

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2019.02.10

大采高综采面回撤前压架冒顶事故分析

题正义¹, 张 峰¹, 潘 进¹, 田 臣²

(1. 辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 神华神东煤炭集团有限责任公司柳塔煤矿, 陕西 榆林 719315)

摘要: 为探明大采高综采工作面回撤阶段出现压架冒顶事故的原因, 运用数值模拟和理论分析, 从工作面临近回撤阶段调节巷的设置、覆岩关键层的结构特征与运动两个方面对工作面回撤过程中出现压架冒顶事故的机理进行分析。以神东大柳塔矿 52304 工作面为例, 分析结果表明: 大采高综采面关键层断裂形成的“悬臂梁”结构是造成压架冒顶事故的根本原因, 断裂块体失稳错动、拉断区与压缩变形区相互贯通是造成压架和加剧端面冒顶的直接原因, 而调节巷的存在是冒顶事故发生的诱因。研究结果为治理大采高综采面压架冒顶事故提供了理论指导意义和借鉴价值。

关键词: 回撤阶段; 压架冒顶; 调节巷; 悬臂梁; 数值模拟

中图分类号: TD77 + 1

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2019)02-0078-05

Accident analysis of bracket and roof collapse before retracement under high face mining

TI Zhengyi¹, ZHANG Feng¹, PAN Jin¹, TIAN Chen²

(1. Institute of Mining, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China;

2. Shenhua Shendong Coal Group Co., Ltd. Liuta Coal Mine, Yulin, Shaanxi 719315, China)

Abstract: In order to find out the reasons for bracket pressing and roof collapse occurred at the retracement stage of during high face mining, numerical simulation and theoretical analysis were adopted to analyze the mechanism of bracket pressing and roof collapse, with the consideration of adjusting lane setting and structural features and movement of the key stratum of the overburden rock. The 52304 working face of Shendongdaliuta mine was taken as an case study, the results show that the “cantilever beam” formed by the fracture of the key strata under high face mining is the root cause of the bracket pressing and roof collapse. while the dislocation of fractured blocks as well as the cut-through of the tensile zone and the compression zone are the direct cause. The existence of adjusting lane is an inducement. This study provide theoretical guidance and reference for accidents analysis under high facemining.

Keywords: retracement stage; bracket pressing and roof collapse; adjusting lane; cantilever beam; numerical simulation

0 引言

综采工作面推至停采线后, 需将工作面所有设备

通过回撤通道搬至下一个工作面, 为了提高回撤巷道的支护质量, 缩短工作面设备搬家时长, 现阶段常用的搬家方法是预掘回撤通道。但是, 如果支护不合理, 未

收稿日期: 2018-03-19

基金项目: 国家自然科学基金(51704148、51204086)

第一作者: 题正义(1957-), 男, 吉林省舒兰县人, 教授, 博士生导师, 主要从事矿井开采理论及技术和矿山压力方面的研究。E-mail: ah06303217@163.com

通讯作者: 张 峰(1986-), 男, 安徽阜阳人, 在读博士, 主要从事矿井灾害与防治、矿山压力与控制技术方面的研究。E-mail: ln_zns@163.com

采期间预掘的回撤通道会在设备回撤前发生压架冒顶事故,造成预掘回撤通道撤离设备方案失败,增加工作面搬家时长,缩减保护煤柱尺寸,给矿井末采安全带来重大的安全隐患^[1-3]。

近年来,许多学者对大采高设备回撤期间出现压架冒顶的问题进行了大量研究^[4-7],其中影响较为深远的是罗文^[8]以工作面出现端面冒顶和压架事故的实际情况为着眼点,提出了解决冒顶、压架事故的技术措施,并在现场成功实践。高浩然等^[9]利用数值模拟软件分析了回撤阶段调节巷的适用条件,但未对回撤阶段端面冒顶和压架的机理与防范安全技术措施进行分析。鞠金峰等^[10-11]、钱鸣高^[12]发现了端面漏冒与关键层断裂运动之间的密切关系,但无法解释回撤阶段端面顶板加固处理后,依然出现端面漏冒的原因所在。因此,研究大采高综采面回撤阶段工作面端面漏冒和压架现象的发生机理,找出潜藏的安全隐患、顺利回撤设备是大采高综采面回撤阶段亟需解决的首要问题。本文以大柳塔矿 52304 综采面为研究对象,运用 FLAC^{3D} 模拟回撤阶段调节巷对直接顶稳定性的影响和诱发端面冒顶时的煤体应力变化,并利用覆岩关键层形成“悬臂梁”结构的演化过程,对端面如何产生压架冒顶现象进行详细解析,找出回撤阶段出现压架冒顶事故的原因所在,为大采高综采面设备安全回撤方案的制定提供了技术支撑和参考价值。

