

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2016.04.013

基于协调开采技术的相邻露天矿开采程序优化

刘 闯,白润才,刘光伟,曹 博

(辽宁工程技术大学 矿业学院,辽宁 阜新 123000)

摘 要:针对相邻露天矿实施协调开采带来的长期经济效益与开采程序变化影响短期经济效益之间存在矛盾的问题,运用露天采矿学的基本原理,研究相邻露天矿开采程序优化。分析协调开采技术的特点及采场贯通的影响因素,提出采区划分方案优化准则;建立采场、排土场形态优化模型,给出相邻采场贯通时间的计算方法,并提出贯通后采场、排土场形态优化方法。笔者结合工程实例对模型进行了验证,结果表明:通过优化采场、排土场形态,可有效减少剥离量,增加内排空间,提高贯通采场期间两矿经济效益。

关键词:露天矿;协调开采;开采程序;采区划分;采场形态

中图分类号:TD82

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2016)04-103-09

Optimization of mining sequence based on coordination mining technology between two adjacent open pits

LIU Chuang, BAI Runcai, LIU Guangwei, CAO Bo

(College of Mining and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, P.R.China)

Abstract: To resolve the contradiction between long-term economic benefits generated by coordinating mining technology and short-term profits affected by changing mining sequences, we used the basic principles of surface mining to optimize the mining sequences of two adjacent open pits. We first analyzed the characteristics of coordination mining technology and influencing factors for unifying stopes, then proposed an optimization criterion about mining district dividing schemes, also built optimization models about forms of stope and dump and gave a method to calculate the time of unifying stopes, and finally proposed an method to optimize forms of stope and dump after stopes were unified. The proposed models were verified through an engineering example. The results show that optimizing forms of stope and dump can reduce overburden, increase internal dump space reasonably, and enhance economic benefits of open pits in the process of unifying stopes.

Keywords: open pit; coordination mining; mining sequence; mining district dividing; form of stope

改革开放以来,中国露天煤炭事业发展迅猛,在山西、内蒙古、新疆等地相继开发了平朔煤田、胜利煤田、准格尔煤田、白音华煤田和准东煤田等大型缓倾斜、近水平煤层露天煤田^[1-3],并在同一煤田开发建设了若干彼此相邻的露天矿^[4]。随着矿山工程的发展,独立开采的露天矿普遍存在的边坡稳定性差、边帮压煤回采难度大及端帮煤炭自燃等问题^[5-10],在相邻露天矿也日渐凸显。

收稿日期:2016-03-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51304104)。

Supported by the National Natural Science Foundation of China (51304104).

作者简介:刘闯(1988-),男,辽宁工程技术大学博士研究生,主要从事露天采矿理论与技术方面的研究,
(E-mail)lchyn2006@126.com。

相邻露天矿边帮压煤区一般呈三角形或梯形,开采边帮压煤具有剥离量小,回采煤量大,剥采比小(约为露天矿柱状剥采比的一半),经济效益好的特点,是露天开采不可多得的优质资源^[11]。从长远看,为提高资源回收率,延长露天矿服务年限,消除端帮滑坡和煤炭自燃隐患,相邻露天矿实施协调开采,回采边帮压煤,具有巨大的经济、社会和生态效益。然而,实施边帮压煤协调开采,需贯通两矿采场,势必引起两矿开采程序的调整,将直接影响两矿采场贯通期间的短期经济效益,是开发主体决定是否实施协调开采的重要考量。因此,以合理的开采成本取得优质资源,兼顾短期效益与长期效益,对实现边帮压煤协调开采具有重要意义。

一般来讲,露天矿开采程序研究只针对单一露天矿^[12-13]。近年来,白润才等^[11]、张志等^[14]提出了“相邻露天矿协调开采技术”,从理论上论证了相邻露天矿实施协调开采的可行性,并对相邻两矿开采程序进行了分析研究,但仍不够完善。曹春杰^[15]提出了相邻露天矿中超前一方剥离工程预先进入另一方矿田境界内,回采本方境内煤炭资源,并为另一方保留剥离台阶的采场贯通方式,也存在超前剥离和越界开采的问题。为此,笔者提出基于相邻露天矿协调开采技术的采区划分方案优化准则和采场、排土场形态优化方法。

1 相邻露天矿协调开采特点及影响因素分析

1.1 相邻露天矿协调开采特点

当相邻露天矿深部剥采工程在矿权界(或矿权中心线)具备同时作业条件时,称为两矿采场贯通。相邻露天矿协调开采的核心内容就是贯通两矿采场,实现剥采排工程时空关系协调接续,同时回采边帮压煤。这种开采方式决定了边帮压煤协调开采具有如下的特点:

1)相对一致性:剥采工程位置及其发展方向的相对一致是相邻露天矿贯通采场、实施协调开采的前提条件;

2)经济性:相邻露天矿边帮压煤区的空间形态决定了边帮压煤具有较高的开采价值。因此,选择安全、经济合理的采场贯通方式,减少贯通采场期间剥离量,降低剥采比,增加内排空间,实现开采边帮压煤经济效益最大化是必要的;

