

文章编号:1671-251X(2018)08-0071-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018020007

巨厚松散层下煤层开采薄基岩变形及矿压显现研究

翟新献¹, 吕超¹, 唐世界², 于春生²

- (1. 河南理工大学 能源科学与工程学院, 河南 焦作 454000;
2. 焦作煤业(集团)有限责任公司 赵固一矿, 河南 焦作 454000)

摘要:以赵固一矿12051综采工作面为研究对象,采用 UDEC 数值模拟软件对巨厚松散层条件下煤层开采薄基岩变形及矿压显现进行了研究。结果表明:①工作面初次来压步距为 55 m,周期来压步距为 15 m;开采后上覆薄基岩出现垮落带和裂隙带,垮落带高度为 12.4 m,垮采比为 3.54,裂隙带高度为 36.7 m,裂采比为 10.48。②随着工作面推进距离的不断增加,工作面前方支承压力影响区范围、支承压力峰值和塑性区范围均增加;当基本顶初次来压后,工作面前方支承压力处于稳定状态,主要表现为最大应力集中系数和塑性区范围基本保持不变。研究结果可为类似地质条件下综采工作面围岩控制提供依据。

关键词:厚煤层开采;巨厚松散层;薄基岩;覆岩变形;矿压显现;支承压力

中图分类号:TD325 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180801.1508.001.html>

Study on thin bedrock deformation and strata behavior in coal seam mining under ultra-thick unconsolidated strata

ZHAI Xinxian¹, LYU Chao¹, TANG Shijie², YU Chunsheng²

- (1. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 2. Zhaogu No.1 Coal Mine, Jiaozuo Mining(Group) Co., Ltd., Jiaozuo 454000, China)

Abstract: Taking No.12051 fully-mechanized coal face of Zhaogu No.1 Coal Mine as research object, thin bedrock deformation and strata behavior in coal seam mining under ultra-thick unconsolidated strata were studied by use of UDEC numerical simulation software. The results show that the first weighting interval and periodical weighting interval of the coal face is 55 m and 15 m respectively. Caving zone and fractured zone appear in overlying strata after mining. The height of caving zone and fractured zone is 12.4 m and 36.7 m respectively. Ratio of caving zone height to mining height is 3.54 and ratio of fractured zone height to mining height is 10.48. Affected zone range of front abutment pressure, peak of front abutment pressure and plastic zone range increase with increase of coal face advancing distance. The front abutment pressure is stable after the first weighting at basic roof, which manifests in the maximum stress concentration factor and plastic zone range basically remain unchanged. The research results can provide basis for surrounding rock stability control of fully-mechanized coal face under the similar geological condition.

Key words: thick coal seam mining; ultra-thick unconsolidated strata; thin bedrock; overlying strata deformation; strata behavior; abutment pressure

收稿日期:2018-02-02;修回日期:2018-07-26;责任编辑:盛男。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51574110,51674102)。

作者简介:翟新献(1963—),男,河南偃师人,教授,博士,主要研究方向为采矿理论与技术,E-mail:zhaixx1963@126.com。

引用格式:翟新献,吕超,唐世界,等.巨厚松散层下煤层开采薄基岩变形及矿压显现研究[J].工矿自动化,2018,44(8):71-75.

ZHAI Xinxian, LYU Chao, TANG Shijie, et al. Study on thin bedrock deformation and strata behavior in coal seam mining under ultra-thick unconsolidated strata[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(8): 71-75.

0 引言

巨厚松散层薄基岩条件下厚煤层开采属于特殊地质条件下的煤层开采。当巨厚松散层底部存在含水层,厚煤层上覆薄基岩在采动影响下出现采动裂隙时,松散层的水或泥砂经过采动裂隙进入采煤工作面,极易发生工作面突水、顶板溃砂及压架事故^[1]。王晓振等^[2]研究了薄基岩条件下矿压显现规律与煤层采高及岩层力学性质的关系,得出不同类型的基岩表现出的矿压显现特征不同的结论;尉瑞等^[3]研究了坚硬黏土层的存在对薄基岩综放工作面矿压显现的影响,发现薄基岩上覆巨厚松散黏土层时,煤层开采易造成松散黏土层内部形成拱形结构,与薄基岩共同形成或独自形成顶板承载结构,有利于减少煤层开采时发生的事故。查文华等^[4]研究了深埋特厚煤层大采高综放工作面的覆岩运动规律和液压支架选型。贾明魁^[5]研究了巨厚松散层薄基岩顶板变形失稳的模式。本文在上述研究的基础上,以焦作煤业(集团)有限责任公司赵固一矿 12051 综采工作面为工程背景,研究巨厚松散层条件下煤层开采薄基岩变形及矿压显现,可为类似地质条件下综采工作面围岩控制提供依据。

