

露天转地下过渡期岩移危害控制方法

李海英¹, 任凤玉¹, 严国富², 赵云峰²

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 西钢集团灯塔矿业有限公司, 辽宁 灯塔 111300)

摘 要: 在露天转地下过渡期, 由于露天地下同时生产的岩移干扰, 经常导致安全生产条件差和产量衔接困难. 针对露天转地下过渡期露天开采境界内底部矿量、地下开采挂帮矿的实际生产条件, 系统地研究了地下开采与岩移特点, 提出了应用诱导冒落技术控制挂帮矿地采岩移的方法, 不仅改善了露天地下安全生产条件, 而且扩展了露天地下同时开采时间与空间. 这一方法应用于小汪沟铁矿, 有效解决了露天转地下过渡期产量衔接的难题, 并实现了安全高效开采.

关 键 词: 露天转地下; 诱导冒落; 岩移控制; 产量衔接; 安全生产

中图分类号: TD 853.3

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)03-0419-05

Control Method of Rock Caving Hazard During Transition from Open Pit to Underground Mining

LI Hai-ying¹, REN Feng-yu¹, YAN Guo-fu², ZHAO Yun-feng²

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Xigang Group Dengta Mining Co., Ltd., Dengta 111300, China. Corresponding author: LI Hai-ying, E-mail: lihaiying1734@163.com)

Abstract: Due to mutual interferences between the open pit & underground mining operations during the transition period from open pit to underground mining, poor safety production and difficult production continuation occur much more frequently. Aiming at the production conditions of ore-body at the open pit bottom and hanging-wall ore-body of underground mining during transition period, a method was proposed to control the hanging rock caving with the induced caving mining technology through the systematic study on the underground mining and rock caving. In this way, the safety conditions of open pit & underground mining could be improved, and the time and space of open pit & underground mining are also extended. The proposed method was adopted in Xiaowanggou Iron Mine to solve the problem of production discontinuation. The applied results show that a highly efficient and safe mining is realized during the transition from open pit to underground mining.

Key words: transition from open pit to underground mining; induced caving; rock caving control; output continuation; safety production

在中国冶金矿山中, 目前约 90% 的露天矿均已进入深部开采, 其中许多深凹露天矿正陆续转入地下开采. 在露天转地下开采的过渡期, 通常露天开采境界内底部矿量, 地下开采挂帮矿量, 露天生产与地下生产往往相互干扰, 经常导致安全生产条件差和产量衔接困难^[1-3]. 为解决这一问题, 国内外从延长露天采场服务年限和优选地下采矿

方法两方面进行了大量研究工作^[4-5], 同时研究了挂帮矿开采对边坡稳定性影响及其边坡稳定性控制问题^[6-11]. 这些研究成果, 有效指导了过渡期采矿方法及其采场结构参数的合理选择, 在一定程度上减缓了产量衔接的难度, 但由于缺少边坡岩移危害的控制方法, 不允许在露天地下同时生产期间发生边坡岩移, 从而不能从根本上排除

露天地下同时生产的相互干扰,随之不能解除停产或减产过渡的困境.

笔者通过研究挂帮矿地下采空区冒落引起边坡岩移的特点,发现可通过协调回采顺序与控制采空区尺寸的方法,引导岩移的方向指向塌陷坑,进而消除露天转地下过渡期间的边坡岩移危害.据此研发了应用诱导冒落技术控制挂帮矿地采岩移的新方法,使地采引起的边坡塌陷活动不危害其下露天生产安全,从而可延长露天与地下同时生产的时间,为露天转地下平稳或增产过渡提供技术保障.

1 挂帮矿地下开采与岩移特点

在露天转地下开采的过渡期,挂帮矿通常为地下首采对象,该矿体属于露天采后的境界外矿体,露天坑的上大下小形状,通常决定了挂帮矿的空间形状为上部较小下部较大.挂帮矿一般应用无底柱分段崩落法开采,从上向下逐分段回采,分段回采面积从小到大,随之采场生产能力由小逐步增大.为使地采尽早达到设计生产能力,挂帮矿开采的时间越早越好.

