

文章编号: 1673-3363-(2015)01-0073-05

露天煤矿倒堆条件下 底部薄煤层柱式回采工艺研究

马力, 李克民, 彭洪阁, 丁小华, 肖双双

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

摘要 为了解决抛掷爆破-拉斗铲倒堆工艺条件下底部薄煤层的回采难题, 根据倒堆工艺作业特征提出了露天薄煤层柱式回采工艺。推导出了薄煤层开采剥采比的计算公式, 确定了适宜回采薄煤层的岩煤高度比, 分析了露天薄煤层柱式回采工艺对工作线长度的要求。通过对黑岱沟露天煤矿9[#]煤回采参数的分析及现场应用, 得出: 在工作线长度为2 200 m时, 每条采掘带可回收煤炭资源37.2万t, 获得直接经济效益6 128万元; 同时, 对露天矿生产能力影响较大, 如要兼顾生产能力要求和9[#]煤的资源回收, 需在6[#]煤采至端帮时适当舍弃部分9[#]煤。

关键词 露天开采; 抛掷爆破; 薄煤层; 柱式回采工艺

中图分类号 TD 824 **文献标志码** A **DOI** 10.13545/j.cnki.jmse.2015.01.012

Study on pillar mining technique for bottom thin coal seam in surface coal mine adopting stripping technology

MA Li, LI Kemin, PENG Hongge, DING Xiaohua, XIAO Shuangshuang

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

Abstract In order to solve the problem of excavating thin coal seam beneath under the condition of casting blast and dragline stripping technology at the bottom of the surface coal mine, the surface pillar mining has been proposed according to working features of stripping technology. The stripping ratio formula of thin coal seam has been deduced, and the optimum ratio of rock height to coal height has been determined, the requirement to work line of the surface pillar mining has been analyzed as well. After analyzing excavating parameters of the pillar mining technology and its application in the 9th coal seam of Heidaigou surface coal mine, the results show that more than 372 thousand tons can be excavated during the working line is 2 200 m, and it can bring 61.28 million RMB. Meanwhile, the approach has a great influence on capacity, and part-length of 9th working line should be discarded when the 6th coal is extracted to the end-slope with considering production capacity requirement and the 9th coal resource recovery.

Key words surface mining; casting blast; thin coal seam; pillar mining technology

收稿日期: 2013-07-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51034005); 教育部博士点基金项目(20100095110019); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXLX13_950)

作者简介: 马力(1986—), 男, 黑龙江省集贤县人, 博士研究生, 从事露天采矿和矿山爆破工程方面的研究。

通信作者: 李克民

E-mail: likemin515@126.com

Tel: 13705216866

美国、澳大利亚等露天采煤大国广泛采用抛掷爆破技术用于拉斗铲倒堆剥离工艺,利用炸药爆炸产生的能量将 30%以上的岩石直接抛掷到采空区中,降低了拉斗铲工作量并提高剥离效率,大幅度降低露天煤矿剥离成本^[1]。我国于 2007 年引入拉斗铲,并与抛掷爆破技术组成倒堆剥离工艺,在黑岱沟露天煤矿获得成功应用。由于抛掷爆破-拉斗铲倒堆工艺对采空区具有较高的要求,采用此工艺的大型露天煤矿,通常将其应用于最下部主采煤层顶板的剥离作业中^[2]。然而,露天矿境界内的煤层大多都是复合煤层赋存,在技术、经济、工艺设备等因素影响下,使某些仍具有较高经济价值的薄煤层无法采出,造成严重资源浪费。

针对抛掷爆破-拉斗铲倒堆工艺应用条件的研究,张幼蒂等^[3-6]从拉斗铲应用条件、规格选择、运煤系统及台阶参数优化等方面进行了一系列的研究;周伟^[7]研究了煤层厚度变化对拉斗铲可靠性的影响及运煤系统最佳移设布距;尚涛^[8]、才庆祥^[9]分别对拉斗铲倒堆工艺下采煤系统稳定性及可靠性进行了研究。目前,针对露天煤矿拉斗铲倒堆工艺的研究主要集中在作业方式及运输系统方面,而在倒堆工艺条件影响下的底部薄煤层回采尚鲜有研究。