3)紧迫性:严格的时效控制是实施协调开采的必然要求。相邻露天矿中具备内排条件一方一旦实施压帮内排,滞后一方再回采边帮压煤,势必产生二次剥离且剥采比显著增大,经济上不合理。因此,贯通采场必须在内排压帮前完成;

4)协同性:剥采排工程协同发展是实施协调开采的基础。露天开采方式天然地决定了相邻露天矿贯通采场需在同一时段完成,要求两矿剥采排工程发展具备高度的协同性,因此,两矿剥采排工程发展及开拓运输系统布置需紧密配合。

1.2 贯通采场的主要影响因素

影响相邻露天矿采场贯通的因素有很多,如煤层赋存条件、地质构造、剥采工程时空关系、开采工艺、地面生产系统等。总的来讲,最为显著的因素是开采程序和开发进度。

1.2.1 开采程序

受矿床赋存条件、露天矿最终境界特征、设计规模、开采工艺等多种因素的影响,相邻露天矿开采程序各不相同,具体表现为采区划分、开采顺序及工作线推进方向的不一致^[16-17],这直接影响到协调开采对相对一致性的要求。按两矿相邻采区工作线推进方向的关系划分,相邻采区可能的推进方式有:垂直推进(①、②)、相向推进(②、⑤)、反向推进(③、④)和同向推进(⑤、⑥),如图 1 所示,下面逐一分析。

a.垂直推进:相邻采区工作线推进方向垂直,不具备贯通采场的条件,一旦实施压帮内排,边帮压煤难以回采;

b.相向推进:与反向推进相反,相邻边帮位于采区终了境界。通常情况下,由于近水平露天矿在实现完全内排前产生大量外排,采区终了时内排空间便不再紧张,提前到界一方有充足的时间与空间,等候滞后到界一方完成采场贯通;

c.反向推进:相邻边帮位于初始拉沟处。由于露天矿具备内排条件时优先实施内排。因此,协调开采边

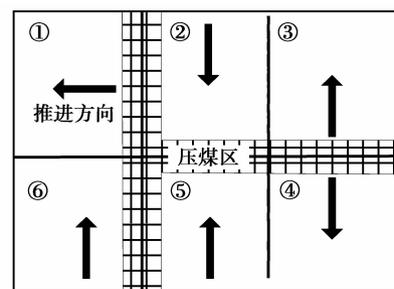


图 1 相邻采区位置及工作线推进方向关系
Fig.1 Relationship of adjacent mining districts and working bench advancing direction

帮压煤要求两相邻采区在基建期必须同时进行拉沟作业,保持初始拉沟工程位置的协调一致,时空关系要求高;

d.同向推进:相邻采区同向推进在空间上具备贯通采场的必要条件,是协调开采端帮压煤的理想推进方式。

通过以上分析可知,b、c 两种推进方式的边帮压煤量与工作线长度线性相关,在所有边帮压煤中占比较少。a、d 两种推进方式的边帮压煤位于端帮,压煤量在所有边帮压煤中占比较大。为了使垂直推进的相邻采区满足协调开采的条件,必须对其中一方开采程序进行调整,即调整其采区划分、开采顺序及工作线推进方向,使相邻采区同向推进。

1.2.2 开发进度与推进速度

受矿体赋存条件、市场环境及开发主体决策的影响,相邻露天矿在开发建设时间、生产规模、开采工艺等方面存在差异,造成同向推进的相邻采区开发进度和推进速度不同,采场工作帮在推进方向上存在超前与滞后的关系(如图 2 所示),直接影响两矿采场贯通方式选择及贯通期间经济效益。

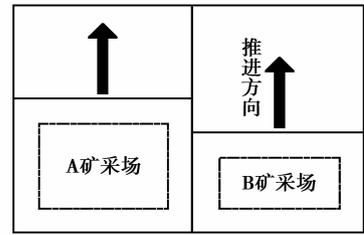
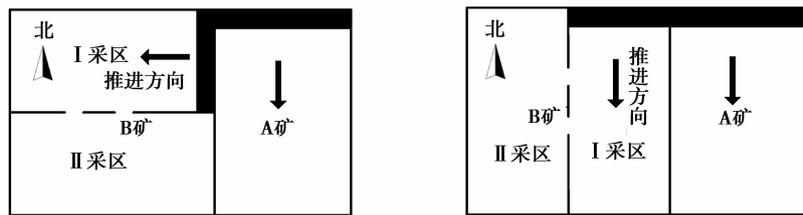


图 2 相邻露天矿剥采工程位置关系 Fig.2 Relationship of stripping and mining engineering position between two adjacent open pits

