

坚硬覆岩破断及其对矿压显现的控制

张宏伟¹, 高亚伟¹, 霍丙杰^{1,2}, 金宝圣¹, 吴文达¹, 杜凯¹

1. 辽宁工程技术大学矿业学院, 阜新 123000
2. 大同煤矿集团有限责任公司, 大同 037000

摘要 以同忻矿石炭系3-5煤层8015工作面为例,分析了坚硬覆岩破断特征及其对煤层工作面矿压显现的控制作用。应用关键层理论确定工作面坚硬覆岩的关键层及关键层的初次破断距和周期破断距,基于材料力学理论导出关键层破断与工作面支承压力的关系式,分析关键层破断对煤层工作面矿压显现的影响规律。结果表明,煤层工作面坚硬覆岩存在亚关键层I、亚关键层II和主关键层,3个关键层的破断导致工作面产生大小周期压力和复合压力,其中主关键层破断造成工作面矿压范围较大;理论分析方法揭示的矿压显现规律与现场矿压监测结果具有较好的一致性。

关键词 坚硬覆岩;关键层破断;复合矿压;矿压显现

中图分类号 TD77⁺1

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.07.007

Fracture of hard overlying strata and its control of strata pressure behavior

ZHANG Hongwei¹, GAO Yawei¹, HUO Bingjie^{1,2}, JIN Baosheng¹, WU Wenda¹, DU Kai¹

1. College of Mining Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China
2. Datong Coal Group Co., Datong 037000, China

Abstract This paper studies the fracturing characteristics of hard overlying strata and its control of the strata pressure behavior of the working face based on working face 8015 of coal seam 3-5 of the carboniferous system in Tongxin mine. The critical layer of the working face was determined as well as the initial and cycle fault displacement using critical layer theory. The relationship between critical layer fracture and support pressure of the working face was derived based on theory of mechanics of materials to analyze the influence of critical layer fracture on the strata pressure behavior of the working face. The results show that the working face of the hard overlying strata had sub-critical layer I, sub-critical layer II, and a main critical layer, the fracture of which led to generation of cycle pressure and complex pressure at the working face, and fracture of the main critical layer led to a relatively large range of pressure. These strata pressure behaviors derived by theoretical analysis are consistent with practical pressure monitoring.

Keywords hard overlying strata; fracture of critical layer; complex strata pressure; strata pressure behavior

覆岩的破坏状态和运动决定了采煤工作面的矿压显现程度,也是煤矿矿震、冲击矿压等动力灾害的重要诱发因素^[1]。针对覆岩运动和覆岩结构特征,国内外学者提出了许多经典的理论和假说,Stoke^[2]提出了悬臂梁假说;Hack等^[3]提出了压力拱假说;宋振骥^[4]提出了传递岩梁理论;钱鸣高课题组^[5]提出了砌体梁理论,钱鸣高课题组^[6]在砌体梁理论研究的基础上提出了关键层理论,认为在多岩层中,对于岩层移动起重要作用的岩层是由一层或者多层厚硬岩层组成;姜福兴^[7,8]提出了覆岩空间结构及相关研究方法,从更大的范围内认

识岩层运动的规律;冯国瑞等^[9,10]提出了直接顶面接触块体结构物理力学模型;弓培林^[11]运用关键层理论研究了大采高采场覆岩结构特征及运动规律;张宏伟等^[12]应用理论分析、物理探测等方法研究特厚煤层采场覆岩结构破坏高度;张庆松等^[13]以结构破坏度为覆岩破坏程度的量化指标,提出了覆岩动态结构力学模型;曹安业等^[14]研究了厚硬岩层下孤岛工作面开采T型覆岩结构及动压演化规律。正确地分析覆岩结构稳定性,是解决采矿工程问题,特别是揭示采场矿压显现规律、确定顶板控制技术等的基礎。

收稿日期:2014-09-23;修回日期:2015-02-17

基金项目:国家自然科学基金项目(51104085);辽宁省教育厅基金项目(L2012106)

作者简介:张宏伟,教授,研究方向为矿山压力与矿井动力灾害防治,电子信箱:kzyhw@263.net

引用格式:张宏伟,高亚伟,霍丙杰,等.坚硬覆岩破断及其对矿压显现的控制[J].科技导报,2015,33(7):43-48.

