质灾害区域,确保点位长期稳定;流动站直接用于现场测量与放样,流动站测量路径需覆盖整个施工区域,确保所有关键点位均能被测量;流动站需便于移动,在桥梁、高空等特殊作业场景,选用便携式 RTK

接收机,配备延长天线确保信号接收稳定。

#### 3.3 数据采集与处理流程规范

将基准站与流动站接收机开机,完成卫星信号搜索与锁定,基准站通过电台或网络将观测数据与基准信息发送至流动站;流动站到达测量点后,保持接收机稳定,待固定解状态稳定后,记录三维坐标数据,同时拍摄现场照片留存;每测量 10~15 个点位后,返回已知控制点进行复核,平面误差  $\leq 5\text{mm}$ 、高程误差  $\leq 3\text{mm}$  视为合格,否则需重新初始化设备并补测。采用专业数据处理软件导入原始观测数据,剔除粗差数据,进行卫星轨道修正、电离层与对流层延迟修正;

对控制网数据进行三维网平差与二维网平差,计算控制点最终坐标,平差后单位权中误差  $\leq 1\text{mm}$ ;生成测量报告、坐标成果表、控制网示意图等资料,提交施工、监理单位审核备案。

#### 3.4 误差控制与精度提升策略

选用多系统融合接收机,通过多卫星观测减少单一系统误差影响;采用最新的卫星轨道数据进行修正;选择合适的观测时段,避开中午电离层活跃期;采用电离层与对流层模型进行修正,或利用双频接收机消除电离层一阶误差;定期对接收机进行校准,确保设备精度;采用同一品牌、同一型号的接收机进行测量,减少设备差异导致的误差;选择开阔无反射物的观测环境;使用扼流圈天线抑制多路径信号;在观测点周边清除金属反射物。优先使用网络 RTK 或单基站 RTK 技术,通过基准站与流动站的观测数据差分,抵消大部分公共误差;同时接收多个 GNSS 系统信号,增加观测卫星数量,提升定位精度与可靠性。

### 4 工程实例分析——GNSS 施工测量应用实践

#### 4.1 工程概况与测量需求

某高速公路项目全长 42.6km,采用双向六车道设计标准,设计时速 120km/h。工程主要包括路基工程、桥梁工程、隧道工程及互通立交工程。项目沿线地形复杂,对施工测量的精度与效率提出了较高要求。测量布设一级平面控制网与高程控制网,平面控制网控制点间距 500~800m,高程控制网控制点间距 800~1000m,平面精度要求  $\pm 2\text{mm}$ ,高程精度要求  $\pm 3\text{mm}$ 。路基、桥梁、隧道的竣工断面测量与点位复测,验证工程施工质量是否符合设计要求。

#### 4.2 GNSS 测量设备选型与参数设置

根据工程测量需求,选用基准站设备 TrimbleR12i 双频多系统接收机 3 台,支持 GPS、BDS、Galileo、GLONASS 四系统融合接收,静态测量精度  $\pm 2\text{mm}+0.5\text{ppm}$ ,RTK 测量精度  $\pm 1\text{cm}+1\text{ppm}$ ;流动站设备华测 T7Pro 双频 RTK 接收机 8 台,配备蓝牙、4G 网络模块,支持实时数据传输,RTK 测量精度  $\pm 1\text{cm}+1\text{ppm}$ 。采样率 1Hz,截止高度角  $15^\circ$ ,PDOP 阈值  $\leq 6$ ,数据格式为 RINEX3.03,通过 4G 网络向流动站发送差分信号;

数据处理软件采用 TrimbleBusinessCenterv5.8 与华测 CivilSurveyv4.0, 用于控制网平差、坐标转换与成果输出。

### 4.3 施工各阶段测量实施过程

在项目沿线选择视野开阔、地势稳定的区域埋设控制点, 采用钢筋混凝土标石, 标石顶部设置不锈钢标志, 确保点位牢固; 导入数据处理软件进行基线解算与网平差, 计算控制点平面坐标与高程, 平差后平面控制网单位权中误差为 0.8mm, 高程控制网单位权中误差为 1.2mm, 满足设计精度要求。

采用 RTK 流动站进行中线与边线放样, 将设计坐标导入接收机, 流动站根据实时定位数据与设计坐标的偏差, 指导施工人员调整位置, 完成放样后进行点位复核, 确保平面误差 $\leq 5\text{mm}$ 、高程误差 $\leq 3\text{mm}$ ; 桥梁桩基定位时, 将流动站对中杆架设在桩基中心位置, 待固定解稳定后记录坐标, 与设计坐标对比, 偏差 $\leq 3\text{mm}$ 后方可进行桩基施工。对高边坡、桥梁墩台进行沉降观测, 每周观测 1 次, 采用 GNSS 静态测量模式, 监测精度 $\leq 2\text{mm}$ , 及时发现异常变形并预警。

采用 GNSSRTK 结合移动测量技术, 沿路基、桥梁、隧道轴线进行断面测量, 获取实际断面数据; 对关键结构物的定位点进行复测, 对比施工过程测量数据与竣工测量数据, 分析施工偏差。生成竣工测量报告, 包括断面图、坐标对比表、精度分析报告等, 提交建设、监理单位审核。