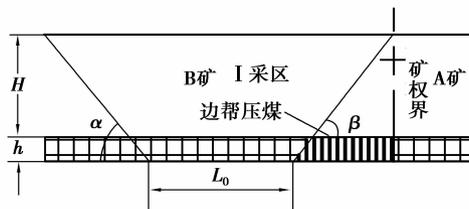
2 采区划分方案优化准则

针对垂直推进的相邻采区不具备实施协调开采条件,为了回采边帮压煤,需要对采区划分方案进行优化的情况提出采区划分方案优化应遵循的准则。

以相邻采区垂直推进的相邻露天矿 A、B 为例,独立开采条件下,B 矿采区划分选择方案 I:南北划分采区,I 采区与 A 矿采场垂直布置(见图 3(a)),其 I 采区生产剥采比 n_1 小于等于方案 II 中 I 采区生产剥采比 n_2 (见图 3(b)),因此,独立开采时 B 矿按方案 I 划分采区是合理的。而相邻采区平行布置、工作线同向推进是实现相邻露天矿边帮压煤协调开采的必要条件,与 B 矿独立开采时的采区划分方案存在矛盾。为兼顾回采边帮压煤带来的长期效益与露天矿初期经济效益,在回采边帮压煤的同时,必须控制初期生产剥采比。即 B 矿采区划分方案优化须满足:协调开采条件下方案 II 中 I 采区的生产剥采比 n_3 小于等于独立开采条件下方案 I 中 I 采区的生产剥采比 n_1 。



(a)方案 I: 南北划分采区, 垂直推进 (b)方案 II: 东西划分采区, 同向推进



(c)同时推进 I 采区垂直推进方向剖面

图 3 采区划分方案示意

Fig.3 Sketch map of mining districts dividing scheme

独立开采条件下,方案 II 中 I 采区采场两侧均保留端帮,其垂直于推进方向的剖面如图 3(c)所示。此时 I 采区生产剥采比为

$$n_2 = \frac{H(H+h)(\cot \alpha + \cot \beta)}{h(2L_0 + h(\cot \alpha + \cot \beta))}, \quad (1)$$

式中: n_2 为独立开采条件下方案 II 中 I 采区生产剥采比, m^3/m^3 ; H 、 h 分别为剥离物、煤层厚度, m ; L_0 为采场底部宽度, m ; α 、 β 为 I 采区两端帮边坡角, ($^\circ$)。

协调开采条件下, A、B 两矿消除相邻边帮, 回采边帮压煤, I 采区只保留西侧边帮, 如图 3(c) 所示。此时 I 采区生产剥采比为

$$n_3 = \frac{H[2L_0 + (H+h)(\cot \alpha + 2\cot \beta) + h\cot \alpha]}{h(2L_0 + 2(H+h)\cot \beta + h\cot \alpha)}, \quad (2)$$

式中: n_3 为协调开采条件下 I 采区生产剥采比, m^3/m^3 。

根据露天开采理论, 由于端帮的存在, 通常情况下露天矿生产剥采比总是大于同区域的柱状剥采比, 且生产剥采比越接近柱状剥采比, 矿床开采经济效益越好^[18]。因此, 独立开采条件下与协调开采条件下方案 II 中 I 采区生产剥采比与柱状剥采比差值之比

$$k = \frac{n_2 - n_0}{n_3 - n_0} = \frac{1 + \cot \beta}{\cot \alpha} \left[1 + \frac{2(H+h)\cot \beta}{2L_0 + h(\cot \beta + \cot \alpha)} \right], \quad (3)$$

式中: k 为独立开采条件下与协调开采条件下方案 II 中 I 采区生产剥采比与柱状剥采比差值之比, 无单位; n_0 为同向推进时 B 矿 I 采区柱状剥采比, $n_0 = H/h$, m^3/m^3 。

取 $\alpha = \beta$ (同区域端帮边坡角可近似认为相同), 对式(3)进行简化, 得

$$k = 2 \left[1 + \frac{2H\cot \beta + h\cot \beta}{2L_0 + 2h\cot \beta} \right]. \quad (4)$$

根据露天矿采场实际情况, $L_0 > H\cot \beta$, 故:

$$\frac{1}{4} < \frac{1}{k} < \frac{1}{2}. \quad (5)$$

综上所述, 与独立开采相比, 协调开采条件下方案 II 中 I 采区生产剥采比与柱状剥采比差值可降低 50%~75%, 更接近柱状剥采比。即由于实施协调开采, B 矿 I 采区生产剥采比显著降低, 且 L_0 越大, 生产剥采比 n_3 越接近柱状剥采比 n_0 。

综合分析式(3)、(5)可知, 当 $n_1 \geq \frac{(n_2 - n_0)}{k} + n_0$ 时, 满足 $n_1 \geq n_3$, 则 B 矿采区划分优化方案是可行的,

A、B 两矿具备实施协调开采的必要条件。当然, 采区划分方案优化还必须考虑煤质、外排运距、地质构造、资源勘探程度等综合技术经济指标。

3 采场、排土场形态优化

根据露天开采理论, 矿床埋藏条件、露天采场的尺寸和几何形状、生产工艺系统、开拓方式等因素均影响露天矿开采程序的确定^[19]。尤其对于改扩建露天矿, 开采现状也对开采程序产生影响^[20]。相邻露天矿由独立开采过渡到协调开采, 实质上是在改建独立开采的两座露天矿山, 改变了原有露天采场的尺寸和几何形状, 必然影响两矿工作线布置及推进方式, 影响采场贯通期间的剥、采、排工程位置和工程量接续, 进而影响短期经济效益, 为经济高效地回采边帮压煤, 必须优化贯通后两矿采场形态。

