

文章编号: 1673-3363-(2013)05-0756-05

时效边坡下的端帮易滑区靠帮开采方法

韩流, 周伟, 舒继森, 彭洪阁, 刘雷

(中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 矿业工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要 为了解决端帮易滑区难以有效实施靠帮开采造成大量压煤的问题, 基于时效边坡理论和靠帮开采技术, 提出了垂直和平行端帮走向推进的2种条分式靠帮开采方案, 并建立了确定最佳采掘带宽度的分析系统。根据系统流程, 对三道岭露天矿端帮易滑区实行条分式靠帮开采进行了数值模拟, 得到了最佳条带宽度为60 m, 并推荐采用垂直端帮走向推进的方案。结果表明: 东端帮边坡角可从 34° 提高到 41° , 回收端帮残煤19.31万t。易滑区边坡实行条分式靠帮开采, 可以保证边坡稳定, 同时回收残煤, 降低剥采比。

关键词 端帮; 靠帮开采; 易滑区; 压帮内排

中图分类号 TD 824

文献标志码 A

Steep mining method in slippery area of end-slope under slope timeliness

HAN Liu, ZHOU Wei, SHU Ji-sen, PENG Hong-ge, LIU Lei

(State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract In order to solve the problem that a lot of coal is covered in slippery area of end-slope for steep mining is difficult to be implemented, based on the theory of slope timeliness and the steep mining technology, two strip steep mining methods as vertical and parallel propelling were proposed and the analysis system for confirming the best cut width was established. According to the systematical sequence, numerical simulation was conducted with strip steep mining method in slippery area of end-slope in Sandaoling open coal mine, which drew a conclusion that the best cut width of the slope is 60 meters, and the scheme of advancing vertical end-slope trend is recommended in the paper. The results reveal that the angle of eastern end-slope can be increased from 34° to 41° , which will recover 193,100 tons of coal residues in end-slope. It could ensure slope stability, recycle residual coal and reduce the stripping ratio by applying strip steep mining method in slippery slope.

Key words end-slope; steep mining; slippery area; inner-dumping with burying slope

随着煤炭资源的紧缺和不断升值, 目前的露天开采技术除了提高年产量之外, 还立足于提高边坡角、降低剥采比, 来实现煤炭资源的回收和经济效

益的提高, 靠帮开采技术^[1]在这种环境下应运而生。在露天矿的生产作业中, 由于地质条件的限制及爆破作业的影响, 形成了很多危险的易滑区域。对易

收稿日期: 2012-02-13

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51034005); 煤炭资源与安全开采国家重点实验室自主研究课题项目(SKLCRSM10X01); 博士点基金项目(20100095110019); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2011QNA13); 江苏高校优势学科建设工程项目

作者简介: 韩流(1987-), 男, 江苏省徐州市人, 博士研究生, 从事露天开采及边坡稳定等方面的研究。

E-mail: hanliucumt@163.com

Tel: 15862113698

滑区进行靠帮开采会造成滑动面暴露, 即使内排土场及时跟进, 滑动面的暴露长度仍会达到最小坑底宽度 D_{\min} , 这个暴露长度将会对易滑区的边坡稳定形成很大的隐患, 如何保证边坡稳定成为在易滑区实施靠帮开采的关键问题。

1 时效边坡理论下的靠帮开采技术

传统的露天煤矿靠帮开采是指采场最上部工作线到界后, 下部工作线继续推进直至设计的终了帮坡角的开采过程。随着时效边坡理论的提出及不断完善^[2], 靠帮开采逐渐被应用到开采的全过程。对于分区开采的大型近水平露天矿, 运用靠帮开采的基本原理, 增大内排土场压帮台阶的高度及工作线推进强度^[3], 减小了端帮边坡暴露面积和存在时间, 同时降低了端帮台阶的高度, 大幅提高了边坡稳定性^[4], 使端帮边坡角存在增长的空间。

靠帮开采方式适应于均匀稳定的地质条件, 在地质条件复杂、软弱夹层较多的边坡难以安全高效地实施。而露天矿的地质条件随着开采深度的加大和工程作业的扰动变得愈加复杂^[5], 断层、节理面逐渐暴露, 裂隙不断加大。此类易滑区域造成了端帮靠帮开采的稳定系数降低, 成为整个端帮的“瓶颈”区域。若要保证此区域稳定, 须将边坡角度放缓, 进而造成端帮压煤量和剥采比增大^[6]; 易滑区的端帮剖面结构(如图1), 可直观表现这一问题。

