

# 厚煤层坚硬顶板边角煤块段渐增架开采技术研究

张水平<sup>1</sup>, 郝兵元<sup>2</sup>, 张鹏鹏<sup>3</sup>, 李德军<sup>1</sup>

(1. 山西煤炭运销集团 裕兴煤业有限公司, 山西 晋城 048000; 2. 太原理工大学 矿业工程学院, 太原 030024; 3. 煤炭工业太原设计研究院集团有限公司, 太原 030001)

**摘要:**以裕兴煤业 15205 工作面边角煤回收为工程背景, 设计了渐增架边角煤回采工艺, 并对增架具体方案和开采工艺进行了介绍。渐增架边角煤回采工艺是将液压支架预先密集摆放于工作面斜切眼内, 呈“渐增”状态, 随工作面切眼长度的增加, 逐渐增加支架和刮板输送机溜槽。采用渐增架技术能够在不增加生产成本的情况下, 安全高效回采 15205 工作面边角煤 10.78 万 t, 增加经济收入 3 902.36 万元, 技术水平和经济效益均显著提升。

**关键词:**边角煤; 渐增架; 安全高效; 经济效益

中图分类号: TD82

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Mining Technology of Increasing Supports for Marginal Coal of Hard Roof of Thick Coal Seam

ZHANG Shuiping<sup>1</sup>, HAO Bingyuan<sup>2</sup>, ZHANG Pengpeng<sup>3</sup>, LI Dejun<sup>1</sup>

(1. Yuxing Coal Industry Co., Ltd., Shanxi Coal Transportation and Sales Group, Jincheng, 048000, China;  
2. College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;  
3. Taiyuan Design Research Institute for Coal Industry, Taiyuan 030001, China)

**Abstract:** Taking the recovery of marginal coal on 15205 working face in Yuxing Coal Industry as the engineering background, the paper proposes the mining process of marginal coal with increasing supports, and introduces its specific scheme and mining process. With this mining technology, hydraulic supports are intensively installed in oblique cutting holes of the working face in advance, showing an “increasing” state. That is, with the increase of the cutting hole length, the supports and chutes of the scraper conveyors increased gradually. Without increasing production costs, the increasing supports technology can mine 107,800 tons of the marginal coal safely and efficiently and the economic benefits can grow by 39.023 6 million yuan, which shows significantly improved technical level and economic benefits.

**Key words:** marginal coal; increasing supports; safety and efficiency; economic benefits

随着煤炭资源开采强度的增加, 矿井煤炭资源逐步枯竭, 进一步提高矿井煤炭资源回采率对延长矿井服务年限, 实现高产稳产具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。其中, 受地质条件和开采布局影响而遗留的矿井边角煤是矿井煤炭资源回收的重要内容。对于边角煤块

段而言, 传统的长壁综采工艺无法发挥其效力, 需要采用特殊的回采工艺, 如变向调斜推进<sup>[3-4]</sup>和短壁连采工艺<sup>[5-6]</sup>。然而上述两种方法均存在地质适应性差, 需购进专用的连采配套设备增加生产成本等缺陷。渐变式增架减架开采法是开采边角煤块段的新

收稿日期: 2020-02-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(U1810104); 山西省自然科学基金资助项目(201901D111047)

作者简介: 张水平(1969—), 男, 山西高平人, 本科, 工程师, 从事煤矿生产技术管理工作, E-mail: mtgy0801@139.com

技术。但目前相关的研究成果大都面临着增架、减架工艺相对复杂,需要预先施工支架窝或支架组装间;回采过程中由大巷经顺槽运输支架增架;增架基本采用单架增加的方式,增架数量相对较少等问题<sup>[7-9]</sup>,且关于厚煤层坚硬顶板条件下的边角煤增减架工艺的研究较少。

为了寻求一种可以极大利用矿井现有工作面综采设备,通过现有回采系统安全、高效地回采矿井厚煤层坚硬顶板边角煤的方法,本文以裕兴煤业15205工作面边角煤回收为工程背景,设计了渐增架边角煤回采工艺,并对增架具体方案和开采工艺进行了介绍。

## 1 工程概况

裕兴煤业15205工作面位于矿井二采区东部,北部为15207工作面(未开采),南部为15203工作面采空区,西部为二采区北翼采区大巷,东部为井田边界(紧邻长治县振兴煤业有限公司井田)。为尽可能多回收井田内煤炭资源,15205工作面切眼靠近井田东部边界布置,受井田边界影响,在工作面开切眼初期即形成边角煤块段,如图1所示。

