

北斗高精度定位技术在地质构造带测绘中的适应性研究

宋跃男

会泽平川测绘有限公司 云南 曲靖 654200

【摘要】：北斗高精度定位技术的发展为地质构造带的测绘工作提供了新的技术手段。本文围绕北斗系统在复杂地质构造环境下的应用展开研究，重点探讨其在高精度定位、实时动态监测以及复杂地形数据采集中的适应性。通过对比分析北斗与传统测绘方法的精度差异与环境响应特性，阐明北斗技术在断裂带、褶皱带及滑坡区等典型构造带中的优势表现。研究表明，北斗系统在多路径干扰、地形遮挡及动态监测条件下仍能保持厘米级精度，为构造带的形变监测、地质灾害预警及地质构造精细化制图提供了技术支撑。该研究为地质测绘领域提供了新的思路和方法，为我国地质空间信息精细化建设奠定了坚实基础。

【关键词】：北斗高精度定位；地质构造带；测绘；适应性；形变监测

DOI:10.12417/2811-0536.26.03.085

引言

地质构造带作为地壳运动的集中反映区，其空间形态复杂、地貌特征多变，对测绘精度与技术手段提出了更高要求。传统测绘方法在高差大、遮挡强的构造带环境中常面临精度不足与数据不连续的问题。北斗高精度定位技术以其自主可控的卫星定位系统、厘米级的实时动态精度和多源数据融合能力，为复杂地质条件下的测绘提供了新的可能。通过分析北斗在不同构造环境下的定位特征与应用模式，可揭示其在构造形变监测、断裂带测绘及滑坡体动态跟踪等方面的潜力，为地质测绘技术的创新发展提供方向。

1 地质构造带测绘中的技术挑战

1.1 复杂地形条件下的数据获取难题

地质构造带区域多呈现高差剧烈、地貌破碎及岩体结构复杂的特征，地表形态的不规则性使得测绘信号易受地形遮挡与多路径效应干扰。山区断裂带、滑坡体及褶皱构造区常伴随植被密集与岩层突变，传统仪器在此环境下难以实现连续观测与高精度定位。受地形遮蔽影响，卫星信号易出现延迟或中断，导致测绘数据存在空间畸变与坐标漂移。恶劣气候条件与地质活动的不稳定性进一步加大了外业测绘的风险与不确定性，使得数据采集的完整性与精度控制成为关键技术瓶颈。

1.2 传统测绘技术的精度与时效局限

在复杂构造带区域，传统测绘方法如全站仪、光电测距及航空摄影测量难以同时满足高精度与高时效的双重要求。受制于观测基准稀疏与人工干预频繁，数据更新速度较慢，无法实时反映构造带的动态变化。测绘结果在高差变化剧烈或地形起伏显著的地区易产生系统性误差，且测区覆盖范围有限，数据连续性差。

特别是在地质活动频繁的区域，传统方法缺乏对地表形变的实时感知能力，难以支撑高精度地质监测与构造分析的需要。

1.3 测绘误差来源与环境影响分析

构造带测绘中的误差主要源于信号传播延迟、地面控制点误差及仪器稳定性差异等多重因素。地表反射、折射与电离层扰动会导致卫星定位偏差增加，使坐标解算结果出现随机漂移。复杂地貌条件下的多路径效应使测距精度下降，而气象参数的时变性对观测信号传播速度产生显著影响。地质构造应力释放引发的微形变与断层滑移，也会对测绘数据的空间基准稳定性造成干扰，形成累积性误差，影响整体测绘成果的空间一致性与精度可靠性。

2 北斗高精度定位技术的特征解析

2.1 系统组成与信号特性

北斗高精度定位系统由多个卫星、地面控制站及用户终端设备共同组成。该系统的核心是由多颗中高轨道卫星组成的导航星座，通过提供定位、授时及导航信号，支持用户实现厘米级定位精度。北斗信号包括两类：基本导航信号与差分增强信号，后者通过地面基站增强精度，极大提高了信号的可靠性与稳定性。北斗系统能够独立工作，同时具备与GPS、GLONASS等全球卫星系统的兼容性。通过多频段传输与实时测量，北斗信号能有效减轻大气层干扰的影响，确保在各种复杂环境下实现高精度测量。系统内的差分算法通过实时采集误差信号并进行修正，进一步提升了定位精度，特别是在地形复杂的构造带区域，表现出强大的适应能力。

