

文章编号: 1673-3363-(2014)03-0413-05

连续采煤机块段式开采矿压显现规律研究

周茂普^{1,2}, 曹胜根¹, 江小军²

(1. 中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州 221116;

2. 中国煤炭科工集团太原研究院有限公司, 山西 太原 030006)

摘要 以神东公司乌兰木伦煤矿边角煤开采条件为工程背景, 采用FLAC^{3D}有限差分软件计算研究了连续采煤机块段式开采工艺条件下的采场矿压特征, 并进行了现场矿压观测。研究表明: 采用完全垮落法管理顶板时, 随着工作面推进, 采空区面积不断扩大, 刀间煤柱压力峰值越大且其应力变化剧烈, 应力集中系数在2.2~2.7范围; 采空区直接顶最大垂直位移位置向回采方向延伸, 直接顶与老顶逐步产生了离层, 且离层量越来越大, 并在支巷与联巷的交叉位置形成的三角区域进行大面积垮落。

关键词 连续采煤机块段式开采; 完全垮落法; 数值模拟; 履带行走式液压支架

中图分类号 TD 823

文献标志码 A

The law of rock pressure in the stope with blocking mining by the continuous miner

ZHOU Maopu^{1,2}, CAO Shenggen¹, JIANG Xiaojun²

(1. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China; 2. Taiyuan Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

Abstract With the corner coal mining conditions in Wulanmulun Coalmine of Shendong Company as the engineering background, mining pressure characteristics under technological conditions of blocking mining by the continuous miner is researched numerically through the software of FLAC^{3D} finite difference combined with on-the-spot pressure observation. The research finds that the use of complete management of roof caving method will, as the working face advances, make the gob area expand unceasingly, and thus the peak stress and stress of coal pillar between knife caving change drastically, with the stress concentration factor ranging from 2.2~2.7, and that the maximum vertical displacement position of the direct roof in the mined-out area will extend towards mining, which causes abscission layer of the direct roof off the main roof. The abscission layer becomes larger and larger and will collapse extensively in the triangular area formed by the headway and the roadway.

Key words block section of continuous miner; the fully caving method of roof; numerical simulation; crawler walking type hydraulic support

收稿日期: 2013-02-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(51374197, 50774078); 江苏高校优势学科建设工程项目; 江苏省“青蓝工程”项目; 煤炭资源与安全开采国家重点实验室自主课题项目(SKLCRSM12X06); 山西省青年科技研究基金项目(2012021022-2); 中国煤炭科工集团太原研究院自立项目(M2012-13)

作者简介: 周茂普(1962-), 男, 山东省青岛市人, 研究员, 从事连续采煤机短壁机械化开采设备与工艺技术方面的研究。

通信作者: 江小军

E-mail: jxjtyut@163.com

Tel: 13834510185

连续采煤机机械化开采技术自 20 世纪 90 年代在我国煤矿应用以来,经历了从房柱式—单翼小煤柱回采—双翼小煤柱回采—块段式开采等工艺发展历程^[1-8]。块段式全部垮落法回采工艺主要配套行走支架进行无煤柱采硐开采,能够实现直接顶随采随冒,随着回采面积的增大,基本顶逐步垮落,回采率达 80% 以上,是目前我国回收边角块段煤柱等所采用最广泛的一种连续采煤机开采工艺。研究块段式开采工艺布置条件下的围岩应力和顶板变化规律,优化工作面工艺参数,对于开采过程中有效控制顶板,实现工作面安全生产有重要指导意义。

针对连续采煤机块段式开采工艺建立数值力学模型,采用有限差分软件 FLAC^{3D}, 研究分析连续采煤机块段式工作面布置在开采过程中的应力分布特征,塑性区分布规律以及顶板运移规律。

1 工程概况

乌兰木伦煤矿 1² 煤层厚度为 2.5~5.5 m, 平均厚度为 4.2 m, 倾角为 1°~3°, 工作面瓦斯含量较低, 煤层结构简单, 无伪顶, 直接顶为粉砂质泥岩, 厚度约 0.62~4.62 m, 基本顶为砂岩, 灰白色, 中粒砂状结构, 厚度 30.8~56.4 m, 直接底为灰色泥质粉砂岩, 成分以粉砂质为主, 厚度 0~4.45 m, 老底为灰白色细砂岩, 厚度 19.9~28.8 m。

