

# 工程测量中北斗与GPS精度对比与适用性分析

黄万辉

江苏省测绘工程院

DOI:10.32629/gmsm.v9i2.2430

**[摘要]** 鉴于卫星定位在工程测量中的广泛应用,研究北斗卫星系统的定位结果具有很重要的参考与指导意义,尤其是与GPS的定位结果的比较和两个系统组合的定位结果的分析。本文围绕工程测量领域,对北斗卫星导航系统(BDS)和全球定位系统(GPS)的静态、动态定位精度、核心误差来源、性能指标进行比较,针对建筑、交通、地质勘测等工程常用的测量模式,分析二者的精度表现。通过规范基线精度公式测算、多场景实测数据对比,确定两类系统在常规工程、高精度工程、隐蔽环境工程中适用的范围,为工程测量中卫星导航系统合理选择提供理论依据和操作参考,提高测量作业效率,保证工程点位测量成果准确合规。

**[关键词]** 工程测量; 北斗系统; GPS; 定位精度

**中图分类号:** P258 **文献标识码:** A

## Comparison and Applicability Analysis of the Accuracy of Beidou and GPS in Engineering Surveying

Wanhui Huang

Jiangsu Institute of Surveying Engineering

**[Abstract]** Given the wide application of satellite positioning in engineering surveying, studying the positioning results of the Beidou satellite system holds significant reference and guiding significance, especially the comparison of the positioning results with GPS and the analysis of the positioning results of the two systems combined. This paper focuses on the engineering surveying field and compares the static and dynamic positioning accuracy, core error sources, and performance indicators of the Beidou Satellite Navigation System (BDS) and the Global Positioning System (GPS). For the measurement modes commonly used in construction, transportation, geological exploration, etc., this paper analyzes the accuracy performance of the two systems. Through the calculation of baseline accuracy formulas and the comparison of multi-scenario measured data, the applicable ranges of the two systems in conventional engineering, high-precision engineering, and concealed environment engineering are determined. This provides theoretical basis and operational reference for the rational selection of satellite navigation systems in engineering surveying, improves the measurement operation efficiency, and ensures the accuracy and compliance of engineering point measurement results.

**[Key words]** Engineering Surveying; Beidou System; GPS; Positioning accuracy

### 引言

伴随着现代工程建设规模化的推进和智能化的发展,GNSS卫星定位技术凭借全天候、高效率、无需通视的特点,完全取代了传统的光学经纬仪、水准仪主导的测量方式,成为了工程控制测量、施工放样、形变监测的主要技术手段。GPS是目前世界上第一个成熟的民用卫星导航系统,一直占据着工程测量市场的主导地位;我国北斗三号全球组网完成之后,实现了全域覆盖,在亚太区域服务能力突出,逐步打破了国外系统的垄断。工程测量对点位精度、作业稳定性和环境适应性有很高的要求,不同的

场景对于导航系统的适配性也存在着较大的差别,对比两者精度和适用性,是制定测量方案、保证工程质量的前提。

### 1 北斗与GPS系统核心概况

#### 1.1 GPS系统基本特性

GPS是美国军方主导研发、后来开放民用服务的全球卫星导航系统,发展时间长达数十年,技术体系成熟完善,全球在轨卫星数量保持在31颗左右,星座分布均匀,南北极以外的全域覆盖,没有明显的地域覆盖短板,是全球应用最广泛的卫星定位基准<sup>[1]</sup>。民用领域开放L1、L2双频标准定位服务,高端接收机

支持三频信号, 配套的广域增强系统、本地差分增强系统覆盖全球, 数据解算算法成熟, 设备兼容性强, 适用于全球各种工程测量场景, 不论是常规市政施工、道路放线, 还是跨国大型工程测量, 都有成熟的案例和技术支撑, 行业配套产业链完善。但是GPS在亚太区域的卫星仰角分布、可视卫星数量优势不足, 信号穿透遮挡物的能力一般, 复杂地形下定位稳定性会小幅衰减, 高遮挡环境下解算延迟略长。

