

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2014.09.017

# 露天煤矿过无煤区留“岛”搭桥开采方案优化

白润才<sup>1</sup>,付恩三<sup>1</sup>,刘光伟<sup>1</sup>,赵 晨<sup>2</sup>

(1. 辽宁工程技术大学 矿业学院,辽宁 阜新 123000;2. 沈阳工程学院 机械学院,沈阳 110136)

**摘 要:**针对露天矿田内出现无煤区,其上覆产生无效剥离量,为解决过渡无煤区期间生产剥采比增加、运距增大、煤量接续困难等问题,提出了一种露天煤矿过无煤区留“岛”开采新方法。系统研究了“岛”后搭桥、“岛”前滞后剥离的运输方式,优化留“岛”搭桥运输系统,动态模拟搭桥、拆桥衍变过程,提出过无煤区期间生产能力接续措施。研究成果在神华北电露天煤矿首采区过渡无煤区期间得到了应用,结果表明:对于露天矿田境界内出现无煤区,留“岛”开采方案有效降低了生产剥采比,“岛”后运输搭桥方式可减小运距,降低运输成本,提高矿山经济效益。

**关键词:**露天煤矿;无煤区;留“岛”;搭桥;优化

**中图分类号:**TD824

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-582X(2014)09-128-08

## Optimization research on leaving an “island” and building a bridge through non-coal-zone in surface coal mine

BAI Runcai<sup>1</sup>, FU Ensan<sup>1</sup>, LIU Guangwei<sup>1</sup>, ZHAO Chen<sup>2</sup>

(1. College of Mining and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China;

2. School of Mechanical Engineering, Shenyang Institute of Engineering, Shenyang 110136, China)

**Abstract:** Non-coal-zone in surface coal mine usually causes invalid stripping and increases stripping ratio. In order to solve the problem of increased stripping ratio and transportation distance, and overcome the connection difficulty of coal amount, a new method of leaving an “island” and building a bridge is put forward. A systematic study is made on the optimization transportation system of building a bridge behind the island. At the same time, the procession of building and taking down the bridge and accelerating the path is simulated, and measures for production capacity connection are put forward. The simulation achievements are applied to Shenhua Beidian surface coal mine and the results show that leaving “islands” and building bridges project can reduce the stripping ratio and transportation costs. Moreover, the economic benefit can be improved.

**Key words:** surface coal mine; non-coal-zone; leaving an “island”; building bridge; optimization

由于地壳不均衡沉降、河流冲蚀、地质构造、岩浆侵入、溶岩陷落破坏等因素导致煤层缺失或变薄无法回采,出现无煤区<sup>[1]</sup>。若无煤区处于露天开采境界内,剥离其上覆剥离物不产生露煤(即无效剥离),造成矿田

**收稿日期:**2014-07-06

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(51304104);辽宁省教育厅科学技术研究资助项目(L2011051);中国煤炭工业协会指导性计划资助项目(MTKJ2012-306)

**作者简介:**白润才(1961-),男,辽宁工程技术大学教授,博士生导师,主要从事露天开采技术方面的研究,(E-mail) bairuncai@126.com。

付恩三(联系人),男,辽宁工程技术大学硕士研究生,主要研究方向为露天开采设计原理,(E-mail)429001709@qq.com。

内生产剥采比骤然增大,生产成本急剧增加,经济效益显著下降。当矿山工程发展到无煤区时,在不改变原开采程序的前提下,通过调节开采参数,控制剥采比<sup>[2-3]</sup>,其实质是将无煤区上覆剥离量分摊到不同时期,并没有真正意义上减少无效剥离。

针对露天煤矿过无煤区期间生产剥采比增大、经济效益下降等问题,笔者提出留“岛”开采新方法。当矿山工程发展到无煤区时,上覆无效剥离区域不发生采动,形成孤“岛”;为了减少内排运距,孤“岛”与内排土场之间搭接运输排土桥;当内排土场跨越孤“岛”时,工作帮滞后剥离,留设运输排土桥。留“岛”可有效减少境界内无效剥离量,降低过无煤区期间的生产剥采比;运输搭桥可缩短卡车运距,降低剥离运输费用,增加经济效益。

## 1 留“岛”开采方案

留“岛”开采:以煤层底板等高线中的无煤区边界作为孤“岛”的底部境界,按最终边坡形态圈定“岛”体范围,该范围内剥离物视为独立体,采场工作帮推进过程中,剥离物不采动,称为留“岛”。留“岛”开采原则:在“岛”底面积一定时,保证“岛”体边坡稳定的前提下,应尽量使“岛”的体积最大,最大限度地减少无效剥离量。

根据无煤区位于采场的不同位置,“岛”体形态分为2类<sup>[4]</sup>:

1)无煤区将工作帮分为左、右两部分。且无煤区两侧的生产剥采比均不大于经济剥采比,称为全留“岛”开采方案,如图1(a)所示。

2)无煤区靠近一侧端帮,“岛”体靠近端帮的一侧生产剥采比大于经济剥采比,则采用局部压煤、避让无煤区的方式开采,即留半“岛”开采方案,如图1(b)所示。局部压煤可由端帮采煤机采出;为满足运输、排土要求,“岛”与端帮之间可采用明堑沟开采方式。

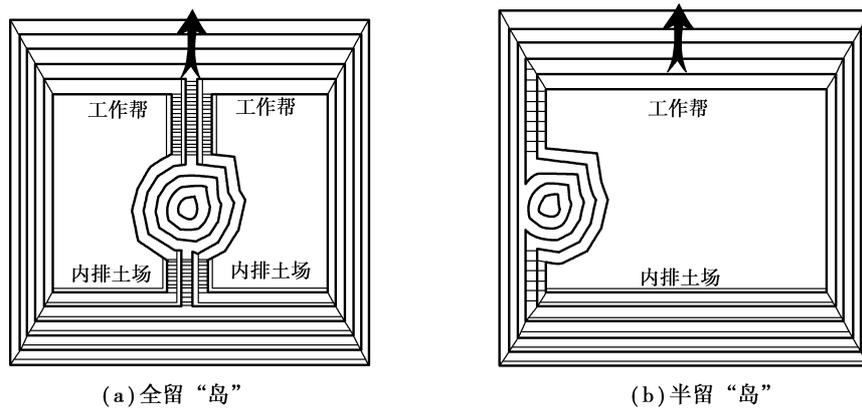


图1 留“岛”方式

## 2 留“岛”运输系统优化

工作帮留“岛”后,生产剥采比减小,由于“岛”处于固定状态,切断工作帮原有运输通路,为减小卡车运距,充分利用“岛”后内排空间<sup>[5]</sup>,提出“岛”后搭接运输排土桥的运输系统优化方案。

### 2.1 “岛”后搭接排土桥运输方式

#### 2.1.1 排土桥动态演变过程

工作帮留“岛”后,内排土场与孤“岛”之间搭接运输排土桥<sup>[6-8]</sup>,由于该桥建立在无煤区之后,不压煤。因此,桥在使用周期中不存在二次剥离的问题。排土桥建立后,剥离物由端帮或排土桥运至内排土场,形成双区双环内排。随着采场及排土场向前发展,排土桥长度逐渐减小,直至消失;内排土场也逐渐跨越孤“岛”,其动态演变过程如图2所示。

#### 2.1.2 排土桥参数研究

工作帮孤“岛”与内排土场之间搭接运输排土桥,因此,需要对排土桥参数进行优化设计。排土桥底部宽度 $B_b$ ,原则上应小于等于工作帮推进方向上无煤区横断面最大宽度,排土桥顶部宽度 $B_t$ 应满足上部最小运输平盘宽度。排土桥横、纵断面参数如图3(a)、(b)所示。