2 开采方案

针对该工作面条件和顶板管理要求, 方案设计时采用了块段式布置方式(图 1)。

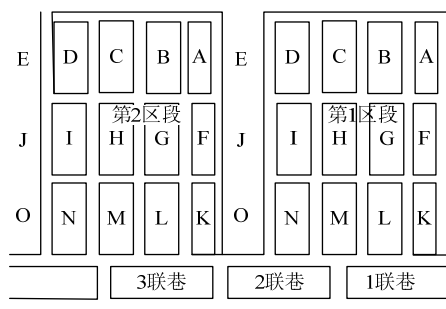


图 1 块段式开采技术方案

Fig.1 Mining technology scheme

开采区域分为 2 个开采区段, 每个区段间留设 10 m 宽的隔离煤柱, 每个区段布置 5 条支巷, 支巷与中巷成垂直方向。支巷掘进时每 2 条为 1 组, 支巷设计长度为 120 m, 支巷掘进时每隔 30 m 开 1 个相邻支巷间联巷。每条支巷向相邻支巷均布置 3 条联巷, 在左右支巷顶头的第 3 条联巷完全贯通后,

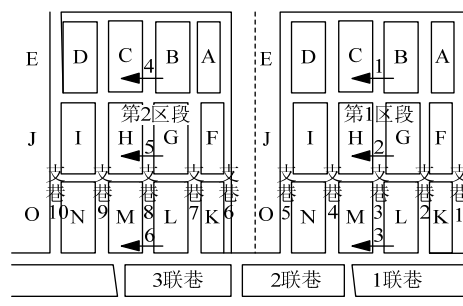
将形成两条与中巷平行的回风巷, 其主要用于各块段回采时工作面回风。每个块段内的支巷和联巷又将每个块段分为 12 个小煤柱。块段式回采短壁工作面运输平巷和支巷均为宽 5.4 m, 高 3.8 m 的矩形巷道, 支巷内联巷都为宽 5.0 m, 高 3.8 m 的矩形巷道。

3 块段式开采围岩应力与位移的数值模拟

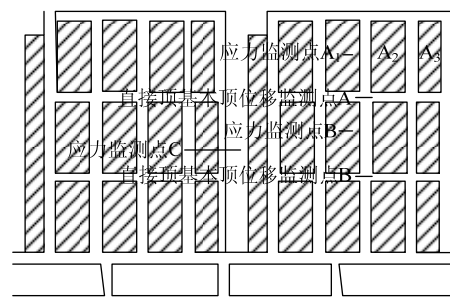
连续采煤机开采在煤体回采顺序和煤柱留设形状上较为特殊, 拟采用 FLAC^{3D} 数值计算软件对该块段式开采工作面煤柱受力和顶板运动情况进行数值模拟分析。

3.1 力学模型

开采工作面支巷长度 120 m, 设计采硐断面 3.3 m×4.2 m×11 m, 采硐与支巷呈 45° 夹角, 采硐间煤柱厚度 0.5 m, 采场共分为 2 个区段, 区段间留 10 m 宽隔离煤柱。模型共划分为 64 826 个单元, 计算时采用 Mohr-Coulomb 准则, 以结构单元 shell, pile 模拟行走支架的力学行为, 工作面回采顺序及测点分布见图 2 所示。



