



移动扫码阅读

杨俊哲,刘前进.8.8 m超大采高工作面矿压显现规律实测及机理分析[J].煤炭科学技术,2020,48(1):69-74.doi:10.13199/j.cnki.est.2020.01.009
YANG Junzhe, LIU Qianjin. Analysis and measured of strata behavior law and mechanism of 8.8 m ultra-high mining height working face [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48 (1): 69 - 74. doi: 10.13199/j.cnki.est.2020.01.009

8.8 m超大采高工作面矿压显现规律实测及机理分析

杨俊哲¹,刘前进²

(1.神华神东煤炭集团有限责任公司,陕西 神木 719315;2.天地科技股份有限公司 开采设计事业部,北京 100013)

摘要:针对浅埋深超大采高工作面矿压显现强烈的问题,基于支架压力现场监测,对上湾煤矿8.8 m超大采高工作面矿压显现规律进行了研究。结果表明:8.8 m超大采高工作面基本顶初次来压步距为45 m左右,周期来压步距平均为13.5 m,动载系数平均为1.6;超大采高工作面周期来压具有来压步距短、来压持续时间长、来压区域性明显、动载矿压强烈等特点。根据工作面上覆顶板结构分析认为,工作面开采强度大、顶板活动剧烈,关键层结构单一、赋存层位低、易滑落失稳、上覆顶板整体性破断,是造成浅埋深超大采高工作面矿压显现强烈的主要原因。

关键词:神东矿区;8.8 m超大采高;大采高综采;矿压规律;浅埋深

中图分类号:TD326 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2020)01-0069-06

Analysis and measured of strata behavior law and mechanism of 8.8 m ultra-high mining height working face

YANG Junzhe¹, LIU Qianjin²

(1. Shenhua Shendong Coal Group Co., Ltd., Shenmu 719315, China; 2. Coal Mining & Designing Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: In view of the problem of strong strata behavior appearing at ultra-high mining height working face in shallow buried depth, based on the on-site monitoring of support pressure, the law of ground pressure at 8.8 m ultra high mining height face in Shangwan coal mine was studied. The results show that the first weighting step of the main roof in 8.8 m ultra-high mining face is 45 m, while the average step distance of periodic weighting cycle is 13.5 m. The average dynamic load coefficient is 1.6. Cyclic weighting in super high mining face has the characteristics of short weighting steps, long duration of pressure, obvious regional weighting and strong dynamic rock pressure and so on. According to the analysis of the overlying roof structure on the working face, it is concluded that the main reasons for the strong ground pressure in the working face with shallow buried depth and super high mining height are as follows: the high mining strength of the working face, intense roof activity, single key layer structure, low occurrence horizon, easy slipping and instability and integral breakage of overlying roof.

Key words: Shendong mining area; 8.8 m ultra-high mining height; fully-mechanized mining with large mining height; mine pressure law; shallow buried depth

0 引言

大采高综采技术在我国发展迅速,从目前割煤高度的发展趋势看,大致可以划分为2类:采高3.5~6.5 m的常规大采高综采和采高大于6.5 m的

超大采高综采^[1]。神东矿区厚及特厚煤层储量丰富,其中6.0 m以上煤层总地质储量为26.6亿t(其中7.0 m以上9.76亿t,8.0 m以上3.5亿t),这类煤层大多具有埋藏浅、倾角小、硬度大、易自燃、赋存稳定、地质构造简单的特点,适合采用大采高和超大采

收稿日期:2019-07-18;责任编辑:朱恩光

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFC0804301)

作者简介:杨俊哲(1964—),男,陕西洋县人,教授级高级工程师,博士,现任神华神东煤炭集团有限责任公司副总经理、总工程师。E-mail:junzhe.yang@chnenergy.com.cn

