

# 基于北斗卫星系统的露天矿边坡稳定性应用研究

李森 张斌 张轩斌

山西煤炭进出口集团河曲旧县露天煤业有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v3i1.519

**[摘要]** 露天矿边坡的稳定性涉及地面设施的安全及生产的连续性。边坡岩体的滑动变形往往受到岩体岩性特征、地质构造、地震作用、地下水、气象条件、边坡设计等等因素,其影响因素较为复杂,往往受多方面因素互相影响、相互制约。故而在矿山日常剥采生产过程中,对于边坡进行不间断监测形变情况就显得尤为重要。本项目采用北斗卫星监测系统,对山煤集团河曲露天矿东帮、西帮、内排土场、1号排土场、2号排土场进行实时、高精度自动化监测。

**[关键词]** 北斗卫星导航系统; 露天矿边坡; 自动化监测

## 1 概述

山西煤炭进出口集团河曲旧县露天煤业有限公司煤矿位于河曲县东南方向27km处旧县乡范家梁村、硬地岭、何家焉一带,行政区划属河曲县旧县乡,其地理坐标为:北纬 $39^{\circ} 05' 18''$ — $39^{\circ} 09' 45''$ ;东经 $111^{\circ} 09' 55''$ — $111^{\circ} 13' 50''$ 。

本露天矿采掘场边坡地层的构成,主要为马兰组黄土、第三系砂土、砂质泥岩、砂岩、泥岩和煤等的混合型边坡。岩石质量较差,稳固性也较差。受区域构造范家梁新褶皱带的控制,矿田构造形态总体为一倾向北西的单斜构造,地质构造对矿山边坡稳定性影响较小,但随着矿山的开采,在断层处不排除发生小的片帮滑落可能。

针对河曲旧县露天煤矿采场的实际条件,影响边坡稳定性的主要因素为地下水、采空区、边坡的坡高及坡角和岩土体物理力学性质等。所以,建立高精度、实时的、稳定的北斗边坡监测系统对保证河曲露天矿边坡安全具有重要作业。

## 2 北斗卫星导航系统

北斗卫星导航系统是继美国GPS、俄罗斯GLONASS之后,由我国自主研发的全球卫星导航系统。计划在2020年左右由现阶段的覆盖亚太地区,逐步发展到服务于全球用户。未来北斗卫星导航系统将广泛服务于国防、自然资源、水利海事、交通、林草、测绘、环保、应急、人工智能、大数据等等各个行业。

### 2.1 基于北斗定位技术的边坡稳定性监测原理

基于北斗卫星的露天矿形变监测网由布设在稳定区的若干基准站构成的基准网与布设在形变滑坡区域的若干监测站构成的监测网构成。在基准网约束内,通过计算边坡监测点每期的测量坐标与其初始测量坐标差,即可计算出监测站点位移变化量,从而预测是否有滑坡危险。

假设监测点位初始坐标为 $(X_0, Y_0, Z_0)$ ,经过 $N$ 个测量周期后,该点位测量坐标为 $(X_n, Y_n, Z_n)$ ,则在 $N$ 个测量周期内该监测点位位移变化为 $(\Delta X_n, \Delta Y_n, \Delta Z_n)$ 。同理即可计算出各个监测点在各个方向的位移变化值。

### 2.2 北斗监测系统组成

北斗自动化位移监测系统由传感器系统、数据传输系统、数据处理和控制系统以及辅助支持子系统。

本次监测主要监测河曲露天矿边坡位移情况,故采用北斗接收机传感器,实时记录监测点三维坐标。

传输系统传输方式包括有线传输和无线传输。有线传输包括光纤、网线、RS485、RS422等;无线传输包括无线网桥、2G\3G\4G通讯模块、Zigbee等。有线和无线相结合的组合式通讯,根据现场实际环境布置最优的通讯方案。本项目通过实地踏勘最终确定采取4G网络传输方式。

