

露天转地采人工境界矿柱构建过程中边坡监测研究

栾武臣, 尤志嘉, 路 峰, 赵 坤, 杜 文, 吕孝鹏

(山东科技大学 土木建筑学院, 山东 青岛 266590)

摘 要: 露天转地下开采过程中, 边坡稳定性是矿山生产的安全保证。归来庄金矿采用留设一定厚度的境界矿柱来实现露天开采安全平稳过渡到地下开采。针对归来庄金矿的工程地质条件、边坡形态以及监测目的, 提出了以 GPS 为主的动态变形监测, 并结合 ANSYS 数值模拟验证该边坡监测方案的可行性和合理性。分析得出: 境界矿柱形成对边坡有一定支撑作用, 边坡整体变形缓慢, 符合边坡变形一般规律; 27-31 线变形量大, 应对其进行重点监测, 避免边坡滑塌造成的安全事故。

关键词: 边坡监测; 露天转地采; 人工境界矿柱; 全球定位系统; 边坡稳定性预测

中图分类号: TD82

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2013)04-0016-05

Slope Monitoring During the Construction of Artificial Boundary Pillar Used for Open-pit to Underground Mining

Luan Wuchen, You Zhijia, Lu Feng, Zhao Kun, Du Wen, Lü Xiaopeng

(College of Civil Engineering and Architecture, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: In the process of open-pit mining to underground mining, the stability of slope is always of great safety assurance in mine production. Gold mine of Gui Laizhuang applies the crucial method of reserving certain thickness of boundary pillars to realize the safety during open-pit to underground mining. A method of dynamic deformation monitoring on slope with GSP was proposed in this paper with the engineering geological conditions, the slope appearance and the monitoring purposes considered. Numerical simulation based on ANSYS was utilized to prove the practicability and reasonable of the monitoring scheme. The slower slope deformation proves that boundary pillars have an certain effect in supporting the slope, which accords with the law of slope deformation. Because of the great deformation.

Key words: slope monitoring; open-pit to underground mining; artificial boundary pillar; GPS; prediction of stability on the slope

随着露天开采深度不断增加, 浅部资源不断消耗, 矿山逐步由单一的露采转向地下开采。从二十世纪六七十年代国内露天开采开始逐渐转向地下开采, 如: 凤凰山铁矿、冶山铁矿、铜官山铜矿等^[1]。露天转地下开采过程中, 露天开采打破了岩体的初始应力平衡状态, 导致应力重新分布, 严重的导致滑坡失稳^[2]。通过研究和经验积累, 归来庄金矿在露天开采过程中采用留设一定厚度的境界矿柱, 以保证露天转地下安全开采平稳过渡^[3]。

山东黄金归来庄金矿浅部采用露天开采, 设计露天坑底标高一 30 m, 平面最大尺寸 570 m × 331 m。经过近 20 年的开采, 形成了东北长 600 m, 南北宽 350 m, 坑深 170 m 的露天坑。目前整体稳定性尚可, 但边坡裂隙发育, 仍存在局部失稳的安全隐患。因此, 在露天转地下过程中, 边坡监测对矿山的安全生产具有非常

收稿日期: 2013-04-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(51274131)

作者简介: 栾武臣(1988—), 山东蓬莱人, 硕士研究生, 主要从事地下工程、边坡方面的研究. E-mail: lwc490125919@126.com

重要的意义。

以归来庄金矿为例,本研究采用 GPS(global positioning system)对边坡岩土体位移变化进行监测,结合有限元数值模拟,分析人工境界矿柱形成过程中对边坡稳定性的影响,对边坡变形作出预测^[4],确定合理的开采方案提供依据。

1 人工境界矿柱构建过程对边坡稳定性的影响

人工境界矿柱构建过程中,通过建立边坡的有限元模型,对边坡采场周围的位移变化情况进行数值模拟,探讨其对边坡稳定性的影响。分析边坡的变形机制及破坏形式,并通过实际监测对其理论分析结果进一步补充,为露天转地采的矿山安全提供理论依据。

运用 ANSYS 有限元模型,分析边坡稳定性,边坡高度 170.9 m,综合边坡角 54°。计算模型采用简化二维平面模型,为减少边界条件的影响,模型计算范围竖直方向向下延伸 150 m,水平方向取 100 m。在模型两侧施加 x 方向的约束,在模型的底部施加 y 向约束。计算模型忽略水平构造应力的影响,主要考虑自重应力场的影响。