挂帮矿开采的最大问题是可引起露天边坡发生岩移,危及露天采场生产安全.通常挂帮矿采空区跨度达到一定值时,顶板围岩便会发生冒落,当冒落高度通达地表时,便会引起露天边帮陷落,形成塌陷坑.

为确保露天开采工作面人员与设备的安全,以往通常采取控制边坡稳定性的方法,限制边坡不发生岩移,其结果是地采的时间与规模都受到很大限制.实际上,在塌陷坑形成过程中或形成之后,露天边坡所发生的岩体滑移能否影响到露天坑底部的正常生产,完全取决于岩体滑移的方向,而这一方向由空区陷落条件及其塌陷坑的几何条件所决定.当塌陷时的岩移波及不到边坡的保护区域,且塌陷坑能够完整容纳滑移的边坡岩体时,则可用塌陷坑本身的吸收功能控制边坡岩体的滑移方向,使所有脱离母体的边坡散体都被引向塌陷坑,而不及及露天坑底工作面,从而不影响不到露天生产工作面.

由此可见,在露天转地下过渡期,为保障挂帮矿地下开采与坑底矿露天开采的生产安全,除了常规的控制边坡岩体的稳定性之外,也可通过控制边坡滑移的方向,即可允许边坡岩体发生陷落与滑移,控制其指向塌陷坑而不冲向露天坑底,同样可以保障露天工作面安全.本文针对后一种条

件研究岩移危害控制问题.

2 挂帮矿地下开采岩移及其危害的控制方法

根据挂帮矿地下开采及边坡岩移的特点,结合露天转地下过渡期的生产条件,挂帮矿地下开采引起的露天边坡岩移的控制问题,可归结为如下三个方面:①控制露天边坡岩移的进程;②控制边坡岩体陷落与滑移的方向;③设置必要的露天拦截工程.

1) 控制露天边坡岩移进程的方法.在挂帮矿开采中,在边坡之下形成采空区,采空区围岩稳定平衡拱的受力关系如图 1 所示.为计算临界冒落跨度,将受力分析转化为平面问题,分析得出,引起边坡岩体冒落的单位面积上的岩体抗压力 T 与采空区半跨度 l 的近似函数关系式如下:

$$T=\frac{\gamma l^2}{h}\left(\frac{H}{2}+\frac{l}{3}\tan\alpha\right).$$

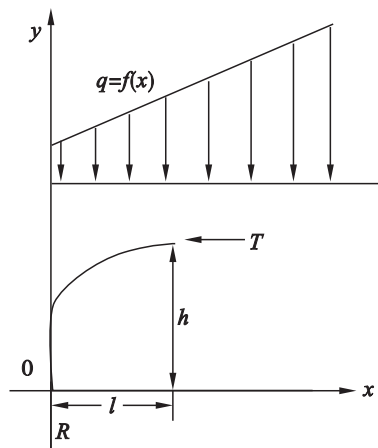


图 1 平衡拱受力分析图
Fig. 1 The stress analysis of balanced arch

式中: T 为单位面积上的岩体抗压力, t ; γ 为上覆岩层容重, t/m^2 ; h 为空区高度, m ; H 为空区顶板埋深, m ; α 为露天边坡角, $(^\circ)$.

对于具体矿山,将其上覆岩层容重 γ 、空区高度 h 、空区顶板埋深 H 与上覆围岩单位面积上的极限抗压力 T 代入式(1),便可计算出临界冒落跨度值 $2l$.

为便于控制边帮岩体的冒落进程和提高生产能力,可将无底柱分段崩落法的第一分段进路布置在矿体厚度大于 $2l$ 的标高位置,对于其上矿石,按诱导冒落法开采^[12],即将第一分段进路回采时完整崩透,形成连续采空区,诱导上部矿石与

围岩自然冒落. 冒落的矿石在下面分段回采时逐步回收, 冒落的岩石形成覆盖岩层, 满足无底柱分段崩落法正常生产需要.

