

高精度 GNSS 在变形监测中的应用与数据处理方法分析

董江龙

鄂尔多斯市经纬空间测绘地理信息有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 016100

摘要: 高精度 GNSS 变形监测依托卫星导航系统实现监测对象的精准位移捕捉, 数据处理技术则保障监测精度与数据可靠性。本文围绕高精度 GNSS 变形监测相关基础、应用方向、数据处理关键方法及技术要点展开系统分析, 梳理核心技术支撑与应用场景, 剖析数据处理全流程及误差控制手段, 明确数据处理中的关键环节与精度保障路径, 整合技术应用与数据处理的内在关联, 为高精度 GNSS 变形监测实践与数据处理工作提供技术参考。

关键词: 高精度 GNSS; 变形监测; 数据处理方法; 误差修正

引言: 随着卫星导航技术的快速发展, 高精度 GNSS 已成为变形监测领域的核心技术手段, 广泛应用于地形地貌、工程构筑物及地质灾害等领域的变形监测工作。传统监测技术存在精度不足、环境适应性差等局限, 难以满足毫米级监测需求。高精度 GNSS 凭借多系统协同、高精度定位及高效数据处理能力, 突破传统技术瓶颈, 实现监测数据的精准获取与高效处理。梳理高精度 GNSS 变形监测相关基础、应用方向及数据处理方法, 剖析技术要点, 对推动变形监测技术规范化发展具有重要意义。

1 高精度 GNSS 变形监测相关基础

1.1 高精度 GNSS 变形监测的基本原理

高精度 GNSS 变形监测依托卫星导航系统的测距与定位能力, 通过接收多颗导航卫星发射的载波相位与伪距信号, 解算监测站点在空间坐标系中的三维坐标信息^[1]。卫星信号以电磁波形式在空间传播, 信号传播路径长度可通过观测数据与卫星星历参数计算获取。监测过程持续获取不同时刻站点坐标数据, 对比分析坐标序列的变化特征, 进而识别监测对象的位移与变形状态。监测核心依赖载波相位观测值, 该观测值具备更高分辨率, 可支撑毫米级监测精度实现。信号传播受电离层对流层等大气环境影响产生延迟效应, 卫星轨道偏差与接收机钟差也会引入观测误差。技术通过差分处理方式削弱公共误差影响, 提取站点间相对位置变化, 反映监测对象的真实变形情况。

1.2 高精度 GNSS 变形监测的核心技术支撑

高精度 GNSS 变形监测的技术支撑体系涵盖卫星系统、观测技术、数据处理算法及硬件设备四大维度。多

系统卫星信号兼容接收成为基础支撑, 北斗 GPS 伽利略格洛纳斯等系统协同工作, 保障复杂环境下卫星信号的稳定接收。多频信号接收技术同步捕获不同频率载波信号, 为误差分离与精度提升提供条件。差分定位技术构成核心观测支撑, 基准站与监测站同步观测卫星信号, 通过数据差分处理消除卫星轨道钟差及大气延迟等公共误差。精密单点定位技术依托精密星历与钟差产品, 无需基准站即可实现高精度绝对定位, 拓展监测应用场景。数据处理算法提供关键技术保障, 卡尔曼滤波与小波分析等算法实现观测数据的噪声抑制与异常信息提取。模糊度固定技术快速解算载波相位整周模糊度, 确保定位结果的高精度与可靠性。硬件设备包含高精度接收机与扼流圈天线, 天线可抑制多路径效应, 接收机具备高采样率与低噪声特性, 为数据质量提供硬件保障。

2 高精度 GNSS 在变形监测中的应用方向

2.1 地形地貌变形监测

地形地貌变形监测聚焦地表自然形态的空间位置变动, 是高精度 GNSS 变形监测的重要应用方向。该方向以地表自然形态演化规律为核心, 通过高精度定位技术捕捉不同地形单元的位移变化, 覆盖山地、高原、盆地、河谷等各类地貌类型^[2]。高精度 GNSS 凭借载波相位观测的高分辨率优势, 可精准捕捉地表细微位移, 突破传统监测技术在复杂地形中的精度局限。监测过程中, 卫星信号接收与坐标解算形成完整技术链路, 通过削弱大气延迟、卫星轨道偏差等误差因素, 保障地形地貌变形数据的精准性。结合地形地貌变形监测点位布设图, 可明确监测点位的分布原则与布设逻辑, 图表标注不同地貌类型的监测点位选址要求, 以及点位与卫星信号接