对归来庄金矿 30 线人工境界矿柱构建过程中的露天边坡进行有限元数值模拟,通过分析数值模拟结果,得到人工境界矿柱形成前后边坡的位移变化量,如图 1 和图 2 所示。

通过 x 方向位移云图可以看出,位移最大值出现在坡顶,沿着坡面减小至负值。

人工境界矿柱形成之前,坡顶和坡脚的最大位移分别为 8.129, -25.72 mm(图 1)。负向的位移值较大,但这种位移变化并不会导致边坡失稳破坏。按照这种变化规律发展,当边坡受到较大扰动影响时,边坡局部将会首先发生破坏,位置位于坡脚处,一旦坡脚位置发生破坏,由于上覆岩体自重影响,边坡上盘高陡边坡将会演变成整体失稳破坏。

采用 10 m 厚境界矿柱构筑后,位移极值分别为 9.15, -23.9 mm(图 2)。境界矿柱形成后正方向位移增大,负方向位移的绝对值减小,可以得出境界矿柱形成对边坡有一定的支撑作用。但由于坡脚位移值较大,应采取一定措施对其进行加固,防止进一步变形导致滑坡。

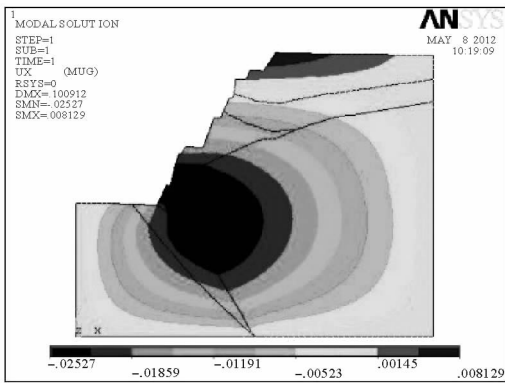


图 1 境界矿柱形成前 x 方向位移云图

Fig. 1 Displacement nephogram on the x direction before the formation of boundary pillar

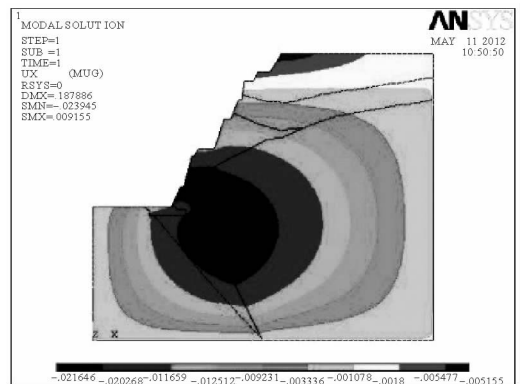


图 2 境界矿柱形成后 x 方向位移云图

Fig. 2 Displacement nephogram on the x direction after the formation of boundary pillar

2 人工境界矿柱构建过程中的边坡实际变形

采用 GPS 监测系统对边坡变形进行监测。大量边坡与地表移动资料表明,边坡与地表变形是多时段非线性的。传统的监测方法^[5]定期对边坡与地表移动进行监测,根据测量数据拟合出位移变化曲线,不能精确得出变形的非线性变化情况。GPS 可以对地表与边坡变形实时监测,通过边坡的变形情况分析其变形变化规律。

GPS 一般不受气候条件影响可全天候作业,不受通视条件的影响,观测点之间无视觉死角,选点方便,可形成高精度的三维坐标网,观测时间短,操作简单易行。通过观察监测点各个时期的变形信息,对监测数据进行处理,得出监测点的位移变化情况以及变化速率,作出合理预测,为位移变化所导致的边坡失稳做好防范措施^[6]。

2.1 边坡变形监测的目的

归来庄采场边坡稳定性安全监测目的:

- 1) 实时了解露天边坡变形动态和安全状况,确保开采安全进行,为归来庄金矿转地采过程中开采方案及工艺提供选择依据;
- 2) 对可能发生的大幅度位移变化、可能出现的滑坡、崩塌、倾倒等稳定性问题的区域进行重点观察,作出及时预测,防患于未然;
- 3) 通过对边坡位移实时监测跟踪滑坡体的动态,为可能发生的灾害提供科学有效的依据;
- 4) 积累资料,为将来边坡开采稳定性分析提供有效数据和参考资料。