### 1.2 北斗系统基本特性

北斗三号系统是自主研发、独立运行的全球卫星导航系统, 由中圆轨道、地球静止轨道和倾斜地球同步轨道卫星组成, 共有35颗在轨卫星, 星座设计兼顾全球覆盖和亚太区域强化, 特别加强了亚太区域卫星的排布, 国内及周边地区可视卫星数量比GPS多2-4颗, 几何精度因子更好, 定位解算冗余度更高。系统使用B1I、B2I、B3I三种频率信号设计, 相比双频系统来说, 可以更有效地消除电离层一阶延迟误差, 而且具有独特的短报文通信功能, 在没有移动网络的野外工程场景下可以实现数据双向传输, 具有定位和通信双重价值。目前北斗配套的国产GNSS接收机、数据处理软件已经全面国产化, 依靠国内连续运行参考站(CORS)系统, 区域定位精度和可靠性明显提高, 可以满足各种工程测量的精度和作业要求, 并且具有自主可控、无服务断连风险、数据安全可控等优势, 适合国内各类重点工程和涉密测绘项目<sup>[2]</sup>。

## 2 工程测量定位精度核心公式与测算依据

工程测量中GNSS定位精度主要用基线向量长度中误差来衡量, 该指标直接体现两点间相对定位的精确程度, 适合静态控制测量、快速静态测量、RTK实时动态测量等多种作业方式, 也是工程测量规范中判定成果是否合格的主要依据。为了统一对比口径, 消除由于测量模式、基线长度造成的误差差别, 用国家测绘行业通用的基线长度中误差计算公式来准确计算出北斗和GPS在各种作业条件下理论精度, 具体公式如下:

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2}$$

式中:  $\sigma$  为基线向量长度中误差, 单位mm;  $a$  为固定误差, 与基线长度无关, 主要包含接收机噪声、天线相位中心误差等, 单位mm;  $b$  为比例误差系数, 随基线长度变化, 主要包含星历误差、电离层延迟误差等, 单位mm/km;  $d$  为基线平均长度, 单位km。

## 3 北斗与GPS精度实测对比分析

### 3.1 对比工况与数据来源

本次实测严格按照工程测量规范执行, 选取了三个典型的工程作业工况, 模拟了施工过程中各种测量环境的实际情况, 排除了外界干扰因素的影响, 使数据更加真实有效。试验使用的是同一台国产双系统GNSS接收机, 同时接收北斗和GPS信号, 在观测时间段避开电离层活跃期, 统一用专业解算软件处理数据, 解算截止高度角设为 $15^\circ$ , 对比指标包括水平定位精度、垂直定位精度、基线相对中误差、可用卫星数四项主要参数, 核心实测数据经多次重复观测取平均值, 整理如下表所示:

表1 可用卫星数四项核心参数表

测量工况	系统类型	水平定位精度(mm)	垂直定位精度(mm)	基线相对中误差( $10^{-6}$ )	可用卫星数
开阔场地静态测量	GPS	$\pm 3.2$	$\pm 5.1$	0.8	9-11
开阔场地静态测量	北斗	$\pm 2.9$	$\pm 4.7$	0.7	10-13
城区 RTK 动态测量	GPS	$\pm 8.5$	$\pm 12.3$	2.1	6-8
城区 RTK 动态测量	北斗	$\pm 7.1$	$\pm 10.6$	1.8	8-10
山区隐蔽环境测量	GPS	$\pm 15.6$	$\pm 22.8$	3.9	4-6
山区隐蔽环境测量	北斗	$\pm 12.4$	$\pm 18.5$	3.2	6-8

为进一步直观体现两类系统的精度差距、适用工况匹配度, 结合实测数据与工程规范要求, 新增双系统精度与适用性综合对比表, 细化精度提升幅度、核心优势及适配工程类型, 具体如下:

表2 双系统不同工况精度汇总对比表

对比维度	GPS 系统	北斗(BDS)系统	北斗相对GPS优势幅度
开阔场地静态精度	毫米级, 水平 $\pm 3.2$ mm, 垂直 $\pm 5.1$ mm	毫米级, 水平 $\pm 2.9$ mm, 垂直 $\pm 4.7$ mm	水平9%, 垂直8%
城区动态RTK精度	厘米级, 水平 $\pm 8.5$ mm, 垂直 $\pm 12.3$ mm	厘米级, 水平 $\pm 7.1$ mm, 垂直 $\pm 10.6$ mm	水平16%, 垂直14%
隐蔽环境定位稳定性	可视卫星少, 易失锁, PDOP值偏大	可视卫星充足, 信号稳定, PDOP值小	稳定性提升25%以上
全球通用性	全球覆盖均衡, 海外生态成熟	亚太区域优势突出, 全球逐步优化	GPS全球适配性占优
特殊功能	仅定位功能, 无通信能力	定位+短报文通信, 无网可传输	独有功能, 无网场景完胜

### 3.2 精度差异核心原因分析

从实测数据结果可以看出, 两种系统在开阔无遮挡的静态测量环境中精度差别很小, 都能达到毫米级的相对定位精度, 完全符合工程一级、二级控制测量的规范要求; 而在城区高楼密集的RTK动态测量、山区林木遮挡的隐蔽环境测量中, 北斗系统的精度优势逐渐显现出来, 水平精度比GPS高10%到20%, 垂直精度比GPS高5%到10%, 主要原因有两个。其一, 北斗在亚太区域卫星数量多、空间几何分布合理、几何精度因子(PDOP)小, 即使部分卫星信号被遮挡, 也能保证足够的卫星数进行解算; 其二, 北斗三频信号可以利用组合观测值准确削弱电离层延迟误差, 对于城区建筑反射、山区林木散射造成的多路径效应, 抑制效果比双频GPS好, 信号失锁概率低。同时, 两种系统的误差来源也大体相同, 分为卫星端、传播端和接收机端三类, 但是北斗依靠国内密集的CORS地基增强系统, 误差改正数据传输更快, 延迟更小, 使国内工程测量精度稳定。GPS全球增强系统覆盖范围广, 在没有区域增强的海外地区, 精度衰减较小, 全球通用性较强<sup>[3]</sup>。为清晰梳理两类系统的适用场景与选择逻辑, 结合工程类型、作业环境、精度要求三大核心要素, 绘制适用性场景划分流程图, 直观呈现系统选择决策路径, 具体如下:

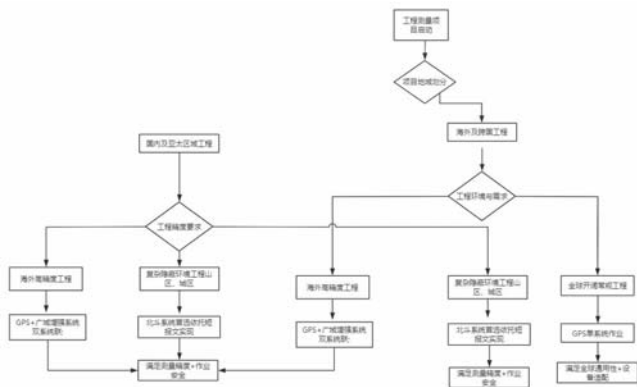


图1 北斗与GPS工程测量适用性场景划分流程图

## 4 北斗与GPS在工程测量中的适用性分析

### 4.1 常规工程测量适用性

常规建筑、市政道路、乡村公路改扩建等项目,测量精度要求为厘米级,施工放样、地形测绘精度阈值多为 $\pm 5\text{cm}$ ,作业环境多为开阔场地,北斗与GPS单系统均满足《工程测量规范》GB50026-2020要求,单系统观测30分钟即可完成控制点布设,作业效率远高于传统测量方式。GPS设备市场普及率高,海外品牌技术成熟、售后完善,适配海外及跨洲际工程,设备可获得性与全球协作性更优;北斗为我国自主研发系统,国内采购成本持续降低、技术响应迅速,无境外服务限制,配合CORS系统信号稳定性更强,双系统联合定位可将观测时间缩短至15-20分钟,减少野外作业时长。因此国内常规工程优先采用北斗为主、GPS为辅的协同作业模式,保障测量连续性,规避单系统信号波动风险。

