

# Deformation monitoring and measurement analysis during dynamic mining process

Bei Yang

Wutong Zhuang Mine of Jizhong Energy Co., Ltd., Handan, Hebei, 056201, China

## Abstract

As the scale of modern mining operations continues to expand and the depth of mining continues to increase, problems may arise due to various uncertain factors. Therefore, deformation monitoring should be highly valued during the dynamic process of mining and implemented in specific work. The accuracy and timeliness of deformation monitoring help maintain mining safety, avoid affecting the surrounding environment, and promote the sustainable development of mining resources. During the process of deformation measurement in mines, a large amount of data information is generated. To process it, it is necessary to achieve multi-source data fusion and multi technology collaboration, in order to provide early warning of risks and take management and control measures. This paper focuses on the research of deformation monitoring and measurement in the dynamic process of mining.

## Keywords

mining operations; Dynamic process; Deformation monitoring; Hydrogeological numerical model; Rock movement monitoring

# 矿山开采动态过程中的变形监测与测量分析

杨贝

冀中能源股份有限公司梧桐庄矿, 中国·河北 邯郸 056201

## 摘要

现代矿山开采领域的开采作业不断扩大规模,且持续增加开采深度,就会由于各种不确定因素的影响导致一些问题。所以,矿山开采动态过程中要高度重视变形监测,并落实到具体工作中。变形监测的准确性和及时性,有助于维护矿山开采安全,且避免影响周边环境,对矿山资源持续开发起到促进作用。矿山变形测量过程中会产生大量的数据信息,对其进行处理中要做到多源数据融合和多技术协同,以对风险早期预警并采取管理控制措施,本论文针对矿山开采动态过程中的变形监测与测量展开研究。

## 关键词

矿山开采作业; 动态过程; 变形监测; 水文地质数值模型; 岩层移动监测

## 1 引言

矿山开采技术操作复杂且风险系数高,所涉及的因素很多,涵盖地质因素、工程因素以及环境因素等等。进行开采时,矿山地质无法维持原有的结构,其产生变化的过程中很有可能导致破坏,无论是地表还是地下结构都难免变形,矿山安全受到影响,且降低生产效率<sup>[1]</sup>。所以,对矿山开采进程中要跟踪监测地质结构的变形情况并测量,此为维护矿山生产安全且保护生态环境的重要手段。

## 2 变形监测的重要性

矿山开采中会导致地质结构变形,比较常见的是地表出现沉降、岩层发生移动或者地下水改变流动方向等等。如果矿山企业没有及时监测到变形,就无法针对性控制,开采

风险概率就会增加,诸如坍塌事故、设备损坏而无法运行或者人员伤亡等等。所以,矿山开采中,要高度重视变形监测并落实到位,这对于顺利完成开采任务具有重要意义。

其一,做好变形监测工作,如果矿山结构发生变化能够及时发现,矿山安全管理过程中以此作为重要依据。通过监测所获得的数据,能够了解矿山结构状况,判断其是否稳定,以针对性地应对,降低不良事故发生率。

其二,做好变形监测工作,所获得的数据信息为矿山开采设计提供参考。设计人员通过分析这些信息,对山地质结构变化情况以了解,从中寻求规律,对开采设计方案优化,以在开采工作中提高效率。

其三,做好变形监测工作,以此为依据采取有效措施保护矿山环境。矿山开采过程中,地表发生变动,地下水流动,很有可能造成环境破坏。采用科学有效的变形监测技术,当存在这些问题的时候能够及时发现,以有效应对,维护良好的环境。

【作者简介】杨贝(1991-),中国河南商丘人,本科,工程师,从事矿山测量与地表减沉研究。

## 3 变形监测的方法

### 3.1 地表沉降监测

矿山开采中容易引起地表沉降,所以,对于这方面问题做好监测是非常必要的,比较有效的方法是 GNSS/GPS 测量,结合使用 InSAR 技术等。水准测量过程中,要对地表的高程变化进行测量,如果地表沉降时能够准确捕捉到蛛丝马迹。GPS 测量中,当地表出现三维位移的时候,能够实时监测到。应用 InSAR 技术,主要的工具是合成孔径雷达,对各个时间点的地表影像比较分析,即便出现非常微小的变形也能够监测到。

其一,GNSS/GPS 监测。应用 GNSS 和 GPS 监测矿山地表沉降,是对矿区监测范围内对卫星定位接收器合理布设,旨在实时捕捉并获取地表三维坐标,掌握变化数据。为了保证监测范围覆盖面大且监测结果准确,布设接收器的时候,对于矿区的各项代表性因素,诸如地形地貌、开采范围等综合考虑。例如,矿区多处于地势较为复杂的山区,包括山峰、山谷等位置都要设置接收器,保证整个矿区范围内都可以发挥其功能。GNSS/GPS 监测面积非常大,可以达到数十平方公里,甚至达到上百平方公里,GNSS/GPS 监测系统的应用,通过接收器就能够快速获得信息,且保证数据准确,数据实时产生并传输到监测中心,用以支撑矿区安全评估。