1 工程概况

赵固一矿设计生产能力为 240 万 t/a,井田东西长度约为 15 km,南北宽度为 2.0~5.5 km。井田

采用立井开拓方式,井筒深度约为 608 m。井田上覆第四系、新近系松散层,厚度为 366~808 m,平均厚度为 480 m。松散层以黏土、砂质黏土为主,中间夹有多层砂砾含水层。矿井主采的二₁煤层为近水平厚煤层,煤层上覆基岩层厚度为 13.9~95.5 m,平均厚度为 44.8 m。

赵固一矿 12051 综采工作面北侧为采空区,南侧为实体煤,开采二₁煤层的顶分层,二₁煤层平均厚度为 6.3 m,工作面平均采高为 3.5 m。工作面长度为 183 m,工作面推进长度为 1 369 m。工作面的伪顶为泥岩,厚度为 0.1~0.4 m;直接顶以砂质泥岩为主,厚度为 5.3~11.7 m;基本顶由粗、中、细粒砂岩组成,厚度为 2.1~12.3 m;直接底为泥岩、砂质泥岩,厚度为 13.8~15.3 m。

2 数值模拟

2.1 数值计算模型建立

依据赵固一矿 12051 综采工作面地质条件,建立数值计算模型^[6-8],如图 1 所示。模型走向长度为 300 m,垂直高度为 110 m。模型底部和两侧施加位移边界条件;模型底部边界为固支边;模型两侧边界为简支边,采用水平位移约束,参照矿区有关试验报告,按照侧压系数为 1.2 施加水平应力。模型顶部施加载荷边界条件,顶板边界施加 9.2 MPa 垂直均布载荷来代替未模拟的巨厚松散层的自重应力。

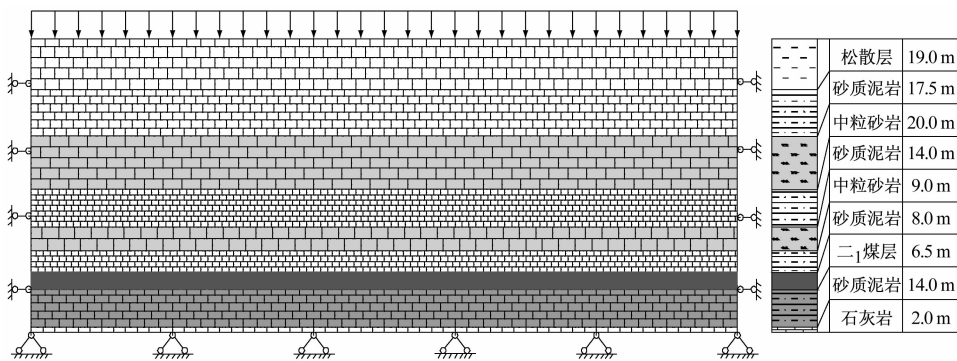


图 1 数值计算模型

Fig. 1 Numerical calculation model

依据矿井揭露煤岩层情况和有关地质报告^[9],确定模型中煤岩层力学参数,见表 1。模型中岩体破坏强度准则采用莫尔-库伦强度准则,岩层层理和节理等弱面变形特征符合库伦滑移模型。

考虑到模型边界效应影响,距模型左边界 80 m 布置开切眼。工作面自开切眼位置向右侧方向连续

开采,推进步距为 5 m,推进距离达到 140 m 后工作面停采。利用 UDEC 数值模拟软件进行数值计算,研究工作面推进过程中上覆基岩变形及矿压显现。

2.2 数值模拟结果分析

2.2.1 工作面上覆基岩变形特征

自开切眼开始,随着综采工作面不断推进,直接

表1 煤岩层力学参数
Table 1 Mechanical parameters of coal-rock strata

煤岩层	厚度/m	密度/(kg·m ⁻³)	弹性模量/GPa	泊松比	抗拉强度/MPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)
松散层	19.0	1 650	2.0	0.35	0.30	0.11	20
砂质泥岩	17.5	2 600	16.0	0.46	3.50	1.28	31
中粒砂岩	20.0	2 760	20.0	0.59	5.20	2.54	36
砂质泥岩	14.0	2 600	15.0	0.46	3.50	1.28	31
中粒砂岩	9.0	2 700	18.0	0.59	4.60	2.54	36
砂质泥岩	8.0	2 600	14.0	0.46	3.50	1.38	31
二 ₁ 煤层	6.5	1 400	2.0	0.35	1.10	0.64	22
砂质泥岩	14.0	2 560	13.0	0.40	3.20	1.25	29
石灰岩	2.0	2 700	22.0	0.63	5.60	2.55	39

