

GNSS 技术在变形监测中的应用与精度分析

栗晓军

中国煤炭地质总局水文物测队, 河北省邯郸市, 056200;

摘要: 本文主要研究 GNSS 技术在变形监测中的应用以及精度分析。阐述 GNSS 技术应用于变形监测的原理, 详细论述 GNSS 技术在不同领域实际的应用情况, 分析影响精度的各种因素并提出相应的提高精度的方法。通过对研究结果的分析可知, GNSS 技术由于具有实时性好、效率高、自动化程度高等特点, 在变形监测中被广泛使用, 但是也存在着很多精度方面的问题。面对上述的挑战, 合理地去应对它, 可以使 GNSS 技术在变形监测中发挥出更好的作用, 给相关的工程提供更加可靠的安全保障。

关键词: GNSS 技术; 变形监测; 应用; 精度分析

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.052

引言

变形监测对于工程建设和地质灾害防治来说是十分重要的, 可以及时地掌握被监测对象的变形情况, 给决策提供依据。GNSS (全球导航卫星系统) 是一种新的测量技术, 它有全天候、高精度、实时动态监测等优点, 在变形监测中被广泛使用。但是 GNSS 技术在实际使用过程中会受到各种因素的影响, 造成测量精度有一定的不确定度。因此, 对 GNSS 技术在变形监测中应用以及精度分析进行研究有重大的现实意义。

1 GNSS 技术用于变形监测的原理

1.1 GNSS 系统组成

GNSS 系统是由空间卫星星座、地面监控系统和用户接收设备三大部分组成。空间卫星星座按照一定的规律分布在不同的轨道平面上, 持续向地面发送导航定位信号; 地面监控系统负责卫星跟踪、状态监测和运行控制, 保证卫星正常工作并发出信号。

1.2 定位测量原理

GNSS 定位测量的主要方法就是距离交会法, 即根据接收机到多颗卫星的距离来计算出接收机的确切位置, 再根据已知卫星的位置信息就可以得到接收机的实际坐标。变形监测场景一般采用相对定位的方法, 在已知准确坐标的基础上, 在待监测点和基准点上同时布置 GNSS 接收机, 同步观测卫星信号。

1.3 变形监测原理

GNSS 变形监测的主要逻辑就是定期或者实时地对待监测点的 GNSS 观测数据进行采集, 并将这些数据同监测开始时所获得的基准坐标进行比较分析, 得到监测点的坐标变化量, 从而判断监测对象是否发生变形。当

计算出的坐标变化量超过预先设定的安全阈值的时候, 即认为监测对象有安全隐患, 应该马上开始分析寻找并采取相应措施来保证监测对象结构安全。

2 GNSS 技术在变形监测中的应用

2.1 建筑工程变形监测

在高层建筑、大型桥梁、大型场馆等各类重大建筑工程中, GNSS 技术由于具有实时性和高精度的特点, 被广泛地应用于变形监测工作当中。该技术能准确地捕捉到建筑物在施工建设及长期运营中所发生的沉降、倾斜、水平位移等所有的变形特征。具体的应用中, 在建筑物的关键结构部位上设置多个 GNSS 监测点, 用高性能接收机进行连续不断的数据采集和传输, 用专业的数据处理算法对数据进行解析, 可以及时发现建筑物的异常变形趋势, 给工程施工安全管控、运营维护决策提供可靠的依据和保障。

2.2 地质灾害监测

GNSS 技术在地质灾害防控上起着不可替代的作用, 在山体滑坡、地面沉降、泥石流等常见的地质灾害隐患排查和动态监测工作中得到了广泛的应用, 给灾害预警以及防灾减灾工作提供了重要的技术支持。对于地质灾害高发区以及存在潜在隐患的地方, 在这些地方主要设立密集的 GNSS 监测网来观测地表微小位移的变化, 从而可以准确地了解到发生地震的位置、时间和强度, 并且能很好地预估到未来的震级和烈度变化。一旦监测数据出现异常波动, 系统就会立刻启动预警机制, 迅速将预警信息发送给相关的防控部门, 为防灾减灾决策、人员转移安置、应急处置等各项工作争取到宝贵的时间。以山区山体滑坡监测为例, GNSS 技术可以摆脱传统监