其二,InSAR 技术。InSAR 技术是应用卫星遥感技术监测的先进方法,其是将合成孔径雷达卫星数据充分利用起来,对各个时间电锁获取的雷达图像经过干涉处理之后,就可以发现非接触式监测地表微小形变。该技术应用所获得的结果精度非常高,能够达到毫米级,适合于长期监测。InSAR 技术的一个重要优势在于,对一个矿区可持续多年监测,获得的数据量逐渐增加,据此对地表沉降的长期趋势分析。例如,在一个煤矿开采区,经过多年的监测,发现该区域的地表沉降幅度逐年增加,而且呈现出沉降速度快的趋势,这就为矿区的后续开采规划和安全防范提供了重要依据。该技术为非接触式监测,不会受到复杂地形的影响,也不会受气候环境变化的影响,即便是偏远山区,或者环境非常恶劣,监测工作依然可以顺利实施。

### 3.2 岩层移动监测

其一,巷道传感器网络。将光纤光栅传感器、应力计等各种设备在井下巷道布设好,形成一个网络,如果出现岩层移动,能够准确检测到。当岩层产生的变化微乎其微,光纤光栅传感器也能够发现,转化为光信号,以光纤为渠道传输到监测中心并处理。关于岩层应力测量方面,使用应力计可以实现,所获得的结果为岩层稳定性判断的依据。进行传感器布设的过程中,要考虑到巷道布局、岩层地质环境等,确保规划的合理性。比如,在巷道中的一些位置比较关键,诸如交叉口以及断层附近等等,需要更多的传感器,当岩层发生异常变化的时候,能够及时发现。通过对岩层实时监测,分析所获得的数据,能够准确判断岩层的潜在危险,采取应

对措施解决,减少顶板冒落、巷道变形等不良事故。

其二,三维动态建模。基于无人机航测、地质雷达数据构建矿山三维模型,是一种直观、有效的监测岩层移动的方法。无人机航测可以快速获取矿山地表的高精度地形数据,地质雷达则可以探测地下岩层的结构和分布情况。将这些数据进行整合并处理之后,就可以构建出矿山的三维模型。在开采过程中,由于新的数据信息实时产生,模型数据也要及时更新,可以模拟开采过程中岩层移动的路径以及影响范围。比如,地下煤矿开采过程中,通过三维动态建模可以了解到一个现象,即煤炭开采不断深入,岩层会向下移动,这种移动对周边岩层以及地表都会有一定的影响。这有助于管理人员提前制定开采方案,防止由于岩层移动造成安全事故。

### 3.3 地下水流动监测

其一,地下水位监测井。地下水位监测井能够深入到地下含水层中,所以,对于地下水位高度能够准确测量。测量的过程中应用压力式水位计,对水压进行测量,并将水位变化情况精准计算出来。监测井布设过程中,需要考虑的因素有很多,包括开采区域范围、含水层分布情况等<sup>[2]</sup>。例如,监测井设置在开采区域的各个方位以及各个深度,以对地下水变化情况全面了解。通过实时监测地下水位,当水位出现异常的时候,诸如水位突然升降,都能够及时发现。

其二,水文地质数值模型。通过运行 Modflow 软件将水文地质数值模型构建起来,对采矿排水的整个过程模拟沉降,了解地下水径流场的扰动情况,通过分析相关数据,就可以对疏干漏斗扩展范围准确预测。此项操作过程中,可针对地下水流构建基本方程,设置边界条件,以对地下水流动情况准确模拟。矿山开采中需要排水,容易导致地下水的径流场发生变化,疏干漏斗因此形成。将水文地质数值模型建立起来,将采矿排水参数输入,包括疏干漏斗的形成以及扩展过程都能够准确模拟。比如,对各个开采阶段模拟,疏干漏斗不会维持原有的范围,通过模拟操作可分析,还可了解开采对周边地下水系统所造成的影响,以对采矿排水方案合理规划。

## 4 变形测量的数据处理

### 4.1 数据采集

选择高精度的测量仪器实施变形监测,应用科学方法采集数据信息。开展这项工作的过程中,对测量仪器校准,并控制好测量环境,以获得准确可靠的数据信息。

进行数据信息采集的过程中,主要发挥作用的设备是全站仪、GPS 接收器、激光扫描仪以及雷达。其中,全站仪的主要功能是三维坐标定位,GPS 接收器能够实施大范围监测且保证结果精准可靠,激光扫描仪能够点云数据且分辨率非常高,雷达则用于探测地下结构。测量巷道的过程中,与贯通测量结合,实施布点监测,了解振动情况,并对地下