高综采技术^[2-3]。神东矿区自本世纪初期引入大采高综采技术以来,大采高综采工作面采高从4.5 m,逐步发展到5.5、6.3、7.0、8.0 m,工作面单产也屡创新高^[4-5]。尤其是补连塔煤矿8.0 m超大采高综采的成功应用,将大采高综采工作面单产提高到1 500万t/a,证明了8.0 m超大采高综采技术在神东矿区应用的可行性,为上湾煤矿8.8 m超大采高综采工作面的回采提供了可借鉴的经验^[6]。2018年3月份,神东上湾煤矿8.8 m超大采高工作面成功投产,再次刷新大采高综采工作面一次采全高的世界纪录,工作面单产能力提升到1 600万t/a,并且主要综采设备全部实现国产化,标志着神东公司乃至我国大采高综采技术和装备水平达到了新高度。神东矿区浅埋煤层开采过程中普遍矿压显现强烈^[7],随着超大采高工作面采高和开采强度的加大,工作面矿压显现更为强烈,发生片帮冒顶、倒架、压架事故的风险增大^[8],因此,顶板灾害是8.8 m超大采高工作面潜在的主要灾害。我国学者对8.0 m以下大采高工作面的矿压规律和覆岩结构等做了较多的研究^[9-12],在8.8 m超大采高工作面投产之前也已经做了一定理论性的研究工作^[13-15],但是8.8 m超大采高工作面矿压规律的实测研究目前还尚属空白。

基于现场实测对上湾煤矿8.8 m超大采高工作面矿压显现规律进行了研究,并分析了其来压机理,以期指导工作面安全生产,并为超大采高工作面矿压预测预警技术研究提供实测依据。

1 工程概况

12401综采工作面是上湾煤矿四盘区首采工作面,开采1²煤层,埋深124~244 m,上覆松散层厚度0~27 m,基岩厚度120~220 m。煤层厚度7.56~10.79 m,平均9.26 m,倾角1°~5°,煤层普氏系数 $f=2\sim4$,煤层节理裂隙不发育,完整性好,硬度大、韧性高。工作面直接顶为厚8 m的砂岩与粉砂质泥岩互层,底板为厚0.96~1.29 m泥岩。

12401工作面采用大采高综采一次采全高工艺,设计采高为8.6 m,工作面宽度299.2 m,走向长度5 254.8 m。工作面设备配套见表1。工作面液压支架型号为ZY26000/40/88D型两柱掩护式液压支架,是目前国内工作阻力最大、支撑高度最高的综采液压支架,并配备大流量乳化液泵站,支架中心距为2.4 m,采用三级护帮,端头支架过渡形式采用垂直过渡。

表1 12401工作面设备

Table 1 No.12401 working face equipment matching

设备名称	生产厂家	设备型号	主要技术参数
采煤机	天地科技股份有限公司	MG1100/2925-WD	总功率2 925 kW,供电电压3 300 V,滚筒直径4 300 mm,滚筒截深865 mm,生产能力6 000 t/h
液压支架	郑煤机	ZY26000/40/88D	两柱掩护式,额定工作阻力26 000 kN,支架中心距2 400 mm
刮板输送机	江苏天明机械集团有限公司	SGZ1388/3×1600KW	功率3×1 600 kW,链速1.67 m/s,运输能力6 000 t/h,输送机槽尺寸(长×内宽×高):2 400 mm×1 388 mm×495 mm
转载机	江苏天明机械集团有限公司	SZZ1588/700KW	槽内宽1 576 mm,运输长度38.8 m,电机功率700 kW
乳化液泵站	北京华海基业机械设备有限公司	—	额定压力37.5 MPa,额定流量1 350 L/min,电机功率1 000 kW

2 8.8 m超大采高工作面矿压显现规律

2.1 初次来压规律

12401工作面开切眼高6 m,宽11.4 m,开采初期采用深孔预裂爆破进行强制放顶。当工作面推进至22 m时,除机头机尾外,工作面直接顶基本全部垮落。工作面推进45 m时,支架压力明显升高,基本顶初次来压,来压持续距离约5 m(6刀)。基本顶初次来压期间工作面各支架压力如图1所示,30~95号支架压力普遍超过了40 MPa,最高达到了49~51 MPa,支架安全阀开启率达到24%。工作面

初次来压期间,煤壁受压变酥,在采煤机滚筒附近片帮严重,回收护帮板时,有片帮煤大面积掉落现象。

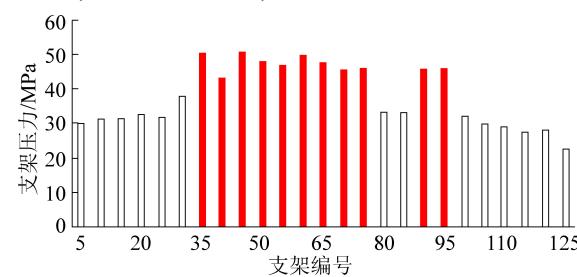


图1 工作面基本顶初次来压期间支架压力分布

Fig.1 Distribution of support pressure during initial pressure main roof on working face