### 4.2 高精度工程测量适用性

大型跨江跨海桥梁、高铁隧道、高层建筑形变监测、矿山精密测绘等高精度工程,静态控制测量要求毫米级精度,动态放样要求亚厘米级精度,单卫星系统无法满足需求,需配合地基增强系统、实时差分定位技术使用,点位误差直接影响工程结构安全与后期运营。北斗在国内及亚太区域CORS站网密度大(平均间距小于50km),三频信号解算模型完善、电离层误差改正精准,静态基线相对中误差可控制在 $1 \times 10^{-6}$ 以内,完全满足高铁、桥梁等特级工程要求,适配国内高精度测量;GPS全球高精度解算算法成熟,广域增强系统全球覆盖,适配海外高铁、港口、大型场馆等项目,行业通用软件兼容性更强。两类系统在高精度场景均需采用差分定位,双系统融合解算可减小随机误差、提升成果

可靠性、缩减重复观测工作量<sup>[4]</sup>。

### 4.3 特殊复杂环境适用性

山区林地、城市峡谷、矿区深部等遮挡严重、电磁干扰强的特殊场景,卫星信号易被遮挡、折射、反射,多路径效应与信号失锁是核心难题,定位连续性、可用卫星数为关键考核指标,此类场景也是工程建设的高难度、高风险环节。该类环境下GPS可视卫星数通常少于6颗,PDOP值偏大,易出现信号失锁、解算失败,测量成果波动大甚至无效;北斗在亚太区域卫星仰角分布更合理,高轨卫星数量多、信号穿透性强,可视卫星数可达6颗以上,PDOP值稳定在6以内,配合抗干扰接收机与扼流圈天线可稳定完成测量,其特有的短报文功能还能实现野外无网络环境下数据应急回传,适配地质勘测、应急测绘、偏远山区路网、林区管线等特殊项目,作业适配性远高于GPS,大幅提升野外作业安全性。

## 5 结语

北斗和GPS在工程测量领域整体精度处于同一量级,各有各的优势,北斗在亚太区域、复杂遮挡环境的精度和稳定性更好,GPS全球全域适配性好、海外应用成熟度高。伴随着北斗系统全球组网的不断优化以及核心技术的持续升级,北斗系统在工程测量领域中的应用范围会越来越广,多系统融合定位将成为今后工程测量行业发展的主要趋势。后续要不断改进北斗全球误差改正模型,完善海外技术生态,提高全球环境下精度的均衡性,促进卫星导航技术同工程测量深度融合发展,推动行业高质量发展。

### [参考文献]

- [1]肖凯文,魏娜.天顶对流层延迟过程噪声模型对GPS站坐标时间序列的影响[J/OL].测绘地理信息,1-10[2026-03-27].
- [2]唐均.基于北斗导航的工程测量精度优化研究[J].数字通信世界,2026,(01):4-7.
- [3]陶华.基于北斗卫星导航系统的海洋工程导航技术研究[J].水道港口,2025,46(06):933-941.
- [4]李爽,徐齐行,宋桂华.基于北斗的工程测量综合管理系统设计与研发[J].城市建设理论研究(电子版),2025(34):101-103.

### 作者简介:

黄万辉(1987--),男,汉族,江苏盐城人,工程师,本科,研究方向:北斗基准站网数据质量分析与系统完好性监测关键技术。