1 工作面概况

52304 工作面走向推进长度 4 547.6 m,工作面采用“刀把面”的布置形式。开始推进时的工作面倾向长度 147.5 m,走向长度 148.7 m,推完 148.7 m 后工作面的倾向长度变为 301 m,走向长度变为 4 389.1 m。煤厚 6.6~7.3 m,埋深 265 m,采用倾斜长壁全部垮落、一次采全高的采煤方法,煤层顶底板均以灰色粉砂岩为主,未采期间,采用预掘回撤通道进行设备搬运,回撤通道高宽为 4.5 m×6 m,顶板和两帮均采用全锚索加钢带加金属网联合支护,锚索选用 $\Phi 22$ mm×4 000 mm,间排距为 1 m×1 m,两帮的顶底脚锚索距顶底板距离均为 0.25 m,顶板两侧的锚索距两帮距离均为 0.5 m。

2 回撤通道调节巷对直接顶稳定性及端面冒顶的影响

利用 FLAC^{3D} 模拟回撤通道中有无调节巷对工作面开采过程中围岩应力场变化进行对比分析,探明调节巷是否对直接顶的稳定性和端面漏冒产生影响。

2.1 数值模拟模型的建立

模型长 300 m×宽 200 m×高 120 m,上覆施加均布载荷 0.362 5 MPa。模拟所需的各力学参数见表 1。模拟实验共设置两个方案(图 1)。

方案一:设置调节巷。在工作面上每隔 40 m 留设一个高宽为 4.5 m×5 m 的调节巷,巷道沿走向长度为 20 m,共计 4 个。

方案二:不设调节巷,除此以外各因素与方案一保持一致。

为了消除边界及其它影响因素,重点突出调节巷对工作面回撤的影响,选择在 300 m 处开切眼。为了更加充分的体现出采空区上覆岩层回转运动对煤体应力场的应力变化强度的影响,在此将 193~300 m 进行一次挖完,并运行至平衡状态,再设置开挖步距 5 m,在煤层 4.5 m 处作水平剖面观察煤体应力分布云图。