2.2 周期来压规律

在2018年5月—10月工作面正常回采期间,通过支架压力在线监测系统历史数据分析并结合现场观测,对12401工作面周期来压特征进行了长期的统计分析,共分析了100多个周期来压过程,12401工作面正常回采一段时期内支架压力如图2所示,支架最大压力37.7~52.0 m,平均46.3 m。

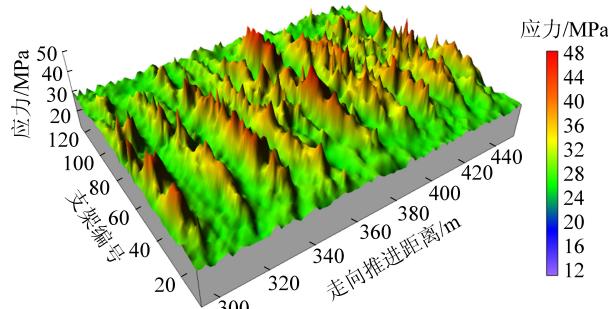


图2 12401工作面正常回采期间支架压力

Fig.2 Three-dimensional distribution of support pressure during normal mining of No.12401 working face

分析得出12401超大采高工作面周期来压主要有以下特征:

1)周期来压步距短,持续时间长。8.8 m超大采高工作面周期来压步距8.5~21.4 m,主要分布在10~16 m,平均13.5 m,正常回采期间工作面推进速度较快,来压频繁,每1~2 d有一次来压过程;周期来压持续长度为1.6~6.4 m,平均3.7 m。

2)周期来压区域性明显。周期来压开始时通常在工作面中部的支架首先出现压力陡增现象,并从工作面中部扩散到两侧。来压影响范围主要分布在30—100号支架,工作面中部矿压显现强烈,而机头机尾两侧支架很少受来压影响,矿压显现始终缓和。

3)工作面动载矿压强烈。工作面周期来压动载系数统计见表2。工作面周期来压期间各支架末阻

力为22 455~26 340 kN,平均25 172 kN;非来压期间各支架末阻力为15 134~16 052 kN,平均15 807 kN;动载系数为1.48~1.66,平均1.60;来压期间支架末阻力明显高于非来压期间支架末阻力,动载矿压强烈。

4)来压特征显著。工作面周期来压期间各支架循环增阻情况见表3,支架平均循环增阻量界于8 392~11 608 kN,平均为10 636 kN,循环增阻率界于59.67%~79.18%,平均为73.09%,周期来压期间支架增阻显著。而在非来压期间支架增阻不明显,阻力变化呈恒阻或微增阻状态,支架平均循环增阻率仅为9%左右。支架不同时刻(2018年7月8日—9日)增阻特征如图3所示,呈现出工作面来压期间矿压显现强烈,而非来压期间矿压显现却异常平缓的特征。

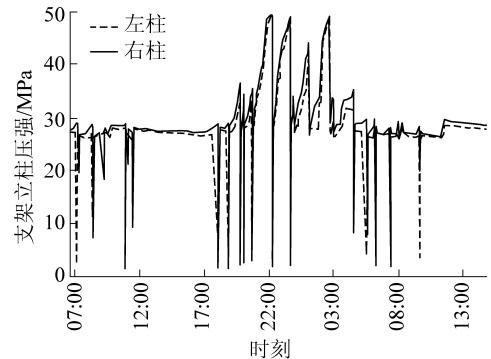


图3 支架不同时刻增阻特征

Fig.3 Resistance increasing characteristics of supports in different periods

5)工作面宏观矿压显现强烈。工作面周期来压期间多出现支架安全阀开启现象,开启率为3%~24%,平均为12%左右;支架活柱下缩明显(2018年10月20日—21日)如图4所示,下缩量20~150 mm,平均为40 mm左右;煤壁炸帮、片帮现象明显增多,最大片帮深度达到1.5 m。

表2 工作面周期来压数据统计

Table 2 Statistics of dynamic load coefficient during periodic weighting of working face