坚硬顶板具有整体性强、硬度高、采后不易冒落,以及破断距大、断块大、冒落具有强烈冲击性等特征^[15]。大同矿区同忻矿开采的石炭系3-5煤层为特厚煤层,顶板存在多层坚硬岩层,矿压显现强烈,给安全高效生产带来了较大影响。为提高大同矿区坚硬顶板条件下特厚煤层开采的安全性,本文以同忻矿石炭系3-5煤层8015工作面为例,研究坚硬覆岩破断特征及其对煤层工作面矿压显现的控制规律。

1 覆岩结构特征

大同矿区同忻煤矿主要开采石炭二叠纪3-5煤层,该煤层覆岩多为砂岩、砾岩,覆岩坚硬,岩石坚固性系数 f 为6~8。根据同忻矿北一盘区上覆岩层综合柱状图及钻孔数据,确定上覆岩层特征如表1所示,石炭系3-5煤层至侏罗系14[#]煤层之间有24层岩层,其中以坚硬的砂岩和砾岩为主,软弱的泥岩分布很少。

表1 北一盘区覆岩特征及其物理力学参数

Table 1 Characteristics of the overlying strata in north-one panel and its physical and mechanical parameters

序号	岩层名称	实际厚度/m	体积力/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	抗拉强度/ MPa	弹性模量/ GPa
Y ₂₄	细粒砂岩	6.2	27.54	8.64	35.87
Y ₂₃	粗粒砂岩	14.3	25.24	6.44	21.31
Y ₂₂	细粒砂岩	10.7	26.82	7.01	36.12
Y ₂₁	砂质泥岩	2.9	26.51	4.14	18.56
Y ₂₀	砾岩	5.1	27.15	3.92	28.42
Y ₁₉	砂质泥岩	6.9	25.98	5.81	18.46
Y ₁₈	粉砂岩	10.5	25.20	4.52	23.17
Y ₁₇	细粒砂岩	10.3	26.51	7.87	36.01
Y ₁₆	砾岩	4.6	26.95	4.23	28.64
Y ₁₅	细粒砂岩	10.7	27.17	7.93	35.21
Y ₁₄	粉砂岩	3.2	24.58	4.45	23.48
Y ₁₃	中粒砂岩	13.7	25.52	7.01	29.62
Y ₁₂	砾岩	12.0	27.10	4.34	28.74
Y ₁₁	粗粒砂岩	3.5	23.89	5.24	19.98
Y ₁₀	砾岩	12.9	27.35	4.34	28.43
Y ₉	细粒砂岩	14.8	25.62	8.2	35.62
Y ₈	粗粒砂岩	4.3	24.21	4.82	20.32
Y ₇	粉砂岩	2.4	25.78	4.25	23.35
Y ₆	山4煤	2.1	10.36	1.27	0.42
Y ₅	粉砂岩	5.3	26.45	4.97	23.64
Y ₄	细粒砂岩	2.1	27.12	7.81	35.54
Y ₃	中粒砂岩	7.7	26.73	6.14	29.57
Y ₂	K3砂岩	5.3	25.44	7.68	36.21
Y ₁	砂质泥岩	3.2	26.31	5.47	18.35
	3-5煤层	15.0	17.70	8.64	35.87

2 覆岩关键层判定与破断特征

2.1 覆岩关键层判定

根据钱鸣高等提出的关键层理论^[6],分析覆岩中的关键层在覆岩中的位置,步骤如下。

1) 由下往上确定覆岩中的坚硬岩层位置。假设第1层为坚硬岩层,其上第2层直至第 m 层岩层与之协调变形,而第 $m+1$ 层岩层不与之协调变形,则第 $m+1$ 层岩层是第2层的坚硬岩层。各岩层形成组合梁,由组合梁原理可导出作用在第1层坚硬岩层上的载荷为

$$q_1(X)|_m = \frac{E_1 h_1^3 \sum_{i=1}^m \gamma_i h_i}{\sum_{i=1}^m E_i h_i^3} \quad (1)$$

2) 计算各坚硬岩层的破断距。坚硬岩层破断属于弹性基础上板的破断问题,坚硬岩层破断距采用两端固支梁模型进行计算。

3) 对各硬岩层的破断距进行比较,确定关键层位置。根据同忻矿北一盘区综合柱状及钻孔数据,根据关键层的判别条件从下向上逐层计算各上覆岩层的载荷,判断坚硬岩层,确定关键层。经计算确定覆岩中共有6层坚硬岩层,分别为Y₂、Y₃、Y₉、Y₁₃、Y₂₂、Y₂₃。