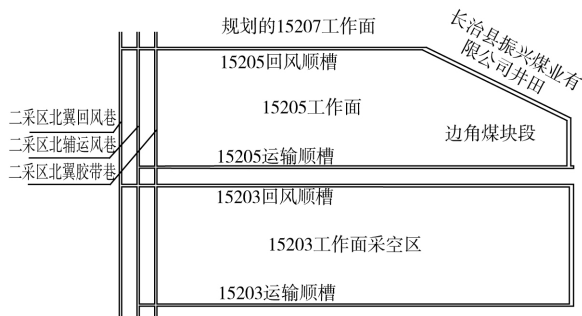


图1 15205工作面边角煤块段分布图

Fig. 1 Layout of marginal coal on 15206 working face

15205工作面位于矿井东北部山区中,地面多为自然植物,无建筑物、小井及其他设施,没有河流等地表水体,地势为东西部高,中部低。15205工作面位于井下+965水平,工作面走向长1120m,切眼分直切眼和斜切眼两段,直切眼长90m,斜切眼长316m。工作面开采15#煤层,煤层平均厚度为4.0m,倾角 $4^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ,结构简单,属于稳定可采煤层。工作面顶板为 $K_2$ 坚硬灰岩,底板岩层以泥岩和粉砂岩为主。

## 2 矿井边角煤开采原则

受形成原因及地质赋存条件影响,边角煤多呈不规则状态,导致其开采成本相对较高。因此,如何

在保证安全的前提下,采用最低的开采成本最大限度地回收矿井边角煤成为当前急需解决的问题。基于边角煤的存在特征,提出如下开采技术选择原则。

1)尽可能利用矿井现有的生产系统对边角煤进行回收,尽量做到投入少、安全性高、生产效率高,方便集中生产与管理。

2)针对边角煤的赋存状况,充分调研现有边角煤开采技术,通过论证,选择技术可行、安全可靠、经济合理的边角煤开采工艺,最大限度地实现边角煤资源的回收。

3)最大限度使用现有采掘设备,少添置设备,尽量避免频繁搬家倒面或移撤设备。

4)为防止边角煤回收过程中,受开采地质条件变化等因素的影响,出现顶板压力增大、巷道围岩控制难度增加等现象,需要提前做好相关应急预案。

针对15205正梯形边角煤块段,若采用旺格维利房柱式采煤法(短壁连采),则需要购进相关专用开采设备,增加开采成本。因此提出边角煤工作面变长渐增架开采方法,即预先将液压支架密集摆放于工作面斜切眼内,呈“渐增”状态,初采前对切眼顶板采取预裂爆破弱化措施,随工作面的推进和切眼长度的增加,逐渐增加支架和溜槽,并通过改变回采工艺和工序,利用现有生产系统和设备,实现工作面边角煤的安全高效回收。

## 3 渐增架开采工艺

### 3.1 边角煤工作面渐增架方案

对于正梯形边角煤工作面,需要在回采过程中逐渐增加支架,支架摆放的位置、数量与工作面长度有关。同时需考虑工作面加架、采煤循环作业时间、顶板来压及巷道围岩控制等因素的影响。基于此本节以裕兴煤业15205正梯形工作面为例,对渐增架工艺进行介绍。

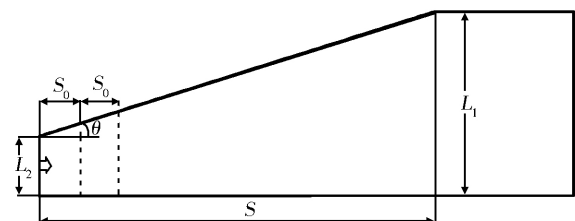


图2 正梯形工作面增架优化设计图

Fig. 2 Optimized design drawing of increasing supports on right trapezoid working face

采用渐增架开采工艺是为了提高边角煤工作面的开采效率。工作面开采效率与开采所用时间关系

如下:

$$\eta = \frac{Q}{t} \quad (1)$$

式中: $\eta$ 为工作面开采效率,万t/a; $Q$ 为工作面储量,万t; $t$ 为工作面开采时间,a。

由公式(1)可知,在工作面储量不变的情况下,开采效率与开采所需时间成反比,要提高开采效率就需要缩短开采时间。结合图2,边角煤各块段开采所需时间,可由下式表示:

$$\begin{cases} t_i(n) = \frac{nB \cot \theta}{D} \times \frac{L_2 + (i-1)nB}{60v_c t_y \cos \alpha} + t_0 \\ i = 1, 2, \dots, N \end{cases} \quad (2)$$