来压参数	支架编号							
	30	40	50	60	70	80	90	100
来压期间支架末阻力/kN	22 455	24 590	26 340	26 273	26 244	26 257	24 674	24 542
非来压期间支架末阻力/kN	15 134	15 808	16 052	15 876	15 972	15 858	15 935	15 817
动载系数	1.48	1.58	1.64	1.65	1.64	1.66	1.55	1.55

表3 工作面周期来压期间各支架循环增阻情况统计

Table 3 Statistics on cyclic increase of resistance of supports during periodic weighting of working face

支架参数	支架编号							
	30	40	50	60	70	80	90	100
平均初撑力/kN	14 063	14 068	14 783	14 665	14 647	14 896	14 635	14 533
循环增阻量/kN	8 392	10 522	11 557	11 608	11 597	11 361	10 039	10 009
循环增阻率/%	59.67	74.79	78.18	79.15	79.18	76.27	68.60	68.87

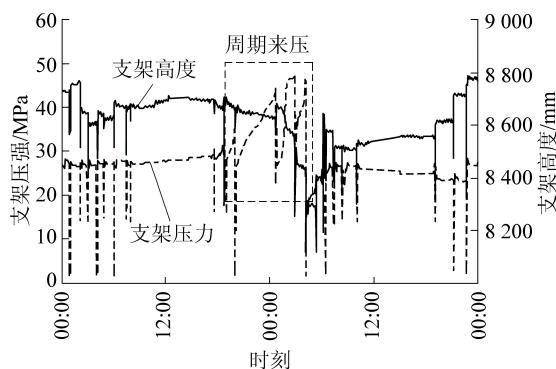


图 4 12401 工作面支架压强与高度变化关系

Fig.4 Relation curves between support pressure and height in No.12401 working face

2.3 支架适应性分析

支架工作阻力区间分布反映支架的工作状态和工作阻力利用情况,可以判断支架的适应性。统计 12401 工作面正常回采期间支架整体工作阻力区间分布如图 5 所示。支架工作阻力主要分布在 14 000 kN 以上,该比例为 94.78%,支架工作阻力利用比较充分;支架工作阻力在 26 000 kN 以上的比例平均为 3.6%,支架安全阀开启率在合理范围内;整体而言,支架工作阻力区间分布合理,支护性能发挥充分,具有较好的适应性,支架选型合理。

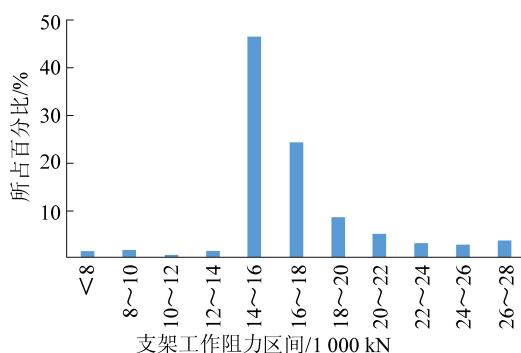


图 5 12401 工作面支架工作阻力区间分布

Fig.5 Histogram of frequency distribution of support working resistance in No.12401 working face

3 工作面来压机理分析

基于 12401 工作面顶板观测钻孔得出的上覆岩层结构划分见表 4。根据关键层判别准则^[16],对工作面上覆岩层关键层进行了判定。在关键层的运动过程中,其所控制上覆岩层随之同步运动,而其下部岩层不与之协调变形,它所承受的载荷已不再需要其下部岩层来承担,因而可根据公式(1)依次计算第 n 层岩层对第 m 层岩层的载荷($n > m$)。

$$q_{m|n} = \frac{E_m h_m^3 \sum_{i=m}^n \gamma_i h_i}{\sum_{i=m}^n E_i h_i^3} \quad (1)$$

式中: $q_{m|n}$ 为第 n 层对第 m 层载荷, kN; E_m 、 E_i 为分别第 m 、 i 层弹性模量, MPa; h_m 、 h_i 分别为第 m 、 i 层厚度, m; γ_i 为第 i 层岩石容重, kN/m³。

