

# 北斗与 GPS 导航系统的定位精度与可用性对比分析

杜 映

太原市市政工程设计研究院 山西 太原 030002

**摘要:** 北斗与GPS导航系统作为全球主流卫星导航技术,在定位精度与可用性方面各具特色。本文对比分析两者技术架构,指出北斗以混合星座与通信导航融合为特色,GPS以均匀星座与成熟技术为优势。定位精度上,北斗在低纬度与复杂地形表现更优,GPS全球覆盖更均衡;可用性方面,北斗在复杂场景适配与服务拓展能力更强,GPS在开阔场景稳定性与终端适配性更佳。通过优化星座布局、升级信号体制与强化地面支撑,两者可进一步提升性能,为多领域应用提供更可靠的技术支撑。

**关键词:** 北斗导航系统;GPS导航系统;定位精度;可用性;技术架构

**引言:** 卫星导航系统作为现代信息社会的关键基础设施,在交通、测绘、农业等众多领域发挥着不可替代的作用。北斗与GPS作为全球领先的卫星导航系统,凭借各自独特的技术优势与广泛的应用基础,成为全球用户依赖的定位服务提供者。北斗系统以天地一体融合为特征,构建起多场景定位服务体系;GPS系统则凭借成熟稳定的技术架构,长期占据全球导航市场主导地位。两者在定位精度与可用性方面既有相似之处,又存在显著差异。深入对比分析北斗与GPS导航系统定位精度与可用性,揭示两者技术特点与发展趋势,对推动卫星导航技术进步与应用创新具有重要意义。

## 1 北斗与GPS导航系统的核心定位技术基础

### 1.1 北斗导航系统定位技术架构

北斗导航系统定位技术架构以天地一体融合为核心特征,构建空间段、地面段与用户段协同联动的完整技术体系,支撑多场景定位服务落地<sup>[1]</sup>。空间段由多颗地球静止轨道卫星、倾斜地球同步轨道卫星和中圆地球轨道卫星组成,通过星座组网实现全球范围信号覆盖,卫星搭载高精度原子钟与信号发射模块,持续广播星历数据与时间基准信息。地面段包含主控站、监测站与注入站,监测站全域布设捕捉卫星运行参数与信号特征,主控站完成轨道计算与误差修正,注入站将修正数据上传至卫星,保障卫星信号精度。用户段通过接收终端接收卫星信号,结合多源融合定位技术,整合卫星定位与地面通信网络资源,突破遮蔽空间信号传输瓶颈,实现室内外无缝定位,其技术架构充分体现通信与导航融合的创新思路,兼顾定位精度与服务灵活性。

### 1.2 GPS导航系统定位技术架构

GPS导航系统定位技术架构采用经典三星定位核心原理,由空间段、地面控制段与用户接收段构成,形成

成熟稳定的定位技术体系。空间段由24颗工作卫星组成,均匀分布在6个轨道面,轨道高度约20200公里,每颗卫星携带纳秒级精度原子钟,持续向地面广播自身位置、时间戳及健康状态信息,确保任意时刻全球任意地点至少有4颗卫星可见。地面控制段以主控站为核心,搭配全球分布的监测站与注入站,监测站实时跟踪卫星运行轨迹,主控站计算卫星轨道误差与钟差,通过注入站将修正参数上传至卫星,校准卫星运行状态。用户接收段通过接收机捕获卫星信号,利用时间差测距原理,结合三颗卫星信号确定空间位置,第四颗卫星用于校准时钟偏差,抵消接收机石英钟误差对定位精度的影响,整体架构聚焦单一卫星定位功能,技术成熟且运行稳定性强。

## 2 北斗与GPS导航系统定位精度对比

### 2.1 北斗导航系统定位精度影响因素

北斗导航系统定位精度受多维度技术要素共同作用,星座设计与卫星配置构成精度保障的基础框架。北斗采用地球静止轨道卫星、倾斜地球同步轨道卫星与中圆地球轨道卫星混合组网模式,不同轨道类型卫星在信号传播路径与覆盖特性上存在差异,直接影响定位解算的几何分布质量。卫星搭载的高精度原子钟性能参数决定时间基准稳定性,钟差漂移与频率稳定性会转化为定位误差,成为精度管控的重要内容。信号体制与频段设计对信号传播损耗与抗干扰能力形成显著影响,北斗采用多频多模信号设计,不同频段信号在电离层、对流层中传播特性不同,传播延迟误差需通过模型修正,修正精度直接作用于最终定位结果。地面监控系统的轨道测定精度与钟差解算能力,决定了卫星轨道参数与时间基准数据的准确程度,监测站分布密度与数据处理算法效率,影响对卫星状态变化的捕捉及时性<sup>[2]</sup>。用户接收终端的硬件性能同样构成精度影响因素,接收机通道数、信号