水准定位,由此从多个维度采集数据信息<sup>[3]</sup>。本操作主要应用无线通信技术,结合使用物联网技术,所有的数据信息快速准确传输,保证动态监测的持续性。

当然,数据信息采集过程中还需要面临一个重要问题,就是环境干扰因素的存在,需要将影响设备精度的因素排除,诸如温度、湿度以及电磁干扰等等。

采集数据信息的时候,还要设置好基准点,将稳定的基准坐标系建立起来,以对比后续的变形量。

#### 4.2 数据处理

变形监测数据的处理,主要包括数据的滤波、插值和拟合等步骤。数据的滤波是通过去除噪声,提高数据的质量。数据的插值是通过补充缺失的数据,保证数据的完整性。数据的拟合是通过建立数学模型,描述变形的规律。

对这些数据信息处理的过程中,采用数据清洗方法将异常值剔除。在此过程中,工作人员要分析异常数据产生的原因,主要为设备运行故障导致,或者环境影响导致数据错误。进行数据校正的过程中,可采用基准点校准方式,也可以实施坐标系转换<sup>[4]</sup>。为了掌握数据处理效果,可采用建立数据模型的方式,将GIS软件充分利用起来,构建立体化的地表变形图,绘制沉降曲线,各项数据可视化呈现。

关于高频率的噪声,可以采用滤波算法消除,因为小波变换滤波方法或者卡尔曼滤波都可以解决这方面的问题。

对于海量数据的管理,可以采用分布式存储方式,可用的设备包括云端服务器或者分布式数据库,存储效率提高且安全可靠。

#### 4.3 数据分析

变形监测数据的分析,主要包括变形的趋势分析、变形的预测和变形的评估等步骤。变形的趋势分析是通过分析数据的变化趋势,了解变形的规律。变形的预测是通过建立预测模型,预测未来的变形情况。变形的评估是通过评估变形的程度,判断矿山的安全状况。

具体的操作中,对于数据统计分析,对于变形速率、累计变形量以及标准差等各项指标采用计算方法计算出来,据此对异常区域准确识别<sup>[5]</sup>。使用GIS技术实施变形梯度分析,结合使用空间插值,基于已知的离散空间数据点推断变形扩散趋势。

对于推断是否准确以验证,主要应用数值模拟技术,建立有限元模型以模拟操作开采的整个过程。通过分析模拟操作呈现的图像,可明确开采作业对地表造成的不良影响。

预警模型动态运行过程中,以时间序列分析方法就可以预测未来变形状况并统计变形量,结合阈值就可以将预警设备触发。

对开采风险评估的时候,以变形速率为依据,结合分布特征,可评估建筑物破坏风险,同时对地质灾害发生概率预测,制定优化方案。

#### 4.4 成果输出

通过对变形测量所获得的数据信息统计,将数据转化为视频,实现可视化展示。变形趋势方面,可以使用三维曲面图呈现,对于变形的过程则以动态曲线图展示。工作人员分析图像内容,所获得的结果形成报告。

### 5 结语

通过研究明确,矿山开采动态过程中实施变形监测与测量,不仅保证矿山安全生产,还避免对地质环境以及生态环境造成严重破坏。采用科学有效的监测方法,结合应用数据处理技术,如果矿山结构发生变化,可以及时发现,由此矿山安全状况预测,对开采方案不断优化,避免对环境造成不良影响。随着各种高端监测技术涌现出来,就会有更加先进的变形监测技术应用于矿山开采中,提高监测结果的精准度。

#### 参考文献

- [1] 霍漫,何浩.测量机器人技术在矿山边坡变形监测中的应用[J].江苏建材, 2024, 000(4):142-144.
- [2] 李俊鹏,王文才,王创业.边帮压煤井工开采诱发边坡变形破坏及失稳控制研究[J].煤炭技术, 2024, 043(11):140-146.
- [3] 张卫.基于三维激光扫描的矿山开采沉陷地表变形监测与损伤分析[J].科学技术创新, 2025, 000(1):58-61.
- [4] 张慧敏,邹进,李洪彦,等.基于轨道雷达在某露天-地下联合开采边坡监测中的应用[J].矿产勘查, 2024, 015(S01):256-263.
- [5] 付亮吕,吴涛,杨泽,等.基于位移变形监测和FLAC<sup>3D</sup>南大沟排土场边坡稳定性分析[J].中国矿业, 2024, 033(S01):137-142.