收的适配条件，为监测实践提供直观参考。不同地貌类型的 GNSS 监测点位布设要求存在差异，具体适配参数与布设要点如表 1 所示。

表 1 不同地貌类型监测点位布设要求

地貌类型	监测点位选址要求	卫星信号接收适配条件	布设密度参考
山地	选择地势开阔、无遮挡区域，避开陡坡、危岩区域，靠近变形特征明显部位	确保视野开阔，避开山体遮挡，保证至少接收 6 颗以上卫星信号	每 1-2km 布设 1 个监测点
高原	选择地势平坦、无积雪覆盖（常年监测）区域，远离断层活动带	无明显遮挡，抗干扰能力强，适配高海拔环境下信号稳定接收	每 2-3km 布设 1 个监测点
盆地	选择盆地边缘变形敏感区域，避开低洼积水区域，便于设备安装维护	避开盆地周边高大建筑物、植被遮挡，保障信号传播通畅	每 1.5-2.5km 布设 1 个监测点
河谷	选择河谷阶地、岸坡稳定区域，避开洪水淹没范围，靠近岸坡变形关键部位	避开河谷两岸山体遮挡，应对水汽干扰，保证信号接收稳定性	每 0.8-1.5km 布设 1 个监测点

2.2 工程构筑物变形监测

工程构筑物变形监测聚焦人工建造设施的结构稳定性，是高精度 GNSS 技术应用的核心场景。各类工程构筑物在服役过程中，受荷载作用、环境侵蚀等因素影响，易产生细微位移与结构变形，需通过高精度监测捕捉相关变化。高精度 GNSS 技术依托多系统卫星协同观测能力，可实现毫米级定位精度，精准捕捉构筑物关键点位的三维坐标变动。监测过程中，通过持续获取构筑物关键点位的坐标数据，分析坐标变化规律，可精准反映构筑物的结构变形状态。该技术无需近距离接触监测对象，可在复杂工程环境中稳定运行，有效规避传统监测技术在构筑物监测中的局限性，为工程结构维护提供精准的量化数据支撑，保障工程构筑物的服役安全。

2.3 地质灾害相关变形监测

地质灾害相关变形监测聚焦易发生灾害的地质体位移变化，是高精度 GNSS 技术的重要应用场景。该方向以地质灾害孕育、演化规律为核心，通过高精度定位技术捕捉地质体的细微位移，识别灾害发生前的异常变动。高精度 GNSS 技术可在复杂地质环境中稳定接收卫星信号，通过差分处理削弱各类观测误差，精准提取地质体的位移数据。监测过程持续追踪地质体的空间位置变化，捕捉灾害孕育过程中的细微变形，为灾害防控提供精准的量化数据。依托卫星导航系统的精密星历与钟

差产品，可进一步提升监测精度，适配地质灾害监测对数据时效性与精准性的需求，助力灾害防控工作科学开展，为地质灾害防治提供可靠的技术支撑。针对滑坡、崩塌等常见地质灾害类型，可灵活布设监测点位，结合数据处理技术快速解析位移趋势，及时推送异常预警信息，为灾害防控人员争取处置时间，最大限度降低地质灾害造成的损失。

3 高精度 GNSS 变形监测数据处理关键方法

3.1 数据预处理方法

数据预处理是高精度 GNSS 变形监测数据处理的前置环节，核心作用是剔除观测数据中的粗差与无效信息，优化数据质量，为后续解算工作奠定基础^[3]。预处理以观测数据的完整性与有效性为核心目标，通过数据筛选、异常剔除、格式统一等操作，提升数据可用性。观测过程中产生的无效数据主要源于信号中断、接收机故障、外界干扰等因素，需通过数据合理性检验剔除超出正常观测范围的数据点。时间同步误差与采样间隔不一致引发的数据错位，需通过时间插值方法调整，实现数据时序对齐。数据格式标准化处理可消除不同接收机输出数据的格式差异，确保各类数据能够纳入统一处理流程。此外需完成观测数据的完整性检查，填补少量缺失数据，避免缺失数据对后续处理环节造成干扰，保障预处理后的数据能够直接用于后续解算工作。

3.2 数据解算方法

数据解算是高精度 GNSS 变形监测数据处理的核心，依托精密星历与观测数据，通过特定算法解算监测站点的三维坐标信息，提取站点位移变化特征。解算过程以载波相位观测值为核心数据源，结合卫星轨道参数与大气延迟修正参数，通过算法运算实现坐标精准解算。差分解算技术通过基准站与监测站的观测数据对比，削弱卫星轨道偏差、钟差及大气延迟等公共误差，提升解算精度。精密单点定位解算技术依托全球精密星历与钟差产品，无需基准站支撑即可实现高精度定位，拓展监测应用场景。解算算法需兼顾运算效率与精度需求，通过迭代运算优化解算结果，消除解算过程中引入的系统误差，确保解算结果能够真实反映监测站点的位移状态，为变形特征提取提供可靠数据支撑。

3.3 数据降噪与误差修正方法

数据降噪与误差修正直接决定监测数据的精度，是数据处理过程中的关键环节。观测数据中包含的噪声主要来源于大气延迟、多路径效应、接收机内部噪声等，需通过针对性方法实现降噪与修正。大气延迟误差可