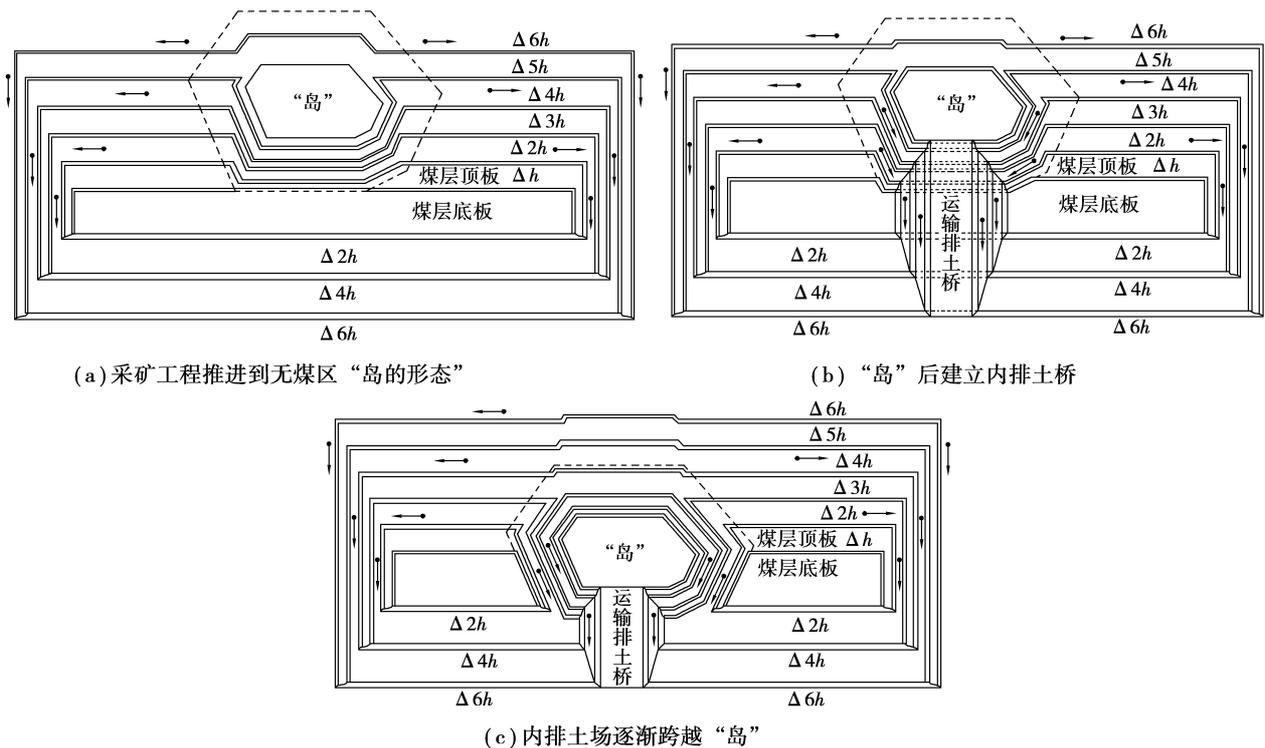


图 2 “岛”与运输排土桥的衍变过程

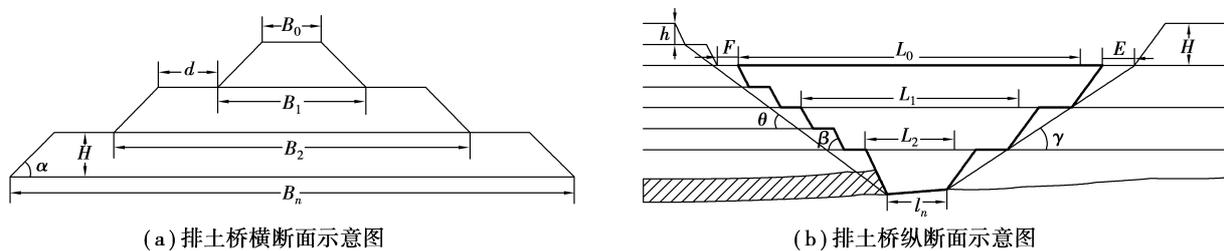


图 3 排土桥参数

$d$ —排土运输平盘宽度,  $m$ ;  $H$ —排土台阶高度,  $m$ ;  $B_0$ —排土桥顶部宽度,  $m$ ;  $B_n$ —排土桥底部宽度,  $m$ ;  $E$ —排土台阶宽度,  $m$ ;  $F$ —剥离台阶宽度,  $m$ ;  $h$ —剥离台阶高度,  $m$ ;  $l_n$ —排土桥底部长度,  $m$ ;  $\alpha$ —排土台阶坡面角,  $(^\circ)$ ;  $\beta$ —剥离台阶坡面角,  $(^\circ)$

2.1.3 排土桥初始搭接位置与时间确定

设内排土场与采场跟进距离为  $L$ , 采场与内排土场平行发展, 修筑“岛”后运输排土桥的体积

$$V = \sum_{i=1}^n B_i l_i h, \tag{1}$$

式中:  $B_i$  为第  $i$  个运输平台的底部宽度;

$$B_i = B_0 + 2(i-1)d + 2iH \cot \alpha, \tag{2}$$

$i=1, 2, 3, \dots$ ;  $L_i$  为第  $i-1$  个运输平台的路面长度;

$$l_i = l_n + (n-i)(E+2F) + (n-i+1)H(\cot \alpha + \cot \beta), \tag{3}$$

$i=1, 2, 3, \dots$ .

为尽快建立“岛”后运输排土桥, 露天煤矿需进行“岛”后煤量集中开采, 为运输排土桥提前形成预留工程位置。由式(1)计算出排土桥体积, 结合矿山排土设备年能力, 计算出修建排土桥时间

$$T_1 = \frac{\sum_{i=1}^n B_i l_i}{Q}. \tag{4}$$

设采场与排土场年水平推进速度为  $v(m/a)$ , 修筑排土桥期间采场与排土场推进距离为:  $\frac{T_1 v}{12}$  (m)。当

最下一采煤台阶推进至无煤区边界时,开始建立运输排土桥,则滞后排土桥形成时间  $T_1$ 。因此,当采场下部采煤台阶与无煤区边界相距  $L = \frac{T_1 v}{12}$  时,开始建立运输排土桥。

