

# Application and Practice of Automatic Monitoring System for External Deformation in Coal Mining Collapse Section of Kongzhuang Coal Mine

Tianwei Liu

Kongzhuang Coal Mine, Shanghai Datun Energy Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

## Abstract

Part of Kongzhuang Coal Mine is located within the scope of the West Embankment of Nansi Lake, and the mining of underground coal seams leads to surface subsidence, which poses a threat to the flood control safety of the West Embankment. The paper introduces the application of GNSS automatic deformation monitoring technology in the coal mining subsidence section of the Huxi embankment. By constructing an external deformation automatic monitoring system, real-time online monitoring of the embankment deformation status is achieved, providing strong data support for embankment reinforcement and safety disposal. The system has the characteristics of innovation, practicality, and strong scalability, and its stability has been fully verified, playing an important role in ensuring the flood control safety of water conservancy projects. Therefore, it is particularly important to establish an automated system for long-term monitoring.

## Keywords

GNSS technology; automatic deformation monitoring; Huxi dike; coal mining collapse

# 孔庄煤矿采煤沉陷段外部变形自动监测系统的应用与实践

刘天威

上海大屯能源股份有限公司孔庄煤矿, 中国·江苏·徐州 221000

## 摘要

孔庄煤矿部分区域位于南四湖湖西大堤的范围内, 地下煤层的开采导致地表沉陷, 对湖西大堤的防洪安全构成威胁。论文介绍了GNSS自动变形监测技术在湖西大堤采煤沉陷段的应用情况, 通过构建外部变形自动监测系统, 实现了对堤防变形状况的实时在线监测, 为堤防加固和安全处置提供了有力的数据支撑。系统具有创新性、实用性和可推广性强的特点, 其稳定性得到了充分验证, 为保障水利工程防洪安全发挥了重要作用。因此, 建立一套长期监测的自动化系统尤为重要。

## 关键词

GNSS技术; 自动变形监测; 湖西大堤; 采煤塌陷

## 1 引言

孔庄煤矿隶属于中煤集团大屯公司, 位于江苏省沛县和山东省微山县境内, 井田面积 44.14km<sup>2</sup>。矿井于 1972 年 10 月批准建设, 1973 年 10 月 1 日筹建开工, 1977 年 7 月 1 日正式竣工投产。主井位于沛城北 4 公里处, 大屯矿区最南端, 东靠著名的微山湖和黄金水道京杭大运河, 有着十分便利的水上运输条件。孔庄煤矿处于南四湖湖西大堤的范围为 2.71km, 湖西大堤对于保护苏鲁两省湖西 200 万人民生命财产安全, 保护 400 多万亩良田, 保护湖西重要煤矿及城镇安全具有重大意义。过去部分人工变形监测观测点, 测点少,

主要是观测沉降, 由于起测基点距离远, 人工观测精度低, 观测频次和资料整编均不满足规范要求。根据水利堤防有关规定, 所有水工建筑物均应设置外部变形监测项目。因此, 建立一套长期监测的自动化系统, 对大堤采煤沉陷段的变形情况进行实时监测, 及时采取加固和安全处置措施, 显得尤为重要<sup>[1]</sup>。

## 2 传统观测方法误差分析

常规监测方法在很长一段时间内为大坝, 大型建筑物等形变监测做出了贡献, 但其监测方法时效性低, 测量成果不具有同时性, 降低了成果的科学性和使用价值, 而且采用常规方法观测周期长, 无法实时地了解建筑物的变形情况。目前大坝、水闸、堤防常规的表面变形监测方法是将水平位移和垂直位移分开观测, 垂直位移监测主要有几何水准法和流体静力水准法。水平位移监测有引张线法、视准线法、激