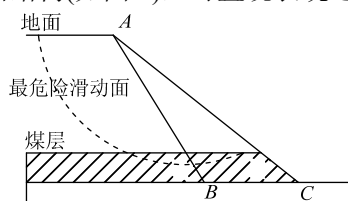


图1 易滑区边坡结构

Fig.1 Structure of most slippery slope

确立合理的技术方案在露天矿端帮易滑区域实行靠帮开采, 可回收端帮残煤, 降低剥采比, 同时降低相邻条区间的二次剥离量, 保证端帮边坡稳定, 提高矿区经济效益。本文基于时效边坡理论和现有的靠帮开采技术, 在易滑区实施条带式靠帮开

采, 减少危险滑面的暴露长度, 并及时压帮回填采空条带, 在理论分析的基础上借助数值模拟确定最佳的条带参数。

2 易滑区条带靠帮开采方式

易滑区靠帮开采在保证边坡稳定的前提下, 转变靠帮开采方式, 确定合理的开采参数, 匹配现有的工艺和设备。采用条带式开采可以有效地控制滑动面的暴露长度^[7], 条带较窄能够提高边坡的稳定性, 但会降低设备的作业效率; 条带较宽能提高设备的作业效率, 但不利于边坡稳定。因此, 条带式靠帮的关键是确定经济合理的条带宽度, 既要保证边坡的稳定, 又能提高设备作业效率。基于上述目标, 提出了以下2种条分式靠帮开采方式。

2.1 垂直端帮走向

在易滑区进行靠帮开采时, 将端帮分为若干个采掘带^[8], 按照垂直边坡走向的方式推进(如图2), 每一条带的宽度 D 根据边坡的实际稳定情况确定, 最小宽度为电铲的工作直径 D_c , 滑动面的暴露宽度始终保持为对应条带的宽度^[9]。

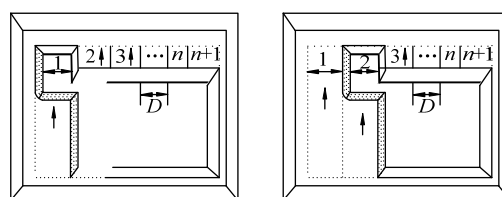


图2 垂直端帮条分式靠帮开采推进示意

Fig.2 Sketch map for vertical end-slope strip steep mining propel

2.2 平行端帮走向

在易滑区进行分条区靠帮开采时, 当按照稳定性原则确定的采掘带宽度小于电铲的工作直径 D_c 时, 无法提供足够的空间让电铲垂直边坡推进作业, 此时按照平行边坡走向的方式推进(如图3), 每一条带的宽度 D (小于电铲的工作直径 D_c) 根据边坡的实际稳定情况确定, 滑动面的暴露宽度始终保持为对应条带的宽度。

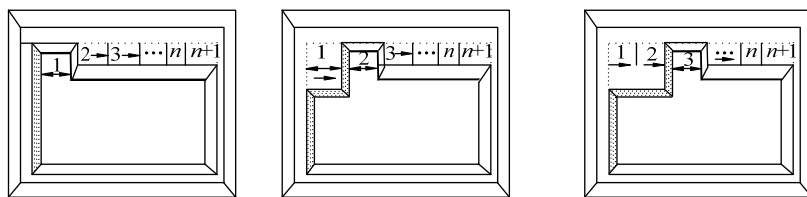


图3 平行端帮条分式靠帮开采推进示意

Fig.3 Sketch map for parallel end-slope strip steep mining propel

2.3 易滑区采掘带宽度的确定原则

边坡稳定分析多数基于极限平衡原理来分析二维边坡剖面的稳定性^[10]，如瑞典条分法、Bishop 法。主要的判定依据是抗滑力与下滑力或者抗滑力矩与下滑力矩的比例关系，并将比值与 1 进行比较来判断边坡的稳定与否。这些分析方法原理简单且效果明显，但是它们无法模拟三维实体边坡^[11]，因此具有一定的局限性。

对于易滑区的条分式开采，为了模拟实际边坡的效果，本次研究采用 FLAC^{3D} 进行模拟^[12-13]，有序地调整采掘带的宽度并计算对应的稳定系数，结合工程对于稳定性的要求来判断采掘带宽度的调整趋势^[14]，如此往复，直至确定合理的采掘带宽度，其模拟流程如图 4 所示。