式中: $t_i(n)$ 为边角煤第*i*个块段的回采时间,d; $n$ 为一次增接支架数; $B$ 为支架宽度,m; $\theta$ 为斜切眼与运输顺槽的夹角,(°); $\alpha$ 为煤层倾角,(°); $D$ 为采煤机截深,m; $L_2$ 为工作面最小长度,m; $v_c$ 为采煤机平均割煤速度,m/min; $t_y$ 为工作面有效割煤时间,h/d; $t_0$ 为增加一次支架所用时间,h; $N$ 为工作面变长范围内的增架次数,其计算方法如下:

$$N = \frac{S}{nB \cot \theta} \quad (3)$$

式中: $S$ 为工作面加架段走向长度,m。

将公式(3)代入公式(2)可得:

$$t = \sum_{i=1}^N t_i(n) = \frac{S}{B \cot \alpha} \left( \frac{S \cot \theta - nB \cot \theta}{120V_c t_y} + \frac{t_0}{n} \right) \quad (4)$$

$$S_0 = nB \cot \theta \quad (5)$$

式中: $S_0$ 为增架间距,m。

由公式(1)~(5)的分析可知, $t$ 与 $S$ 成正比,与 $\alpha$ 、 $B$ 、 $V_c$ 、 $t_y$ 成反比。一般情况下 $S$ 、 $\theta$ 、 $\alpha$ 、 $B$ 、 $V_c$ 、 $t_y$ 等参数均为定值,对工作面开采效率影响的主要因素为一次增接支架数目 $n$ , $n$ 越大, $t$ 越小,开采效率越高,即在保证安全的前提下可以成组增加支架。

15205工作面推进到正常段切眼长度为225m,每架支架宽度为1.5m,共需安装150架液压支架。15205工作面边角煤块段分直切眼和斜切眼两段,其中直切眼长度90m,初次安装ZZ6800/20.5/45型液压支架61架;斜切眼长度316m,预先在斜切眼内渐增布置ZZ6800/20.5/45型液压支架89架,支架摆放时前后重叠,接架间距约为3.2m。工作面回采过程中,切眼长度自90m逐步延长至225m,平均每推进3.2m左右,就可以对接1架支架。为提高回采效率,采煤机每割16~17刀煤(约10m左右),就同时增加一组支架和溜槽(3架支架及3截溜槽)。每次增加支架及溜槽需5~6个工人

6h左右操作完成(约一个班时间),共计需增加支架和溜槽30次,即消耗30个班,对接液压支架89架和刮板输送机中部槽89节,工作面摆架方案如图3所示。

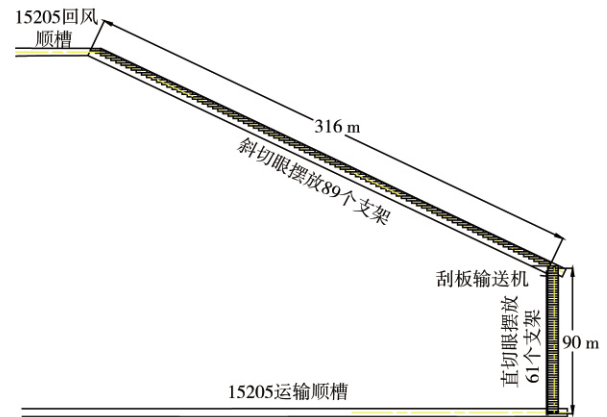


图3 工作面切眼摆架方案示意图

Fig. 3 Schematic diagram of supports installation in cutting holes

### 3.2 渐增架开采方案

#### 3.2.1 支架对接方案

1)当工作面回采推进至工作面支架与对接支架平行时,进行支架的对接,平均每推进3.2m左右,就可以对接1部支架。根据实际生产情况,采煤机每割16~17刀煤(约10m左右),可增加一组(3个)支架。

2)液压支架的对接通过相邻支架的牵引完成,由临时供液管路将等待对接的支架接通并降低至最小高度,随后将临时供液管路拆除。

3)将对接支架与机尾相邻支架使用完好的40型链连接,40型链连接在两个支架的顶镐上,通过支架的自牵引带动进行对接。40型链先选用1.5m长的规格,随着对接距离的不断缩短,逐步选用短规格的40型链,最终使对接支架紧贴原机尾架。