(a) 回采顺序



(b) 测点分布

图 2 工作面回采顺序及测点监测分布

Fig.2 Mining sequence of working surface and monitoring distribution

3.2 垂直应力分布特征

工作面支巷在开采过程中垂直应力分布变化如图 3 所示。

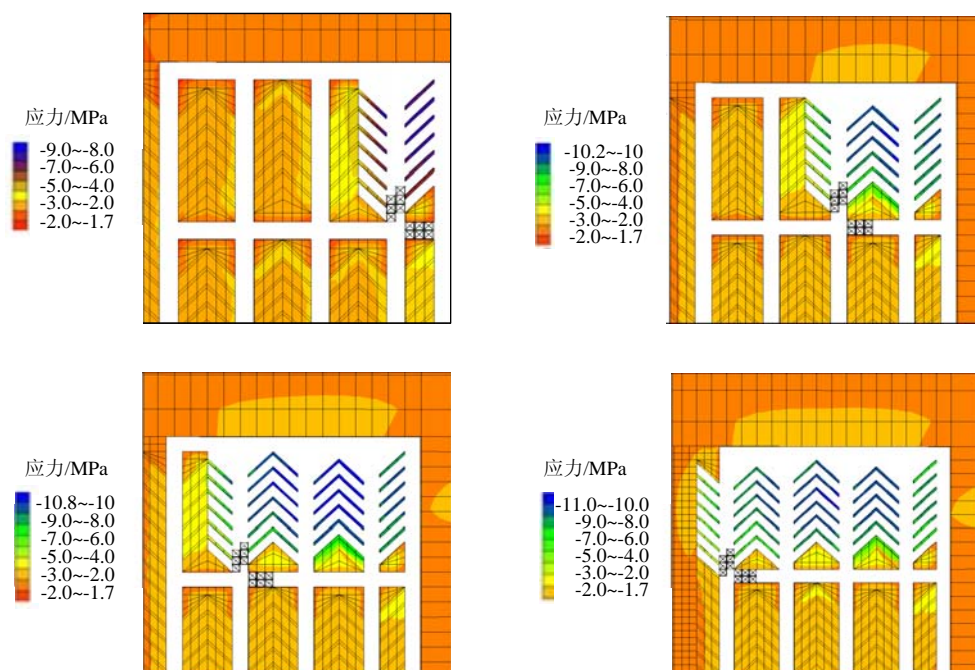


图3 I阶段回采煤层垂直应力变化

Fig.3 The vertical stress of I stage

从图3中可看出,当2支巷煤层回采完毕后,煤岩体应力重新分布,之前处于原岩应力的工作面煤壁和刀间煤柱均处于应力集中区。最大垂直应力出现在刀间煤柱上,应力集中系数为2.25,工作面煤体应力集中系数为1.22。3支巷煤层回采后,刀间煤柱应力集中系数为2.45,工作面煤体应力集中系数为1.35。4支巷煤层回采后,刀间煤柱应力集中系数为2.55,工作面煤体应力集中系数为1.4。随着采空区面积的不断增大,刀间煤柱和工作面前方煤体应力集中系数不断增大,且采空区刀间煤柱压力峰值位置沿工作面的推进方向不断向前推进。

监测点 A_1 、 A_2 、 A_3 应力变化曲线如图4所示。

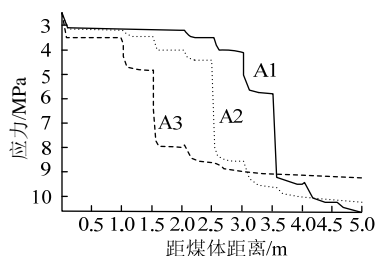


图4 监测点应力变化曲线图

Fig.4 Monitoring variation curves of stress

从图4中看出,当监测点位于工作面煤体时,监测点处应力变化不大,应力集中系数为1.2~1.5。当监测点位于采空区刀间煤柱位置时,随着采空区

面积不断增大,监测点应力变化剧烈,应力集中系数在2.25~2.7。监测点应力分布规律为 $A_1 > A_2 > A_3$,即采空区面积越大,刀间煤柱压力峰值越大。

3.3 塑性区分布规律

回采煤层塑性区变化趋势如图5所示。当2支巷煤层回采完毕后,留设的刀间煤柱首先出现以剪切破坏为主的塑性破坏,左翼刀间煤柱塑性区从支巷边缘向采空深处逐渐发展,刀间煤柱在靠近3支巷准备回采煤体的部分则处于弹性区,仍具有一定的承载能力。刀间煤柱距行走支架支护位置越远,塑性区范围越大;2支巷右翼刀间煤柱两端0~1.5 m范围内发生剪切破坏,中间部分处于弹性稳定状态;2支巷右翼不规则煤柱边缘0~1.5 m范围内出现塑性破坏区,但煤柱内部仍有弹性核存在。

当3支巷煤层回采完毕后,2支巷左翼刀间煤柱已完全进入塑性区,失去承载能力,且塑性区逐渐向3支巷右翼刀间煤柱发展。2支巷右翼不规则煤柱内部弹性核消失,整体处于塑性破坏状态。2支巷与3支巷之间不规则煤柱边缘0~2 m范围内发生剪切破坏,整体处于弹性稳定状态。4支巷煤层回采完毕后,3支巷右翼刀间煤柱塑性区由两端向中间完全贯通,刀间煤柱整体产生塑性破坏,失去承载能力。不规则煤柱中间弹性核面积逐渐减小,承载能力降低。