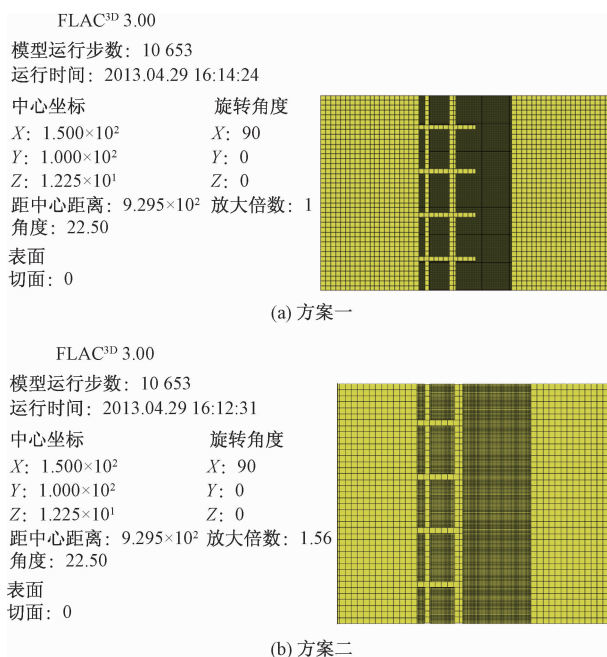


图 1 模拟方案

Fig. 1 Simulation scheme

2.2 模拟结果分析

通过模拟工作面开采过程中采空区上覆岩层回转运动对煤体应力场的应力变化强度,判断工作面回撤过程中出现压架冒顶现象是否受到调节巷的影响。

分析回撤通道 20 m 范围内的围岩应力场,并对距离回撤通道 10 m 时的围岩应力场进行细致分析。

当工作面推进至距离回撤通道 20 m 处时,在煤层 4.5 m 处作水平剖面,得到此处煤体应力分布云图(图 2)。

表 1 模型中各岩层力学参数

Table 1 Mechanical-parameters of strata

岩性	体积模量/GPa	剪切强度/GPa	抗拉强度/MPa	内摩擦角/(°)	内聚力/MPa	密度/(kg·m ⁻³)
关键层	16.67	7.69	2.50	42	4.00	2 846
中粒砂岩	10.42	5.95	2.00	39	3.50	2 755
泥岩	5.33	3.20	1.70	26	2.50	2 347
煤层	1.00	0.60	1.40	20	1.60	1 326
粉砂岩	7.14	4.92	2.00	36	2.50	2 857

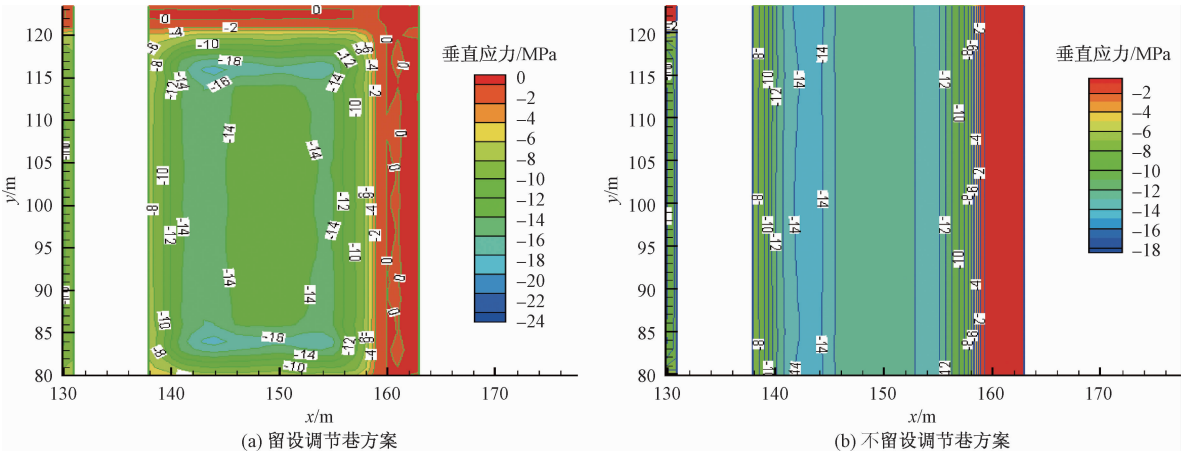


图 2 推进至 20 m 时煤层 4.5 m 水平剖面垂直应力分布

Fig. 2 Coal seam section 4.5 m vertical stress distribution when advance to 20 m

从图 2 中可以看出,在不留设调节巷的情况下,尚未回采的煤体应力场变化特征为:由煤体外边缘向煤体中央逐渐增大,最大垂直应力值为 14 MPa(原岩应力 6.825 MPa)。在留设调节巷的情况下,尚未回采的煤体中央最大应力值也为 14 MPa,但是在调节巷的四