3.1 采场贯通时间

为尽快贯通采场, 相邻两矿集中设备于端帮两侧, 从上至下缓端帮为工作帮, 然后各工作平盘平行作业, 相向推进, 如图 4 所示。采场贯通时间由缓帮作业时间和推帮作业时间两部分组成, 其中, 缓帮作业时间与端帮台阶数量有关, 推帮作业时间与端帮最下台阶坡底线距矿权界距离有关。那么单侧采场贯通时间为

$$T_d = (N_d + L_d/A_d - 1)T_a, \quad (6)$$

式中: T_d 为单侧采场贯通时间, a ; N_d 为端帮台阶数量, 个; L_d 为端帮最下台阶坡底线与矿权界距离, m ; A_d 为采掘带宽度, m ; T_a 为工作线推进单个采掘带距离所需的作业时间, a 。

因相邻露天矿贯通采场工程量与工程推进速度不同, 导致两矿单侧贯通时间不同。为确保剥采工程的协同性, 采场贯通时间取两矿单侧贯通时间中的大值。

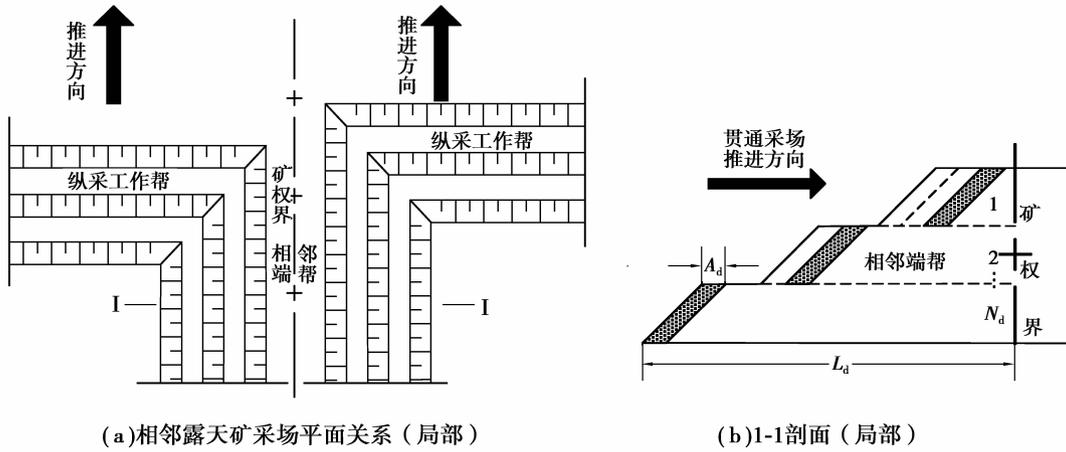


图 4 相邻露天矿单侧缓端帮为工作帮示意

Fig.4 Sketch map of turning end slope into working slope in one side of two adjacent open pits

3.2 贯通后采场、排土场形态优化模型

降低生产剥离比,充分利用内排空间,减少剥离外排,是提高采场贯通期间两矿经济效益的关键。由于相邻露天矿工作帮在推进方向上往往存在超前与滞后的关系,采场贯通后,两矿采场、排土场工作帮都以直角过渡,导致生产剥离比大,内排空间得不到充分利用,如图 5(a)所示。通过在两矿采场工作帮之间设置过渡角为 θ 的连接段(见图 5(b)),可改变采场、排土场空间形态,以达到减少剥离量、增加内排空间的目的。因此,贯通后采场、排土场空间形态优化的关键在于过渡角 θ 的确定。

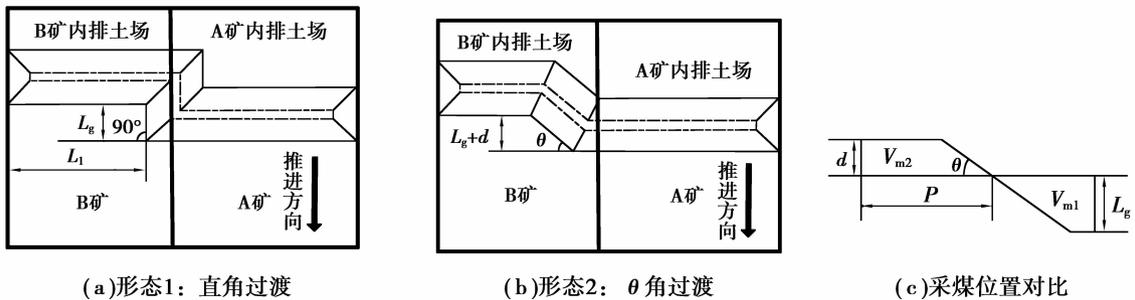


图 5 采场、排土场形态优化

Fig.5 Optimization of forms of slope and dumping

3.2.1 模型原理分析

以相邻露天矿 A、B 为例,两矿工作帮按直角连接时,采场、排土场形态如图 5(a)所示;工作帮按过渡角 θ 连接时,采场、排土场形态如图 5(b)所示。以图 5(a)所示直角过渡工程位置为对比基础,建立采场、排土场空间形态优化模型,分析计算过渡角大小对协调开采经济效益的影响。当剥离量减少和外排费用降低最多时,采场、排土场空间形态最优。