如果 $q_{m|n+1} < q_{m|n}$, 则认为第 $n+1$ 层为坚硬岩层,否则继续计算第 $n+2$ 层对第 m 层的载荷。

表 4 12401 工作面上覆岩层结构划分

Table 4 Classification of overburden strata structure on No.12401 working face

地层序号	岩性	厚度/m	备注
C ₁₆	风积沙与亚黏土	22	表土层
C ₁₅	粉砂质泥岩互层	42	泥质岩层
C ₁₄	粗砂岩	7	
C ₁₃	泥质粉砂岩与细砂岩互层	11	
C ₁₂	细砂岩	4	软质砂岩层
C ₁₁	粉砂岩	7	
C ₁₀	中砂岩	5	
C ₉	泥质粉砂岩	14	
C ₈	钙质中砂岩	6	
C ₇	粉砂岩	4	硬质砂岩层
C ₆	粗砂岩	6	
C ₅	粉砂质泥岩与细砂岩互层	12	泥质岩层
C ₄	石英细砂岩	4	
C ₃	粗砂岩	4	组合关键层
C ₂	粗砂岩	12	
C ₁	砂岩与砂质泥岩互层	8	直接顶
—	1-2 煤	9.26	煤层

根据坚硬岩层载荷判据,并结合上湾煤矿及神东矿区同类岩层物理力学性质测试结果^[17],得出 C₂、C₈、C₁₁、C₁₄ 为坚硬岩层。

采用公式(2)对第 i 层坚硬岩层周期性垮断步距进行计算:

$$L_i = h \sqrt{\frac{R_i}{3q_i}} \quad (2)$$

式中: L_i 为第 i 层坚硬岩层周期性垮断步距, m; h 为岩梁厚度, m; R_i 为岩体抗拉强度, MPa; q_i 为第 i 层岩体所受载荷, MPa。

各坚硬岩层的周期垮断步距计算结果见表 5。因为 $L_{14} < L_{11} < L_8 < L_2$, 所以 C₂、C₈、C₁₁、C₁₄ 同时垮断,因此, C₂ 岩层为工作面基本顶, 同时是控制上覆岩层运动的关键岩层, 工作面上方岩层呈单一关键层

结构。将上方各坚硬岩层所承载载荷全部作用在C₂岩层上,根据式(2)重新计算12401工作面基本顶周期垮断步距L_z=12.0 m。这与工作面周期来压步距实测结果基本相符。

表5 各坚硬岩层周期垮断步距计算

Table 5 Calculations of periodic break

intervals of hard rock strata

层位	C ₂	C ₈	C ₁₁	C ₁₄
岩体抗拉强度 R _t /MPa	4.85	5.62	2.77	1.14
岩层载荷 q _i /MPa	6.70	1.46	0.91	0.15
周期垮断步距 L _i /m	17.7	13.2	11.2	10.4

C₂~C₄粗砂岩与石英细砂岩层位相邻、岩性相近且岩层厚度大、强度高,可形成控制上覆岩层运动的组合关键层^[18]。往上依次为强度较低的泥质岩层(总厚12 m,主要为粉砂质泥岩与细砂岩互层)、强度较高的硬质砂岩层(总厚16 m,主要由粗砂岩、粉砂岩和钙质中砂岩组成)、强度较低的软质砂岩层(总厚48 m,以粉砂岩为主)和泥质砂岩层(总厚42 m,主要为粉砂质泥岩互层),以及表土层(总厚22 m,由风积沙和亚黏土组成)。由于成岩年代的不同,岩层从下至上总体呈现强度逐步降低的趋势,工作面下位顶板岩层(64 m深度以下)主要为砂质岩层,上位岩层逐渐转变为泥质岩层,且风化程度高,岩层强度低。软质砂岩层、泥质岩层、表土层由于岩层强度低,承载能力较弱或无承载能力视为载荷层,硬质砂岩层和C₂~C₄组合关键层岩层强度较高,承载能力强,视为承载岩层。根据关键层稳定性判断准则^[19],C₂~C₄关键层下方直接顶厚度薄,易发生滑落失稳,难以形成稳定的铰接结构,因此以悬臂梁的结构形式存在^[20~21],工作面上方能够形成稳定铰接结构的基本顶岩层上移至C₆~C₈硬质砂岩层。