黑岱沟露天煤矿现有开采工艺条件下,9#煤层回采受到严重制约,如采用井工开采,则与现有露天开采系统间存在交叉,系统间相互干扰,生产组织管理困难且安全程度低。因此,针对倒堆工艺条件下薄煤层回采的特殊开采要求,最适宜的开采方法仍是采用露天开采,并在传统的开采方式基础上进行适当变革。在综合考虑主采煤层运输系统、抛掷爆破影响、薄煤层剥离运输系统、薄煤层运煤系统、作业安全、经济效益等多方面因素的前提下,以尽量回收底部境界外薄煤层为目标,经过理论与现场论证提出露天薄煤层柱式回采工艺。

1 工程背景

黑岱沟露天煤矿年生产能力 30 Mt,区内可采及局部可采煤层为 5#煤、6#煤、9#煤,5#煤厚度 0~4.27 m,平均厚度 2.19 m,为局部可采;6#煤是复合煤层,为主要可采煤层,平均厚度 28.8 m;9#煤容重 $K=1.47 \text{ t/m}^3$,厚度变化范围在 0.25~6.77 m,平均厚度 2.33 m;9#煤与 6#煤相距 1~25.46 m,平均 6.72 m。黑岱沟露天煤矿 6#煤顶板以上 40~45 m 左右岩石采用抛掷爆破-拉斗铲无运输倒堆剥离工

艺,顶部黄土采用轮斗连续工艺剥离,中部 45~75 m 厚岩石采用单斗挖掘机-汽车间断工艺剥离,台阶高度 15~20 m。在目前工艺及技术条件下,仅 6#煤得以回收,分 3 个开采台阶由单斗挖掘机-汽车运往半固定破碎站。

倒堆作业台阶工作线长度 2 200 m,采掘带宽度 80 m。沿工作线方向上分为 4 个作业区,即穿孔爆破区、倒堆区、采煤区、煤台阶穿爆区(图 1)。拉斗铲将剥离物倒堆到内排土场后,下部露出煤层,煤层分台阶开采,运煤卡车经中间沟和端帮运输道路将煤运送到破碎站。由于抛掷爆破对内排土场位置的特殊要求,内排土场与 6#煤层工作线跟进作业,采排时空关系是影响 9#回采的关键制约因素。

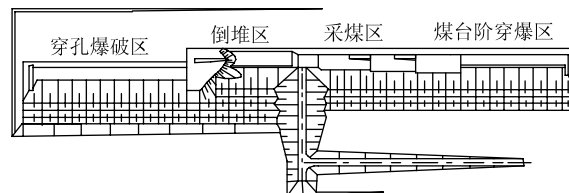


图 1 抛掷爆破-拉斗铲倒堆工艺条件下剥离采煤分区作业示意图

Fig.1 Schematic diagram of stripping and coal mining operations under stripping technology of casting blast and dragline

2 露天薄煤层柱式回采工艺

传统露天开采程序是逐采掘带扩帮的过程^[10],如按传统的台阶推进式回采抛掷爆破倒堆工艺主采煤层下的薄煤层,势必对上部抛掷爆破及拉斗铲倒堆工作造成影响,增大二次倒堆工作量及影响开拓运输系统的布置。露天薄煤层柱式回采工艺是在不改变原有底部境界标高的前提下,沿主采煤层底板以窄采掘带宽度延深推进,并沿靠近采空区侧留设煤岩混合柱,回收主采煤层以下薄煤层的方法。

2.1 模型基本假定

图 2 给出了抛掷爆破条件下拉斗铲倒堆作业剖面示意图。

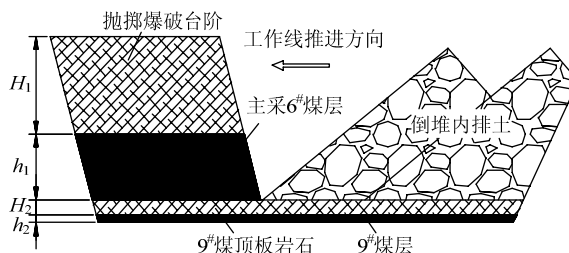


图 2 抛掷爆破条件下拉斗铲倒堆作业剖面示意图

Fig.2 Diagrammatic cross-section of dragline stripping operation under casting blast condition