3.2.2 约束条件

1)受露天矿生产能力的约束,过渡段在采场相邻边帮处加强推进,必然要在另一侧端帮减缓推进,加强推进增加的煤量 V_{m1} 与减缓推进减少的煤量 V_{m2} 相等,如图 5(c)所示;

2)当 A 矿工作帮在推进方向上超前 B 矿工作帮距离 L_g 为定值时,过渡角 θ 越小, V_{m1} 、 V_{m2} 越大,局部工作帮收回距离 d 越大。工作帮局部收回距离 d 、局部回收段工作帮最下台阶坡底线长度 P 与过渡角 θ 之间存在如下几何关系(见图 5(c))。

$$\tan \theta \geq d/P. \tag{7}$$

3.2.3 综合经济效益计算

剥、采、排工程变化量由两部分组成：①局部加强推进，采场、排土场工作帮由形态 1 推进至形态 2，增加的剥离量 V_{y1} 、煤量 V_{m1} 、排土空间 V_{t1} ，如图 6 所示，图中 I-I 剖面垂直于连接段工作帮；②局部减缓推进，采场、排土场工作帮由形态 1 收回至形态 2，减少的剥离量 V_{y2} 、煤量 V_{m2} 、排土空间 V_{t1} ，如图 7 所示，图中 II-II 剖面平行于工作帮推进方向。剥、采、排工程变化量为

$$V_{y\text{总}} = V_{y2} - V_{y1}, \quad (8)$$

式中： $V_{y\text{总}}$ 为采场工作帮由形态 1 优化至形态 2 减少的剥离量， m^3 ； V_{y1} 为局部加强推进增加的剥离量， m^3 ； V_{y2} 为局部减缓推进减少的剥离量， m^3 。

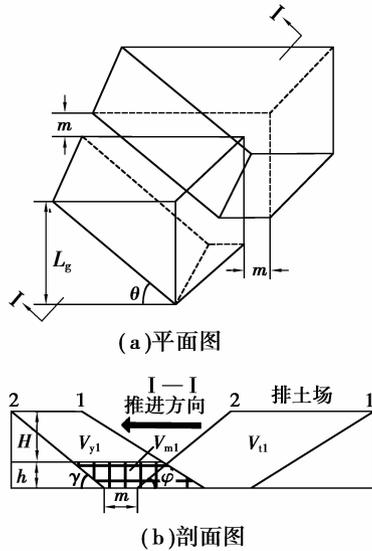


图 6 局部加强推进增加空间平剖面

Fig.6 Plan and profile of increasing space due to strengthening advance in part

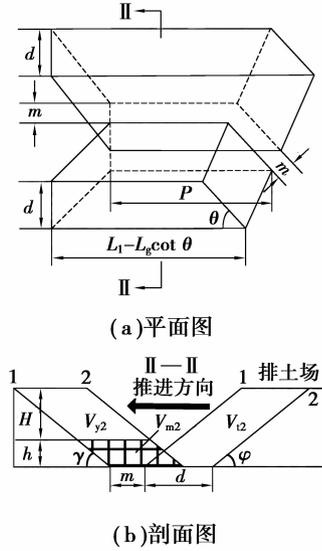


图 7 局部减缓推进减少空间平剖面

Fig.7 Plan and profile of decreasing space due to reducing advance in part

$$V_{m\text{总}} = V_{m2} - V_{m1}, \quad (9)$$

式中： $V_{m\text{总}}$ 为采场工作帮由形态 1 优化至形态 2 减少的煤量， $V_{m\text{总}} = 0, \text{m}^3$ ； V_{m1} 为局部加强推进增加的煤量， m^3 ； V_{m2} 为局部减缓推进减少的煤量， m^3 。

$$V_{t\text{总}} = V_{t1} - V_{t2}, \quad (10)$$

式中： $V_{t\text{总}}$ 为排土场工作帮由形态 1 优化至形态 2 增加的排土空间， m^3 ； V_{t1} 为局部加强推进增加的排土空间， m^3 ； V_{t2} 为局部减缓推进减少的排土空间， m^3 。

分析图 6、7 所示的空间关系，形态 1、2 之间形成的剥、采、排工程空间均为梯形台，应用微积分原理，剥、采、排工程变化量表示如下，

$$V_{y1} = [L_g^2 H \cot \theta + L_g H^2 (1 - \tan \frac{\theta}{2}) \cot \gamma] / 2, \quad (11)$$