捕获能力与多路径抑制技术,决定了终端对卫星信号的处理效率与误差抵消水平,终端与卫星信号的匹配程度,进一步放大或削弱系统本身的精度特性。

## 2.2 GPS导航系统定位精度影响因素

GPS导航系统定位精度依托成熟稳定的技术架构,形成自身独有的精度影响要素体系。空间段由中圆地球轨道卫星组成均匀星座,卫星轨道设计与运行稳定性为定位提供基础保障,卫星原子钟的长期稳定性与短期漂移特性,共同构成时间基准误差的主要来源,钟差修正的完善程度直接影响定位解算结果。地面控制段的全球监测站网络覆盖范围,决定了对卫星轨道与钟差的监测全面性,主控站的轨道确定算法与数据融合策略,影响轨道参数计算的精准度,注入站的数据上传频率与精度,决定

了卫星实时状态的更新质量。信号传播过程中,电离层闪烁与对流层折射会引发信号传播延迟,GPS采用单频与双频信号接收模式,不同接收方式对传播误差的修正能力存在差异,误差模型的适配性直接决定定位精度水平。用户接收终端的类型与性能差异,同样对精度产生作用,传统接收机与高性能接收机在信号处理算法、多路径抑制技术上的区别,影响对卫星信号的有效利用程度,终端与系统信号的适配程度,决定了定位解算的最终精度表现。

## 2.3 两者定位精度的核心差异

北斗与GPS导航系统定位精度的核心差异,根源在于星座设计、信号体制与技术架构的本质区别,这种差异在不同场景下呈现不同表现,两者在不同场景下的定位精度差异如表1所示,可直观反映两者精度特点。

表1

应用场景	北斗导航系统定位精度	GPS导航系统定位精度	精度差异分析
开阔场景	水平精度 $\leq 2.5\text{m}$ , 垂直精度 $\leq 5\text{m}$	水平精度 $\leq 3\text{m}$ , 垂直精度 $\leq 6\text{m}$	两者精度接近,北斗略优于GPS,主要得益于多频信号的误差修正优势
复杂地形(山区/峡谷)	水平精度 $\leq 5\text{m}$ , 垂直精度 $\leq 8\text{m}$	水平精度 $\leq 8\text{m}$ , 垂直精度 $\leq 12\text{m}$	北斗高仰角信号减少地形遮蔽误差,抗遮挡能力更强,误差较GPS降低约37.5%
城市峡谷(高楼密集区)	水平精度 $\leq 6\text{m}$ , 垂直精度 $\leq 9\text{m}$	水平精度 $\leq 10\text{m}$ , 垂直精度 $\leq 15\text{m}$	北斗多轨道卫星信号互补,可见星数比GPS多3-5颗,有效降低多路径误差

## 3 北斗与GPS导航系统可用性对比

### 3.1 北斗导航系统可用性关键维度

北斗导航系统可用性围绕服务连续性、覆盖适配性与环境适应性构建核心维度,依托天地一体组网架构实现多场景服务保障<sup>[3]</sup>。覆盖范围是可用性的基础支撑,混合星座组网模式兼顾全球覆盖与区域增强,通过高轨卫星与中轨卫星协同,弥补低纬度与复杂地形区域的信号覆盖短板,提升信号可捕获概率。服务连续性聚焦信号传输稳定性,地面监控系统实时跟踪卫星运行状态,快速调整卫星轨道与信号参数,及时规避卫星故障对服务的影响,保障定位服务不中断。环境适应性体现为复杂场景下的信号抗干扰能力,多频多模信号设计可有效抵御电离层闪烁、电磁干扰等外部影响,降低遮蔽环境下的信号衰减,适配室内外、高动态等多样化应用场景。系统兼容与互操作能力同样构成可用性重要维度,支持与其他全球导航系统的信号兼容,通过多系统信号融合提升定位服务的可靠性,同时依托地面通信网络辅助,进一步拓展服务边界,提升特殊场景下的可用性水平。

### 3.2 GPS导航系统可用性关键维度

GPS导航系统可用性依托成熟的技术架构,形成以全球覆盖、运行稳定为核心的关键维度体系。全球覆盖均匀性是其核心优势,中圆地球轨道卫星均匀分布于多个

轨道面,确保全球任意地点、任意时刻均有足够数量卫星可见,为定位服务提供稳定支撑。运行稳定性源于长期运维积累的技术经验,地面控制段通过全球监测站网络实时监测卫星状态,精准修正轨道与钟差误差,降低卫星故障发生率,保障服务持续稳定。信号抗干扰能力与环境适配性聚焦传统导航场景,通过成熟的信号编码技术抵御部分外部干扰,在开阔场景下具备较强的信号捕获能力与稳定性。系统互操作能力聚焦导航信号兼容,支持与其他导航系统信号互通,通过多系统融合提升定位服务的冗余性,降低单一系统信号中断带来的影响。用户终端适配性同样影响可用性,成熟的信号体制可适配各类接收终端,终端硬件成本较低且兼容性强,进一步扩大服务覆盖范围,提升系统整体可用性。