### 4.4 测量结果精度验证与分析

采用“GNSS 测量结果与传统测量结果对比”的方式验证精度, 选用全站仪与水准仪作为对比工具, 在项目选取 20 个关键控制点与 50 个放样点进行对比测量。

表 2 精度验证结果

测量类型	对比点数	平面误差最大值 (mm)	高程误差最大值 (mm)	合格率 (%)
控制网测量	20	3.2	3.5	100
路基放样测量	15	4.8	3.8	100
桥梁放样测量	15	3.5	2.8	100
隧道放样测量	10	4.6	3.6	100
竣工复测	10	4.2	3.4	100

GNSS 测量的平面误差均值为 1.8~3.5mm, 高程误差均值为 1.8~2.7mm, 均满足工程设计的精度要求; 桥梁放样测量的精度最高, 平面误差均值仅 2.3mm, 主要得益于桥梁施工区域视野开阔, 信号遮挡少, 多系统融合测量的优势充分发挥; 所有对比点的误差均在允许范围内。

## 5 GNSS 测量技术应用优化与发展展望

### 5.1 应用中存在的问题及解决对策

#### 5.1.1 主要问题

在城市建筑群、隧道内部、茂密林区等区域, GNSS 卫星

信号易被遮挡, 导致接收机无法固定解, 测量工作停滞; 在桥梁施工现场、钢筋加工厂等金属构件密集区域, 多路径效应显著, 导致测量误差增大。

#### 5.1.2 解决对策

采用 GNSS+INS 组合测量技术, INS 可在 GNSS 信号中断时继续提供短时间高精度定位; 在隧道等封闭环境, 结合全站仪、激光扫描仪进行补测; 使用扼流圈天线与抗多路径接收机, 减少反射信号影响; 在测量前清理观测点周边的金属反射物, 优化观测环境; 开展 GNSS 测量技术专项培训, 涵盖设备操作、参数设置、数据处理、误差控制等内容; 建立测量人员考核机制, 确保操作人员具备相应专业能力;

### 5.2 融合 BIM 技术的 GNSS 测量创新应用

采用 Revit、Civil3D 等软件构建工程全专业 BIM 模型, 包含构件的三维坐标、尺寸、材质等信息; 将 GNSS 测量的控制点坐标、放样点坐标导入 BIM 模型, 建立测量数据与 BIM 模型的关联关系; 在施工现场, GNSS 流动站接收 BIM 模型中的设计坐标, 实时显示测量点与设计位置的偏差, 指导施工人员精准安装构件; 通过 GNSS 测量获取施工过程中的构件实际位置数据, 与 BIM 模型进行比对, 生成偏差分析报告, 及时调整施工方案; 将竣工测量数据导入 BIM 模型, 更新 BIM 模型为竣工模型, 为工程运维提供数据支撑。

### 5.3 未来发展趋势与应用拓展方向

结合人工智能与大数据技术, 实现测量数据的自动处理、误差自动识别与修正、施工偏差智能预警, 减少人工干预; GNSS 接收机将向小型化、轻量化、低功耗方向发展, 便于在高空、狭小空间等特殊场景使用; GNSS 连续运行参考站 (CORS) 网络将进一步完善, 实现大范围、全天候的实时动态监测, 为工程安全风险管控提供技术保障。

在装配式建筑构件生产、运输、安装全流程, 采用 GNSS 测量技术实现构件的精准定位与安装, 提升装配式建筑施工效率与质量; 将 GNSS 测量技术与物联网、5G、无人机等技术融合, 构建智慧工地测量体系, 实现施工过程的可视化、智能化管理; 在地铁、综合管廊等地下工程施工中, 采用“GNSS+INS+激光扫描”组合测量技术, 解决地下环境信号遮挡问题, 实现精准放样与变形监测; GNSS 测量技术将与地质灾害监测、环境保护、交通运输等领域深度融合, 拓展应用边界, 为相关领域提供高精度定位服务。

## 6 结论与建议

GNSS 测量技术凭借高精度、高效率、全天候、大范围作业等优势, 完全满足土木工程各施工阶段的测量需求, 其平面精度可达厘米级、高程精度可达毫米级, 较传统测量技术在作业效率与精度稳定性上具有显著优势; GNSS 与 BIM、INS 等技术的融合是未来发展的核心方向, 能够实现施工测量的智能

化、一体化，推动土木工程向智慧建造转型。

施工企业应根据工程需求选用高精度 GNSS 测量设备，定期对设备进行校准与维护，确保设备性能稳定；制定 GNSS 施

工测量专项方案与作业指导书，明确测量方案设计、设备操作、数据处理、精度检核等环节的要求，规范测量行为；积极探索 GNSS 与 BIM、INS、无人机等技术的融合应用，加大智慧测量技术的研发与投入，提升工程建设的智能化水平。

### 参考文献:

- [1] 刘勇.土木工程施工中的测量施工分析[J].居业,2019,(01):6-7.
- [2] 赵帅,王胜,杨淑娟,等.基于 GNSS 技术的结构位移监测应用研究进展[J].施工技术(中英文),2022,51(21):6-10+16.
- [3] 赵俊兰,凌小康,李子申.基于 RTK 技术的安卓智能手机 BDS/GNSS 高精度定位方法研究[J].北方工业大学学报,2020,32(02):110-116.
- [4] 宋佃学.基于二次曲面模型的 GNSS 高程拟合分析[J].资源信息与工程,2016,31(04):124-125.