式中： L_g 为 A 矿工作帮在推进方向上超前 B 矿工作帮的距离， m ； θ 为过渡角， $(^\circ)$ ； m 为追踪距离， m ； γ 为采场工作帮坡角， $(^\circ)$ ； φ 为内排土场工作帮坡角， $(^\circ)$ 。

$$V_{m1} = L_g h (2H + h) (1 - \tan \frac{\theta}{2}) \cot \gamma / 2 + L_g^2 h \cot \theta / 2, \quad (12)$$

$$V_{t1} = (H + h)^2 L_g (2 \cot \gamma + \cot \varphi) (1 - \tan \frac{\theta}{2}) / 2 + \quad (13)$$

$$(H + h) L_g m (1 - \tan \frac{\theta}{2}) + (H + h) L_g^2 \cot \theta / 2, \quad (13)$$

$$V_{y2} = [2L_1 - (2L_g + d) \cot \theta] H d / 2 + d H^2 \tan \frac{\theta}{2} / \sin \gamma - d H^2 \cot \epsilon, \quad (14)$$

式中: L_1 为直角过渡时采场工作帮最上台阶坡顶线长度,m; d 为工作帮局部收回距离,m; ϵ 为B矿端帮帮坡角, $(^\circ)$ 。

$$V_{m2} = [2L_1 - (2L_g + d) \cot \theta]hd/2 - d(2H + h)h \cot \epsilon + d(2H + h)h \tan \frac{\theta}{2}/\sin \gamma, \quad (15)$$

$$V_{t2} = \left(P + m \tan \frac{\theta}{2} - \frac{d}{2} \cot \theta\right)d(H + h) + \frac{d}{2}(H + h)^2 \cot \epsilon + \frac{d}{2}(H + h)^2 \tan \frac{\theta}{2}/\sin \varphi, \quad (16)$$

式中: P 为回收段工作帮最下台阶坡底线长度, $P = L_1 - L_g \cot \theta + (H + h) \left(\tan \frac{\theta}{2}/\sin \gamma - \cot \epsilon\right)$,m。

令 $V_{m\text{总}} = 0$,可得关于变量 d 的一元二次方程 $Ad^2 + Bd + C = 0$,根据方程根的表达式,理论上至少存在一个 d 使上式成立,即

$$d = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (B^2 - 4AC \geq 0), \quad (17)$$

式中: $A = h \cot \theta/2$, $C = V_{m1}$, $B = -H \left[L_1 - L_g \cot \theta + \frac{2H + h}{2} \left(\tan \frac{\theta}{2}/\sin \gamma - \cot \epsilon\right)\right]$ 。

将式(16)分别代入式(7)、(9),即可求得 $V_{y\text{总}}$ 、 $V_{t\text{总}}$ 关于过渡角 θ 的函数。那么,过渡角为 θ 时,减少的剥离费用

$$F_y = C_1 V_{y\text{总}}, \quad (18)$$

式中: F_y 为对应过渡角 θ 减少的剥离费用,元; C_1 为剥离单价,元/ m^3 。

减少的剥离外排费用

$$F_t = C_2 L_p V_{t\text{总}}/k_s, \quad (19)$$

式中: F_t 为对应过渡角 θ 减少的剥离外排费用,元; C_2 为综合运输单价,元/ $(\text{m}^3 \cdot \text{km})$; L_p 为缩短外排运距,km; k_s 为松散系数,无单位。

综上所述,过渡角为 θ 时采场、排土场形态优化产生的综合经济效益为

$$F_z = C_1 V_{y\text{总}} + C_2 L_p V_{t\text{总}}/k_s, \quad (20)$$

式中: F_z 为对应过渡角 θ 优化产生的综合经济效益,元。

根据 F_z 函数图像即可确定综合经济效益最优时的过渡角 θ 。

4 工程实例

4.1 工程背景

甲、乙两露天矿是典型的近水平煤层相邻露天矿,两矿工作帮同向推进,相邻边帮压煤3 826万t,压煤区剥采比 $2.1 \text{ m}^3/\text{t}$,实施协调开采具有较高的经济价值。

4.2 采场贯通时间确定

甲矿相邻端帮台阶数量13,端帮最下台阶坡底线与矿权界距离324m,采掘带宽度20m,端帮推进单个采掘带距离所需的作业时间0.063a。按式(6)计算得甲矿完成采场贯通时间:

$$T_d = (13 + 324/20 - 1) \times 0.063 = 1.78 \text{ a}.$$

乙矿相邻端帮台阶数为11个,端帮最下台阶坡底线与矿权界距离364m,采掘带宽度40m,端帮推进单个采掘带距离所需的作业时间0.125a。按式(5)计算得乙矿完成采场贯通时间:

$$T_d = (11 + 364/40 - 1) \times 0.125 = 2.39 \text{ a}.$$

综上所述,两矿采场贯通时间取大值,2.39a。

4.3 采场、排土场形态优化

应用SMCAD矿业工程软件建立矿床地质模型,根据计算确定的采场贯通时间和两矿生产能力,确定直角过渡贯通采场时甲矿工作帮超前乙矿103m。两矿主采煤层为6号煤层,剥离物厚度132m,煤层厚度为23m。乙矿采场工作帮最上台阶坡顶线长度1 950m,乙矿端帮帮坡角为 23° ,采场工作帮坡角为 18° ,内排土场工作帮坡角为 14° ,内排追踪距离150m,实施压帮内排;剥离单价为 $4.5 \text{ 元}/\text{m}^3$,剥离综合运输单价为