测方法的限制,准确地捕获到滑坡体早期微小变形信号,提前预测滑坡灾害发生的时间和影响范围^[1]。

2.3 矿山开采变形监测

矿山开采过程中容易引起地表沉降、山体滑坡、岩层移动等一系列的地质变形现象,不但会危害矿山的安全生产,还会破坏周边的生态环境。GNSS技术由于其具有全天候、全覆盖的特点,成为了矿山开采区域变形监测的主要技术手段,给矿山安全生产管理以及环境保护工作提供了重要的保障。通过在矿山开采影响区及附近地区布置GNSS监测网的方式来实现对矿山开采区域地表变形的实时动态监测,在准确把握地表变形范围边界、发展速度、变化趋势的基础上给后续决策提供依据。根据监测得到的数据,相关部门可以科学评价开采活动给周围地质环境带来的影响,及时改进和改良开采计划,合理控制开采强度及范围,从源头上预防过度开采所造成的地质灾害。另外,持续的变形观测数据还可以为矿山开采结束后进行的生态修复、地质环境治理提供依据,促进矿山开采与生态保护协调发展,保证矿山生产的安全稳定^[2]。

3 影响GNSS技术在变形监测中精度的因素

3.1 卫星相关因素

卫星自身的状况以及空间分布属于影响GNSS变形监测精度的主要因素。实际监测中,卫星星座几何分布的好坏直接影响到定位的可靠程度,如果分布不合理或者有效观测卫星的数量不够,就会降低观测数据的几何强度,从而明显增大定位误差。另外,卫星信号从太空传到地面接收机的时候容易受到电离层、对流层等空间环境的干扰。电离层里大量的带电粒子的密度变化会使信号传播的速度发生变化,产生延迟;对流层会用大气折射来改变信号的路径,从而造成延迟。尤其是当太阳活动非常激烈的时候,电离层就会发生强烈的扰动,电子密度分布迅速改变,不但加大了传播的延时,而且会使信号的路径出现不规则的弯曲,使定位误差变大,严重地影响到变形监测的精度。

3.2 接收机相关因素

接收机是GNSS信号的接收和数据处理的主要设备,它的工作状态以及性能的好坏直接影响到变形监测的精度。不同的品牌、型号的接收机在信号捕获能力、跟踪稳定性以及数据处理算法上存在较大的差别,高精度的接收机能准确地捕获并跟踪信号、去除非必要噪声,经过优化的算法可以提高定位精度;性能差的接收机很

容易受到干扰,造成信号跟踪不稳定,不能保证定位结果的稳定性和精度。另外接收机安置环境也很重要。如果安置区周围有高大的建筑物、茂密的树木等遮挡物,就会阻断信号的传播,造成有效的观测数据减少;如果存在高压线、工业设备等电磁辐射源,会发出强烈的电磁干扰,影响信号的接收和解析,引起信号丢失^[3]。

3.3 外界环境因素

地面外界环境对于GNSS变形监测的精度有着不可忽视的影响,气象条件、地形地貌属于主要影响因素。气象方面,暴雨、大风、浓雾等恶劣天气都会影响到监测的准确性。暴雨增大了大气湿度不均匀程度,加强了对流层折射效应,增大了传播延迟误差;大风会造成接收机支架抖动,造成接收机位置变化,严重影响观测数据的准确性;浓雾会使信号传输强度大大降低,加大了接收机捕获并跟踪信号的难度,也会使信号断绝,影响监测连续性及精度。地形地貌上,山区、峡谷等地形复杂的区域山体、峡谷壁会挡住卫星信号,减少有效的观测卫星数,破坏卫星分布的合理性;同时也会造成信号多次反射,产生严重的多路径效应,反射信号和直射信号叠加会造成测量数据偏差加大,增大测量误差。

4 GNSS技术在变形监测中精度提升策略

4.1 优化卫星观测条件

卫星观测条件属于影响GNSS定位精度的要素,优化观测条件需要从观测时段的选择、卫星系统的组合以及实时状态监测这三个方面入手。在观测时段的选择上要根据监测区域的位置和卫星运行规律来确定,在卫星的高度角过低、方位角分布不均的时候,应该优先选择卫星信号传播路径好、卫星分布均匀的时段进行观测,尽量避免由于信号被遮挡或者多路径效应而造成的误差。在卫星系统组合上,抛弃单一卫星系统观测方式,采取多系统联合观测的方式,将不同的卫星系统优势结合起来,利用多种卫星信号之间的互补来提高定位结果的可靠性和精度。观测实施过程中需要建立实时监测系统,对卫星的运行状态和信号质量进行连续的观察,当发现信号衰减、受到干扰等情况时,立刻改变观测方式,保证观测数据的有效性^[4]。

4.2 提高接收机性能与安置质量

接收机是GNSS观测的主要设备,它的性能以及安置的质量直接影响到观测数据的精度。在设备选型阶段,应该首先选用具有高精度测量能力、稳定性好的GNSS接收机,保证设备在复杂的环境中仍然可以稳定的采集