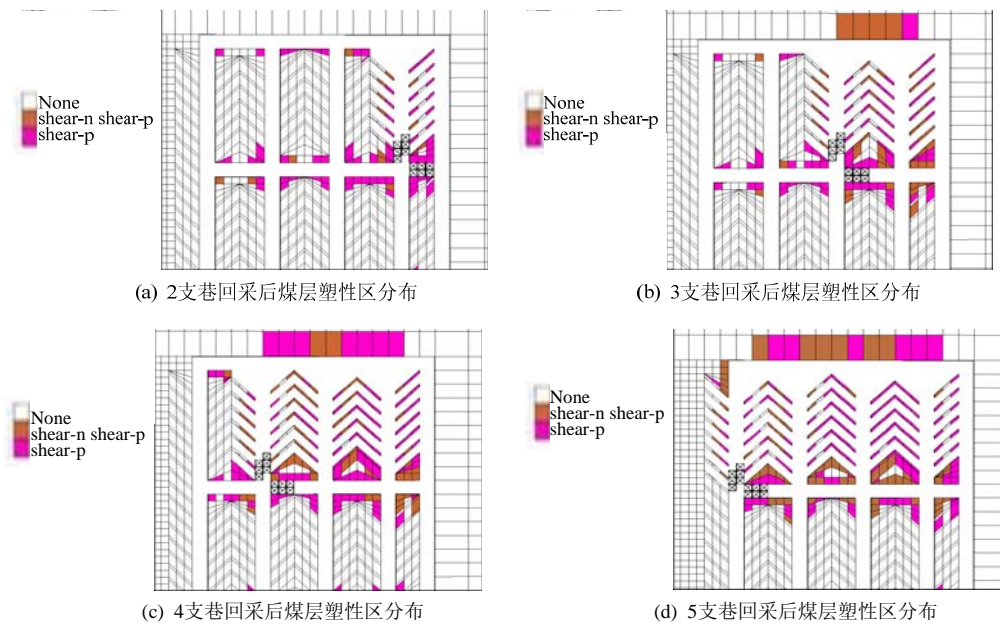


图 5 回采煤层塑性区变化图
Fig.5 Plastic zone of coal

3.4 顶板位移变化规律

支巷回采后直接顶垂直位移云图见图 6。

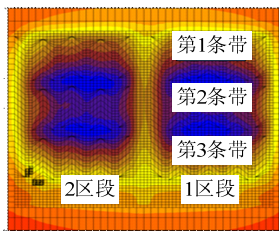


图 6 支巷回采后直接顶垂直位移云图
Fig.6 The vertical displacement nephogram of immediate roof after mining

从位移云图中看出,第 2 条带煤层开始回采后,直接顶垮落区域主要位于第 1 条带煤层与第 2 条带煤层之间的联巷范围内,且沿着第 2 条带煤层工作面推进方向不断向前发展。第 3 条带煤层开始回采后,直接顶垮落区域主要位于第 2 条带煤层与第 3 条带煤层之间的联巷范围内。当 1 区段煤层回采完毕后,直接顶形成了 2 个主要垮落区域,主要原因是支巷与联巷的交叉位置形成三角区,在该位置空顶面积较大,直接顶易于垮落,由于相邻支巷间距较小,使得三角区上方直接顶垮落区域相互贯通连成一体。当 2 区段煤层开始回采后,1 区段第 2 条带离层的直接顶不断受到采动影响,从上下联巷向第 2 条带中部刀间煤柱方向不断垮落,最终 1 区段顶板发生大面积垮落区域。

随着工作面推进,直接顶最大垂直位移位置向

回采方向延伸,即 3 支巷回采完毕后,直接顶与基本顶之间产生了离层,且离层量越来越大,当 4 支巷回采完毕后,3 支巷上方直接顶出现最大位移量约 146 mm,直接顶在此位移量下开始发生局部垮落。

4 工程应用

为了降低顶板管理难度,现场对开采方案进行了修正,将刀间煤柱改为 1m,每隔一对支巷留设隔离煤柱,其余开采参数不变。

4.1 煤体应力监测

根据应力计监测数据,可得煤体应力—时间和面积—应力变化曲线,其中,1 号测点曲线如图 7。

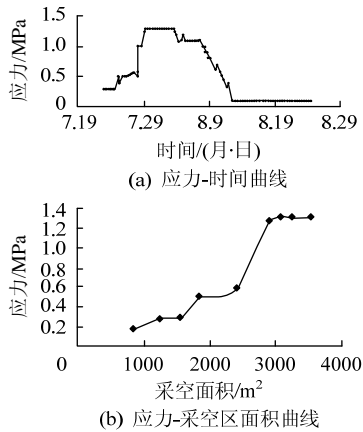


图 7 应力—时间与采空区面积曲线图
Fig.7 Chart graph of the pressure-time and goaf area

由图7可知,煤柱应力随采空面积增大而增大。回采结束后,煤柱应力依然增大,说明顶板依然在运动,顶板压力继续向煤柱内部转移。随着时间的推移,煤体发生蠕变屈服,煤柱应力值逐渐降低,压力显现值变小。现场观测1#测点附近煤柱发生了松动或片帮破坏。