顶悬顶面积逐渐增加。下位砂质泥岩直接顶富含水平层理,随着工作面推进而随采随冒,形成垮落带^[10-11]。

当工作面推进距离为 55 m 时,下位中粒砂岩基本顶初次失稳,造成工作面初次来压;基本顶破断下沉后与下位垮落带岩层接触并压实,此时采空区上部岩层垂直位移急剧增大;基本顶上部岩层开始沿层理出现离层现象,在剪应力的作用下产生与岩层层理垂直或斜交的次生裂隙,如图 2 所示。

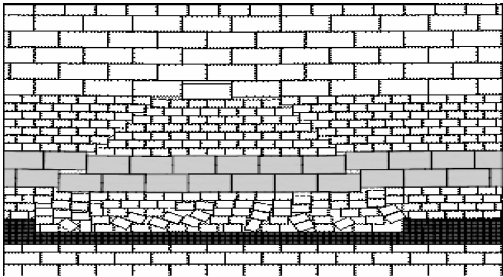


图2 工作面推进距离为 55 m 时上覆基岩变形特征
Fig.2 Deformation characteristic of overlying bedrock when coal face advances 55 m

当工作面推进距离为 70 m 时,基本顶发生第 1 次周期来压,破断岩块发生变形失稳,形成台阶岩梁结构,次生裂隙进一步向上发展,此时垮落带岩石充满采空区,垮落带高度基本趋于稳定,如图 3 所示。

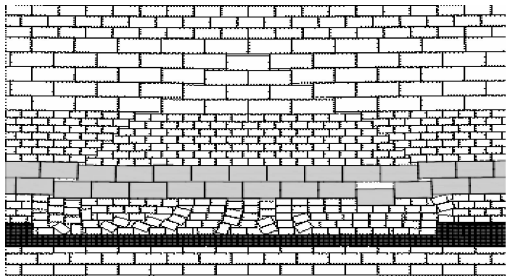


图3 工作面推进距离为 70 m 时上覆基岩变形特征
Fig.3 Deformation characteristic of overlying bedrock when coal face advances 70 m

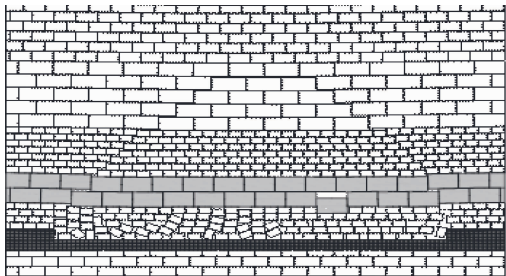


图4 工作面推进距离为 85 m 时上覆基岩变形特征
Fig.4 Deformation characteristic of overlying bedrock when coal face advances 85 m

当工作面推进距离为 85 m 时,基本顶出现第 2 次周期失稳,采空区垮落带矸石压实后支撑上覆裂隙带岩层,裂隙带岩层变形趋于缓和,如图 4 所示。

当工作面推进距离为 140 m 时,上位中粒砂岩主关键层出现垮落,其上覆砂质泥岩和巨厚松散层发生随动变形,如图 5 所示。

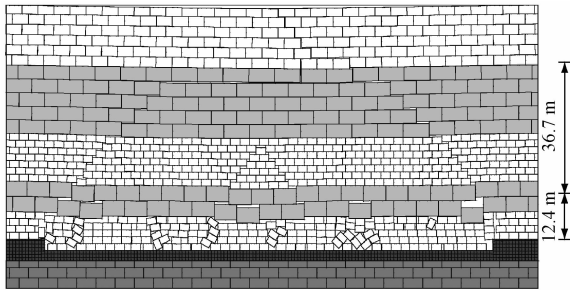


图5 工作面推进距离为 140 m 时上覆基岩变形特征
Fig.5 Deformation characteristic of overlying bedrock when coal face advances 140 m