### 2.2 工作帮留桥运输方式

由图 2(c)可知,工作帮推进过程中,“岛”与工作帮台阶逐渐分离,运输排土桥的作用逐渐消失,工作帮运输逐渐恢复为单区双环运输方式<sup>[9]</sup>。为解决运输排土桥逐渐失效、运距增加的问题,提出工作帮留桥运输方式,即在工作帮推进过程中,暂不切断“岛”与工作帮的运输通路联系,工作帮与“岛”连接部位滞后剥离,保留运输排土桥,如图 4(a)、(b)、(c)所示。内排土场在跨越孤“岛”的过程中,工作帮滞后剥离运输排土桥逐渐拆除,恢复正常排土状态,如图 4(d)所示。

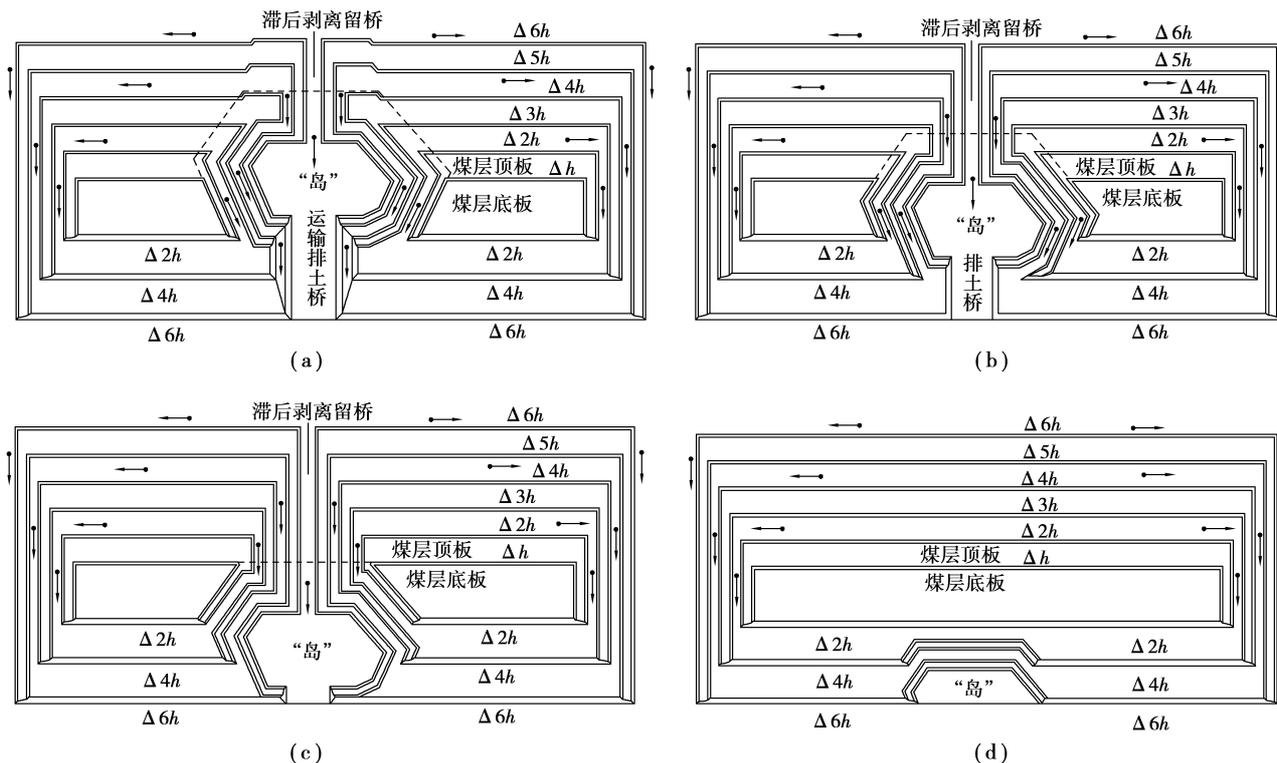


图 4 工作帮留桥形成过程

工作帮留桥运输滞后剥离量及压煤量计算,如图 5 所示。滞后剥离,保留运输桥,此时压煤量  $P$  及滞后剥离量  $V$  分别如式(5)、(6)所示。

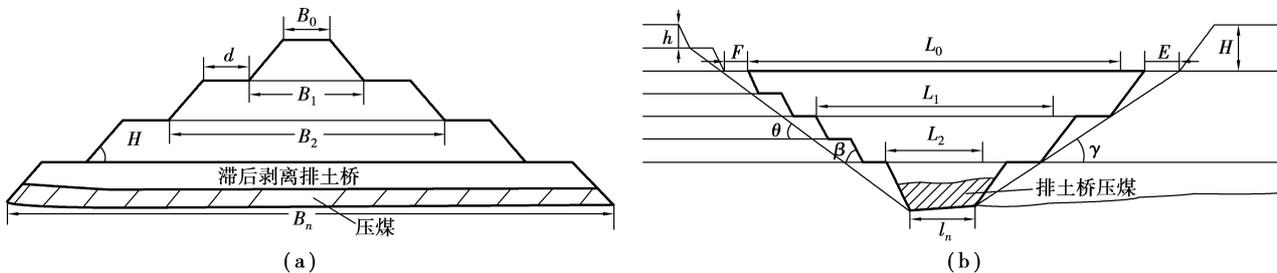


图 5 留桥运输滞后剥离量及压煤量

$$P = B_n l_n H, \tag{5}$$

$$V = \sum_{i=1}^{n-1} B_i l_i h. \tag{6}$$

当采矿工作帮推进至无煤区另一侧边界时,开始逐渐拆除运输排土桥,如图 4(c)所示。桥的拆除方式分为前进式和后退式 2 种。前进式拆桥方向与工作帮推进方向一致,即由“岛”向工作帮推进,如图 6(a)所示,

该方式的优点是露煤早;后退式拆桥方向与工作帮推进方向相反,即由工作帮向“岛”推进,如图 6(b)所示,该方式的优点是拆桥所产生的剥离量可就近排土,缩短运距。

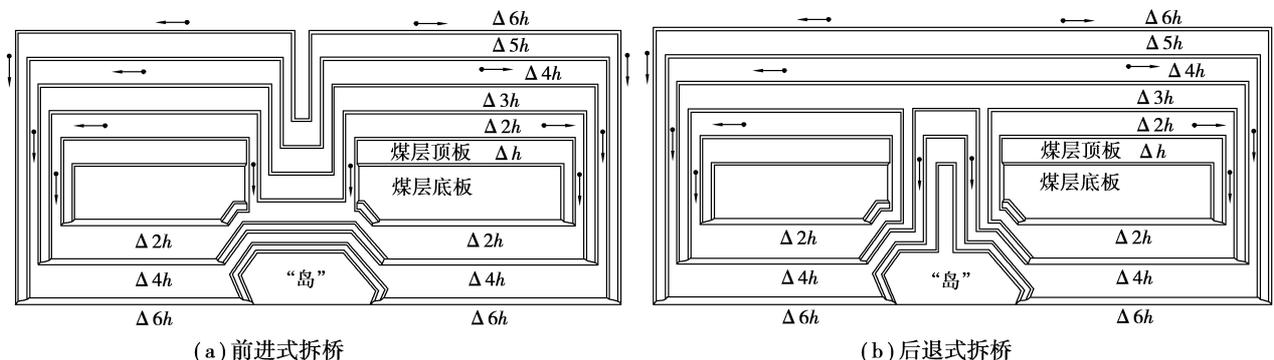


图 6 工作帮桥拆除过程