根据12401工作面顶板结构进行分析,认为8.8 m超大采高工作面矿压显现强烈的机理主要有以下几点:①8.8 m超大采高工作面采出空间大,且开采强度高,导致顶板活动剧烈,是工作面来压期间矿压显现强烈的直接诱因。②直接顶厚度薄,采空区充填不充分,基本顶(C₂~C₄组合关键层)难以形成稳定的铰接结构,顶板垮断前呈悬臂梁结构形式,且上覆基岩层以砂岩为主,强度高、脆性大,在发生破断前弯曲下沉量较小,因此,在工作面非来压期间支架无明显增阻,而当下位基本顶达到极限破断步距发生破断后,对工作面支架产生较大的冲击载荷,工作面来压显著。③浅埋煤层关键层结构简单(多呈单

一关键层或双关键层结构^[22]),根据12401工作面周期来压特点及覆岩结构分析,工作面顶板主要呈现单一关键层结构。关键层上方的软弱岩层和松散层的残余载荷直接作用在其上,导致关键岩层破断步距小,当层位较低的关键层破断后,引发上方岩层的整体性破断^[23],使工作面来压强烈。

4 结 论

1)8.8 m超大采高工作面直接顶初次垮落步距为22 m,基本顶初次来压步距为45 m左右,工作面周期来压步距平均为13.6 m,周期来压动载系数平均为1.6,其中工作面中部动载系数平均达到1.65,矿压显现强烈。

2)8.8 m超大采高工作面周期来压具有来压步距短、持续时间长、来压区域性明显、动载矿压强烈、来压特征显著、宏观矿压显现强烈等特点。

3)工作面支架工作阻力主要分布在14 000 kN以上区间,比例为94.78%,支架工作阻力利用较充分,工作阻力在26 000 kN以上的比例平均为3.6%,支架安全阀开启率在合理范围内;支架工作阻力区间分布合理,适应性较好。

4)工作面开采强度大、顶板活动剧烈,单一关键层结构层位低、易滑落失稳、上覆顶板整体性破断,是造成浅埋深超大采高工作面矿压显现强烈的主要原因。

参考文献(References):

- [1] 吴凤东.大海则煤矿大采高综采技术适应性研究[D].北京:北京科技大学,2015.
- [2] 王国法,庞义辉.8.2 m超大采高综采成套装备研制及应用[J].煤炭工程,2017,49(11):1~5.
WANG Guofa, PANG Yihui. Development and application of complete equipment for fully mechanized mining with 8.2m super large mining height[J]. Coal Engineering, 2017, 49(11): 1~5.
- [3] 孟宪锐,王鸿鹏,刘朝晖,等.我国厚煤层开采方法的选择原则与发展现状[J].煤炭科学技术,2009,37(1):39~44.
MENG Xianrui, WANG Hongpeng, LIU Chaohui, et al. Selection principle and development status of thick seam mining methods in China[J]. Coal Science and Technology, 2009, 37(1): 39~44.
- [4] 杨俊哲.7.0 m大采高工作面覆岩破断及矿压显现规律研究[J].煤炭科学技术,2017,45(8):1~7.
YANG Junzhe. Study on overlying strata breakage and strata behaviors law of 7.0 m mining height working face[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(8): 1~7.
- [5] 范文胜.超大采高工作面回采关键技术研究[J].煤炭工程,2018,50(7):1~4.
FAN Wensheng. Research on key mining technology of super high mining face[J]. Coal Engineering, 2018, 50(7): 1~4.