数据处理和控制子系统是整个监测系统的的核心,是监测系统的核心及系统的监控中心,监控中心服务器实时采集、处理、存储、分析、显示、报警各类传感器数据。

辅助支持子系统包括供电、避雷、综合布线等,保障整个系统在各种环境下安全、稳定、长时间连续工作。

### 2.3 北斗监测系统优势

北斗监测系统作为一种三维的空间定位技术,目前在矿山、地质灾害、水利大坝监测、桥梁健康监测等行业。

其优点主要表现在:基准站与监测站、监测站与监测站之间无需通视,北斗接收机在获取卫星信号时只要周边空旷无遮挡、没有电磁场等产生多路径效应的影响因素。所以北斗监测网在选点时比常规人工监测选点更为灵活、简便;目前北斗卫星已经覆盖整个亚太地区,基本保证搜星十几颗以上。一方面保证了监测数据精度,另一方面实现了全天候测量,且不受雾霾、强风、雨雪等恶劣天气影响,特别是露天矿边坡灾害往往发生在气象环境恶劣的时候;北斗监测系统监测自动化程度高,北斗接收机能自动跟踪锁定卫星信号,实时接收原始数据并通过4G网络传回监控室,数据解算软件自动解算分析原始数据,并发布和自动预警。真正实现了采集、传输、处理、分析、报警到入库的自动化和实时化;抗干扰性好、保密性强。北斗定位监测系统,被动式接收卫星信号即可获取定位信息和导航数据,其用户数量冗余度高、隐蔽性高,伪噪声码技术使数据的保密性和抗干扰性高。

## 3 山煤河曲露天矿边坡监测项目

### 3.1 监测点位踏勘选址

以露天矿边坡区域现场环境和该区域地质环境等因素为依据,选择具有代表性的点,同时在重要的道路、建筑设施、开采通道等重要的监控区域要布设监控点,总体要求是监测点所形成的区域要涵盖边坡所在区域。

据监测网设立要求将监测点布设在主剖面上,每条剖面布设北斗监测点至少为3个,边坡平台、边坡隆起带分别布设北斗表面位移监测点,根据边坡纵剖面长度适当进行加点,不要求平均布设,但是需要在特定地貌单元必须布设。

监测站布置需要形成横向剖面,即垂直于主滑方向。横向剖面可以对边坡位移进行修正,达到多重监测,多重检查,提高边坡监测预警准确性。

根据监测网设立及现场条件将GNSS地表监测设备形成纵横网状结构,用于分析边坡沿主滑方向的位移趋势,同时使用横向剖面进行位移修正,从而达到整个坡体表面的监测。

同时满足以下GNSS本身选址的要求:

a点位置开阔,为有利于卫星搜索,视线条件内障碍物的高度不宜超过 $15^{\circ}$ ; b距离高压线、信号塔等大功率无线电发射源200米以上; c距离高压输电线和微波无线电传送通道50米以上; d尽量选择4G网络传输信号良好的地址; e观测墩的高度不低于2米; f观测标志应远离震动。

根据目前山煤河曲露天矿采场情况,结合采煤需求以及边坡监测需求,我方在永久边坡东帮设立6个监测点位、西帮设置3个监测点,分别在内排土场,1号排土场,2号排土场各沿坡面设立3个监测点位,共计18个监测点位。

### 3.2 山煤河曲露天矿边坡监测系统实施

3.2.1 移动式观测站设计。对于移动式观测墩,埋入地表深度不小于0.2m,采用基座和整体机箱连接结构。在机箱下部底部支撑下焊接20cm地埋组件,保证机箱在大风天气下稳定。