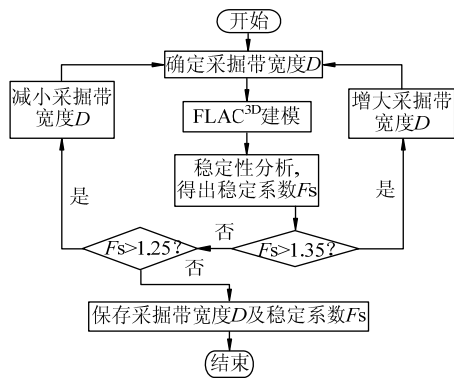


图 4 采掘带宽度确定方案流程

Fig.4 Flow chart for scheme of ascertaining cut width

3 实例验证

三道岭露天煤矿位于哈密市三道岭矿区西南部，属三道岭煤田小黄山露天区，其矿区中心地理坐标为东经 92°37'00"，北纬 43°07'00"。露天煤矿采场东西走向长 6.0 km，南北宽 1.2 km，面积 7.2 km²，设计采深 110 m，服务年限 46 a，平均剥采比为 5.03 m³/t，年生产能力已达 300 万 t。三道岭露天矿东端帮的整体边坡高度 120 m，原始边坡角 34°，根据剖面结构，将边坡从上到下分为 4 个岩层，每层对应的地质参数如表 1 所示。

表 1 三道岭露天煤矿地质参数

Table 1 Geological parameters of Sandaoling surface coal mine

地质参数	重度/(kN·m ⁻³)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
砂质黏土	19.2	26	17
泥岩	20.4	34	29
粉砂岩	21.1	41	31
中砂岩	22.1	55	35

3.1 最佳采掘带宽度

根据已有的地质参数资料，在 FLAC^{3D} 中建立模型^[15]，并计算其稳定系数 F_s 。经分析得出 34° 的原始端帮边坡稳定系数为 1.34，如果进行整体靠帮开采，将边坡角度提高到 41°，则稳定系数降低至 1.20，此类边坡濒临极限平衡状态，仅能保证短时间内的稳定。现采用条分式靠帮开采，压缩易滑区底角的暴露宽度，并分别用 30 m 和 60 m 高的内排台阶及时跟进压帮。不同的采掘带宽度与其对应的稳定系数如图 5 所示。

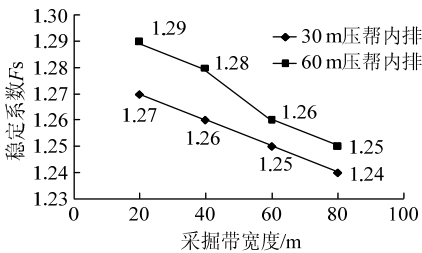


图 5 不同采掘带宽度对应的稳定系数

Fig.5 Stability factor correspond with different cut width

由图 5 可知，按照一定宽度条带进行靠帮开采，并用排土台阶及时跟进压帮，可以很好地保证易滑边坡稳定。不同的采掘带宽度对应不同边坡稳定系数，采掘带宽度越大，稳定性越差，反之稳定性越好；当用不同高度的台阶压帮内排时，对于边坡稳定性的改善效果不同，压帮台阶越高，稳定性越好。通过技术经济比选最终确定采用 60 m 宽的条带靠帮开采，并用 30 m 高的台阶压帮内排。

3.2 分析结果评价

结合边坡的岩性层序，建立三维的边坡实体模型，此时已按照初步设定的宽度 D 采出了第 1 条带，给第 1 条带预留一定的变形时间之后继续向前推进，进行第 2 条带的靠帮开采，并在第 1 条带压覆 30 m 高的内排土场^[16]，然后计算稳定系数 $F_s=1.25$ ，模拟结果如图 6 所示。

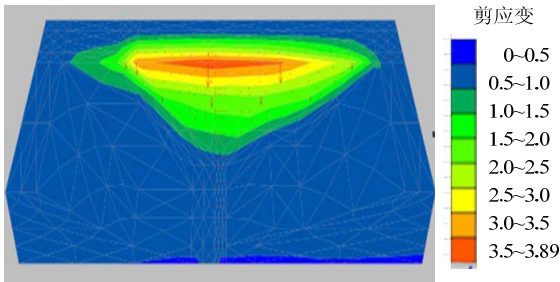


图 6 压帮后稳定性分析结果

Fig.6 Stability analysis results with burying slope

根据模拟结果在边坡体中抽取了过(0, 370)点垂直端帮走向的竖直剖面, 其应力应变图如图7所示; 同时在分析过程中选取特征点(150, 370, 30), 并监测其变量, 记录了整个过程中力的平衡曲线, 以及特征点在X方向的位移曲线, 如图8所示。