个边角处,有明显的应力集中现象,最大垂直应力值为 18 MPa。由此看出,留设调节巷时,在距回撤通道 20 m 时,在调节巷边角处煤体会形成应力集中区域。

当工作面距离回撤通道 15 m、10 m、5 m 时,在煤层 4.5 m 处设置水平剖面,应力云图如图 3 所示。

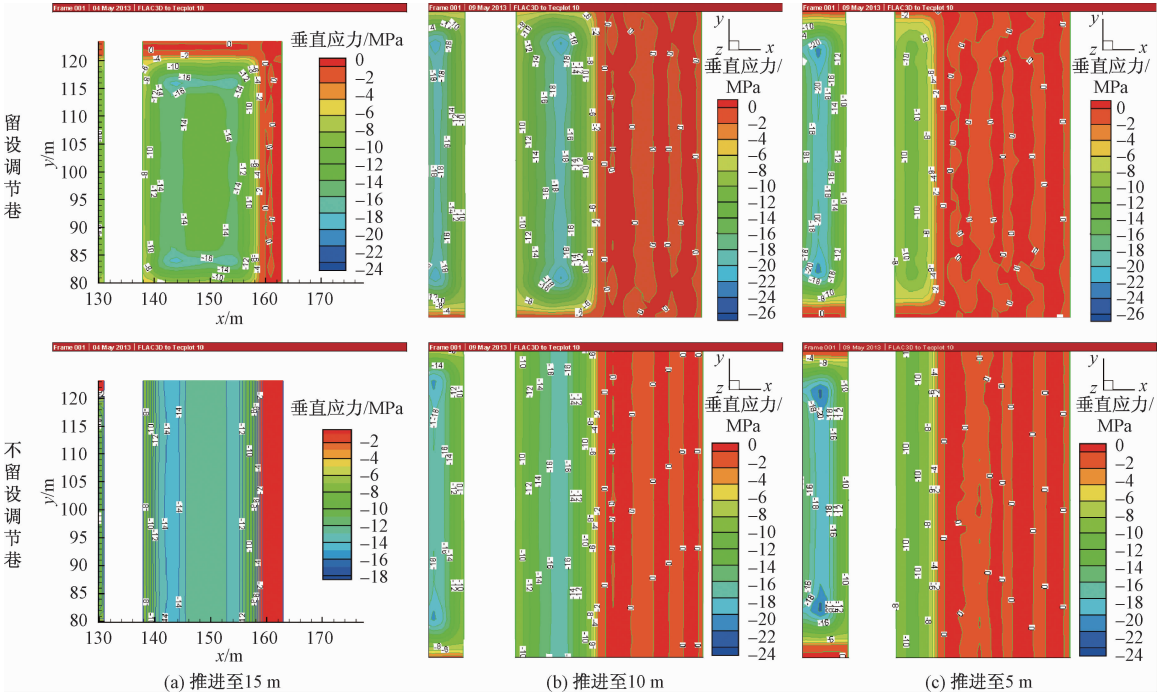


图 3 不同推进距离的应力云图

Fig. 3 Stress maps with different advanced distance

由图 3(a) 中可知,当工作面距离回撤通道 15 m 时,留设调节巷的煤体四个边角处依然存在着应力集中,最大垂直应力值为 18 MPa。不留设调节巷时最大垂直应力值为 14 MPa,与距回撤通道 20 m 时垂直应力特征基本相同。

由图 3(b) 可知当工作面继续向前推进,距离回撤通道 10 m 时,留设调节巷煤体四个边界处存在的应力集中区域逐渐向上下两侧转移。

由图 3(c) 可知当工作面推进至回撤通道 5 m 时,留设调节巷煤体的上下两侧应力突然降至为 0,与为留设调节巷煤体应力分布相同。

将图 3(b) 中的端部放大至图 4 可知,留设调节巷情况下最大垂直应力为 22 MPa,应力集中在煤体中央;而不留设调节巷情况下最大应力为 16 MPa,应力平均分布。