通过双频观测数据分离电离层与对流层延迟影响,结合大气模型计算延迟量并进行补偿,削弱大气环境对观测数据的干扰。多路径效应通过扼流圈天线、天线相位中心偏移校正等技术抑制,减少反射信号对观测数据的影响。接收机钟差与卫星钟差通过精密钟差产品进行修正,卫星轨道偏差可借助精密星历数据进行补偿。小波分析技术可有效分离观测数据中的噪声成分,提取有效信号,进一步提升数据质量,确保修正后的数据能够准确反映监测站点的真实位移情况。

3.4 数据格式转换与整理方法

数据格式转换与整理是数据处理的收尾环节,核心是将不同类型、不同格式的观测数据与解算数据,转换为统一标准格式,便于后续数据存储、调用与分析^[4]。不同品牌接收机输出的数据格式存在差异,需通过专用转换算法实现格式统一,确保数据结构一致、参数完整。格式转换过程中需保留原始观测数据的核心参数,不改变数据本质特征与精度信息,避免转换过程中引入新的误差。数据整理需对转换后的统一格式数据进行分类排序,梳理数据时序关系,剔除重复数据与无效信息,优化数据结构。同时需对数据进行标准化标注,明确数据对应的监测时段、站点信息与参数类型,确保数据可追溯、可复用,为后续变形特征分析提供规范、有序的数据支撑。

4 高精度 GNSS 变形监测数据处理的技术要点

4.1 数据处理中的误差来源及应对方法

高精度 GNSS 变形监测数据处理中的误差来源具有明确分类,主要涵盖卫星端、观测端与环境端三个维度。卫星端误差源于轨道偏差与钟差,卫星运行过程中受天体引力影响产生轨道偏移,接收机与卫星时钟不同步会引入时间误差,直接影响观测数据精度。观测端误差来自接收机硬件性能,包括天线相位中心偏移、接收机内部噪声等,硬件设备的稳定性直接关联误差大小。环境端误差主要是电离层与对流层延迟,电磁波信号穿越大气圈层时发生传播速度变化,形成观测偏差。应对误差需采用针对性技术手段,双频观测技术可分离电离层延迟影响,通过不同频率信号的观测数据差异,削弱电离层干扰。对流层延迟可通过大气模型计算补偿量,结合实时气象数据优化修正效果,卫星轨道与钟差误差可借助精密星历与钟差产品进行修正,接收机硬件误差

通过设备校准与参数优化实现有效控制。

4.2 数据处理的精度控制方法

数据处理的精度控制贯穿整个处理流程,核心是通过多环节技术手段,确保最终输出数据能够满足变形监测的精度要求。数据预处理阶段需强化数据筛选,剔除粗差数据与无效观测值,通过数据合理性检验,保留符合精度要求的观测数据,为后续处理奠定基础。解算过程中采用差分定位技术,通过基准站与监测站的观测数据对比,削弱公共误差影响,提升相对定位精度。精密单点定位技术依托精密星历产品,优化坐标解算算法,无需基准站即可实现高精度定位,拓展精度控制的应用场景^[5]。数据解算后需进行误差分析,通过算法优化分离各类残余误差,进一步提升数据精度。硬件设备的精度校准也属于精度控制重要环节,定期对接收机、天线等设备进行校准,确保硬件性能稳定,为精度控制提供硬件保障,实现毫米级监测精度的稳定输出。

结束语

高精度 GNSS 变形监测技术与数据处理方法的有机结合,构建起完整的变形监测技术体系。从基础技术支撑到实际应用场景,从数据处理流程到精度控制手段,形成闭环技术链路,有效提升变形监测的精度与效率。梳理核心技术要点与应用场景,剖析数据处理关键方法及技术难点,解决监测与数据处理中的核心问题,完善技术应用体系,为变形监测相关实践提供可靠技术支撑。

参考文献

- [1] 赵军平,杨昆仑,魏亚龙.高精度 GNSS 变形监测网在水库工程的应用[J].陕西水利,2025(9):103-105.
- [2] 李龙,苗程广,李响,等.高精度 BDS+GPS 变形监测技术在特高压线路地质灾害监测中的应用[J].测绘通报,2024(3):140-144.
- [3] 王伟,马建新,周少良.GNSS 系统在百色水利枢纽变形监测中的应用[J].中国水能及电气化,2023(1):26-31,70.
- [4] 陈明鹏.基于北斗 GNSS 的铁路边坡监测数据处理及变形预测[J].微型电脑应用,2025,41(11):117-120.
- [5] 李丹刚,林保东.GNSS 实时动态差分测量技术在变形监测中的优化方法[J].中国金属通报,2026(3):145-147.