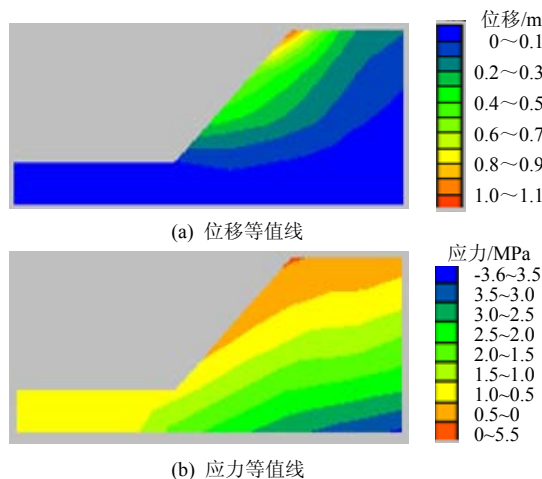


图7 代表剖面应变图

Fig.7 Strain of representative section

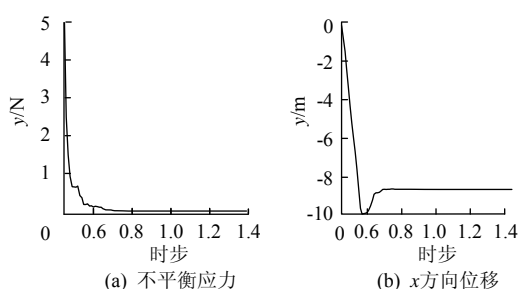


图8 特征节点应力应变曲线

Fig.8 Stress-strain curve of feature node

图7反映了代表剖面在Z方向的应力应变情况, 应变在坡顶线位置最大, 易出现片帮现象; 应力随深度增加而增大, 在端帮基底位置达最大。

从图8a中可看出, 随着时间的增加不平衡力逐渐收敛, 在压覆内排土台阶之后出现二次不平衡力, 并在整个曲线中表现出轻微的波动, 而后继续收敛至平衡状态。图8b记录特征节点的X方向位移, 从曲线走势可以看出在开挖过程中该特征点不断朝采场中间移动, 内排压帮及时阻止了位移的继续发展, 并提供了很好的支挡作用, 随着迭代时步的发展最终维持在稳定的位移量。

通过模拟露天煤矿的开挖及已有边坡的靠帮开采过程, 可以直观地看到边坡稳定性的变化情况; 代表性剖面体现应力在不同深度的分布情况, 并确定应力集中区域; 节点的应力、应变曲线反映

了边坡体内不平衡力的形成和收敛过程以及位移量的大小。本次模拟符合露天矿边坡形成的一般过程, 可靠性较高。

3.3 开采方案及经济效益

通过对于条分式靠帮开采后的边坡模拟及稳定分析, 得出该区域进行分条区开采的最大稳定宽度为60 m, 三道岭露天矿采用的WK-4B型电铲, 其最大挖掘半径为14.8 m, 最大卸载半径为13.6 m, 电铲处于条带中间位置进行开采作业, 所需的作业空间宽度小于30 m, 理论分析得出的60 m条带宽度, 足以保证电铲作业的空间需求, 故可实行垂直边坡走向和平行边坡走向的2种条分式靠帮开采方式。

三道岭露天矿东端帮可采煤层厚度为10.9 m, 实行条分式靠帮开采后, 该区域的剥采比为4.24 m³/t, 按照400 m的可采长度计算, 可回收残煤19.31万t, 按照110元/t的时令市场价格计算, 可实现经济价值2224.1万元, 扣除剥离和采煤及其他附加费用, 仍可获利千万以上, 条分式靠帮开采技术上可行, 是一种新颖的靠帮开采思路。

4 结论

1) 三道岭露天矿东端帮(坐标)开采到界, 经FLAC^{3D}建模分析, 得出该边坡稳定性较差, 属于易滑区域, 为回收端帮压煤, 应该实行条分式靠帮开采。

2) 东端帮允许划定的条带宽度为60 m, 大于WK-4B电铲的工作直径, 可以实行垂直端帮推进的条分式靠帮开采。

3) 经过效益分析, 实行条分式靠帮开采, 可以将东端帮边坡角从34°提高到41°, 回收端帮压煤19.31万t, 创造2241.1万元的经济价值。条分式靠帮开采可以在保证边坡稳定的前提下回收端帮残煤, 在靠帮开采的设计思路和方案研究方面具有创新性, 具有很好的推广价值。

参考文献:

- [1] 才庆祥, 周伟, 舒继森, 等. 大型近水平露天煤矿端帮边坡时效性分析及应用[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(6): 740-744.
CAI Qing-xiang, ZHOU Wei, SHU Ji-sen, et al. Analysis and application on end-slope timeliness of internal dumping under flat dipping ore body in large surface coal mine [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37(6): 740-744.