2.2 GPS 监测系统的建立

GPS 系统是一种通过空间信号传递接收数据信息的定位导航系统。在测量过程中通常有两种坐标系:一种为空间固定坐标系统,另一种为地固坐标系统^[7]。在工程测量中常采用第二种方法进行监控测量。

本边坡监测系统采用 WGS-84(即 GPS 椭球)站心地平线坐标系统。利用 GPS 卫星发送导航信号进行空间定位交会后测量待测点的三维坐标。在实际应用中再通过坐标变化求出所需坐标值。通过数据处理,对边坡变形进行分析。监测现场的 GPS 监测系统由 1 个基站、2~3 个基准点、若干个监测点以及空间监测控制网构成。

矿区 GPS 变形监测网不仅要监测边坡位移动态,还应对矿区井下开采引起的大范围地表移动进行监测。因此,建立 GPS 监测网需满足:①矿区建设与生产需要,建立足够密度的控制点,达到精度要求;②所建立的 GPS 控制网点,还应满足便于矿区变形监测使用和中误差不大于±1.3 mm 的精度要求;③为控制网中某些点的形变,需在形变区外设置基准点,对控制网形变加以分析。布设矿区控制测量与变形监测 GPS 网时,保证有关点间相互通视,控制点与监测点位稳定,基准点应布设在形变区域之外,满足监测点的要求。

2.3 露天采场边坡监测方案

归来庄露天采场根据边坡稳定性和水文地质等因素,将露天转地下开采境界人工矿柱分为 A、B、C 三个区域:A 区为第 27 号勘探线以东部分;C 区为第 29 号勘探线以西部分;B 区为第 27 号勘探线至第 29 号勘探线之间。设计 A 区境界矿柱底面标高为-42 m,顶面标高(露天坑底标高)为-30 m;B 区境界矿柱底面标高为-46 m,顶面标高为-34 m;C 区境界矿柱底面标高为-50 m,顶面标高为-38 m,环矿区共布设 22 个监测点如图 3 所示。

2.4 边坡的实际变形监测结果与分析

归来庄露天采场本期边坡监测工作从 2010 年 9 月 10 日至 2012 年 9 月 3 日,历时两年。测量频次约为 30 d/次。针对监测所得数据,剔除由于误差引起的粗差。对于监测数据缺失、波动大等情况,根据现有数据进行处理,分析曲线变化规律及特征^[8];建立数学模型对边坡变形趋势加以预测;综合考虑施工现场进度以及天气条件等因素,对边坡水平位移及沉降变化加以分析。

图 4、5 中两条曲线是监测点 C05、C19 的沉降量和水平位移随时间变化的曲线。图中函数 1/1、1/2 是根据监测点的沉降量和水平位移采用最小二乘法拟合得到的二次曲线, R^2 为曲线的拟合度,且 R^2 越接近于 1 拟合效果越好。从 R^2 可以看出,水平位移拟合度高于竖向位移。

由于监测点过多,此处仅列出 30 线所对应的监测点 C5、C19 的监测结果,其余监测点采用相同的方法进行分析,经拟合得到 C05、C19 水平位移和沉降量变化如图 4 和图 5 所示。

监测点 C05、C19 的水平位移变化曲线与数值模拟的 x 向位移云图变化规律相一致。水平位移和沉降位移量均比较小。可以通过此监测方法对其余测点有限元模拟结果,结合 GPS 监测结果对边坡位移变化作出合理分析。

