

露天矿山边坡稳定性在线监测与分析

赵杨 李明

中煤科工集团沈阳研究院有限公司

DOI:10.12238/fgmsmr.v1i1.9397

[摘要] 随着露天矿山开采规模的不断扩大,矿山边坡稳定性的问题日益凸显。本文旨在探讨新疆宝明矿业有限公司石长沟露天矿边坡在线监测与分析的方法与技术。介绍了当前露天矿山开采的现状及其对环境和安全带来的挑战,详细阐述了在线监测的重要性以及其在矿山边坡稳定性管理中的应用。

[关键词] 露天矿山; 边坡监测; 边坡雷达

中图分类号: TN95 **文献标识码:** A

Online monitoring and analysis of slope stability in open-pit mines

Yang Zhao Ming Li

Middling coal Science and Engineering Group Shenyang Research Institute Co., Ltd

[Abstract] With the continuous expansion of open-pit mining scale, the problem of slope stability in mines is becoming increasingly prominent. This article aims to explore the methods and technologies for online monitoring and analysis of slopes in the Shichanggou open-pit mine of Xinjiang Baoming Mining Co., Ltd. This article introduces the current situation of open-pit mining and the challenges it poses to the environment and safety. It elaborates in detail on the importance of online monitoring and its application in the management of mine slope stability.

[Key words] open-pit mines; Slope monitoring; Slope radar

引言

随着矿坑日益降深,新疆宝明矿业有限公司石长沟露天矿采场各边帮正逐步到界,目前部分采场边帮高度超过200米,边坡稳定和安全问题逐渐凸显,成为制约矿山安全、高效生产的重要因素。与此同时,国家矿山安全监察局发布了《国家矿山安全监察局关于开展露天矿山边坡监测系统建设及联网工作的通知》(矿安[2023]119号文件)等文件,对露天矿山边坡监测系统的建设提出要求。沈阳研究院于2023年3月对新疆宝明石长沟露天矿开展了雷达布设与监测服务,并于2023年11月对边坡监测系统进行了调整优化,通过使用边坡雷达对首采一区和二采区进行24小时监测预警,实时掌握首采一区和二采区边坡岩体的动态变化情况,对可能产生片帮、滑坡的不稳定区域进行预测预警。与此同时,沈阳研究院结合矿方自有GNSS在线监测设备对排土场等区域也进行实时跟踪监测预警,为宝明石长沟露天矿的安全生产提供技术保障。

1 工程概况

1.1 自然概况

1.1.1 地理位置

石长沟露天矿位于新疆吉木萨尔县石长沟一带,地处天山北麓东端,准噶尔盆地东南缘低山区,天山北坡经济带,东与奇

台县为邻。矿区以北有S303线(乌鲁木齐~奇台公路)经过吉木萨尔县县城,到矿区的石长沟、芦苇沟等主要沟系均有县级公路或简易公路与乌奇公路相连。矿区距乌鲁木齐约160km、距州府昌吉约200km,距吐乌大高速公路约34km,距离吉木萨尔县中心约14km,一年四季均可通行,交通便利。

1.1.2 地形地貌

矿区地处天山山脉东段北麓,准噶尔盆地东南缘低山区,总体地势呈南高北低,东高西低,海拔在+840.3~+1215.0m之间,相对高差约50~230m,属低~丘陵与山前缓倾斜冲积绿洲平原结合带地貌景观。

1.2 工程地质条件

1.2.1 褶皱构造

矿区总体为一向南西陡倾斜的单斜构造,地层产状较陡,地层总体延伸较稳定。矿区内地层走向 $100^{\circ}\sim 150^{\circ}$,倾向 $190^{\circ}\sim 240^{\circ}$,倾角 $30^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 。褶皱构造较发育,见有小型的同层褶曲。矿区内伴随断裂构造旁侧发育一系列小型的牵引褶皱构造。主要分布在第三岩性段内。总体上褶皱轴与构造线方向一致,按褶皱轴方向分北西西向和北北西向褶皱,一般呈多个小背、向斜褶皱群产出。