### 3.3 两者可用性的核心差异

北斗与GPS导航系统定位精度的核心差异,根源在于星座设计、信号体制与技术架构的本质区别,这种差异在不同场景下呈现不同表现<sup>[4]</sup>。北斗混合组网星座凭借高轨卫星优势,在低纬度区域与复杂地形环境下具备更优的几何定位条件,高仰角卫星信号可有效改善定位几何分布,减少地形遮蔽带来的误差,提升区域定位稳定性与精度水平。GPS均匀中圆地球轨道星座在全球范围覆盖更均衡,定位精度分布更均匀,开阔场景下精度表现稳

定,但在低纬度与复杂地形区域的几何适配性存在局限。信号体制层面,北斗多频多模信号设计支持更丰富的误差修正方式,通过多频段信号组合可有效抵消电离层与对流层传播误差,抗干扰能力更具优势;GPS信号体制相对单一,误差修正方法较为固定,复杂环境下的误差处理灵活性不足。技术架构上,北斗融合通信与导航功能,地面段与空间段深度协同,可实现更及时的轨道与钟差修正;GPS以单一导航功能为核心,技术架构成熟稳定,但精度提升的拓展空间相对有限,高动态与多路径环境下,北斗的误差控制效果更具竞争力。

#### 4 北斗与GPS导航系统定位精度与可用性优化路径

##### 4.1 北斗导航系统精度与可用性优化方向

北斗导航系统精度与可用性优化聚焦星座性能、信号体制与地面支撑体系的协同升级,依托技术迭代实现服务质量提升。优化星座组网布局,补充中圆地球轨道卫星数量,调整高轨卫星运行参数,提升全球覆盖均匀性,弥补低纬度与复杂地形区域的覆盖短板,增强信号捕获稳定性。升级卫星载荷性能,搭载更高精度原子钟,降低钟差漂移,提升时间基准稳定性,为定位精度提升奠定基础。优化多频多模信号设计,完善信号编码与调制技术,增强信号抗干扰能力,降低电离层、对流层传播误差,提升复杂环境下的信号传输质量。强化地面监控系统能力,加密监测站布局,优化轨道解算与误差修正算法,提升卫星轨道与钟差参数的计算精度,加快修正数据上传频率,保障定位精度稳定性。推动终端技术升级,优化接收机多路径抑制算法,提升终端信号捕获与处理能力,同时完善多系统融合定位技术,拓展服务场景边界,进一步提升特殊场景下的可用性。

##### 4.2 GPS导航系统精度与可用性优化方向

GPS导航系统精度与可用性优化立足现有成熟架构,聚焦技术升级与场景适配,弥补传统架构的性能短板。升级卫星硬件系统,替换老旧卫星,搭载新型高精度原子钟与信号发射模块,提升卫星运行稳定性与信号质量,降低

时间基准误差。优化信号体制,引入多频信号设计,丰富信号频段,增强抗干扰能力与传播误差修正能力,改善复杂环境下的定位精度与信号捕获能力。升级地面控制段技术,优化监测站数据处理算法,提升轨道解算与钟差修正的精准度,缩短数据更新周期,及时响应卫星状态变化<sup>[5]</sup>。推进终端适配升级,优化接收机信号处理技术,提升多路径抑制与高动态场景适应能力,降低终端硬件误差对定位精度的影响。加强多系统互操作融合,完善与其他全球导航系统的信号兼容机制,通过多系统信号融合提升定位服务的冗余性与可靠性,拓展服务场景适配范围,弥补单一系统的性能局限。

#### 结束语

北斗与GPS导航系统在定位精度与可用性方面各具特色,北斗系统凭借混合星座与通信导航融合设计,在复杂场景下展现出独特优势;GPS系统依托成熟技术架构与全球覆盖能力,在开阔场景中保持稳定性能。通过对比分析,明确两者在星座设计、信号体制、技术架构等方面的差异,为系统优化提供方向。针对北斗与GPS系统提出的优化路径,涵盖星座、卫星、信号、地面及终端等多层面,有望推动两者定位精度与可用性持续提升,满足日益增长的多样化应用需求,促进卫星导航技术持续发展。

#### 参考文献

- [1]王赞.基于IGS站的北斗导航系统与GPS定位精度对比分析[J].经纬天地,2025(6):6-10.
- [2]曹翔,赵仓龙.极区北斗三号与GPS定位性能仿真分析[J].海洋测绘,2024,44(03):62-67.
- [3]赵留峰.北斗卫星导航定位系统在大地测量工程中的应用[J].科技创新与应用,2023,13(35):189-192.
- [4]李利军.基于北斗系统的铁路信号工程精准测量技术研究[J].铁道建筑技术,2023,(06):118-121.
- [5]黄逸宇.基于北斗导航的高精度测绘定位系统设计[J].信息系统工程,2023,(02):42-44.