### 3 留“岛”双区生产能力接续研究

由于无煤区的存在,造成煤量骤减,产量接续困难,因此,有必要根据无煤区影响范围的大小,确定出过无煤区期间生产能力接续方案。

#### 3.1 双区开采局部加快推进方案

根据所提出的过无煤区留“岛”开采方案,留“岛”后富余的设备能力可用于加快工作帮的推进,增加工作帮推进速度,保证产量接续。设采煤工作线长度为  $L$ ,无煤区平均长度  $L_0$ ,煤层厚度为  $m$ ,工作帮水平推进速度为  $v$ ,煤的容重为  $\gamma$ <sup>[10-11]</sup>,露天煤矿年生产能力为  $M$ ,则:

$$M = L \times v \times m \times \gamma. \quad (7)$$

过无煤区期间有效采煤工作线长度为  $(L - L_0)$ ,由于工作帮孤“岛”的存在,将工作帮分为双区开采。设煤层厚度、容重为定值,在保证生产能力的前提下,须加大工作帮水平推进度,速度增量为  $\Delta v$ ,则:

$$M = (L - L_0) \times (v + \Delta v) \times m \times \gamma, \quad (8)$$

$$\Delta v = \frac{Lv}{L - L_0} - v. \quad (9)$$

若无煤区范围较小, $v + \Delta v$  小于等于露天煤矿所用开采工艺系统的最大推进度,保证过无煤区期间的产量要求,需每年超前剥离速度为  $\Delta v$ 。

#### 3.2 双坑动态接续方案

若无煤区范围较大乃至贯通整个采场时,加快工作帮推进度也无法达到设计产量要求。因此,为保证露天煤矿产量,提出露天煤矿超前剥离双坑动态配采开采方案<sup>[12]</sup>,如图 7 所示。双坑开采是指在采场境界内,在推进方向上超前剥离形成一个新的采坑,进行双坑协同开采,保证煤量接续。