2 元/($\text{m}^3 \cdot \text{km}$), 缩短外排运距 2 km, 剥离物松散系数 1.15。将上述参数代入式(16), 计算得过渡角 $\theta > 10.9^\circ$; 再将上述参数代入式(17)、(18)、(19), 然后绘制 F_y 、 F_t 、 F_z 的函数图像, 如图 8 所示。分析函数图像可知, 当 $\theta \in (10, 80)$, F_y 随 θ 增大而减小, F_t 随 θ 增大而先增大后减小, 综合经济效益 F_z 随 θ 增大而减小。由于 $\theta > 10.9^\circ$, 故 $\theta = 11^\circ$ (θ 取整数) 时, F_z 取极大值 3 839 万元。即当以过渡角 11° 贯通两矿采场时, 可降低生产成本 3 839 万元; 将 θ 值代入式(6)、(8), 计算得减少剥离 426 万 m^3 , 增加内排空间 420 万 m^3 。采场形态优化前后两矿采排工程位置对比如图 9 所示。

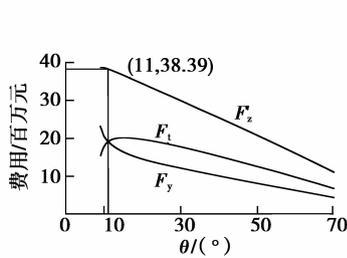


图 8 F_z 、 F_y 、 F_t 函数图像

Fig.8 Function graphs of F_z 、 F_y 、 F_t

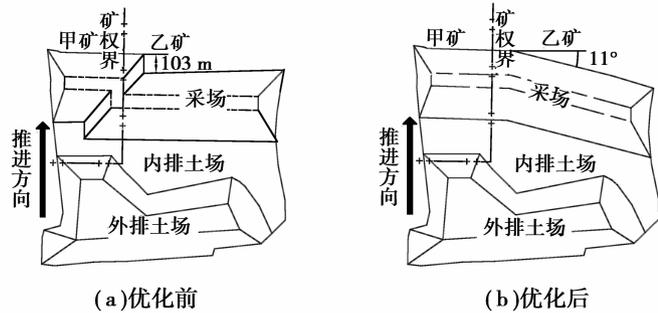


图 9 采场、排土场形态优化前后对比

Fig.9 Forms of slope and dumping before and after optimization

5 结 论

1) 相邻露天矿实施协调开采, 必须兼顾开采边帮压煤带来的长期效益和受开采程序变化影响的短期效益, 消除采区调整和贯通采场对短期经济效益的不利影响。

2) 相邻采区有垂直推进、同向推进、相向推进和反向推进 4 种推进方式, 垂直推进和同向推进较为普遍。同向推进是实施协调开采的最佳推进方式, 通过调整采区划分, 将推进方向调整为同向推进是垂直推进的相邻采区实施协调开采的必要条件。

3) 与独立开采相比, 协调开采条件下采区划分方案 II 中 I 采区生产剥采比与柱状剥采比差值降低 50%~75%, 更接近柱状剥采比。因此, 当条件满足时, 通过优化采区划分, 将相邻采区由垂直推进调整为同向推进是可能的。

4) 实例研究证明了通过优化贯通后相邻露天矿采场、内排土场形态, 可有效减少剥离量, 增加内排空间, 提高贯通采场期间两矿经济效益。

5) 中国大多数近水平露天煤田都存在相邻露天矿边帮压煤问题, 随着相邻露天矿边帮压煤协调开采技术的推广应用, 基于该技术的开采程序优化理论和方法具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 张幼蒂. 现代露天开采技术国际发展与我国露天采矿前景[J]. 露天采矿技术, 2005, (3): 1-3.
ZHANG Youdi. International development of advanced surface mining technology and the prospect of surface mining in China[J]. Opencast Mining Technology, 2005, (3): 1-3. (in Chinese)
- [2] 才庆祥. 我国亿吨露天煤矿群及露天煤矿绿色开采技术[C]// 第七次煤炭科学技术大会文集. 北京: 煤炭工业出版社, 2011, 243-252.
CAI Qingxiang. Green technique in hundred million tons surface coal mine group and coal mine in China[C]// Proceedings of The Seventh Coal Science and Technology Conference. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2011, 243-252. (in Chinese)
- [3] 宋子岭. 现代露天矿设计理论与方法研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2007.
SONG Ziling. Study on the design theory and method for modern surface mining[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2007. (in Chinese)
- [4] 赵平. 胜利煤田开发的现状与未来[J]. 西部资源, 2006, (4): 17-18.
ZHAO Ping. Present and future situation of Shengli coalfield development[J]. Western Resources, 2006, (4): 17-18. (in Chinese)