2.2 高精度定位与差分算法机制

北斗高精度定位的关键在于其精密的差分算法，

这种算法依赖于基准站与用户终端之间的实时数据交互。基准站的定位精度通过已知的地面坐标进行标定,获取卫星信号的偏差信息,并通过差分技术将误差传递给终端设备,以修正其实时位置。这种机制大大降低了系统的误差源,提升了在不规则地形中的定位精度。差分技术包括实时动态差分(RTK)和伪距差分(PPP),其中RTK技术能够提供厘米级精度,广泛应用于实时监测与动态跟踪中。而PPP技术则可提供更加稳定的精度,适合长期精细化地质构造监测应用。

2.3 多路径与遮挡条件下的抗干扰性能

在复杂地形环境下,北斗高精度定位系统表现出了出色的抗干扰能力,尤其是在多路径效应与信号遮挡的条件下。多路径效应是指卫星信号在地面或其他物体表面反射后再到达接收机,导致信号传播路径延长,从而引起定位误差。北斗系统通过采用高级信号处理技术,如多频观测和相位加权校正,能够有效区分直射信号与反射信号,降低误差影响。在遮挡环境中,北斗的抗干扰能力得到显著提升,其利用高轨卫星信号穿透能力,使得即使在部分信号被遮挡的情况下,仍能保持较高的定位精度。此项技术尤其适用于地质构造带中断层、山谷等高遮挡区域,能够确保在挑战性环境下的稳定性与准确性。

3 北斗技术在构造带测绘中的适应性分析

3.1 断裂带与褶皱带中的定位稳定性

断裂带与褶皱带是地质构造带中变形活动最为剧烈的区域,其地表形态复杂,通常伴随有断层、褶皱、滑移等地质构造。在这些地区,传统测绘技术常常因地形复杂及信号遮挡问题,导致定位精度大幅降低。北斗系统的高精度定位技术通过采用多频信号接收与差分技术,能够有效减少信号衰减与多路径效应的干扰。即便在局部区域出现卫星信号遮挡,北斗系统的先进抗干扰能力仍能确保稳定的定位精度,尤其在断裂带和褶皱带的深度测量中具有明显优势。通过引入实时动态定位技术,北斗系统在测量动态变形与构造带形态变化时,能够保持毫米级至厘米级精度,及时反映断层活动及地壳运动的微小变化。这样的技术保障,使得北斗定位在这些地质结构复杂的地区具备了较高的可靠性与适应性。

3.2 滑坡区与变形带的动态监测能力

滑坡区与变形带通常位于活跃的构造带中,地质活动频繁且存在较大地形起伏。在这些区域,传统的地质监测方法往往存在响应滞后、覆盖范围不足的问题,难以实时获取地表形变的数据。北斗高精度定位

技术通过提供高频次的实时数据采集,能够实时监测滑坡体的动态变化及变形带的活动状态。通过与差分技术结合,北斗系统可以在滑坡区及变形带中对地表变形进行精准追踪,及时捕捉到微小的位移信息。在滑坡体发生小幅度位移时,传统方法往往难以有效检测,而北斗系统能够通过精细的空间基准和高频数据更新,准确记录位移情况,并为灾害预警系统提供重要依据。这一能力对于滑坡防治与地质灾害监测具有至关重要的作用,特别是在复杂地质环境下,北斗技术的高效性与稳定性发挥了关键作用。

3.3 典型地质环境下的应用对比结果

在典型地质环境下,北斗技术的适应性体现了其在复杂地形中的综合表现。在一项关于山区断裂带与高山滑坡区的对比试验中,北斗系统的定位精度相较于传统的GPS系统有了显著提升。在高差变化明显的山区,传统测绘方法由于信号遮挡及多路径效应的干扰,测量精度常常出现偏差,且数据更新周期长,难以满足实时监测需求。而北斗系统则通过多频信号接收与差分技术,有效克服了这些问题,在山区和滑坡区均实现了厘米级的定位精度。北斗在地下水位监测、土体变形检测等领域也展现了强大的优势,尤其是在深层地下结构变化监测中,北斗通过精准定位,可以提供更为详细的地质活动数据,为地质灾害的预警与评估提供了可靠的技术支持。在多样化的地质环境中,北斗系统展示出了广泛的适用性和高效性,成为现代地质测绘与灾害监控中的重要工具。