1.2.2 断裂构造

矿区内断裂构造相对较发育,以北西向断裂为主,为准噶尔盆地南缘吉木萨尔逆冲推覆构造体系的组成部分,是一组叠瓦式逆冲断裂系的前缘断层带及其次级断裂,对矿区油页岩矿的评价影响巨大。矿区内断裂有F1、F4、F5、F6、F7、F8、F9、F10共8条,地表还发现构造窗两处,编号G1、G2。

1.3 水文地质条件

1.3.1 地表水体

本区无明显地表径流,第四系地层由砂、亚砂土、砂砾组成,其结构松散、干燥,孔隙度大,属典型的散体结构,渗透性好,在丰水年份雨季,第四系地层随着大气降水入渗的增加可能形成季节性含水层,该层水在运动过程中必然有一部分会沿采矿周边向矿坑充水。

1.3.2 含水层

矿区分布在低山丘陵地下水补给排泄交替带,地下水总体贫乏。但受补给条件、岩性特征、构造条件等因素的影响,存在一定的差异性。

由南向北在岩性组合上构成了砂岩、泥岩交互叠置的结构,形成了总体上的阻水墙。导致来自于中、高山地区的地表水、地下水在矿区上游完成排泄,进入沟道潜流或地表径流。而矿区地下水的来源主要为就近露头区的地表水侧向补给、降雨降雪补给以及新地乡一带冲积扇孔隙水下渗补给,经过石长沟倒转向斜远距离径流、排泄至矿区。

从钻探和开采揭露条件来看,地下水的储藏和运移条件并不好。地层总体为脆性岩和软岩的交叠组合,岩体裂隙网络并不通畅。地下水的运移与储藏总体受构造应力的影响。出现构造应力集中的区域富水性较其它区域稍强的现象。为基岩裂隙水。其径流条件也受构造的引导,随着地形呈走向上径流为主。而倾向上,在延伸较长的裂隙或断层发育区,局部也出现少量的溢流泉。但总体地下水贫乏。

而受益于上游地下水、地表水补给,沟道一带松散层及浅层风化裂隙带含水相对丰富。含孔裂隙水。地下水埋藏浅,含水层厚几米至数十米不等,宽度受沟道地形控制,总体较为狭窄。含水层空隙率大,透水性好。地下水力坡度较大,地下水径流排泄快。总量受季节控制明显,其补给来源有两类,一是上游降雨及冰雪融水,季节性变化较大;二是上游含水层溢流排泄补给,水量相对稳定。

1.3.3 隔水层

主要分布在矿区的北西、南东部,岩性主要以泥岩、页岩、粉砂岩为主,或为其组合。涉及的地层主要有三叠统韭菜园子组、烧房沟组、上二叠统芦草沟组六段。该组含水层分布在丘陵地貌区,岩层走向北西-南东,地层倾角 40° - 60° ,倾向北东。含水层出露狭窄,呈条带状,主要受冰雪融溶、大气降雨及溪沟水补给为主。含水层构造弱发育,岩层较为完整。含少量的裂隙水。地表调查,未见明显的泉点分布,属富水性极弱的隔水层。其中,上二叠统芦草沟组六段分布在露天坑境界范围内,但因其富水性极弱,对采坑充水影响小。

2 边坡监测情况

2.1 边坡监测目的

露天矿边坡优化是一个系统优化问题,就是在边坡岩体力学特征、采矿生产和工艺、边坡安全度的约束下,寻求、比较、选取矿石利用率最大,剥岩量最小,滑坡处理和补救费用最低,盈利最大的最佳边坡设计方案。必须指出的是,即使最佳的设计方案,也肯定存在风险。必须应用边坡监测技术,将边坡破坏防患于未然。