图中 6[#]主采煤层平均厚度 h_1 , 其上部厚为 H_1 的岩石采用抛掷爆破配合拉斗铲倒堆工艺, 采掘带宽度 W_1 , 9[#]薄煤层煤厚为 h_2 且与主采煤层底板距 H_2 (以下简称基岩)。

薄煤层的开采作业仍是在不改变其上部作业方式的基础上, 即 6_上, 6_中, 6_下 等 3 个煤台阶沿工作线方向呈追踪开采向端帮推进(如图 3)。当 6_下 煤

向前推进并留足够作业空间时, 沿 6[#]煤层底板掘沟并向下延深。9[#]煤顶板岩层采掘带宽度 $W_2 < W_1$, 这样在靠近采空区一侧就留下宽度为 $W_1 - W_2$ 的柱体。留设的柱体不仅可以减少重复剥离量, 还可以在岩柱上设置运输道路, 作为 6[#]煤的运输系统^[11], 解决了由于开采下部薄煤层对主采 6[#]煤开拓运输系统的影响。

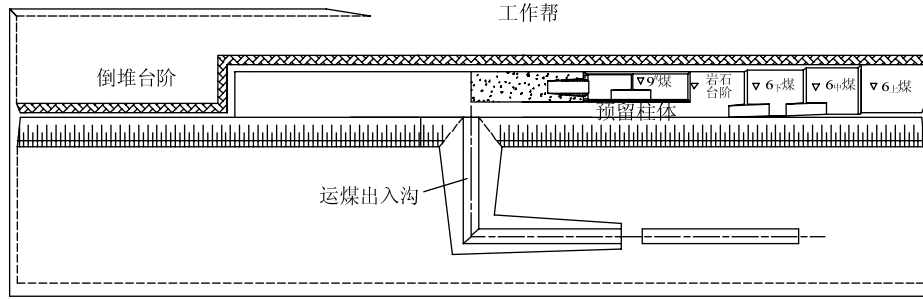


图 3 露天留柱式开采程序示意图

Fig.3 Sketch map of surface pillar mining procedure

因柱式开采由 6[#]煤底板向下掘沟, 采用掏槽爆破方式, 基岩与 9[#]煤混穿混爆, 并划分为独立台阶。降深初期, 剥离物由汽车运输经中部运煤出入沟至内排土场排弃, 此时运距较远, 但随 9[#]煤层工作线不断推进, 顶板剥离物可回填至 9[#]煤的槽型采空区, 并形成坡度不大于 8%~10%的纵坡, 排土标高不超过 $(H_2 + h_2)$, 9[#]煤经坡道上升至 6[#]煤底板水平, 并经中部沟运煤系统运至破碎站^[12-13]。

2.2 技术特征及开采要求

1) 薄煤层开采剥采比

薄煤层开采剥采比是指回采薄煤层过程中剥离物体积与回收原煤重量之比^[14-15]。

$$n = \frac{V_y}{KV_c}$$

式中: n 为薄煤层开采剥采比, m^3/t ; K 为原煤容重, t/m^3 ; V_y 为剥离物体积, m^3 ; V_c 为原煤体积, m^3 。

$$n = \frac{(W_2 + H_2 \cot \alpha) H_2}{K(W_2 - h_2 \cot \alpha) h_2} \quad (1)$$

2) 对工作线长度的要求

在煤层上覆岩层中采用拉斗铲倒堆工艺的条件下, 薄煤层回采推进度应与主采煤层推进度保持一致, 以保证倒堆台阶分区交替作业。

假定主采煤层分 m_1 层开采, 主采煤层与其下薄煤层之间岩石台阶为 m_2 层, 薄煤层划分 1 个台阶, 其中台阶数 $u = m_1 + m_2 + 1$; 倒堆台阶工作线长度为 L , 第 i 台阶平盘宽度为 l_i , 台阶高度为 p_i , 台阶

