

多技术融合在地面沉降监测中的应用

杨森林 高孝敏 于立民 朱凯丹

(河北省地矿局第二地质大队, 河北 唐山 063000)

摘要 本文研究了水准测量、GPS监测、InSAR监测技术在地面沉降监测应用当中的原理及技术手段,并以《唐山南湖生态城区域地面沉降监测项目》为研究对象比较和分析了各种方法的优势,最终实现了三种手段优势互补,相互验证,最终获得了点、面的综合地面沉降信息,将收集到的信息分类汇总后,最终建成一套全面的、有效的、高精度的实时预警监测系统。

关键词 地面沉降 GPS 水准测量 InSAR

中图分类号: P25

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)06-0067-03

地面沉降是指受自然因素或者人为因素导致地表高程发生较为缓慢的变化,随着时间的推移,有可能造成地面变形、塌陷,更为严重的甚至会引起道路断裂,地下管线损毁,建筑物变形等重大安全事故。

地面沉降常用传统的水准测量法,通过水准测量获取大量的监测点数据,定期比较点位变化量。传统水准测量精度较高,但投入量大且只能通过单点分析变化趋势。近些年来, GPS监测技术、InSAR技术迅速发展,相比而言GPS技术具有时效性、全天候等监测特点,而InSAR技术具有大范围、高效率等监测特点。

1 研究区域地面沉降形成的机理及项目概况

本文以《唐山市南湖生态城地面沉降监测项目》为研究对象,项目区位于唐山市中心城区南部,为开滦唐山矿和增盛矿、刘庄矿两个地方煤矿经过长期地下采煤活动形成地下采空区,地下煤炭等资源经过长期的大量的开采,地层下多处已被采空,岩体应力后重新开始分布,以寻求新平衡。地下水开采利用以及矿坑排水疏干从而使地下水位大幅度地下降,从而削弱地下水对上部采空区岩层托浮力;雨季,大量的雨水以及表层水下渗后进入到上覆的岩土体中,增加了岩土体的自重;另外,地震及开采放炮的振动等多方面因素共同作用之下,促使下部采空区受力集中的部位岩体发生弯曲、塌落、变形,这种方式的破坏再以一定扩散角度逐渐地向地面上发展,造成地面沉降、变形甚至塌陷。随着时间不断推移,采空区的周围岩土塌落,甚至变形范围不断增大,地面沉降变形的范围也不断地向外扩散,直到整个岩土体最终达到新平衡,最终形成了大范围的沉降塌陷、变形。根据变形程度确定项目范围东西长约5.0km,南北长约7.4km,总面积达28.73km²。

2 研究技术路线及方法

本文研究方法主要是结合高精度水准测量方法、GPS监测方法和InSAR监测方法,研究各种方法的监测原理,充分地利用各种方法的优势,以水准监测点作为基础,将其它监测手段相互联系,在同一地点布设多种不同类型的监测点,既可以实现对项目区沉降观测全覆盖,又可以在保证垂直精度的同时满足水平监测的要求。并且通过测缝仪、测斜仪等传感器突出对重点建(构)筑物和重点区域的沉降变形监测,通过GPS和传感器可以实时地将数据反馈到监测平台上,达到及时预警,从而形成一套全面、有效的监测网络。具体技术路线如下:

2.1 基于InSAR监测原理及方法

合成孔径雷达干涉测量技术(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)是以合成孔径雷达的复数据提取出的相位信息作为取出的信息源从而获取地表变化的信息以及三维信息。InSAR技术是通过两副天线同时观测进行的(单轨模式),或者是两次将近平行观测(重复的轨道模式),用来获取同一物体复图像对信息。由于监测目标与两天线的位置关系,会在复图像上产生,之后,根据监测相位差及传感器高度、波束视向、雷达波长以及天线的基线距离间的关系,精确地测量到图像上的每一点微小变化量和三维位置。InSAR干涉测量是基于雷达遥感的新型对地观测技术,它能高精度监测较大面积的微小的地面形变,可以实现地表的形变毫米级精度几何测量。