4.2 顶板位移、离层监测

顶板位移与时间的变化曲线如图8所示。

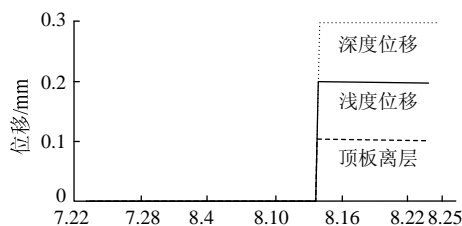


图8 顶板位移—时间变化曲线

Fig.8 The displacement-time changing graph of roof

由图8可知,顶板位移在13日以前一直不变,13日之后开始增大,但增量较小,自15日起顶板位移一直保持不变,这说明修正后的开采方法比较保守,顶板比较稳定,不会形成大面积垮顶事故。

5 结论

1) 块段式开采工艺采空区刀间煤柱和工作面前方煤体的垂直应力峰值随着工作面推进方向不断向前推进,最大垂直应力出现在刀间煤柱上,集中系数达2.25~2.7,采空区面积越大,刀间煤柱压力峰值越大。

2) 随着工作面推进,直接顶最大垂直位移位置向回采方向延伸,支巷与联巷的交叉位置容易形成三角区,空顶面积增大,直接顶形成垮落区域。随着2区段的逐步回采,1区段第2条带直接顶不断受到采动影响,从上下联巷向第2条带中部刀间煤柱方向不断垮落。

3) 在现场回收煤柱时,应针对履带行走式液压支架切顶力对促进顶板在采空区的冒落中作用进行研究,使直接顶可以达到随采随冒,基本顶能在

较早的时间内垮落,实现完全垮落法管理顶板。

参考文献:

- [1] 刘克功,王家臣,徐金海.短壁机械化开采煤方法与煤柱稳定性研究[J].中国矿业大学学报,2005,34(1): 24-29.
LIU Kegong, WANG Jiachen, XU Jinhai. Study on mining system and stability of coal pillar in short-wall mechanized mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2005, 34(1): 24-29.
- [2] 余伟,徐金海,黄伟.短壁开采覆岩关键层的力学分析[J].安徽理工大学学报,2005,25(1): 1-4.
YU Wei, XU Jinhai, HUANG Wei. Mechanical analysis of key strata in the short-wall mining[J]. Journal of Anhui University of Science and Technology, 2005, 25(1): 1-4.
- [3] 刘长友,卫建清,万志军,等.房柱式开采的矿压显现规律及顶板监测[J].中国矿业大学学报,2002,31(4): 388-391.
LIU Changyou, WEI Jianqing, WAN Zhijun. Strata behaviors and roof monitor of room-and-pillar system[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2002, 31(4): 388-391.
- [4] 刘克功,徐金海,缪协兴.短壁开采技术及其应用[M].北京:煤炭工业出版社,2007: 14-37.
- [5] 陈炎光,钱鸣高.中国煤矿采场围岩控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,1994: 23-41.
- [6] 周爱平.旺格维利采煤法顶板控制技术[J].煤炭科学技术,2006,34(7): 46-49.
ZHOU Aiping. Roof control technology for Wongawilli coal mining method[J]. Coal Science and Technology, 2006, 34(7): 46-49.
- [7] 周茂普.连续采煤机短壁机械化开采矿压显现特征[J].煤炭科学技术,2007,35(9): 35-39.
ZHOU Maopu. Mine strata pressure behave features of mechanized shortwall mining with continuous miner[J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(9): 35-39.
- [8] 李洪武,徐金海.村庄下高效短壁机械化开采实践研究[J].采矿与安全工程学报,2006,23(2): 177-181.
LI Hongwu, XU Jinhai. Practice of high efficiency short-wall mechanized mining under villages[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(2): 177-181.