3.2.2 供电系统实施。本项目监测点采用太阳能供电方式。基站采用市电供电方式。

#### 3.3 防雷系统实施

(1) 直击雷防护。具体避雷方式要求避雷针与被保护物体横向距离不小于防雷要求,避雷针高度按照“滚球法”确定,保护角度近似按照 $45^{\circ}$ 计算。

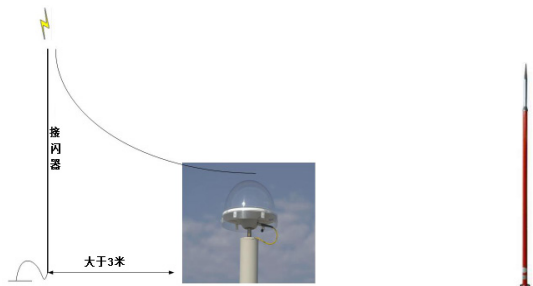


图1 直击雷预防示意图

图2 避雷针

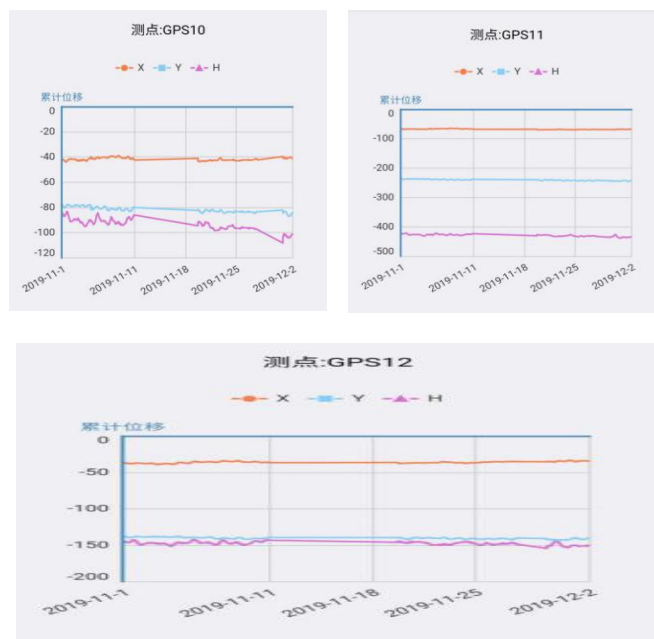
(2) 感应雷。为防止感应雷造成的电流对传感器产生损害,在传感器端加装防雷装置;同时在避雷针的接地端与避雷网连接处做防锈处理,保证其导电良好。

#### 3.4 数据解算与分析

山煤河曲边坡监测软件的变形监测网络中的每个北斗接收机只需要输出卫星的原始数据和星历,原始数据包含伪距和载波相位数据等,星历指卫星发播的广播星历。数据无线传输到监测机房解算软件端,获得每个监测点的原始实时数据流并对这些原始数据进行实时差分解算,得到各监测站的精确三维坐标,并存入数据库或发送给客户端。

#### 3.5 山煤河曲露天矿北斗监测数据统计分析

山煤河曲监测软件能够对进行实时监测预警、历史数据查询、历史曲线查询,允对监测历史数据进行筛选,并以曲线图的形式展现各监测点位滑动趋势和滑动变化量。



如上图所示,选取了内排土场纵断面的10号、11号、12号监测点的1个月监测数据。实时监测预警情况下,设定了 $X=30\text{mm}$ , $Y=25\text{mm}$ , $H=50\text{mm}$ 的实时预警数值。在监测周期内,没有发生达到或者超过预警值的情况。内排土场监测点的累计位移变化曲线平稳,没有出现加速位移现象。通过这两个功能总体反映出的情况,可以看出山煤进出口内排土场边坡基本处于稳定状态。

### 4 结束语

基于北斗卫星导航系统露天矿边坡监测系统,实现了对露天矿边坡位移的全天候自动化预警。山煤河曲露天矿监测系统运行连续、稳定,实现了高精度、全自动、实时监测的目的。充分利用精密定位功能对露天矿边坡位移实现自动化监测,为北斗在该领域的应用做出了一定的贡献。

#### [参考文献]

- [1]周丽静.基于北斗卫星系统的矿边坡位移监测系统研究[D].西安建筑科技大学,2015(05):23-25.
- [2]李宁,张强.基于北斗系统的海上应急救援系统的研究[J].中国海事,2019(07):49-51.
- [3]金山.黑岱沟露天煤矿选煤厂排矸场稳定性及其控制技术研究[D].辽宁工程技术大学,2012(04):45-56.