2.2 覆岩关键层破断特征

当关键层初次破断时,根据固支梁与简支梁的破断理论,计算坚硬岩层的破断距,则第 i 层坚硬岩层的初次破断距 l_i 为

$$l_i = h_i \sqrt{\frac{2k\sigma_i}{q_i}} \quad (2)$$

其中, h_i 为第 i 层坚硬岩层的厚度; σ_i 为第 i 层坚硬岩层的抗拉强度; k 为第 i 层坚硬岩层的弱化系数,岩体力学性质的参数取值一般为岩块的1/5~1/3,考虑到大同坚硬顶板条件,该参数取1/3; q_i 为第 i 层坚硬岩层所承受的载荷。

由计算可知,第1、3层坚硬岩层为亚关键层,第5、6层坚硬岩层为主关键层,即Y₂、Y₉为亚关键层,Y₂₂、Y₂₃为主关键层。如表2所示,3-5煤层8105工作面上覆岩层多为强度较高的坚硬岩层,满足关键层判别条件的岩层较多;亚关键层I、亚关键层II分别距离煤层工作面顶板3.2和32.4 m,主关键层距离煤层工作面顶板143.5 m。

表2 关键层及其破断特征

Table 2 Critical layer distribution and fracture characteristics

序号	岩性	厚度/m	初次 断距/m	关键层	至工作面 距离/m
Y ₂₃	粗粒砂岩	14.3	43.38	主关键层	154.2
Y ₂₂	细粒砂岩	10.7	43.23		143.5
Y ₉	细粒砂岩	14.8	38.98	亚关键层II	32.4
Y ₂	K3砂岩	5.3	30.16	亚关键层I	3.2

当关键层初次破断后,关键层力学模型由固支梁模型转化为简支梁模型,则第*i*层坚硬岩层的周期破断距 L_i 为

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

式中, h_i 为第*i*层坚硬岩层的厚度; σ_i 为第*i*层坚硬岩层的抗拉强度; k 为第*i*层坚硬岩层的弱化系数; q_i 为第*i*层坚硬岩层所承受的载荷。

分别将覆岩中坚硬岩层的基础数据带入式(2)可知,亚关键层I周期破断时,周期断距为24.6 m;亚关键层II周期破断时,周期断距为31.79 m;主关键层由Y₂₂细粒砂岩和Y₂₃粗粒砂岩组成,当主关键层周期破断时,周期断距为35.32 m。

3 覆岩关键层破断对矿压显现影响

3.1 工作面矿压显现特征

根据理论计算,分析煤层工作面上覆亚关键层I、亚关键层II和主关键层破断对矿压显现的控制。

亚关键层I破断特征如图1所示。亚关键层I初次破断距为30.16 m,对应8105工作面推进到33.16 m,亚关键层I发生初次破断,初次破断时工作面矿压显现不明显。亚关键层I周期断距为24 m,造成工作面周期小压。

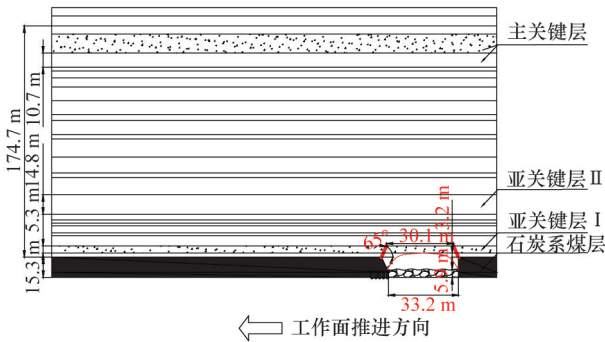


图1 亚关键层I破断特征

Fig. 1 Fracture characteristics of sub-critical layer I at working face of 33.2 m

亚关键层II破断特征如图2所示。亚关键层II初次破断距为38.98 m,对应8105工作面推进到69.4 m,亚关键层II发生初次破断。亚关键层II对上覆32.4~143.5 m范围内的岩层起主要支撑作用,其破断造成工作面初次来压,初次来压步距为69.4 m。亚关键层II周期破断距为31.8 m,造成工作面周期大压,老顶周期大压步距为31.8 m。

主关键层破断特征如图3所示。主关键层初次破断距为43.17 m,对应8105工作面推进到178 m,主关键层发生初次破断。主关键层周期破断距为35.3 m。主关键层破断造成工作面采动影响范围大,影响范围为工作面后方约169~178 m。主关键层与亚关键层II在工作面推进过程中的耦合破断,增加了工作面的来压强度和影响范围。工作面继续推进过程