InSAR相对于传统水准监测来说精度略有不足,但是有诸多优点,比如:监测范围广、监测连续性强、受天气影响小、监测实施方便容易、成本相对较低、安全性高等特点。

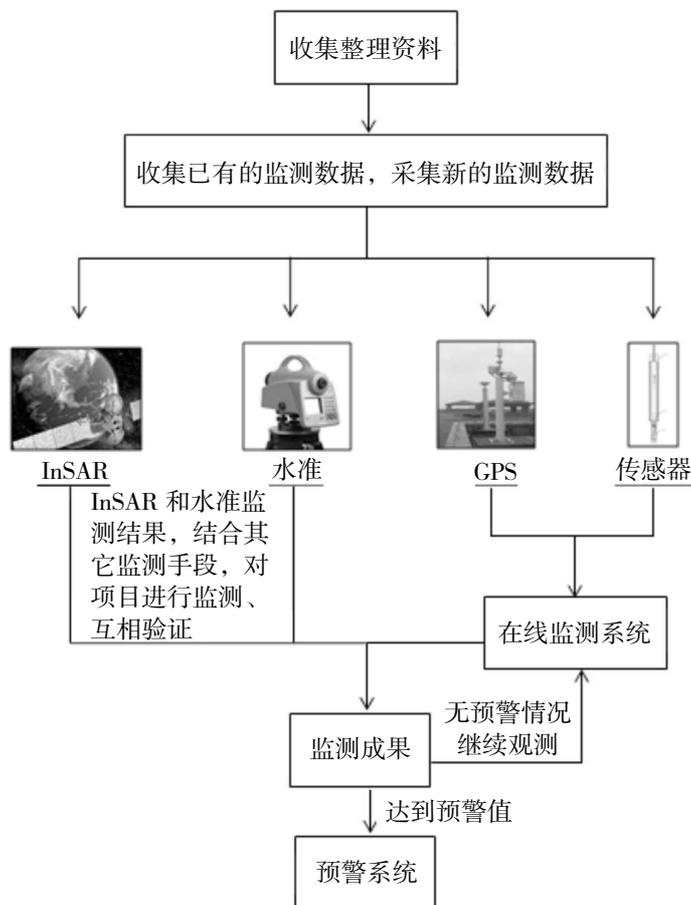


图1 技术路线图

结合项目区具体情况,围绕项目区地面沉降 InSAR 监测要求,获取到覆盖项目区的长时间序列 Sentinel-1A/1B 中分辨率的雷达数据;后利用 PS-InSAR 技术对雷达数据进行处理,提取到项目区域地面沉降信息,包括年平均沉降速率、累积沉降量等信息,确定项目区地下矿区开采诱发地面沉降影响范围及监测区域的稳定性。

2.2 GPS 监测点布置及原理

全球定位系统简称 GPS,其中 RTK (Real-time kinematic) 实时动态差分方法是 GPS 应用中的重大里程碑。GPS 的 RTK 定位技术基于载波相位的观测值实时的动态定位技术,它能够进行实时提供观测站在坐标系中的三维定位结果,并且能精确到厘米级的精度。在 RTK 的工作模式下,基准站是利用数据链将得到的观测值和观测站的测量信息传送到流动站。从而流动站不仅要接收来自基准站中数据,而且同时采集 GPS 中的数据,并且同时处理分析后解算出最终高精度结果。流动站可以处在静止的状态,也可以处于运动的状

态;可以在固定点进行初始化后再进入到动态作业,也可以动态条件直接开机测量,并在动态环境中完成模糊度整周的搜索求解(OTF)。在整周未知数解固定之后,可进行单个历元实时的处理,只要能保持在4颗及以上卫星观测值跟踪以及必要几何图形,流动站便能够随时地给出厘米级的定位结果。

在 GPS 沉降监测网布设中,基准点的布设和监测点的布设最为重要。在布设观测点中需要注意在一定范围内避免存在电台、电视台、微波中转站等具有信号源强的设施;避免存在高压线、变电器等强干扰源的设施。这样能最大程度地避免受到多路径效应干扰,从而提高数据获取的质量。本项目利用天宝 R7GNSS 系统,与系统软件相结合,对地表沉降实施连续的、实时的、动态的全方位监测,及时得到全面的高精度数据,满足自动化要求。在沉降监测区域内间隔布设 11 座监测点,在相对稳定地区布设 2 座监测基准点。要求水平精度优于 3mm,垂直精度优于 5mm。GPS 数据处理采用 Trimble 公司 Trimble-4D 软件进行了 GPS 网

统一的平差解算,监测点长期全天候监测,自动采集数据每4小时解译一次。

基于本项目通过在地面基准点和监测点架设多台高精度GPS接收机,实时接收观测数据文件后通过南湖在线沉降监测系统自动剔除异常值,利用Trimble-4D平差解算软件数据处理。处理结果软件给出最终GPS测站三维坐标和精度、速率等评定。最后将数据传输到T4D平台上绘成各个点位的沉降变化。