- [6] 杨俊哲.8 m 大采高综采工作面关键回采技术研究[J].煤炭科学技术,2017,45(11):9-14.
YANG Junzhe. Research on key mining technology of fully-mechanized working face with 8 m large mining height [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45 (11) :9-14.
- [7] 黄庆享.浅埋煤层的矿压特征与浅埋煤层定义[J].岩石力学与工程学报,2002,21(8):1174-1177.
HUANG Qingxiang. Ground pressure behavior and definition of shallow seams [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21 (8) :1174-1177.
- [8] 黄庆享,周金龙.浅埋煤层大采高工作面矿压规律及顶板结构研究[J].煤炭学报,2016,41(S2):279-286.
HUANG Qingxiang, ZHOU Jinlong. Roof weighting behavior and roof structure of large mining height longwall face in shallow coal seam [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41 (S2) :279-286.
- [9] 庞义辉,王国法,张金虎,等.超大采高工作面覆岩断裂结构及稳定性控制技术[J].煤炭科学技术,2017,45(11):45-50.
PANG Yihui, WANG Guofa, ZHANG Jinhu, et al. overlying strata fracture structure and stability control technology for ultra large mining height working face [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45 (11) :45-50.
- [10] 张立辉,李男男.8 m 大采高综采工作面矿压显现规律研究[J].煤炭科学技术,2017,45(11):21-26.
ZHANG Lihui, LI Nannan. Study on strata behavior law of fully-mechanized mining face with 8 m large mining height [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45 (11) :21-26.
- [11] 梁运培,李波,袁永,等.大采高综采采场关键层运动型式及对工作面矿压的影响[J].煤炭学报,2017,42(6):1380-1391.
LIANG Yunpei, LI Bo, YUAN Yong, et al. Moving type of key strata and its influence on ground pressure in fully mechanized mining face with large mining height [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42 (6) :1380-1391.
- [12] 李瑞群,陈苏社.浅埋深7 m 大采高综采工作面顶板灾害防治技术研究[J].煤炭工程,2017,49(S2):9-13.
LI Ruiqun, CHEN Sushe. Research on roof disaster prevention technology of shallow buried 7m high-cutting fully mechanized working face [J]. Coal Engineering, 2017, 49 (S2) :9-13.
- [13] 王海军.神东矿区8 m 以上超大采高综采工作面技术探讨[J].煤炭技术,2017,33(10):169-171.
WANG Haijun. Technology study of fully mechanized working face over 8 m of shendong coal mine [J]. Coal Technology, 2017, 33 (10) :169-171.
- [14] 徐涛,贺海涛.地表沟谷对上湾煤矿超大采高工作面矿压显现规律影响分析[J].中国煤炭,2017,43(7):49-54.
XU Tao, HE Haitao. Analysis of the influences of surface gully on rock pressure behavior in working face with larger mining height in Shangwan Coal Mine [J]. China Coal, 2017, 43 (7) :49-54.
- [15] 张宏伟,周坤友,付兴,等.特大采高工作面矿压显现规律[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2018,37(1):1-6.
ZHANG Hongwei, ZHOU Kunyou, FU Xing, et al. Strata behavior characteristics of super large mining height working face [J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2018, 37 (1) :1-6.
- [16] 钱鸣高,缪协兴,许家林.岩层控制中的关键层理论研究[J].煤炭学报,1996,21(3):225-229.
QIAN Minggao, MIAO Xiexing, XU Jianlin. Theoretical study of key stratum in ground control [J]. Journal of China Coal Society, 1996, 21 (3) :225-229.
- [17] 李化敏,李回贵,宋桂军,等.神东矿区煤系地层岩石物理力学性质[J].煤炭学报,2016,41(11):2661-2671.
LI Huamin, LI Huigui, SONG Guijun, et al. Physical and mechanical properties of the coal-bearing strata rock in Shendong coal field [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41 (11) :2661-2671.
- [18] 缪协兴,茅献彪,孙振武,等.采场覆岩中复合关键层的形成条件与判别方法[J].中国矿业大学学报,2005,34(5):547-550.
MIAO Xiexing, MAO Xianbiao, SUN Zhenwu, et al. Formation conditions of compound key strata in mining overlayer strata and its discriminant [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2005, 34 (5) :547-550.
- [19] 钱鸣高,石平五,许家林.矿山压力与岩层控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,2010.
- [20] 同少宏,尹希文,许红杰,等.大采高综采顶板短悬臂梁-铰接岩梁结构与支架工作阻力的确定[J].煤炭学报,2011,36(11):1816-1820.
YAN Shaohong, YIN Xiwen, XU Hongjie, et al. Roof structure of short cantilever-articulated rock beam and calculation of support resistance in full-mechanized face with large mining height [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36 (11) :1816-1820.
- [21] 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 stratum and its influence on strata behaviors in fully mechanized face with super-large mining height [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30 (8) :1547-1556.
- [22] 黄庆享,周金龙,马龙涛,等.近浅埋煤层大采高工作面双关键层结构分析[J].煤炭学报,2017,42(10):2504-2510.
HUANG Qingxiang, ZHOU Jinlong, MA Longtao, et al. Double key strata structure analysis of large mining height longwall face in nearly shallow coal seam [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42 (10) :2504-2510.
- [23] 李正杰.浅埋薄基岩综采面覆岩破断机理及与支架关系研究[D].北京:煤炭科学研究院,2014.