坡面角为 α , 工作线方向上的推进度为 v 。

倒堆剥离与采煤作业完成半工作线长度即交替一次, 其中完成倒堆作业区时间 T_1 和采煤区作业时间 T_2 分别为:

$$T_1 = \frac{H_1 W_1 L / 2(1 - \eta)}{\lambda Q} \quad (2)$$

$$T_2 = \left(\frac{L}{2} + \sum_{i=1}^{u-1} l_i + \sum_{i=1}^u p_i \tan \alpha \right) / v \quad (3)$$

式中: η 为有效抛掷率; λ 为拉斗铲有效利用率; Q 为拉斗铲小时生产能力, m^3/h 。

为保证倒堆与采煤作业正常交替, 应使两区作业时间保持一致, 需满足: $T_1 = T_2$ 。其中, 因开采 9[#]煤层导致采煤区作业时间增加 ΔT :

$$\Delta T = \left(\sum_{i=m_1}^{u-1} l_i + \sum_{i=m_1+1}^u p_i \cdot \tan \alpha \right) / v \quad (4)$$

因此, 要尽量减小 ΔT , 避免出现上分层采完, 下分层刚开始采的情况, 应使得

$$\sum_{i=m_1}^{u-1} l_i + \sum_{i=m_1+1}^u p_i \cdot \tan \alpha < L \quad (5)$$

为降低在倒堆工艺条件下 9[#]煤的开采对正常剥采作业的影响, 在分层数 u 、各层平盘宽度 l_i 、台阶高度 p_i 不变的情况下, 需适当增大工作线长度 L 以延长每条幅的开采时间。

2.3 适用条件

露天煤矿考虑是否回采薄煤层, 应通过对拟采用的开采方法分析, 确定开采薄煤层是否经济上有

利:

$$\Delta M(C_j - a) - \Delta Rb > 0$$

式中: ΔM 为薄煤层回采煤量, t; ΔR 为回采薄煤层的剥离量, m^3 ; C_j 为原煤售价, 元/t; a 为露天矿纯采矿成本, 元/t; b 为露天矿纯剥离成本, 元/ m^3 。

因此, 采用露天薄煤层柱式回采工艺应满足:

$$\frac{\Delta R}{\Delta M} \leq n_j = \frac{C_j - a}{b}$$

$$\Delta M = K(W_2 - h_2 \cot \alpha)h_2 l$$

$$\Delta R = (W_2 + H_2 \cot \alpha)H_2 l$$

化简有

$$\frac{H_2}{h_2} < \sqrt{\left[K \left(\frac{W_2}{h_2} - \cot \alpha \right) n_j - \frac{W_2 H_2}{h_2^2} \right] \tan \alpha} \quad (6)$$

从上式可以看出, 采用露天薄煤层柱式回采工艺的极限岩煤高度比与薄煤层采掘带宽度、薄煤层厚度、柱体坡面角等因素有关。

表 1 倒堆工艺下底部薄煤层柱式开采掏槽爆破参数

Table 1 Cut blast parameters of pillar mining technique for bottom thin coal seam beneath stripping technology

编号	排间距/ m	孔间距/ m	钻孔 角度/(°)	台阶 高度/m	钻孔 超深/m	钻孔 深度/m	装药结构				
							充填高度/m	上部/m	间隔/m	底部/m	药量/(kg·孔 ⁻¹)
A	5	8	90	基岩平均 厚度 6.72 m, 9 [#] 煤层 平均厚度 2.33 m	0	钻孔至 9 [#] 煤底板, 孔 深与台阶 高度一致	3	3.5	1	1.5	200
B	5	8	90		0		3	3.5	1	1.5	200
C	5	8	90		0		3	3.5	1	1.5	200
D	6	8	90		0		3	3.5	1	1.5	200
E	6	8	90		0		3	3.5	1	1.5	200
F	6	8	90		0		3	3.5	1	1.5	200
G	7	8	90		0		3	3.5	1	1.5	200
平均	5.7	8	90	9	0	9	3	3.5		1.5	200