2.2 边坡监测内容

通过边坡雷达及GNSS在线监测预警技术,实时监测宝明石长沟露天矿边坡的蠕动变形情况,并依据边坡岩体的变形破坏规律,预测预报滑坡灾害的发生位置、范围与时间,保障宝明石长沟露天矿的生产安全。

利用边坡雷达及GNSS在线监测设备监测密度大、精度高及范围广等特点获取宝明石长沟露天矿边坡的监测数据,实时掌握重点监测区域的动态变形情况。通过分析边坡岩体的位移、速度变化趋势,总结边坡岩体的蠕动变形规律,为今后宝明石长沟露天矿的采矿设计及边坡治理工程提供技术支持。

2.3 边坡监测现状

目前矿方采用边坡雷达及GNSS相结合的方式对矿区边坡位移情况进行监测。边坡雷达对首采一区和二采区进行全覆盖监测,1#雷达位于首采一区西南帮+1020平台,监测首采一区北帮及东帮;2#雷达位于首采一区北帮+1020平台,监测首采一区南帮及西南帮;3#雷达位于二采区南帮+960平台,监测二采区北帮;4#雷达位于二采区北帮+1020平台,监测二采区南帮。矿区共计布设3条GNSS监测线,其中一号排土场西边坡布设监测线1条,监测点6个;三号排土场边坡布设监测线1条,监测点4个;首采二区北帮布设GNSS监测线1条,监测点4个。

2.4 边坡监测预警值设置

参照《国家矿山安全监察局关于开展露天矿山边坡监测系统建设及联网工作的通知(矿安【2023】119号)》文件要求,宝明石长沟露天矿采场、排土场边坡预警等级分为四级,分别用红、橙、黄、蓝标示。短时间内滑坡可能性非常大,极易造成人员伤亡的应定为一级红色预警;短时间内滑坡可能性大,容易造成人员伤亡的应定为二级橙色预警;有滑坡可能性且影响正常生产的应定为四级蓝色预警。

表1 采场边坡雷达预警标准

等级	变形速度	速度趋势	单位	警报形式
IV级预警	$1.0 \leq v < 3.0$	加速	mm/h	蓝色
III级预警	$3.0 \leq v < 5.0$	加速	mm/h	黄色
II级预警	$5.0 \leq v < 8.0$	加速	mm/h	橙色
I级预警	8.0以上	加速	mm/h	红色

结合宝明石长沟露天矿边坡工程地质条件,依据矿安【2023】119号文及现场监测成果,分别对采场和排土场边坡进行了预警值的设置。

表2 排土场边坡GNSS预警标准

等级	累计位移	速度趋势	单位	警报形式
IV级预警	$40 \leq v < 80$	加速	mm	蓝色
III级预警	$80 \leq v < 100$	加速	mm	黄色
II级预警	$100 \leq v < 120$	加速	mm	橙色
I级预警	120以上	加速	mm	红色

3 边坡监测分析

3.1 监测区域预警情况

2023年度,边坡雷达在线率达99.57%,1#~4#雷达监测区域整体均呈现稳定状态,共计报警248次,报警原因多为现场作业、天气影响、浮石滑落、岩石风化掉块等,首采一区北帮和二采区北帮出现单台阶局部片帮,但是边坡岩体的位移及速率未出现明显的持续加速变化,对边坡稳定性无影响,边坡保持相对稳定状态。其中有6次较大的边坡变形预警,分别如下:

(1)2023年3月24日首采一区北帮840平盘附近区域;(2)2023年5月15日首采一区北帮924-936平盘附近区域;(3)2023年9月1日首采一区北帮900-912平盘附近区域;(4)2023年9月26日二采区北帮972-984平盘附近区域;(5)2023年9月30日二采区北帮960-972平盘附近区域;(6)2023年11月7日首采一区北帮912平盘附近区域。

3.2 首采一区北帮、东帮监测情况分析

首采一区北帮、东帮发生过4次较大的边坡变形预警,其中2次是单台阶局部片帮,2次是坡面垮落,这4次边坡变形对首采一区北帮、东帮的边坡稳定性并未造成影响,边坡整体呈现稳定状态。经现场勘查,首采一区北帮、东帮发生4次较大的边坡变形原因主要是该区域岩性以泥岩为主,风化较为严重,帮坡与岩层倾向一致,故容易发生片帮、垮落。