图 2—图 5 分析结果表明,12051 综采工作面初

次来压步距为 55 m,周期来压步距为 15 m;垮落带高度为 12.4 m,垮采比为 3.54;裂隙带高度为 36.7 m,裂采比为 10.48。

2.2.2 工作面前方支承压力特征

随着 12051 综采工作面的推进,采空区上覆基岩各层不断经历下沉变形、弯曲离层、断裂失稳等循环过程,采空区上覆基岩部分质量将向采空区周围四周转移,从而在工作面前方形成超前支承压力,并在采空区正上方出现卸压区。通常采用 3 个基本参数来表示工作面前方支承压力的分布特征^[12-14]:① 最大应力集中系数,即工作面前方支承压力峰值与原岩垂直应力的比值;② 塑性区范围,即支承压力峰值距煤壁距离;③ 支承压力影响区范围。

不同推进距离时工作面前方支承压力如图 6 所示。随着工作面推进距离的增加,支承压力影响区范围、支承压力峰值和塑性区范围均增加;随着距工作面煤壁距离的增加,支承压力逐渐增大,到达峰值后开始逐渐降低,最后趋于原岩应力;根据支承压力大小,可将前方支承压力影响区范围划分为应力增高区、应力降低区和原岩应力区 3 个区域;当工作面推进距离超过 55 m,即基本顶初次来压后,工作面前方支承压力基本处于稳定状态,其中原岩应力为 13.8 MPa,支承压力影响区范围为 28.0 m,峰值应力稳定在 65.6 MPa。

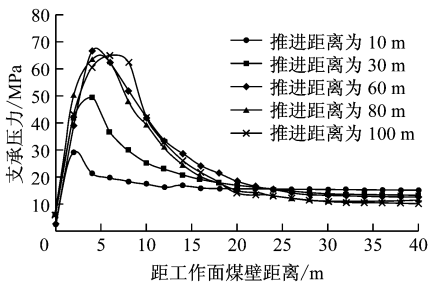


图 6 不同推进距离时工作面前方支承压力

Fig. 6 Front abutment pressure of coal face with different advancing distances

最大应力集中系数和塑性区范围与工作面推进距离的关系如图 7 所示。随着工作面推进距离的增加,最大应力集中系数和塑性区范围与推进距离之间呈正相关关系;当工作面推进距离超过 55 m,即基本顶初次来压后,工作面前方支承压力趋于稳定,主要表现为最大应力集中系数和塑性区范围基本保持不变。

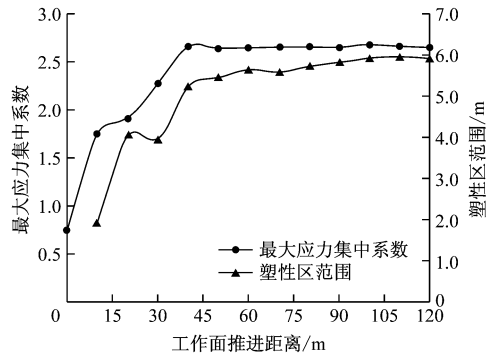


图 7 最大应力集中系数和塑性区范围与工作面推进距离的关系

Fig. 7 Relationship between the maximum stress concentration factor and plastic zone range and coal face advancing distance

3 结论

(1) 通过数值模拟 12051 综采工作面开采过程中上覆基岩变形特征,确定了工作面初次来压步距为 55 m,周期来压步距为 15 m;垮落带高度为 12.4 m,垮采比为 3.54;裂隙带高度为 36.7 m,裂采比为 10.48。

(2) 工作面前方支承压力与工作面推进距离有关。随着工作面推进距离的不断增加,工作面前方支承压力影响区范围、支承压力峰值和塑性区范围均增加;当工作面推进距离超过 55 m,即基本顶初次来压后,工作面前方支承压力处于稳定状态,主要表现为最大应力集中系数和塑性区范围基本保持不变。

参考文献 (References):

[1] 方新秋,黄汉富,金桃,等.厚表土薄基岩煤层综放开采矿压显现规律[J].采矿与安全工程学报,2007,24(3):326-330.
FANG Xinqiu, HUANG Hanfu, JIN Tao, et al. Strata behavior of fully-mechanized top coal caving in thin bedrock and thick topsoil[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24(3): 326-330.