爆破后将岩石与煤层划分为独立台阶, 利用露天矿现有生产辅助设备用于 9[#]煤及其顶板采装, 岩石剥离采用 992G 前装机, 9[#]煤由推土机及小型前装机选采。9[#]煤层降深初期顶板剥离物经由运煤出入沟排入内排土场, 而后随 9[#]煤层及其顶板岩层工作线推进, 顶板剥离物逐渐内排至槽式采空区并形成 9[#]煤运输坡道, 煤层经斜坡道上升至 6[#]煤底板, 并经中部运煤出入沟运至破碎站。

3.2 应用效果分析

通过在黑岱沟露天煤矿的现场应用, 9[#]煤工作

3 应用情况

3.1 开采参数

黑岱沟露天煤矿抛掷爆破与采煤台阶采掘带宽度 80 m, 台阶坡面角 75°。柱体宽度与运输道路要求密切相关, 根据 730E 运输汽车尺寸 12830 mm×7250 mm×6250 mm, 按双行道计算运输道路宽度为

$$D = 2(L_C + S_1) + S_2 \quad (7)$$

式中: L_C 为车辆宽度, m; S_1 为汽车车体外缘距路面边缘的安全距离, 3 m; S_2 为两车车体间所需的净距, 3 m。

经计算确定留设柱体宽度为 24 m, 则沟槽体上口宽为 56 m, 以坡面角 75°呈倒梯形向下掘窄采掘带。当 6[#]煤向前推出 80 m 时, 向下钻孔至 9[#]煤底板, 孔径 150 mm, 炮孔排沿中部轴对称布置, 具体爆破参数见表 1。

线长度为 2 100 m, 每条倒堆采掘带内可回收煤量 37.2 万 t, 剥离岩量 76.5 万 m^3 , 开采 9[#]煤层的剥采比为 2.06 m^3/t 。取纯采矿成本 18.96 元/t, 纯剥离成本 22.52 元/ m^3 , 市场售价 230 元/t, 每条采掘带内可获得经济效益 6 128 万元。

但由于 9[#]煤层的开采增加 2 个追踪作业台阶, 促使采煤区作业紧张, 对正常开采 6[#]煤的生产能力产生一定影响。由公式(5)可知, 在开采 9[#]煤层的条件下, 工作线长度对露天矿生产能力有重要影响, 其关系为

$$M = T \cdot \frac{W_1 \cdot h_1 \cdot K \cdot [L_1 - (H_1 + h_1) \cot \beta] + W_2 \cdot h_2 \cdot K \cdot [L_1 - (H_1 + 2H_2 + 2h_1 + h_2) \cot \beta]}{\frac{k_{s1}^2 \cdot L_1 \cdot W_1 \cdot H_1 (1 - \eta) t_{x1}}{3600 E k_{m1}} + 2 \Delta T} \quad (8)$$

式中: k_{s1} 为爆堆松散系数; E 为拉斗铲斗容, m^3 ; k_{m1} 为满斗系数; t_{x1} 为拉斗铲 1 个挖掘周期循环时间, s; β 为露天煤矿端帮边坡稳定角。

从图 4 可以看出, 在当前倒堆作业工作线长度 2 200 m 的情况下回采 9[#]煤层, 使生产能力降低至 28 Mt/a。在生产能力要求较高的情况下, 需增大工作线长度, 而过大的工作线长度使间断工艺成本增大。因此, 如要兼顾生产能力要求和 9[#]煤的资源回收, 需在 6[#]煤采至端帮时适当舍弃部分 9[#]煤。