- [2] 才庆祥, 周伟, 舒继森, 等. 近水平露天煤矿端帮靠帮开采方式与剥采比研究[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(6): 743-747.
CAI Qing-xiang, ZHOU Wei, SHU Ji-sen, et al. Research on the mining method and stripping ratio of steep end-slope mining in surface coal mines with flat coal deposit[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 36(6): 743-747.
- [3] 刘勇, 车兆学, 李志强, 等. 露天煤矿端帮残煤开采及边坡暴露时间分析[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(6): 727-730.
LIU Yong, CHE Zhao-xue, LI Zhi-qiang, et al. Analyses of end slope remnant coal mining and slope exposure time[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2006, 35(6): 727-730.
- [4] 曾维国, 车兆学, 李旭, 等. 基于 Bishop 法的露天矿边坡稳定分析与实现[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(2): 265-270.
ZENG Wei-guo, CHE Zhao-xue, LI Xu, et al. Analysis and implementation of surface mine slope stability based on bishop method[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(2): 265-270.
- [5] 郭麒麟, 乔世范, 刘宝琛. 开采影响下的岩土体移动与变形规律[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(1): 109-114.
GUO Qi-lin, QIAO Shi-fan, LIU Bao-chen. The movement and deformation of soil and rock mass resulted from mining activity[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28(1): 109-114.
- [6] 李崇, 才庆祥, 袁迎菊. 露天煤矿端帮“呆滞煤”回采技术经济评价[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(2): 263-266.
LI Chong, CAI Qing-xiang, YUAN Ying-ju. Assessment of feasibility of leftover coal mining in end-slope of surface mine[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28(2): 263-266.
- [7] 石建勋, 刘新荣, 廖绍波. 矿区排土场堆载对边坡稳定性影响的分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(2): 258-262.
SHI Jian-xun, LIU Xin-rong, LIAO Shao-bo. Analysis of slope stability affected by load of waste dump of mining area[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28(2): 258-262.
- [8] 杨荣新. 露天采矿学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1990.
- [9] 李辉, 邓建辉. 滑坡体下挂帮矿开采方案与分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(5): 985-990.
LI Hui, DENG Jian-hui. Mining scheme and its analysis of a hanging-wall ore below a landslide[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(5): 985-990.
- [10] 陈俊杰, 邹友峰, 郭文兵. 厚松散层下下沉系数与采动程度关系研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(2): 250-254.
CHEN Jun-jie, ZOU You-feng, GUO Wen-bing. Study on the relationship between subsidence coefficient and mining degree under a thick alluvium stratum[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(2): 250-254.
- [11] 周寿昌, 杜竞中, 郭增涛, 等. 露天矿边坡稳定[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1990.
- [12] 吕金星, 舒继森. 内排土场对露天矿端帮稳定性的影响[J]. 金属矿山, 2012, 36(3): 45-47.
LV Jin-xing, SHU Ji-sen. Influence of internal dumping on stability of end-slope in open-pits[J]. Metal Mine, 2012, 36(3): 45-47.
- [13] 蓝航. 基于 FLAC^{3D} 的边坡单元安全度分析及应用[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(4): 570-574.
LAN Hang. Analysis of zone safety degree of slopes and its application based on FLAC^{3D}[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37(4): 570-574.
- [14] 王向东, 文江泉. 用 FLAC-3D 进行土质高边坡稳定性分析[J]. 西华大学学报, 2005, 24(3): 87-89.
WANG Xiang-dong, WEN Jiang-quan. Stability analysis of soil slope by using FLAC-3D[J]. Journal of Xihua University, 2005, 24(3): 87-89.
- [15] 刘春玲, 祁生文, 童立强, 等. 利用 FLAC^{3D} 分析某边坡地震稳定性[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(16): 2730-2733.
LIU Chun-ling, QI Sheng-wen, TONG Li-qiang, et al. Stability analysis of slope under earthquake with FLAC^{3D}[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(16): 2730-2733.
- [16] 尚涛, 舒继森, 才庆祥, 等. 露天煤矿端帮采煤与露天采排工程的时空关系[J]. 中国矿业大学学报, 2001, 30(1): 27-29.
SHANG Tao, SHU Ji-sen, CAI Qing-xiang, et al. Space-time relationship between end-slope coal extraction and dumping and mining of open-pits[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2001, 30(1): 27-29.