[2] 王晓振,许家林,朱卫兵,等.覆岩结构对松散承压含水层下采煤压架突水的影响研究[J].采矿与安全工程学报,2014,31(6):838-844.
WANG Xiaozhen, XU Jialin, ZHU Weibing, et al. Overburden structure influence to support crushing and water inrush during mining under unconsolidated confined aquifer[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2014, 31(6): 838-844.

- Engineering, 2014, 31(6): 838-844.
- [3] 尉瑞, 马震, 张亮, 等. 坚硬粘土层对薄基岩综放工作面矿压显现的影响[J]. 煤矿安全, 2012, 43(2): 147-150.
- WEI Rui, MA Zhen, ZHANG Liang, et al. The influence of hard clay layer on strata behavior of fully-mechanized top coal caving face in thin bedrock[J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(2): 147-150.
- [4] 查文华, 华心祝, 王家臣, 等. 深埋特厚煤层大采高综放工作面覆岩运动规律及支架选型研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(8): 75-80.
- ZHA Wenhua, HUA Xinzhu, WANG Jiachen, et al. Study on strata movement rules and hydraulic support selection for fully-mechanized working face with large mining height of extra thick coal seam in deep well [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2014, 10(8): 75-80.
- [5] 贾明魁. 薄基岩突水威胁煤层开采覆岩变形破坏演化规律研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(2): 168-172.
- JIA Mingkui. The study on the deformation process of overlying strata in the deep and thin bedrock [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(2): 168-172.
- [6] 杜锋, 白海波. 厚松散层薄基岩综放开采覆岩破断机理研究[J]. 煤炭学报, 2012, 37(7): 1105-1110.
- DU Feng, BAI Haibo. Mechanism research of overlying strata activity with fully mechanized caving in thin bedrock with thick alluvium [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(7): 1105-1110.
- [7] 高保彬, 高佳佳, 袁东升. 基于 UDEC 的大采高覆岩破裂的模拟与分析[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2013, 28(2): 1-6.
- GAO Baobin, GAO Jiajia, YUAN Dongsheng. Simulation and analysis of overlying strata fracture in large mining height top-coal caving face of coal seams based on UDEC [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2013, 28(2): 1-6.
- [8] 杨卓明, 赵耀江, 吴兵. 基于 UDEC 采场上覆岩层应力分布及破坏规律研究[J]. 煤炭技术, 2014, 33(8): 267-270.
- YANG Zhuoming, ZHAO Yaojiang, WU Bing. Study of stope overburden stress distribution and destruction rule based on UDEC [J]. Coal Technology, 2014, 33(8): 267-270.
- [9] 杨子泉. 赵固一矿地应力影响巷道围岩稳定性的力学机制及控制技术研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2012: 25-35.
- [10] 许延春, 李俊成, 刘世奇, 等. 综放开采覆岩“两带”高度的计算公式及适用性分析[J]. 煤矿开采, 2011, 16(2): 4-7.
- XU Yanchun, LI Juncheng, LIU Shiqi, et al. Calculation formula of "two-zone" height of overlying strata and its adaptability analysis [J]. Coal Mining Technology, 2011, 16(2): 4-7.
- [11] 许延春, 李振华, 贾安立, 等. 深厚松散层薄基岩条件下覆岩破坏高度实测分析[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(7): 21-23.
- XU Yanchun, LI Zhenhua, JIA Anli, et al. Site measurement and analysis on failure height of overburden strata under thick loose alluvium and thin bedrock [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(7): 21-23.
- [12] 司荣军, 王春秋, 谭云亮. 采场支承压力分布规律的数值模拟研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(2): 351-354.
- SI Rongjun, WANG Chunqiu, TAN Yunliang. Numerical simulation of abutment pressure distribution laws of working faces [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(2): 351-354.
- [13] 赵同彬, 张洪海, 陈云娟, 等. 支承压力分布演化规律及对煤岩体破坏的影响[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2010, 29(3): 420-423.
- ZHAO Tongbin, ZHANG Honghai, CHEN Yunjuan, et al. Evolution of abutment pressure distribution and impact on coal-rock damage [J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), 2010, 29(3): 420-423.
- [14] 鲁岩, 樊胜强, 邹喜正. 工作面超前支承压力分布规律[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2008, 27(2): 184-187.
- LU Yan, FAN Shengqiang, ZOU Xizheng. Distributing law of advanced abutment pressure in working face [J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), 2008, 27(2): 184-187.