在第一分段进路回采过程中, 通过控制连续采空区跨度, 来控制顶板围岩的冒落进程, 进而控制边坡冒落时间, 即待边坡允许冒落时再冒透地表. 诱导工程一般宜靠近挂帮矿下部且其下有1~2个分段具备接收条件, 这样既有利于推迟冒透地表的时间, 又可使诱导冒落的矿量得到充分回收.

2) 边坡岩移塌陷与滑移方向控制方法. 露天边坡的陷落与滑移运动可能分次发生, 也可能接续顺次发生, 主要取决于边坡岩体的稳固条件. 由于受爆破震动影响, 一般边坡岩体的稳定性较差, 陷落与滑移连续进行的可能性较大, 需根据边坡需要保护的范 围, 控制挂帮矿回采范围, 以限制陷落规模与滑移范围. 另一方面, 陷落后接续发生的滑移散体, 不允许越过塌陷坑而冲落于露天坑底, 危害露天生产安全, 因而要求边坡塌陷坑的容积足够大, 能够完整容纳边坡滑移而入的散体. 为此, 开采挂帮矿时, 除考虑临界冒落跨度外, 还需综合考虑回采量与滑落量的数值关系. 在垂直边坡的剖面图上, 回采区与滑落区的位置关系见图2. 图中阴影部分为边坡滑落散体的最大堆存区, 黑粗线圈出部分为滑落区.

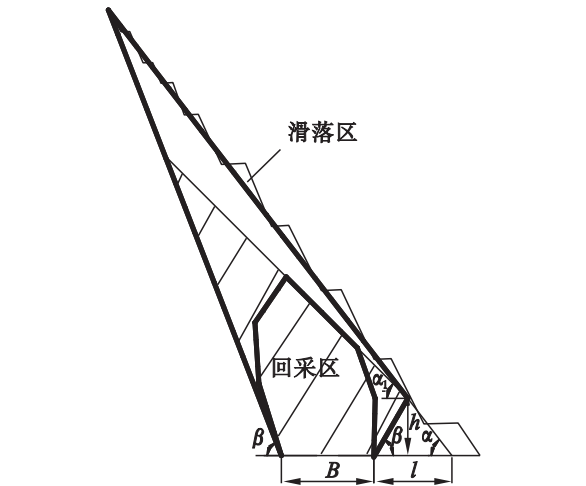


图2 回采区与滑落区位置关系示意图
Fig. 2 Position relationship between the stopping area and the sliding area

根据最大堆存区的散体容量需大于滑落区散体量方可控制岩移危害的要求, 可推算出回采面积 $S_{\text{回}}$ 需满足如下公式:

$$S_{\text{回}} > \frac{1}{2} \left[\frac{(B+l)^2}{\cot\alpha - \cot\beta} - \frac{l^2}{\cot\alpha + \cot\beta} \right] - \frac{1}{2\eta} \times$$

$$\left\{ \frac{[(B+l) - l\eta]^2}{\cot\alpha_1 - \cot\beta} + \frac{2(B+l)l - (1+\eta)l^2}{\cot\alpha + \cot\beta} \right\}.$$

式中: $\eta = \frac{\cot\alpha - \cot\beta}{\cot\alpha + \cot\beta}$; α 为露天边坡角, $^{\circ}$; α_1 为滑落散体坡面角, $^{\circ}$; β 为矿岩滑移角, $^{\circ}$; B 为回采宽度, m; l 为保安矿柱宽度, m; η 为矿岩碎胀系数.