## 4 实例研究

神华北电露天煤矿位于胜利煤田中西部,首采区境界内主采煤层为 5 煤、6 煤,平均厚度分别为 15.6, 31.4 m,煤层倾角  $3 \sim 5^\circ$ 。目前采用单斗—卡车间断工艺,剥离、采煤台阶高度 15 m,内排台阶高度 15 m,台阶坡面角  $33^\circ$ ,排土工作平盘宽度 50 m。首采区在向西推进过程中,采场工作帮中央出现一面积为  $0.105 \text{ km}^2$ 、贯通 5 煤、6 煤的无煤区。根据无煤区范围及剥离台阶开采参数留设无煤区孤“岛”,如图 8 所示。

中心孤“岛”台阶高度 15 m,各平盘面积  $S_i$ ,孤“岛”体积  $V = \sum_{i=1}^5 S_i h_i = 1.012 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。

#### 4.1 排土桥体积及位置确定

神华北电露天煤矿采场与内排土场追踪距离为 100 m,无煤区底边界最宽 276 m,以排土桥参数及顶部宽度  $B_0$  满足最小运输平盘宽度作为约束,根据式(1)计算得出,排土桥体积  $V = \sum_{i=1}^n B_i l_i = 4.63 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

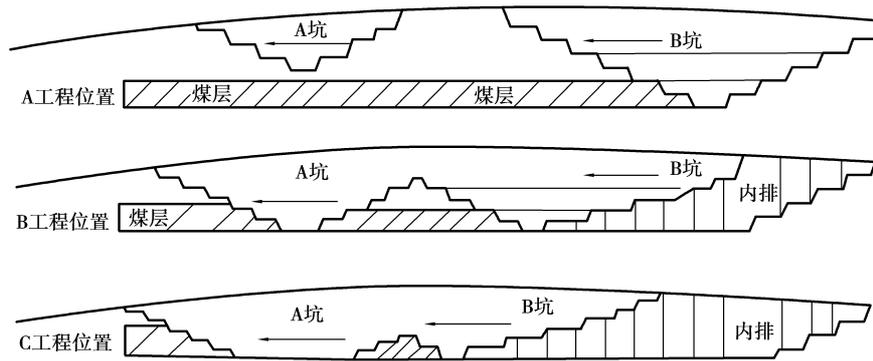


图 7 过无煤区超前坑

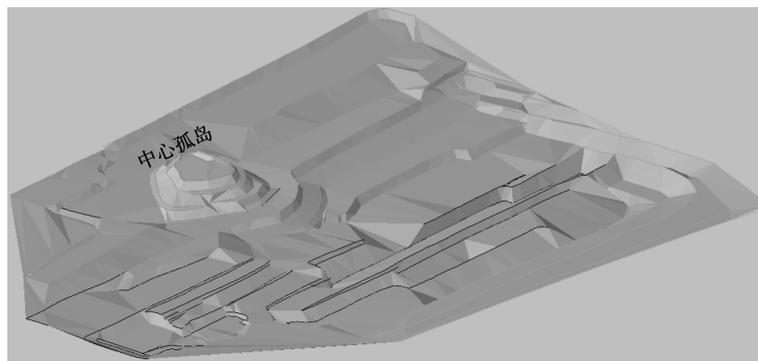


图 8 孤岛三维模型

神华北电露天煤矿内排土场年推进速度约为 250 m/a。排土设备年作业能力为  $8 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。通过计算,修筑排土桥时间 0.7 个月。当采场推进至无煤区下部距离 20 m 时,开始修建运输排土桥;当采煤最下台阶推至无煤区边界时,排土桥即可形成。

#### 4.2 搭桥运输系统优化

当运输排土桥形成后,首采区由东向西推进过程中,采场形成双区双环内排运输通路,采场 840、855、870 平盘的剥离量直接通过运输排土桥及端帮运输系统运至对应内排土场进行排弃。采场采用留“岛”运输系统,不搭接运输排土桥时,为单区双环内排<sup>[13]</sup>,排土运距

$$L = \frac{x}{2} + b = \frac{l-l_0}{2} + \frac{H+h}{2000}(\cot \varphi + \cot \alpha + 2 \cot \beta_1) \quad (10)$$

采场采用留“岛”运输系统,搭接运输排土桥时,形成采场双区双环内排,排土运距

$$L = \frac{x}{2} + b = \frac{l-l_0}{4} + \frac{H+h}{4000}(\cot \varphi + \cot \alpha + 2 \cot \beta_2) \quad (11)$$

“岛”后搭桥减少内排运距

$$\frac{l-l_0}{4} + \frac{H+h}{4000}(\cot \beta_1 - \cot \beta_2) = 223 \text{ m}, \quad (12)$$