2.3 水准测量的技术理论和测量原理

水准测量的方法又称为“几何水准测量”,是传统的沉降监测的方法,是用电子水准仪或者光学水准仪、水准尺等设备测定两点之间高差的一种方法。在地面上两点之间安置水准仪,观测两点上树立的水准标尺,按尺上的读数推算出两点之间的高差。通常从水准原点或者是任一已知的高程点出发,之后沿着选定好的水准路线测定各个点的高程。在高程测量中水准监测是最为经典、常用的一种方法,早在20世纪初这种应用就在东京及其周边的一些区域检测,随着社会的不断发展,水准测量为地面沉降监测中提供了可靠的、高精度的高程变化量信息。

在本文研究项目区域共建设基准点4处,监测点75处;布设一条闭合水准路线作为基准网;7条符合水准路线和1条之水准路线为监测网。对基准网以二等水准测量的精度进行观测;对监测路线以三等水准测量的精度进行观测,得到所有监测点的高程,通过多次测量,对获取的高程成果进行对比,得到所有监测点的变化量。因此,我单位研发了具有自主知识产权的水准测量平差软件,并将新软件集成到移动终端,成功实现内外业一体化,大大提高了工作效率。对高精度智能化水准测量工作有重要的指导意义。《水准大师》软件在Windows10系统下开发,完成了“一次开发,跨平台运行”的目标,可以同时具有Windows10的电脑端和移动端使用。移动端可以有效地记录水准测量的野外观测数据,电脑端可以高效地处理水准测量的内业工作,适用于国家各等级水准、精密水准及普通工程水准测量。软件的基本功能由项目管理、数据字典、施工日志、水准仪校验、水准尺校验、基准点管理、待测点管理、区段管理、路段管理、路段外业测量、温度记录和成果管理等模块组成。为实现水准测量的高精度智能化提供了强有力的支撑。

3 监测结果比较与分析

本文研究项目对唐山南湖生态城区域沉降监测中的InSAR监测、GPS监测和水准监测等多种技术进行比较分析,三种测量手段产生的成果在反映真实的沉

降规律时具有高度的一致性,就目前得到的监测结果而言,三种监测结果均能体现出唐山南湖生态城区域西南部沉降速率较快,其他区域沉降较缓。该结果正好符合开滦开采生产情况,西南部为2010年后规划新开采区域,沉降剧烈,速率较快,其它范围为老开采范围,目前已基本进入稳沉状态。但在个别区域单点沉降值存在偏差,且差距较大。主要集中在水域边缘、植被茂盛且季节性变化较大的地区,分析其原因,主要由于受大气水汽、地表覆盖和SBAS-InSAR监测范围能力等因素影响而且水准测量数据成果精度较高,同时也验证了其它两种手段测量精度完全可以满足区域性地面沉降的监测应用需求。

本文所研究项目采用SBAS-InSAR与D-InSAR进行综合分析,获取特定时段内特定区域内的地表形变信息,提高InSAR监测精度。同时InSAR与GPS数据融合的结果能够很好地解决掉单纯使用GPS测量不能解决的采空区地表微小的形变弊端。但是InSAR技术存在众多的误差源在一定程度上影响到了其观测的精度,结合GPS数据不仅能够获取到高精度大地测量的控制点坐标,而且还能够站在站点以及时域间差分、校正InSAR产生的大气误差,利用其空间的定位优势来校正InSAR数据处理的结果,最终进行精确几何的定位。水准点与GPS点进行联测同时作为GPS点参与InSAR解算,是三种技术融合的关键节点,水准测量作为传统测量手段,测量精度高,其可信度已得到普遍认可。三种技术手段相互融合对地下采空区监测是一种全新的尝试和挑战,不仅能够削弱各种误差等因素影响,而且大大地提高了形变监测精度。展望在未来将要实现多种技术完全的融合仍然有许多问题需要进一步地研究,其问题主要包括相位解缠法、区域内水汽模型以及大气层内延迟误差的改正模型、时间域和空间域融合模型的算法等许多方面。

4 结语

本文研究了水准、InSAR、GPS三种方法监测的技术原理和应用,充分利用各种监测手段的优势,实现了三种手段优势互补,相互验证,获得了点、面的综合地面沉降信息。以水准监测点为基础,将其它监测手段与其相联系,即在相同地点布设不同类型的监测点,这样既可实现对项目区沉降观测的全覆盖,又可在保证垂直监测精度的同时达到满足水平监测的要求,并且突出了对重点建筑物和重点区域的监测,形成全面有效的监测网络。利用多种技术融合进行地面沉降监测的领域将具有更广阔的应用前景。