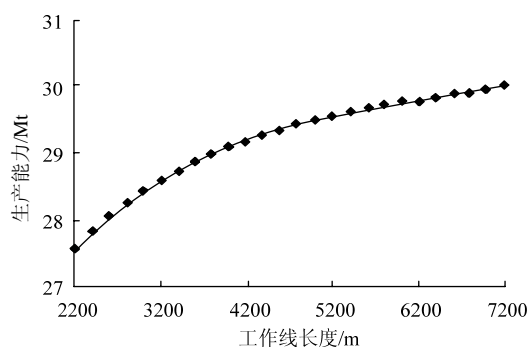


图 4 生产能力与工作线长度之间关系曲线

Fig.4 The relation curve between production capacity and working length

4 结 论

1) 针对黑岱沟露天煤矿抛掷爆破-拉斗铲倒堆剥离工艺特点, 提出了回采 9[#]薄煤层的露天薄煤层柱式回采工艺, 解决了在现行条件下底部薄煤层开采的工艺问题。

2) 确定了薄煤层回采剥采比和覆盖层与煤层高度比的计算公式, 并分析了薄煤层柱式回采工艺对工作线长度的要求。

3) 确定了黑岱沟露天煤矿采用柱式工艺时的开采参数和采装设备类型, 每条采掘带内可回收 9[#]煤可增加经济效益 6 128 万元。

4) 采用柱式回采工艺回收 9[#]煤层时, 使全矿生产能力降低至 28 Mt/a, 而如要兼顾生产能力要求和 9[#]煤的资源回收, 需在 6[#]煤采至端帮时对部分 9[#]煤做舍弃处理。

参考文献:

[1] 李克民, 郭昭华, 张勇. 露天矿抛掷爆破技术研究及应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2011: 1-5.
[2] 李克民, 马军, 张幼蒂, 等. 拉斗铲倒堆剥离工艺在我国应用前景[J]. 煤炭工程, 2005(10): 46-48.
LI Kemin, MA Jun, ZHANG Youdi, et al. Open cast method and its application prospect in surface mines in China[J]. Coal Engineering, 2005(10): 46-48.

[3] 张幼蒂, 李克民, 尚涛, 等. 露天矿倒堆剥离工艺的发展及其应用前景[J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31(4): 331-334.
ZHANG Youdi, LI Kemin, SHANG Tao, et al. Open cast method and its application prospect in surface mines in China[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2002, 31(4): 331-334.
[4] 张幼蒂, 郭昭华, 杨云浩, 等. 倒堆剥离拉斗铲规格选择[J]. 中国矿业大学学报, 2002, 34(5): 341-343.
ZHANG Youdi, GUO Zhaozhua, YANG Yunhao, et al. Selection of draglines for open cast mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2002, 34(5): 341-343.
[5] 尚涛, 张幼蒂, 李克民, 等. 露天煤矿拉斗铲倒堆工艺运煤系统优化选择[J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31(6): 571-574.
SHANG Tao, ZHANG Youdi, LI Kemin, et al. Optimal selection of coal haulage systems in open cast mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2002, 31(6): 571-574.
[6] 张幼蒂, 傅洪贤, 王启瑞, 等. 抛掷爆破与剥离台阶开采参数分析[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(1): 27-30.
ZHANG Youdi, FU Hongxian, WANG Qirui, et al. Casting blast and analysis of mining parameters of stripping bench[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(1): 27-30.
[7] 周伟, 才庆祥, 陈树召, 等. 煤层厚度变化下拉斗铲生产可靠性分析[J]. 中国矿业, 2007, 16(8): 35-40.
ZHOU Wei, CAI Qingxiang, CHEN Shuzhao, et al. Analysis on production reliability of dragline with the variation of average coal seam thickness[J]. China Mining Magazine, 2007, 16(8): 35-40.
[8] 尚涛, 周伟, 才庆祥, 等. 厚覆盖层拉斗铲倒堆工艺下采煤系统稳定性[J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27(2): 175-178.
SHANG Tao, ZHOU Wei, CAI Qingxiang, et al. Stability of coal mining system under dragline stripping technology with thick overburden[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2010, 27(2): 175-178.
[9] 才庆祥, 周伟, 彭洪阁, 等. 厚覆盖层下拉斗铲剥离与半连续采煤系统的可靠性[J]. 煤炭学报, 2009, 34(11): 1456-1459.
CAI Qingxiang, ZHOU Wei, PENG Hongge, et al. Reliability of dragline stripping and semi-continuous mining coal system under the thick overburden[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(11): 1456-1459.
[10] 杨荣新. 露天采矿学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1990: 1-23.