式中: $l$  为采场沟底采煤工作线长度,1 300 m; $l_0$  为无煤区工作帮推进方向宽度,400 m; $H$  为剥离物厚度,135 m; $h$  为煤层厚度,47 m; $\beta_1$  为到界边帮角度, $23^\circ$ ; $\beta_2$  为运输排土桥角度, $33^\circ$ 。

随着采场向西推进,排土场逐渐跨越孤“岛”,留“岛”运输系统演变如图 9(a)、(b)、(c) 所示。

#### 4.3 生产能力接续

神华北电露天煤矿首采区采煤工作线 1 300 m,推进度 250 m/a,2014 年生产能力  $2 \times 10^7 \text{ t}$ ,由于无煤区的存在,有效采煤工作线长度 900 m。为达到设计生产能力,双区年超前推进度根据式(6)计算得出: $\Delta V = 110 \text{ m}$ 。神华北电露天煤矿首采区在向西推进过程中,无煤区推进方向上影响长度  $l = 550 \text{ m}$ 。露天煤矿过无煤区大约需要 1.5 a。过无煤区时间较短,在短期内可实现穿越无煤区。为保证生产能力接续,采用双区年

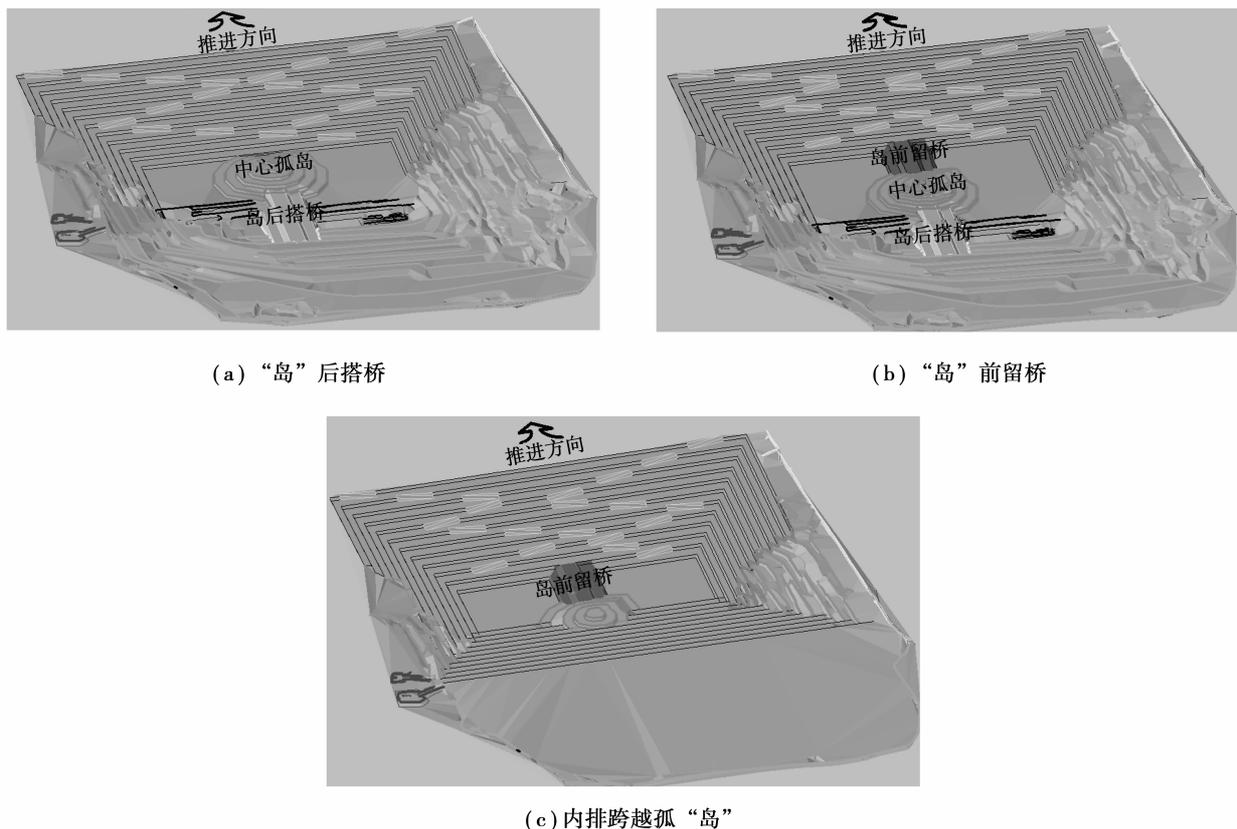


图 9 留“岛”搭桥运输系统

加快推进 110 m。同时,以保证露天煤矿产量为原则,工作帮采用前进式拆桥方式,尽快露煤。无煤区影响时期内,留“岛”减少剥离量  $1.012 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,降低生产剥采比  $0.33 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