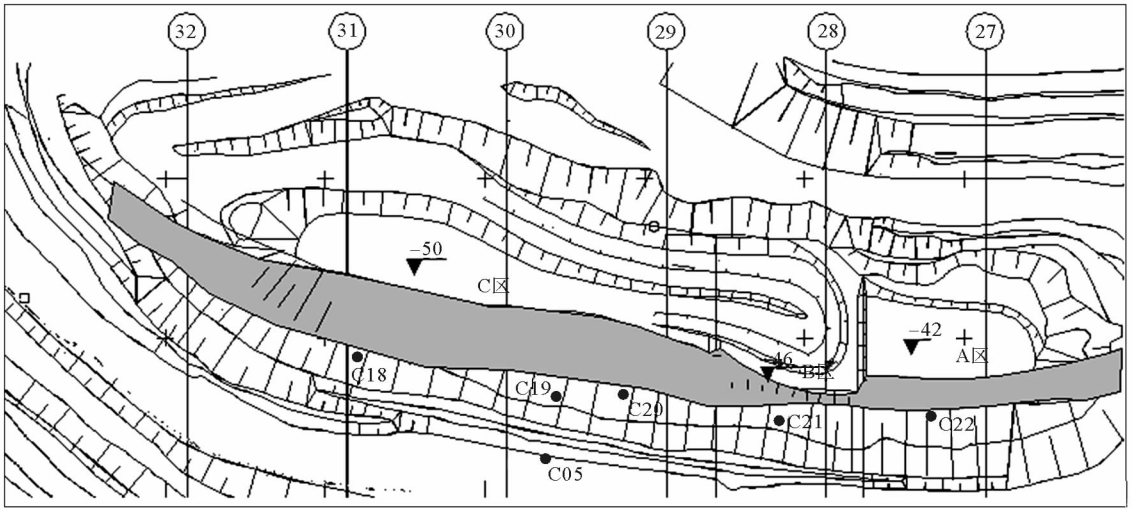


图3 露天底部开挖平面图

Fig. 3 Plane graph at the end of the open-pit mining

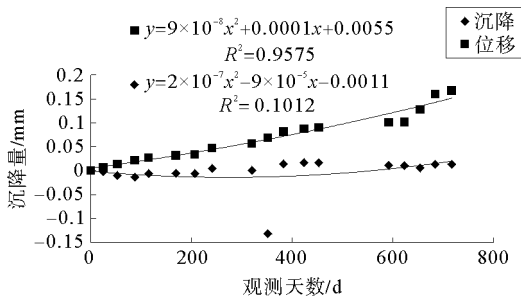


图4 C05点的位移变化曲线图

Fig. 4 Variation curve of displacement on spot C05

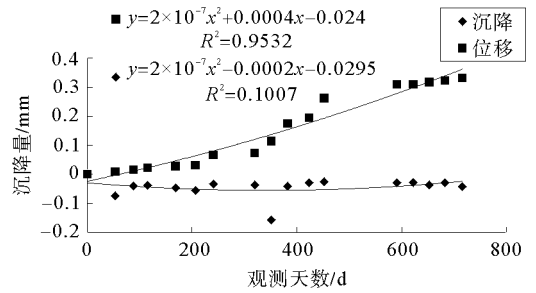


图5 C19点的位移变化曲线图

Fig. 5 Variation curve of displacement on spot C19

数值模拟所得预测结果与实际监测结果边坡变形规律一致,在境界矿柱形成过程中对土体造成一定影响,变形量增加,境界矿柱形成后对边坡有一定支撑作用,变形量逐渐趋于平稳。

对所划分3个区的22个监测点的监测数据进行整理,各个监测点的变形趋势一致,此处列出累积位移量较大的监测点的位移变化曲线,再通过数值模拟观察可能形成的主滑动方向、滑动面及滑动带监测结果如图6、图7所示。

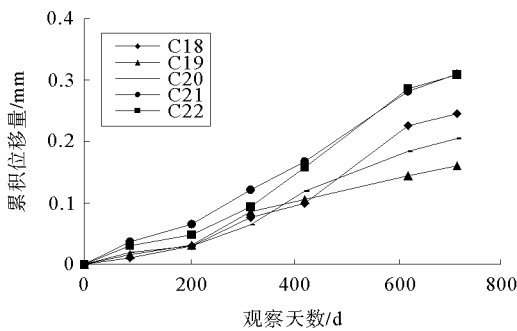


图6 最大累积位移分布曲线图

Fig. 6 Maximum cumulative displacement

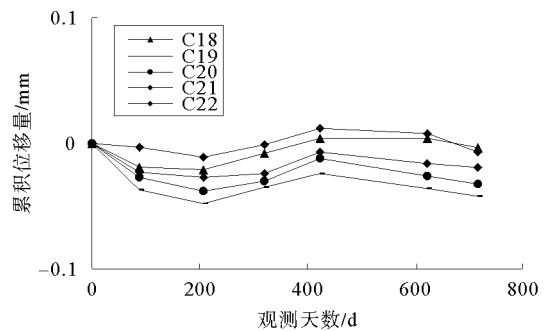


图7 沉降位移曲线图

Fig. 7 Settlement distribution

从累积位移量变化曲线图 6、图 7 可以看出,监测点 C18,C19,C20,C21,C22 所在区域 27~31 线内累积位移最较大,此区域易发生边坡局部破坏,应作为重点监测区,对线内监测点加强监测,对易发生失稳部位进行加固,防止边坡进一步变形导致失稳破坏。