4)40型链与支架规定使用25T规格的U型环。

5)将需要对接的支架液压管路连接好,操作液压支架手把将其升起并接顶,使支架初撑力达到设计要求,保证其接顶效果良好,同时将护帮板伸出。

#### 3.2.2 刮板输送机对接方案

1)根据斜切眼布置情况,每推进3.2m左右,可以对接一节中部槽。根据工作面实际割煤情况,割煤16~17刀左右,为避免端头三角煤割不透,就要进行工作面溜槽的对接,一次可以对接3节溜槽。

2)进行刮板输送机对接前,将采煤机停在机尾向上的位置,采煤机后滚筒位于需要对接溜槽的西侧(即机头侧)一架的位置。

3)进行刮板输送机对接前,将作业区域的煤壁

进行有效支护,支护采用锚网支护。

4)使用液压阻链装置在刮板输送机机头处断开上链,使用风动紧链器断开机尾大链,同时支架连接千斤顶,使支架与刮板输送机分家。

5)采用2根单体液压支柱配合使机尾段向下推移,柱脚支在支架底座槽口处,用木背板垫在柱脚前防滑,柱帽钉在运输机底座固定孔上,使机尾段向下挪移,增加中部槽的距离。接通注液枪,通过远程供液对单体支柱进行供液。

6)用采煤机将需要对接的溜槽运输至刮板输送机机尾。

7)通过5T吊链将对接的溜槽拉至需要对接的位置进行对接,对接完成后,接链、紧链。

8)连接支架推移千斤顶。

9)上齐所有的销轴、配件。

#### 4 渐增架开采工艺优点总结

基于矿井边角煤开采原则,采用渐增架工艺对工作面边角煤进行开采,具有如下技术优势。

1)工作面能形成完整通风系统,巷道通风阻力小,不会像短壁连采一样产生独头巷道,防止瓦斯超限事故的发生。

2)不增加开采成本,无需重新购置多余设备,全部利用矿井现有综采设备,通过提前将液压支架密集摆放于工作面斜切眼内,呈“渐增”状态,随工作面推进逐渐增加支架和溜槽,即可将工作面边角煤采出。

3)工作面资源回收率高。短壁连采技术采一部分煤炭资源,还要留一部分支巷煤柱,而采用渐增架技术,可将工作面全部边角煤回收,资源回收率大大提高。

4)工作面回采效率高,工作面推进速度快。增架和加溜槽对工作面正常回采速度影响很小,可使工作面高效快速推过边角煤块段。

5)将支架预先摆放于斜切眼内,支架升起可对巷道顶板起到一定的支护作用,相当于在工作面前方提供超前支护。

6)工作面增加支架及溜槽工人操作简单,劳动强度低,大大提高了生产效率。

7)本矿15#煤具有自燃倾向性,采用渐增架技术可安全快速推过工作面边角煤块段,在高效开采边角煤的同时,可有效防止采空区遗煤自燃。

#### 5 现场实施效果总结分析

15205工作面斜切眼渐增支架摆放如图4所

示。边角煤块段走向长约300m左右,根据生产实践,采煤机每割16~17刀煤(约10m左右),需同时增加3架液压支架及3截溜槽,每次增加支架和溜槽需5~6个工人6h左右操作完成(约一个班时间),共计需增加支架和溜槽30次,即消耗30个班。若增加支架及溜槽时间位于检修班,则不耽误工作面正常推进生产,大大提高了工作面回采推进效率。



图4 斜切眼内渐增支架摆放图

Fig. 4 Diagram of increasing supports installation in oblique cutting holes

#### 5.1 工作面来压及巷道围岩变形实测分析

针对15205工作面K<sub>2</sub>石灰岩坚硬顶板,采取了顶板初采爆破预裂措施,初次来压步距14.5m,边角煤工作面长度随采随增长,不会导致顶板悬顶距离过长而发生大面积垮落,周期来压步距10~12m左右,顶板来压现象不是很明显。

15205回采工作面采用的ZZ6800/20.5/45型支撑掩护式液压支架、ZZGD6800/20.5/45型过渡支架、ZZDT6800/20.5/45型端头架等,在工作面回采推进期间支架工作阻力均处于正常值范围,支架无压架、插底等事故出现。

斜切眼内预先布置支架,支架升起对斜切眼内顶板形成初撑,大大增强了直切眼与斜切眼贯通处端头的顶板支护强度,仅需在回采帮布置一排单体液压支柱即可有效控制端头顶板,回采期间无漏顶、底臃、片帮等事故发生。