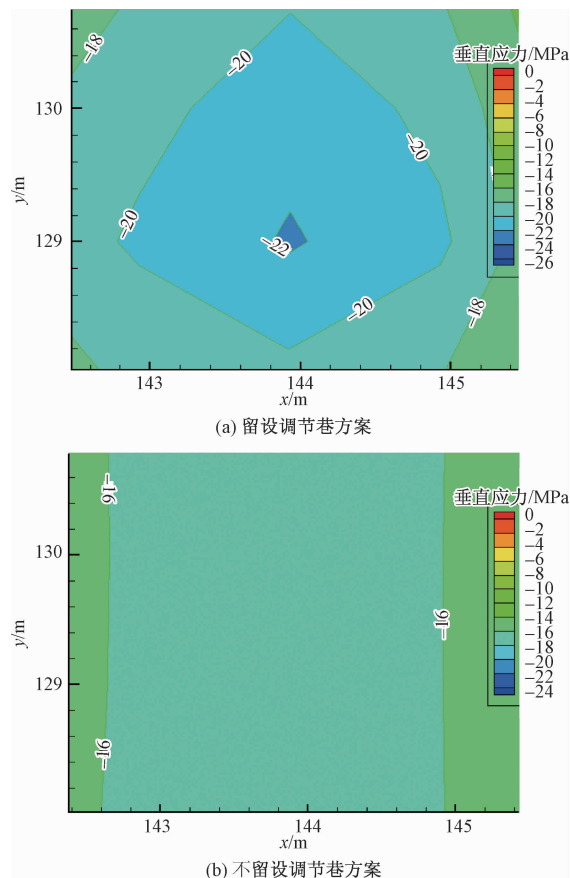


图 4 推进至 10 m 时垂直应力局部放大图

Fig. 4 Partial enlargement of vertical stress with a advanced distance of 10 m

由以上模拟实验分析结果可以看出,设置调节巷,在临近回撤阶段时工作面与调节巷相互贯通,调节巷的四个边角处出现应力集中区域,工作面受采动影响

时四个边角处煤体应力值降至为 0,煤壁发生片帮、冒顶现象,顶板也出现破碎、冒落,并诱发端面随之漏冒。

3 覆岩关键层“悬臂梁”结构运动对压架冒顶的影响分析

在大采高综采面回撤阶段,随着工作面的推进,工作面支架后部采空区自由空间足够大,处于松散状态的顶板会直接垮落,给首个关键层破断提供支撑点,靠近支架顶部的首个关键层会在支架尾部生成“悬臂梁”结构,该结构形成过程与普通采高的关键层在支架尾部缓慢下沉形成的“砌体梁”结构的岩体移动过程大相径庭。该结构的形成同时满足文献^[10]所述的关键层“悬臂梁”结构构成的一切条件。图 5 所示为支架顶板上覆首个关键层形成“悬臂梁”结构的变化过程。

初始阶段关键层暴露长度较小,当工作面推进一定距离后,关键层因暴露长度不断增大而发生断裂,但由于煤壁前方煤岩体的限制作用,处于初始断裂阶段滑移的关键层块体只出现了小角度的回转变形,最终处于临时稳定状态。在关键层形成悬臂结构的过程中,工作面近端处直接顶受到悬臂岩块垂直方向的拉伸,远端处直接顶受悬臂岩体回转运动带来的走向方向上挤压,两种外力共同作用下,使得工作面端面处的直接顶上部出现拉断区,下部出现压缩变形区(图 5(a))。

伴随着工作面继续向前推移,初始断裂阶段滑移的块体发生回转的角度慢慢增大,初始阶段直接顶上部形成的拉断区和下部形成的压缩变形区范围也在逐步扩大(图 5(b))。当工作面推过断裂线位置时,工作面支架后方已断裂的块体 A,在侧向上将会不受到破断块 B 的约束作用,直接垮落至采空区,同时破断块 B 在回转变形过程中也将出现垮落、滑移现象,但不能以自我稳定的承载结构形式存在。

在工作面继续向前推进的过程中,如果移动液压支架时上覆岩层移动给断裂块 B 施加的载荷过大,造成支架初撑力不达标,支架立柱行程难以上升时,断裂块 B 将会在端面处的断裂线位置失稳下滑,引起拉断区和压缩变形区相互贯通,支架上方发生穿透式漏顶现象(图 5(c))。随着顶板岩层的继续下沉,支架上覆载荷急剧增大,超过其最大载荷后,支架液压控制系统的安全阀将会打开,支架立柱行程下降,开始泄压,最终造成支架处于压死状态。