3 结论

通过监测所得数据,结合境界矿柱形成过程中数值模拟结果对边坡进行稳定性预测。

1) 边坡变形量较小,一般情况下水平位移变化量小于 550 mm,沉降位移小于 200 mm。从位移曲线看,边坡变形出现一定波动,且沉降位移大于水平位移。

2) 从边坡斜率变化可以看出,整个监测阶段的变形速率呈“S”形,边坡总体变形缓慢。监测初期,由于地下开采形成境界矿柱过程中,对土体的扰动边坡造成一定的影响,边坡变形速率较大。随着人工境界矿柱形成后边坡变形速率逐渐平缓,且平均变形速率小于 0.05 mm/d,达到边坡稳定标准。

3) 通过实验数据分析,结合数值模拟结果得出:人工境界矿柱的形成对边坡起到一定支撑作用,但由于坡脚变形量较大,当边坡受较大扰动时,坡脚处首先发生局部破坏导致边坡失稳,应对坡脚处进行加固以保证其稳定性。

近两年的变形监测可以预测表明,边坡变形量趋于稳定,不会产生大的波动变形,但仍应对变形进行监测,防止边坡失稳。

上述分析可以看出,露天转地采境界矿柱形成过程中对边坡稳定性影响不明显,边坡处于稳定状态。归来庄金矿边坡变形特征符合边坡稳定性变形的一般规律,因此 GPS 监测系统满足边坡监测的变形要求,可以据此监测方法来判断边坡的稳定性情况。

露天边坡的监测分析是边坡工程的重要环节之一,通过归来庄露采边坡的监测分析和计算,发现仍存在某些因素没有加以考虑。今后应考虑大气降雨、节理裂隙以及爆破等影响,对边坡变形情况进行更全面分析,另外还应加强监测数据与现场施工等环节的相互结合分析^[8],对边坡稳定性评价和综合治理提供有效依据。

参考文献:

- [1] 李元辉,赵兴东. 露天转地采境界矿柱稳定性研究[J]. 岩土力学与工程学报,2005,24(2):279-283.
Li Yuanhui,Zhao Xingdong. Stability of boundary pillars for transition from open-pit to underground mining[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2005,24(2):279-283.
- [2] 吴永博,高谦. 露天转地下开采高边坡变形监测与稳定性预测[J]. 矿业研究与开发,2009,29(2):52-54.
Wu Yongbo,Gao Qian. Stability forecast and deformation measurement of high slope for transition from open-pit to underground mining[J]. Mining Research and Development,2009,29(2):52-54.
- [3] 杨宇江,李元辉. 露天转地下开采境界矿柱安全厚度稳定性分析[J]. 东北大学学报:自然科学版,2011,32(7):1033-1040.
Yang Yujiang,Li Yuanhui. Stability analysis of boundary pillars safety thickness for transition from open-pit to underground mining[J]. Journal of Northeastern University:Natural Science,2011,32(7):1033-1040.
- [4] 王军. 露采边坡变形监测分析[J]. 湖南工程学院学报,2010,20(4):96-98.
Wang Jun. Analysis on deformation monitoring of open-pit slope[J]. Journal of Hunan Institute of Engineering,2010,20(4):96-98.
- [5] 殷建华,丁晓利. 常规仪器与全球定位仪相结合的全自动化遥控边坡监测系统[J]. 岩土力学与工程学报,2004,23(3):357-364.
Yin Jianhua,Ding Xiaoli. Integration of conventional instruments and GPS for remote automatic monitoring of slopes[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2003,23(3):357-364.
- [6] 赵宜行. GPS 变形监测技术及其数据处理方法研究[D]. 西安:西安科技大学,2009:22-27.
- [7] 张鹏,梁永健. GPS-RTK 露天矿边坡监测系统的研究[J]. 青岛建筑工程学院学报,2004,25(2):31-33.
Zhang Peng,Luan Yongjian. Study on slope observation system of opencut mines by GPS-RTK technique[J]. Journal of Qingdao Institute of Architecture and Engineering,2004,25(2):31-33.
- [8] 宋卫东,杜建华. 深凹露天转地下开采高陡边坡变形与破坏规律[J]. 北京科技大学学报,2010,32(2):145-151.
Song Weidong,Du Jianhua. Deformation and failure of a high steep slope due to transformation from deep open-pit to underground mining[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing,2010,32(2):145-151.