15205工作面两条顺槽均采用锚网索联合支护,边角煤回收期间巷道顶底板及两帮围岩位移量均在200mm内,围岩变形小,保障了工作面安全生产。

#### 5.2 工作面瓦斯及煤层自燃情况分析

通过渐增架技术对工作面边角煤进行回采,工作面继续使用原有U型通风系统,较短壁连采技术而言,不会有因盲巷产生而造成局部区域巷道内瓦斯积聚。15205工作面边角煤块段回采过程中,回风流中CH<sub>4</sub>浓度为0.06%~0.12%,工作面瓦斯含量均处于正常水平,通风情况良好。裕兴煤业15#煤有自然发火现象,最短自然发火期为94天,

通过渐增架技术高效、快速回收工作面边角煤,将边角煤全部采出,不会将遗煤残留在采空区内,同时将采空区及时封闭,最大程度的防止了采空区遗煤自燃,保证了矿井安全生产。

### 5.3 经济效益分析

15205 工作面初采工作面长 90 m,安装支架 61 个,逐渐增加支架及溜槽 89 个,工作面采长增加到 225 m,采用变采长逐渐增加支架的方法,可多回收边角煤 10.78 万 t,15<sup>#</sup> 煤售价按 562 元/t 计,吨煤成本 200 元/t,采出该部分边角煤可增加经济收入 3 902.36 万元,经济效益显著。

## 6 结论

1) 渐增架开采矿井边角煤技术,即将液压支架

预先放置于工作面斜切眼内,随工作面切眼长度的增加而逐渐增加支架和溜槽。该技术在不增加生产成本的同时,实现了矿井边角煤的安全高效回收。

2) 15205 工作面边角煤块段在推进过程中,共计增架及溜槽 89 个(30 次),工作面由 90 m 增加至 225 m,工作面增架效率高、回采速度快、矿压强度较小、瓦斯含量正常,安全高效回收边角煤 10.78 万 t,增加经济收入 3 902.36 万元,技术及经济效益显著。

3) 渐增架安全高效回采矿井边角煤技术的研究,为今后相似条件煤矿边角煤工作面的安全高效生产提供了可靠的理论与技术支撑。无论是从安全建设还是从生产效率角度来看,渐增架回采矿井边角煤技术都具有较大的理论意义、应用前景和实际推广价值。

### 参考文献:

- [1] 张能虎. 不规则边角煤块段机械化开采理论与实践研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2011.
- [2] 赵飞. 小块段边角煤采场围岩活动规律研究[J]. 能源与节能,2017(12):19-20,26.  
ZHAO Fei. Study on the rules of surrounding rock activity of corner coal pit in small section of coal mines[J]. Energy and Energy Conservation,2017(12):19-20,26.
- [3] 路文斌,裴宝地,桂维国. 综放工作面旋转加架开采的应用与研究[J]. 山东煤炭科技,2015(12):41-42,44.  
LU Wenbin, PEI Baodi, GUI Weiguo. Application and research of rotary frame mining in fully mechanized caving face[J]. Shandong Coal Science and Technology,2015(12):41-42,44.
- [4] 朱森,唐世界. 三角煤柱综采旋转加架开采技术[J]. 中州煤炭,2012(8):54-56,61.  
ZHU Sen, TANG Shijie. A rotating and adding hydraulic support mining technology of triangle coal pillar on fully-mechanized working face[J]. Zhongzhou Coal,2012(8):54-56,61.
- [5] 马文社. 边角煤短壁开采方案设计[J]. 采矿技术,2019,19(4):6-7.  
MA Wenshe. Design of short wall mining scheme of corner coal[J]. Mining Technology,2019,19(4):6-7.
- [6] 李根威,王艳永. 短壁连采工艺在回收边角煤资源中的应用研究[J]. 煤炭技术,2017,36(4):29-32.  
LI Genwei, WANG Yanyong. Application research on short-wall continuous mining method in recycling leftover coal[J]. Coal Technology,2017,36(4):29-32.
- [7] 布继平. 镇城底矿不规则工作面面长渐变壁式开采技术[J]. 能源技术与管理,2016,41(5):92-93.  
BU Jiping. Long gradient wall mining technique for irregular working surface in zhencheng bottom mine[J]. Energy Technology and Management,2016,41(5):92-93.
- [8] 安俭俭,金思德,刘宁,等. 矿井边角煤炭资源开采回收经验与技术[C]//中国煤炭学会. 中国煤炭学会开采专业委员会 2008 年学术年会论文集. 徐州:中国矿业大学出版社,2008:62-65.
- [9] 李建营. 综放工作面回采过程中增加支架技术[J]. 煤炭技术,2004,23(5):40-41.  
LI Jianying. Adding support technology in actual mining at comprehensive mining face[J]. Coal Technology,2004,23(5):40-41.

(编辑:安娜)