【作者简介】刘天威(1996-), 男, 中国辽宁辽阳人, 本科, 助理工程师, 从事煤矿安全与生态环保、煤矿地质监测研究。

光准直法,正(倒)垂线法,前方交会法和精密导线法等。通常,对于大坝、水闸、堤防工程等采用常规变形测量方式,垂直位移采用精密水准法,水平位移采用视准线法。视准线法用于测量直线型大坝、堤防的水平位移,对于非直线型大坝和堤防,可采用分段视准线的方法施测。视准线法又可分为活动觇牌法和测小角法。测小角法精度优于活动觇牌法。视准线法的特点是工程造价低,精度低,不易实现全自动观测,受外界条件的影响比较大,而且变形值不能超出系统的最大偏距值。测量误差总体上分为三类:与操作者有关误差、与仪器有关误差以及与环境有关误差。受现场观测条件限制以及常规仪器自身不可避免的缺陷,工作基点大都离监测点数公里远。距离的增加,各类误差如目标照准误差,大气改正误差,尤其是测角和测距误差对点位的综合误差明显增大。仪器观测要求观测点与工作基点之间,工作基点与工作基点之间通视,这是制约现场观测的一个很大瓶颈。部分监测点设置在较高的危岩体边缘,很难找到比较合适的工作基点能与所有的监测点通视。通视条件限制同样是导致观测距离增加的主要原因,因为部分监测点所在高程较高,导致工作基点选在较远的山头,造成仰角过大,大气折光差增大。受制于光电测距的原理,全站仪等常规只能在光照不太强或者阴天的情况下工作,而一旦阳光强烈则会对全站仪自动寻找目标产生严重干扰,无法观测。晴天时,一天之中只有早上10点前,下午4点后几个小时的有利观测时段。同样在阴雨天气和有雾天气也无法观测,而阴雨天气却是边坡变形最严重的时期,导致无法及时发现边坡变形。传统的方案需要进行多测回测角、测距并且要精确测定大气改正参数并进行多项误差改正才能达到相应的观测精度,这导致外业劳动强度大、实际作业中效率非常低<sup>[2]</sup>。

### 3 GNSS 自动变形监测技术介绍

GNSS(全球导航卫星系统)技术以其高精度、高效率、全天候的特点,在变形监测领域得到了广泛应用。GNSS自动变形监测系统通过布置测站,利用卫星信号进行三维位移测量,实现了对目标区域的实时在线监测。系统具有以下特点。

#### 3.1 高精度测量

系统采用先进的GNSS技术,可获得毫米级精度观测数据,确保监测结果的准确性。毫米级的精度已可满足一般大坝、水闸等水利工程变形监测的精度要求,如需要更高的监测精度时可增加观测时间和时段数。正因为GNSS定位技术具有上述优点,因而在大坝、堤防、水闸、桥梁、隧洞监测中得到了广泛的应用,成为一种新的、有效的监测手段。

#### 3.2 全天候监测

GNSS测量不受气候条件的限制,在风雨雾霾中仍能进行观测。这一点对于汛期的崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害监测是非常有利的。测站间无需保持通视,因而可使变形监

测网的布设更为自由、方便。可省略许多中间过渡点(采用常规大地测量方法进行变形监测时,为传递坐标经常需要设立许多中间过渡点),且不必建标点,从而可节省大量的人力物力。

#### 3.3 自动化程度高

系统具备高度自动化特点,可自动采集、处理和分析监测数据,减轻人工劳动强度。由于GNSS接收机的数据采集工作是自动进行的,而且接收机又为用户预备了必要的接口,故用户可以较为方便地把GNSS变形监测系统建成无人值守的全自动化的监测系统。这种系统不但可保证长期连续运行,而且可大幅度降低变形监测成本,提高监测资料的可靠性。

#### 3.4 可同时测定点的三维位移

采用传统的大地测量方法进行变形监测时,平面位移通常采用方向交汇、距离交汇、全站仪极坐标法等手段来测定;而垂直位移一般采用精密水准测量的方法来测定。水平位移和垂直位移的分别测定增加了工作量。且在山区等地进行崩滑地质地段监测时,由于地势陡峻,进行精密水准测量也极为困难。改用三角高程测量来测定垂直位移时,精度又不够理想。而利用GNSS定位技术来进行变形监测则可同时测定点的三维位移。由于我们关心的只是点位的变化,故垂直位移的监测完全可以在大地高系统中进行,这样就可以避免将大地高转换为正常高时由于高程异常的误差而造成的精度损失<sup>[3]</sup>。