设定 $B+l=200(\cot\alpha - \cot\beta)$, 取 $\alpha=42^{\circ}$, $\alpha_1=35^{\circ}$, $\beta=56^{\circ}$, $\eta=1.12$, 得到回采面积 $S_{\text{回}}$ 与保安矿柱宽度 l 关系: $S_{\text{回}} > 0.41l^2 - 72.53l + 4\,116.52$, 回采面积 $S_{\text{回}}$ 与保安矿柱宽度 l 变化关系见图3.

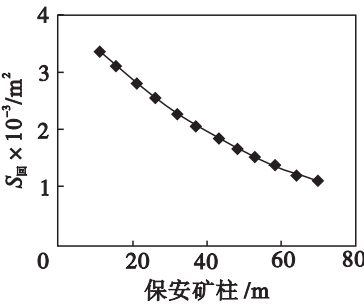


图3 回采面积与安全矿柱宽度关系
Fig. 3 Relationship between stopping area & the width of safety pillar

由图3可见, 在计算条件下, 所需回采面积 $S_{\text{回}}$ 最小值随着保安矿柱宽度 l 的增大而非线性减小, 这一关系表明保安矿柱宽度 l 存在最优值. 实际生产中, 可根据实际矿体的剖面面积与可采面积满足图2所示保安矿柱宽度 l 与 $S_{\text{回}}$ 的数值关系, 再根据图3关系确定出 l 的最优值. 一般情况下, 满足图3关系的回采面积 $S_{\text{回}}$ 越大越好, 此时对应的 l 即为最优值. 这是因为, 回采面积大有利于确保采空区上部矿岩诱导冒落. 自然, 回采面积的最小值应保障采空区跨度大于矿岩临界冒落跨度, 以促使边坡围岩如期冒落.

3) 设置露天拦截工程. 当地下开采受矿体赋存条件限制, 边坡高陡, 诱导冒落工程所形成的地下采空区的容量不足以存放上部可能发生岩移的散体量时, 岩移散体充满塌陷坑后将继续下滑, 此时, 需在露天采场的适宜位置设置拦截工程, 避免岩移对露天采场的滚石冲击危害. 此外, 对于稳定性较差的高陡边坡, 特别是边坡岩体节理裂隙发育时, 虽然诱导冒落形成的塌陷坑容积能够存放塌冒岩移量, 但因不能排除地下开采扰动引起露天边坡危石滚落, 为确保露天工作面生产安全, 也需根据滚石试验结果, 在露天回采工作面设置废石挡墙, 采用双重保护措施以确保露天开采的生产安全.

3 应用效果

本文提出的挂帮矿地采岩移控制方法在西钢灯塔矿业小汪沟铁矿等矿山得到实际应用,取得了显著的技术经济效益。

小汪沟铁矿为沉积变质型磁铁矿床,主要由 I、II 号矿体组成,矿体的侧伏角 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$,倾向最大延深 400 m,矿体厚度 20 ~ 90 m,平均厚度 24.15 m,矿体倾角上陡下缓,一般 $40^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。地表浅部矿体应用露天开采至 +300 m 水平, +300 m 之下转入地下,应用无底柱分段崩落法开采。+300 m 分段为首采分段,回采挂帮矿量的同时,诱导上部边坡岩体自然冒落形成覆盖层。

该矿由实测得出的顶板围岩的抗压强度为 35.71 ~ 50.24 MPa,按试样数加权平均强度值为 40.21 MPa,将 $T = 40.21 \text{ MPa} = 4\ 101.42 \text{ t/m}^2$, $H = 15 \text{ m}$, $\gamma = 2.75 \text{ t/m}^3$, $h = 12 \text{ m}$, $\alpha = 30.5^{\circ}$ 代入式(1),计算得 $l = 35.23 \text{ m}$ 。即,在采空区跨度达到 70.46 m 时,顶板围岩就会发生冒落。