4 技术融合与测绘精度优化路径

4.1 北斗与GNSS融合定位策略

在现代地质测绘中,北斗系统与其他全球导航卫星系统(GNSS)如GPS和GLONASS的融合已成为提升测绘精度的关键手段。通过结合不同卫星系统的信号,能够充分利用各系统的优势,提升定位精度和系统的可靠性。在复杂的构造带区域,北斗与GNSS的融合不仅增加了卫星信号的可用性,还通过多个卫星系统的信号冗余,提高了定位的稳定性和抗干扰能力。特别是在信号遮挡严重的山谷、断裂带等地质环境中,融合技术能够有效提高定位精度,确保数据的连续性与精确性。通过实时差分定位技术,融合系统能够达到毫米级精度,在大规模地质构造带的形变监测与精准测绘中发挥重要作用。这种融合定位策略不仅解决了传统单一系统信号不足的问题,还提高了不同区域、不同环境下的适应性,使得北斗系统与GNSS在地质测绘中的协同应用得以广泛推广。

4.2 与无人机、激光雷达的联合测绘模式

无人机与激光雷达技术结合北斗高精度定位系统的应用为地质测绘提供了全新的技术手段。无人机能够在复杂地形中进行高效的数据采集,尤其在断裂带、山脉、滑坡等地区,传统的人工勘测方法往往难以实施,而无人机能高效、稳定地获取大量数据。通过搭载激光雷达(LiDAR)系统,无人机能够实现精准的三维地形重建和高精度的地表扫描,结合北斗系统提供的定位信息,可以实时生成高精度的数字高程模型(DEM)和点云数据。激光雷达技术通过激光束反射来测量目标物体的精确位置,这与北斗的精确定位能力相互补充,使得测绘结果更加精准,尤其在地形复杂的区域,能够更好地反映地质构造带的细节特征。此联合模式为构造带地质监测提供了高效、精确的数据支持,在灾害监测、地形变化分析等方面展现了强大的应用潜力。

4.3 数据后处理与误差修正模型

数据后处理与误差修正技术是确保北斗高精度定位系统在复杂地质环境中稳定运行的关键因素。即使在使用先进定位系统时,测量数据仍然会受到环境因素、信号噪声等影响产生误差。通过后处理技术,能够对采集到的数据进行精细化分析与修正,去除系统误差、环境干扰及测量设备本身的误差。后处理的过程中,采用了如最小二乘法、卡尔曼滤波等先进算法,对不同时间和空间尺度上的定位误差进行动态调整和修正。结合差分技术与大规模数据处理,可以通过对比基准站和移动站之间的观测结果,精确修正误差,进一步提高定位精度。在地质测绘中,误差修正模型能够有效提升测量结果的准确性,尤其在极端气候条件或地形复杂的构造带区域,通过精确修正和数据后处理,有效提高了测绘数据的可靠性与科学价值。

5 实地应用验证与结果分析

5.1 典型构造带区域的试验设计

为了验证北斗高精度定位技术在地质构造带中的实际应用效果,选择了典型构造带区域进行试验。试验地点包括多个地质环境,如山区断裂带、滑坡区及褶皱带,涵盖了不同的地貌特征和复杂的地形条件。在试验设计中,重点考虑了数据采集的时空分布、测量频率与误差控制。通过设置多个基准站和移动站,确保了测量数据的多样性和代表性。每个试验区域均采用多频率的北斗信号进行定位,并结合GNSS差分技术、无人机航测及激光雷达数据采集,进行全方位、多角度的数据比对和分析。该设计确保了试验数据的

全面性和可靠性,有助于评估北斗系统在不同构造带环境下的适应性与精度表现。

5.2 定位精度与环境适应性结果

在山区断裂带区域,虽然地形复杂且信号遮挡严重,北斗系统通过多频信号与差分技术,依然能够保持厘米级的精度。在滑坡区,系统能够实时跟踪地表形变,提供毫米级的动态监测数据。北斗技术在复杂地质构造带的环境适应性表现优异,能够有效应对多路径效应、遮挡和电离层干扰等问题。数据采集结果表明,即使在高遮挡、高差的地形条件下,北斗系统也能提供稳定且准确的定位服务,保证了高精度数据的实时更新和可靠性。