#### 3.5 实时在线访问

监测数据可实时在线访问,方便矿上和流域管理单位及时了解堤防工程内部变化情况。

## 4 湖西大堤采煤沉陷段外部变形自动监测系统的构建与应用

GNSS监测系统不需要建设专门的观测房,不需要彼此之间的通视,但需要保证对天空通视,少量遮挡也不影响观测,随着中国北斗导航系统的建立,自动变形监测点建设造价逐步降低,得以推广。对于监测点分散且监测区域大于500m范围的变形监测工程,若想实现自动化监测,目前唯一的手段就是选择GNSS的监测方案。针对湖西大堤采煤沉陷段的变形监测需求,我们构建了外部变形自动监测系统。该系统通过合理布置测站,利用GNSS技术实现对堤防变形状况的实时监测。为保证测量精度,监测卫星信号接收机同时支持7条同步独立基线输出的多功能型多频点、多系统GNSS。随着在轨卫星数量的增加,结合自身多频多模的优势,提供稳定可靠的毫米级RTK定位服务功能,满足不同场景应用需求。多功能接收机将最新的多频GNSS技术融入专业的处理及通信框架。采用互联网协议(IP)为主要通信方式,可使用公用工具(如网络浏览器及FTP客户端)来配置接收机并访问记录的数据文件。建立起一个功能

强大而稳定的连续运行参考站 (CORS) 或从临时野外区域采集数据, 提供大地测量、各类场景监测、导航测姿等丰富的功能。

## 5 系统应用效果

为保证监测精度在工业广场内, 选择稳定地质条件处建立自动变形监测参考站点, 以此构建整个孔庄煤矿 GNSS 变形监测网络。各个监测点位安装卫星天线, 接收机负责附近卫星天线处理变形监测数据, 通过无线通讯 (GPRS) 的方式实时传输到云端服务器, 进行实时动态监测。实时动态监测方式是实时监测变形体的动态变形, 其特点是采样密度高, 例如每秒钟采样一次, 而且要计算每个历元的位置, 数据处理主要采用运动中载波相位模糊度解法, 用已求得的整周模糊度计算每一历元接收机的位置, 进而分析变形体的变形特征及原因, 最终通过数据分析软件自动生成各监测点的变化量曲线图, 根据曲线图对于监测点的变化趋势进行分析, 对于监测点的异常情况可以及时作出告警。各 GNSS 变形监测点, 当完成其监测工作使命后, 可重复使用, 设备可整体搬移至新的监测点, 只需在新监测点浇筑混凝土基座, 监测设备进行对接即可, 仅需在软件上作点位名称的适当修改。

考虑到堤防工程外部变形观测点分散, 现场无市电可用, 同时为避免市电感应雷的影响, 布设交流电供电, 成本大且难以维护, 因此, 只能采用堤防现地发电方式解决野外用电需求。由于 GNSS 主机与视频监控均为 24 小时在线工作, 采用光伏板 + 铁锂电池供电, 可有效防止引用交流电可能导致的雷电感应破坏。供电系统需保证一定的容量, 即使遇到连续阴雨天气, 也要保证 1 周左右的供电时间, 以保证变形监测数据的连续性。监测主机 24 小时解析精度水平和垂直  $\pm 2\text{mm}$ , 每周解析一次精度可达水平  $\pm 0.8\text{mm}$ 、垂直  $\pm 1.0\text{mm}$ , 因此可实现实时监测预警。变形测点和参考站点设备相同, 各个监测点位分别安装卫星接收机和天线, 通过物联网 GPRS 网络通讯方式实时传输到远端监控云平台的服务器上, 通过服务器上安装的专业软件实时或事后解算出各监测点的三维坐标并保存到数据库, 最终通过数据分析软件自动生成各监测点的变化量曲线图, 根据曲线图对监测点的变化趋势进行分析, 见图 1、图 2。



图 1 孔庄煤矿自动变形监测布置图



图 2 位于孔庄矿工业广场的监测基点 (正视角度)

## 6 结语

自系统投入运行以来, 其应用效果显著。不仅实现了对堤防变形状况的实时监测, 还为堤防加固和安全处置提供了有力的数据支撑。通过及时掌握堤防的累计变形量、变化速率及阶段性变化量等信息, 工程管理人员能够有针对性地采取加固措施, 确保堤防的安全稳定。此外, 系统的创新性、实用性和可推广性强的特点也得到了充分验证, 为类似工程的变形监测提供了有益的参考。

### 参考文献

- [1] 如黑艳·木合买尔,毛伟,张峰,等.一种基于卫星遥感图像的地质灾害监测系统:CN202020554432.8[P].CN211827520U [2024-05-30].
- [2] 余学祥,张美微,吕伟才,等.GNSS/GI S集成的采煤沉陷区铁路自动化监测系统研究[J].现代测绘,2014(4):3-7.
- [3] 刘先辉,甘勇,刘国旺.应用北斗卫星导航系统实现煤矿地表沉陷智能监测[J].煤炭与化工,2020(12):43.