## 5 结 论

1) 露天煤矿穿越陷落柱或无煤区时,采用留“岛”开采方案可减少无效剥离量,有效降低生产剥采比。留“岛”后,采用“岛”后搭桥内排、“岛”前留桥运输方式可有效降低卡车运输距离,降低运输成本,充分利用“岛”后富余内排空间;

2) 露天煤矿过无煤区期间,为保证生产能力接续,采用加快推进和双坑动态开采方案。当无煤区范围较小时,加快推进可实现生产能力接续;无煤区范围较大时,采用双坑动态开采方案,保证生产能力接续;

3) 通过实例分析,神华北电露天煤矿采用采场中心留“岛”开采方案,减少剥离  $1.012 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,降低无煤区期间生产剥采比  $0.33 \text{ m}^3/\text{t}$ ;“岛”后建立运输排土桥,减少运距 223 m,经济效益显著;

4) 国内大型露天煤矿矿田范围内部分存在无煤区,范围大小不等,造成生产能力接续困难,生产剥采比骤然变大,因此,过无煤区留“岛”搭桥开采方式具有广泛的应用价值。

### 参考文献:

- [1] 赵红泽. 近水平转倾斜煤层露天开采关键技术研究与应用[D]. 北京:中国矿业大学,2012.
- [2] 左瑞. 露天煤矿生产剥采比的优化控制[D]. 武汉:武汉理工大学,2011.
- [3] 才庆祥,周伟,车兆学,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): 743-746.  
CAI Qingxiang, ZHOU Wei, CHE Zhaoxue, et al. Research on the mining method and stripping ratio and steep end-slope mining in surface coal mines with flat coal deposit[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 36(6): 743-746.
- [4] 董洪亮,张瑞新,崔文斌,等. 安家岭露天煤矿无煤区过渡实施方案探讨[J]. 煤炭科学技术,2006,34(11):67-69.

- DONG Hongliang, ZHANG Ruixin, CUI Wenbin, et al. Discussion on implementation plan for Anjialing Open Pit Mine passing through no seam area[J]. Coal Science and Technology, 2006, 34(11): 67-69.
- [5] 丁新启, 刘峰, 贺昌斌, 等. 安家岭露天煤矿过渡陷落柱原煤运输方案研究[J]. 露天采矿技术, 2010(5): 22-23.  
DING Xinqi, LIU Feng, HE Changbin, et al. The transportation scheme of transition collapse column coal in Anjialing surface coal mine[J]. Opencast Mining Technology, 2010(5): 22-23.
- [6] 车兆学, 才庆祥. 露天煤矿内排时期下部水平开拓运输系统优化[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(10): 33-37.  
CHE Zhaoxue, CAI Qingxiang. Optimization of horizontal development and transportation system at bottom of open pit mine during internal dumping period[J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(10): 33-37.
- [7] 常永刚, 韩进. “双桥”式运输系统在东露天煤矿的应用[J]. 露天采矿技术, 2012(S1): 38-39, 42.  
CHANG Yonggang, HAN Jin. The application of “double bridges” transportation system in East surface coal mine[J]. Opencast Mining Technology, 2012(S1): 38-39, 42.
- [8] 周伟, 才庆祥, 谢廷堃, 等. 大型近水平露天煤矿转向期间开拓运输系统优化研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(4): 404-408.  
ZHOU Wei, CAI Qingxiang, XIE Tingkun, et al. Optimization of in-pit development transport system during transitional period in large open pit mine with flat coal deposit[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2008, 25(4): 404-408.
- [9] 高志轩, 刘树德, 黄月军, 等. 胜利露天煤矿基于“中心孤岛”的6煤双区采煤系统设计[J]. 露天采矿技术, 2014(3): 42-44.  
GAO Zhixuan, LIU Shude, HUANG Yuejun, et al. A coal exploration system of Shengli surface coal based on “central island”[J]. Opencast Mining Technology, 2014(3): 42-44.
- [10] 李秀春. 基于最大推进度的露天矿生产能力研究[J]. 煤炭工程, 2012(1): 84-86.  
LI Xiuchun. A study on the production capability of surface coal mine based on the maximum advance extent[J]. Coal Engineering, 2012(1): 84-86.
- [11] 赵红泽, 张瑞新, 刘宪权, 等. 露天煤矿双坑动态剥采调节新方法[J]. 煤炭学报, 2014, 39(5): 855-860.  
ZHAO Hongze, ZHANG Ruixin, LIU Xianquan, et al. New double pits dynamic regulating mode for stripping and mining in surface coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(5): 855-860.
- [12] 于汝绶, 刁永峰. 露天煤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. Working-line optimization of surface coal mine[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1986(1): 14-28.

(编辑 郑洁)