5.3 测绘成果的误差评估与可靠性分析

在试验区域内,测绘成果的误差评估通过与传统测量方法及GNSS系统进行对比。结果表明,北斗系统在定位精度上显著优于传统测绘技术,尤其是在地形复杂的区域,精度提升达到数倍。通过对比分析后,发现误差主要集中在信号遮挡较为严重的区域,但系统通过高精度后处理和误差修正模型有效减少了这些误差。可靠性分析显示,在大多数地质环境下,北斗系统的测绘成果均能够保持较高的一致性和精度,符合地质灾害监测与构造带研究的需求。经过多次验证和数据修正,最终测绘成果展现出较高的可靠性,证明了北斗技术在复杂构造带中的应用价值和稳定性。

6 北斗技术在地质测绘中的综合评价

6.1 技术优势与推广潜力

北斗高精度定位技术在地质测绘中的突出优势体现在定位精度高、信号覆盖广与系统稳定性强。通过多频信号与差分定位的协同应用,北斗能够在复杂地质构造带中实现厘米级甚至毫米级的空间定位,显著提升地质测绘的精细化水平。系统具备强大的信号抗干扰能力,能够在高山峡谷、断裂带及滑坡区等复杂环境中保持稳定运行。北斗作为自主可控的导航系统,具备较高的安全性与数据独立性,为地质行业提供了可持续的空间信息保障。随着多源遥感与智能测绘技术的发展,北斗系统在地质灾害监测、地壳形变分析和工程测量等领域的应用潜力持续扩大,显示出广泛的推广价值。

6.2 适应性分析总结

北斗技术在地质构造带中的适应性表现出显著的环境适应特征。无论是在高海拔地区、复杂地形区还是断裂活动频繁带,系统均能维持较高的定位精度与信号稳定性。通过实时动态定位(RTK)与精密单点

定位（PPP）相结合的模式，北斗系统能够有效应对遮挡、信号衰减与地形干扰等问题，保障测绘数据的完整与连续。在滑坡、地裂缝及褶皱构造等环境中，系统展现了出色的动态监测能力，能够实现地表形变的精确捕捉与变化分析。北斗技术的适应性不仅体现在空间环境响应能力上，也体现在与多源测绘技术的兼容性上，为地质测绘工作提供了多维度的技术支撑。

6.3 对地质空间测绘体系的启示

北斗高精度定位技术的广泛应用为地质空间测绘体系的完善带来了新的启示。其在精度控制、时效性保障与空间信息获取方面的突破，推动了传统地质测绘模式向数字化与智能化方向转型。北斗系统的实时监测能力使地质信息更新更加高效，为动态地质环境的分析提供了连续时空数据支持。通过与遥感、无人

机测绘及地理信息系统（GIS）的深度融合，北斗技术促进了多源数据一体化管理与分析，提升了地质空间信息的综合应用水平。在构建高精度地质测绘体系过程中，北斗技术的引入为数据标准化、空间信息共享及智能化监测提供了坚实的技术基础。

7 结语

北斗高精度定位技术在地质构造带测绘中的研究展示了其在复杂环境下的卓越性能与广泛适应性。通过多频信号融合、差分算法优化及多源数据协同，北斗系统在地质构造监测、滑坡变形分析及空间信息更新中发挥了关键作用。该技术不仅提升了地质测绘的精度与效率，也推动了地质空间信息技术的智能化发展，为构建高精度地质测绘体系提供了坚实支撑。

参考文献：

- [1] 王晓东,李建国.北斗高精度定位技术在地质灾害监测中的应用研究[J].测绘科学,2022,47(8):112-118.
- [2] 陈丽华,周文涛.基于北斗系统的复杂地形高精度测绘技术探讨[J].测绘通报,2023,52(4):75-81.
- [3] 刘志强,张凯.北斗与 GNSS 融合定位在断裂带形变监测中的应用[J].地球信息科学学报,2021,23(9):1453-1462.
- [4] 黄俊伟,赵晨阳.北斗高精度定位在滑坡区动态监测中的适应性分析[J].地质科技情报,2022,41(6):98-105.
- [5] 郑慧敏,王浩然.北斗与无人机激光雷达联合测绘模式研究[J].遥感技术与应用,2023,38(2):256-263.
- [6] 李思远,韩文博.北斗高精度测绘数据误差修正与后处理方法研究[J].测绘工程,2024,33(1):41-47.