Chinese)

- [5] 王旭春,管小明,杜明庆,等.安太堡露天矿边坡蠕滑区滑动机理与稳定性分析[J].煤炭学报,2013,38(S2):312-318.
WANG Xuchun, GUANG Xiaoming, DU Mingqing, et al. Analysis of sliding mechanism and stability of creep area of Antaibao Open-pit Mine slope[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(S2): 312-318. (in Chinese)
- [6] 韩流,周伟,舒继森,等.软岩边坡平面滑动时效稳定性分析及结构优化[J].中国矿业大学学报,2014,43(3):395-401.
HAN Liu, ZHOU Wei, SHU Jisen, et al. Study of plane sliding timeliness stability and structure optimization of soft rock slope[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2014, 43(3): 395-401. (in Chinese)
- [7] 芮勇勤,徐小荷,张天文,等.布沼坝露天矿西北帮边坡潜滑体控制[J].东北大学学报(自然科学版),2000,21(1):26-29.
RUI Yongqin, XU Xiaohe, ZHANG Tianwen, et al. Control of latent landslide in northwestern slope of Buzhaoba open-pit coal mine[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2000, 21(1): 26-29. (in Chinese)
- [8] 丁鑫品,李绍臣,王俊,等.露天矿端帮煤柱回收井工开采工作面推进方向的优化[J].煤炭学报,2013,38(11):1923-1928.
DING Xinpin, LI Shaochen, WANG Jun, et al. Optimization of underground mining development direction about end slope coal pillar recovery of open-pit coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(11): 1923-1928. (in Chinese)
- [9] 白羽.海州露天矿边坡残煤自燃诱发滑坡的数值模拟研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2009:1-15.
BAI Yu. Numerical simulation of Haizhou open-pit mine slope residual coal landslide inducing spontaneous[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2009: 1-15. (in Chinese)
- [10] 刘泽民,王社林,才庆祥.安家岭露天煤矿端帮采煤方法研究[J].中国矿业大学学报,2001,30(5):515-517.
LIU Zemin, WANG Shelin, CAI Qingxaing. Application of top-coal caving method in Anjialing surface mine[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2001, 30(5): 515-517. (in Chinese)
- [11] 白润才,刘闯,薛应东,等.相邻露天矿边帮压煤协调开采技术[J].煤炭学报,2014,39(10):2001-2006.
BAI Runcai, LIU Chuang, XUE Yingdong, et al. Coordination mining technology for coal underlying the slopes between two adjacent open pits[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(10): 2001-2006. (in Chinese)
- [12] Hustrulid W, Kuchta M, Martin R. Open pit mine planning & design[M]. Boca Raton: CRC Press, 2013: 601-626.
- [13] Zaitseva A A, Cheskidov V I, Zaitsev G D Effect of the mining sequence on the internal dump capacity in an open pit[J]. Journal of Mining Science, 2007, 43(5): 508-515.
- [14] 张志,刘闯,薛应东,等.相邻露天矿境界重叠区边帮压煤协调开采技术[J].煤炭科学技术,2013,41(9):91-95.
ZHANG Zhi, LIU Chuang, XUE Yingdong, et al. Coordination mining technology of coal under side slopes in crossed limit area of two adjacent open pits[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 91-95. (in Chinese)
- [15] 曹春杰.鄂尔多斯地区露天煤矿群开采技术探讨[J].煤炭工程,2012,(12):16-18.
CAO Chunjie. Discussion on mining technology of surface mine group in Erdos area[J]. Coal Engineering, 2012, (12): 16-18. (in Chinese)
- [16] 刘闯.相邻露天矿边帮压煤协调开采技术研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2013.
LIU Chuang. Coordination mining technology research of coal under side slopes of two adjacent open pits[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2013. (in Chinese)
- [17] 丁新启.单斗卡车工艺分区开采程序研究与应用[D].阜新:辽宁工程技术大学,2002.
DING Xinqi. Study and application of dividing-mining Procedure in shovel-turck-technology surface mine[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2002. (in Chinese)
- [18] 于汝绶,习永锋.露天矿工作线长度的优化[J].中国矿业学院学报,1986(1):14-28.
YU Rushou, XI Yongfeng. Optimization of the economical length of working-line in open pit mining[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 1986(1): 14-28. (in Chinese)
- [19] 杨荣新.露天采矿学(下册)[M].徐州:中国矿业大学出版社,1990:2-4.
YANG Rongxin. Surface mining(volume II)[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1990:2-4. (in Chinese)
- [20] 彭世济,李长宝,张键元,等.露天采矿手册[M].北京:煤炭工业出版社,1986:47-48.
PENG Shiji, LI Changbao, ZHANG Jianyuan, et al. Surface mining manual[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House,1986:47-48. (in Chinese)