3.3 首采一区南帮、西南帮监测情况分析

首采一区南帮、西南帮未发生过较大的边坡变形预警,多数报警为现场作业、天气影响、浮石滑落、岩石风化掉块等,对首采一区南帮、西南帮的边坡稳定性并未造成影响,边坡整体呈现稳定状态。

3.4 二采区北帮监测情况分析

二采区北帮发生过2次较大的边坡变形预警,2次均为单台阶局部片帮,这2次边坡变形对二采区北帮的边坡稳定性并未造成影响,边坡整体呈现稳定状态。经现场勘查,二采区北帮发生2次较大的边坡变形原因主要是该区域岩性以泥岩为主,风化较为严重,帮坡角在 35° - 54° 之间,大于岩层倾角,故容易

发生片帮。

3.5 二采区南帮监测情况分析

二采区南帮未发生过较大的边坡变形预警,多数报警为现场作业、天气影响、浮石滑落、岩石风化掉块等,对二采区南帮的边坡稳定性并未造成影响,边坡整体呈现稳定状态。

3.6 排土场监测情况分析

2023年度,GNSS监测设备在线率达94.31%,监测区域整体均呈现稳定状态,共计报警626次,报警原因多数为人工挪动、天气影响、车辆行驶、爆破震动、排土场正常沉降等;3~8月,GNSS报警多受天气和排土场正常沉降影响;9~11月,8#和14#监测点附近出现小裂缝,为排土场正常沉降造成边坡稳定性不受影响;12月,GNSS报警原因多数为排土场正常沉降。说明排土场和末矿场边坡保持相对稳定状态。

4 结论与建议

边坡雷达及GNSS在线监测系统利用高精度、大面积及远距离等技术特点,使宝明石长沟露天矿的边坡监测实现了智能化监测。通过对监测数据进行分析,可以全面掌握边坡岩体的变形趋势,为宝明石长沟露天矿下一步的工作方案、采矿计划和边坡监测设计的制定提供决策依据,对露天矿的可持续发展有着重要的指导意义。

建议加强边坡监测和现场人工巡查工作,对预警区域查看结果及时反馈,及时掌握边坡变形情况;及时清理滑落碎石和掉落大块等破碎岩体,在碎石、大块掉落附近区域应设立警示牌,防止人员、设备进入造成人员的伤亡和财产的损失;在开采过程中,对揭露的边坡岩体进行及时的平整和刷帮,减少碎石、大块的掉落,进而减少边坡地质条件对矿山安全的影响。

[参考文献]

- [1]郭强.露天矿轮斗连续采煤工艺适应性评价与系统布置[J].露天采矿技术,2024,39(03):15-19.
- [2]马富国,马明康.山西某露天矿边坡稳定性分析与评价[J].露天采矿技术,2024,39(03):71-74.
- [3]梁明智,柳昆鹏.基于5G网络的无人驾驶运输技术在兴盛露天煤矿的应用[J].露天采矿技术,2024,39(03):32-36.
- [4]王洋.露天煤矿外委单位安全管理分析与对策[J].露天采矿技术,2024,39(03):110-112.
- [5]魏星宇,董强,陈纲,等.露天煤矿数字化转型建设思路[J].露天采矿技术,2024,39(02):20-25.
- [6]张震男,武牡丹.露天煤矿智能化建设现状及方案[J].露天采矿技术,2024,39(02):34-37.
- [7]刘小杰,郭培,曹胜武,等.露天矿山无人驾驶编组运行关键技术[J].露天采矿技术,2024,39(02):70-74.
- [8]孙欣武,张瑞新,孙健东,等.基于数据挖掘的露天矿道路质量研究[J].露天采矿技术,2024,39(02):5-9.