由此得出,大采高综采工作面开采过程中,煤层上

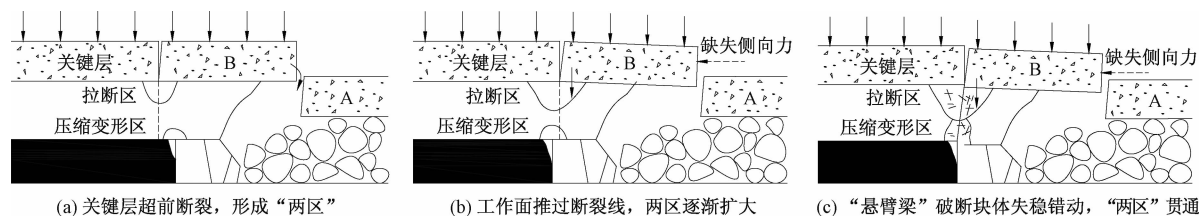


图5 关键层“悬臂梁”结构运动对直接顶的作用过程

Fig. 5 Influence of “Cantilever beam” movement on the immediate roof

覆首个关键层断裂滑移形成的“悬臂梁”结构是造成工作面压架冒顶事故的主要原因。

4 结 论

(1) 利用 FLAC^{3D} 模拟调节巷对顶板岩层应力分布及其稳定性的影响, 得出调节巷的存在是造成回撤阶段压架冒顶事故发生的诱因。

(2) 从大采高综采面煤层上覆首个关键层断裂演化过程分析得出: 关键层断裂形成的“悬臂梁”结构是造成压架冒顶事故的根本原因; “悬臂梁”破断、块体失稳错动、拉断区与压缩变形区相互贯通是造成压架和加剧端面冒顶的直接原因。

(3) 通过对 52304 工作面回采过程中发生的压架冒顶机理的分析, 为特大采高综采面在回撤阶段做好安全防护措施提供理论基础和借鉴意义。

参考文献:

- [1] 罗文. 大柳塔煤矿 52304 综采面收尾段压架冒顶事故处理对策[J]. 陕西煤炭, 2014(1): 52-55.
LUO Wen. Research on treatment measures of roof falling accidents in the end mining of fully mechanized mining face[J]. Shaanxi Coal, 2014(1): 52-53.
- [2] 袁永, 屠世浩, 王瑛. 大采高综采技术的关键问题与对策探讨[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(1): 4-8.
YUAN Yong, TU Shihao, WANG Ying. Discuss on the key problems and countermeasures of the large mining height fully mechanized mining technology [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(1): 4-8.
- [3] 郝海金, 吴健, 张勇, 等. 大采高开采上位岩层平衡结构及其对采场矿压显现的影响[J]. 煤炭学报, 2004, 29(2): 137-141.
HAO Haijin, WU Jian, ZHANG Yong, et al. The balance structure of main roof and its action to immediate roof in large cutting height workface [J]. Journal of China Coal Society, 2004, 29(2): 137

- 141.

- [4] 胡国伟, 靳钟铭. 大采高综采工作面矿压观测及其显现规律研究[J]. 太原理工大学学报, 2006, 37(2): 127-130.
HU Guowei, JIN Zhongming. Practice of pressure law and study on the strata behavior regularity of large mining height fully-mechanized face [J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2006, 37(2): 127-130.
- [5] 鞠金峰, 许家林, 朱卫兵, 等. 7.0 m 支架综采面矿压显现规律研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(3): 344-350.
JU Jinfeng, XU Jialin, ZHU Weibing, et al. Strata behavior of fullymechanized face with 7.0 m height support [J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2012, 29(3): 344-350.
- [6] 王永军. 浅埋深大采高综采工作面压架及冒顶处理技术[J]. 煤炭工程, 2015(3): 68-70.
WANG Yongjun. Treatment for support crushes and roof caving in shallow buried high cutting working face [J]. Coal Engineering, 2015(3): 68-70.
- [7] 许家林, 鞠金峰. 特大采高综采面关键层结构形态及其对矿压显现的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(8): 1547-1556.
XU Jialin, JU Jinfeng. Structural morphology of key strata and its influence on strata behavior in fully-mechanized face with super great mining height [J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(8): 1547-1556.
- [8] 罗文. 浅埋大采高综采工作面末采压架冒顶处理技术[J]. 煤炭科学技术, 2013(9): 122-125+142.
LUO Wen. Handling technology of hydraulic powered support jammed and roof fall during terminal mining of fully-mechanized high cutting coal face with shallow seam [J]. Coal Science and Technology, 2013(9): 122-125+142.

(下转第 119 页)