数据。另外还要建立健全的设备校准和维护制度,对接收机的主要部件进行定期检测、校准,及时发现并排除设备故障,保证设备一直保持良好的工作状态。接收机布置的时候应为开阔无遮挡的情况,在远离高大建筑物、大树、电力线路等地障,并且远离电磁干扰源的地方。另外,对高精度天线和稳定基座进行匹配并接收到接收机上,严格按照规范完成天线对中、整平工作,保证接收机与天线的稳定连接,在硬件安装上给观测精度提供支持。

4.3 改进数据处理方法

观测数据的处理质量属于提高GNSS变形监测精度的重要环节,依靠先进的算法使用和多技术数据融合来达到精度的改善。在对数据进行处理的时候使用了卡尔曼滤波、小波分析等先进的数据处理技术,利用这些手段来抵消或者削弱由随机误差、系统误差等原因造成的干扰,在保证有效信号不会被误判的同时也能准确地将有效的信号和干扰噪声区分开来,提高观测数据的纯净度。同时根据GNSS观测数据特点,改进数据处理流程,对观测数据做精细化预处理、基线解算和网平差,减小各种误差对监测结果的干扰。技术融合方面,打破单一GNSS技术的局限性,将它和全站仪、水准仪等传统的测量技术结合起来,进行多源测量数据的融合处理以及互相验证^[5]。

5 GNSS技术在变形监测中的应用案例分析

5.1 某大型桥梁变形监测案例

以港珠澳大桥青州航道桥为例,建设与运营期间用GNSS实时动态监测技术进行变形监测。在主塔、主梁以及桥墩的关键部位布置了32个监测点,用TrimbleR10接收机进行24小时不间断测量,采样频率为10Hz,平面定位精度 $\pm 2\text{mm}$ 、高程精度 $\pm 5\text{mm}$ 。运营初期检测到东主塔日均沉降为 0.3mm ,技术人员根据温度、荷载等各个方面的因素分析之后,采用改变支座预压力的方式来控制变形的发展。GNSS技术比传统的全站仪监测提高了很多的工作效率,可以及时地对变形数据进行实时传输和预警,给桥梁的安全运行提供全天候高质量的服务。

5.2 某山体滑坡监测案例

选择四川省雅安市一个山体滑坡隐患点作为研究对象,该地区的地质情况比较复杂,降雨量大,滑坡危

险性高。在滑坡体的前缘、后缘和滑带上布置了15个GNSS监测站,用北斗/GPS双模定位,数据通过4G网络实时传输,解算精度大于 $\pm 3\text{mm}$ 。经过18个月的连续观测,并结合降雨数据来建立“累积位移-降雨强度”的预警模型,设置一级预警阈值为 150mm 。2023年汛期强降雨期间,监测到滑坡体每天的平均位移为 8mm ,累积达到 120mm ,系统及时发出二级警报。提前将230多名群众进行转移,并对地基进行临时抗滑桩加固,避免了灾害的发生,很好地体现了GNSS技术在地质灾害监测中的高精度、实时性、全天候的特点。

6 结论与展望

GNSS技术由于它所具有的明显优势,在变形监测方面得到广泛的应用,可以实时、准确地获得监测对象的变形信息,给工程建设及地质灾害防治提供重要的技术支持。但是GNSS技术在实际的应用中也会遇到精度方面的问题,例如卫星信号干扰、多径效应等。经过对观测条件的改善、接收机性能的提高以及数据处理方法的改进等来达到提高GNSS技术在变形监测中精度和可靠性的目的。

随着科学技术的发展,GNSS技术也会不断地完善和革新。未来的GNSS系统定位精度会提高,实时动态监测的能力也会不断增强。同时GNSS技术同其他先进的技术,即物联网、云计算、大数据等互相融合,可以达到变形监测的智能化与自动化。

参考文献

- [1]陈师.测绘技术在水泥混凝土建筑工程变形监测中的应用研究[J].中国水泥,2025,(06):126-128.
- [2]罗有福.GNSS技术在大坝边坡变形监测系统集成与精度提升的研究[J].信息与电脑,2025,37(03):87-89.
- [3]刘启东.GNSS精密单点定位技术在水库变形监测中的应用[J].工程技术研究,2024,9(19):213-215.
- [4]袁兴明.GNSS技术在水库大坝变形监测分析中应用[J].福建建筑,2019,(04):115-117.
- [5]陈波.GNSS技术在滑坡应急变形监测中的应用分析[J].世界有色金属,2016,(21):122+124.

作者简介:栗晓军(1990.09.10-),男,汉族,籍贯:河北邯郸,学历:本科,目前职称:中级,研究方向:测绘工程。