

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° 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° ，PDOP 阈值 ≤ 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≤5mm、高程误差≤3mm；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≤3mm 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≤2mm，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，在项目中选取 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、智能化管控；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.