小汪沟铁矿在 +300 m 水平的矿体宽度为 80 m,是临界冒落跨度的 1.16 倍,足以诱导边坡岩体自然冒落。为此采取从矿体边缘向进路联巷退采的回采顺序,并按上覆岩层高度的 20% 确定回采高度,使采空区容量大于上覆岩层滑落散体的碎胀量,以此保障塌陷坑完全能够吸收滑落散体。通过如此调整回采顺序与回采高度,有效控制了边坡岩体的移动方向,使其指向塌陷坑,结果在露天转地下生产中,露天边坡不知不觉地完成了大冒落过程,对矿山露天及地下生产未造成任何影响,露天坑边帮滑落状态见图 4。由于过渡期露天边坡岩移得到有效的控制,小汪沟铁矿在矿体规模小、露天转地下减产甚至停产衔接的条件下,实现了大幅度增产衔接,开创了我国露天转地下快速达产与增产之先河。



图 4 小汪沟铁矿露天滑落状态

Fig. 4 Collapse of Xiaowanggou Iron Mine

4 结 论

1) 在露天转地下的过渡期,边坡岩移是干扰露天地下同时生产的最主要因素,除了常规的控制边坡岩体的稳定性之外,还可控制边坡滑落的方向,保障边坡岩移不影响露天生产安全。

2) 通过调整挂帮矿的回采顺序与开采高度,达到一定跨度的采空区诱导边坡岩体滑落,形成足够吸收边坡滑落散体的塌陷坑,便可有效控制边坡滑落的方向。

3) 实际生产矿山,可按公式 $T = \frac{\gamma l^2}{h} \times \left(\frac{H}{2} + \frac{l}{3} \tan \alpha \right)$ 及 $S_{\text{回}} > \frac{1}{2} \left[\frac{(B+l)^2}{\cot \alpha_1 - \cot \beta} - \frac{l^2}{\cot \alpha + \cot \beta} \right] - \frac{1}{2\eta} \left\{ \frac{[(B+l) - l \nabla]^2}{\cot \alpha_1 - \cot \beta} + \frac{2(B+l)l - (1 + \nabla)l^2}{\cot \alpha + \cot \beta} \right\}$, 合理确定出过渡期挂帮矿的回采范围参数,以及评估是否需要设立辅助拦截工程严防岩移危害。

4) 理论分析与实践应用表明,本文提出的通过控制边坡滑落方向来控制岩移危害的方法,可有效减小露天地下同时生产的相互干扰,大幅度提高过渡期的生产能力。

参考文献:

- [1] 孟桂芳. 国内外露天转地下开采现状[J]. 中国有色金属, 2008(22): 70-71.
(Meng Gui-fang. Mining status from open pit to underground at home and abroad [J]. *China Nonferrous Metals*, 2008 (22): 70-71.)
- [2] 杨福海,李富平. 露天转地下开采的若干特殊技术问题(国内外露天转地下开采技术综述)[J]. 河北冶金, 1994(3): 1-4.
(Yang Fu-hai, Li Fu-ping. Several specific technical issues from open pit to underground mining [J]. *Hebei Metallurgy*, 1994(3): 1-4.)
- [3] Hassan S A, Schunnesson H, Greberg J, et al. Transition from surface to underground mining in the arctic region: a case study from Svartliden Gold Mine, Sweden [C]// Mine Planning and Equipment Selection. Sweden: Taylor & Francis Group, 2014: 1397-1408.
- [4] 柳小胜,宋嘉栋,肖木恩. 露天转地下开采矿山延长露天采场服务年限的途径[J]. 采矿技术, 2006(1): 7-8.
(Liu Xiao-sheng, Song Jia-dong, Xiao Mu-en. Pathway of extending the service life of the open pit from open pit to underground mining [J]. *Mining Technology*, 2006(1): 7-8.)
- [5] 徐长佑. 关于露天矿转入地下开采中的几个问题[J]. 武汉建材学院学报, 1980(2): 58-67.
(Xu Chang-you. Issues on mining from open pit mining to underground [J]. *Wuhan Institute of Building Materials*, 1980 (2): 58-67.)