中形成的覆岩破断特征如图4所示。多关键层的同步耦合破断,将造成工作面矿压显现强烈,甚至产生动压显现。

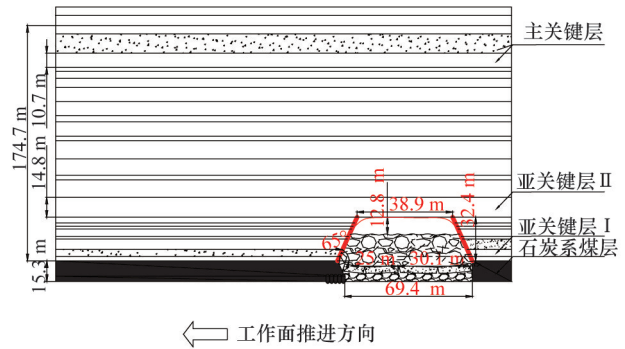


图2 亚关键层II破断特征

Fig. 2 Fracture characteristics of sub-critical layer II at working face of 69.4 m

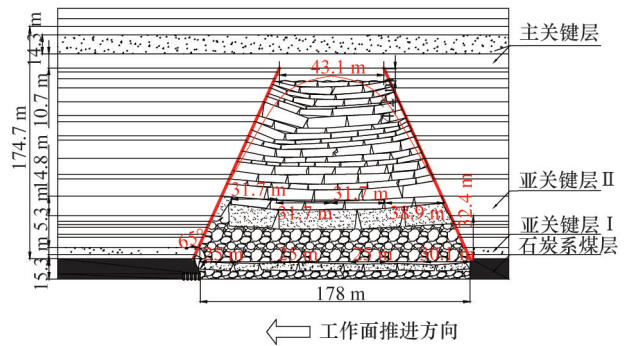


图3 主关键层破断特征

Fig. 3 Fracture characteristics of main critical layer at working face of 178 m

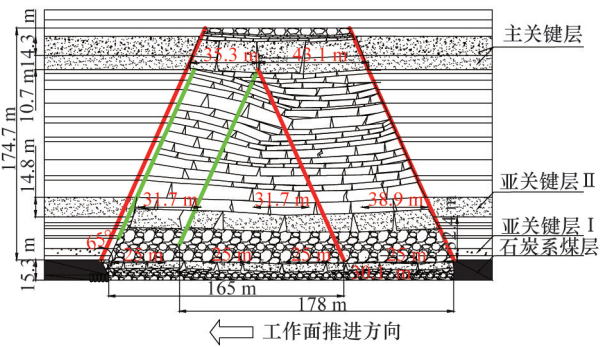


图4 主关键层周期破断影响范围

Fig. 4 Influence area of cycle fracture of main critical layer

工作面(8105)关键层破断对矿压的控制规律如表3所示。8105工作面回采过程中,受主关键层与亚关键层破断影响产生周期大压及周期小压的复合矿压现象。主关键层破断对工作面影响范围较大,其影响范围为工作面后方约169~178 m,这与现场工作面后方邻空巷道约200 m处矿压显现强烈较一致。

表3 关键层破断对矿压的控制

Table 3 Relationship between strata pressure behavior and fracture of critical layer

关键层	破断距/m	$l_1=33.2$ m	$l_2=69.4$ m	$l_3=178.0$ m	$l_4=209.7$ m	$l_5=213.3$ m
亚关键层 I	初次破断距 30 周期破断距 24	初次破断; 周期小压	周期破断	周期破断	周期破断	周期破断
亚关键层 II	初次破断距 39 周期破断距 31	未破断	初次破断; 周期大压	第三次周期破断; 周期大压	第四次周期破断; 周期大压	协同主关键破断; 周期大压
主关键层	初次破断距 43 周期破断距 35	未破断	未破断	初次破断	未破断	第一次周期破断
理论分析矿压特征		周期小压	老顶初次来压; 周期大压	周期大压;采空区后方 影响范围 178 m	周期大压	周期大压;采空区后 方影响范围 169 m
现场监测矿压特征		初次来压步距 90~110 m;周期小压步距 15~20 m;周期大压步距 30~40 m;工作面前方采动应力影响范围为 0~90 m,距工作面 10~30 m 范围内矿压显现强烈;工作面后方采动应力影响范围为 0~200 m				

注: l 为工作面推进长度。

3.2 关键层破断对工作面支承压力控制

1) 关键层初次破断力学模型。当关键层发生初次垮断时,由于关键层两端位于未发生断裂的岩层之中,力学模型采用固支梁模型,可得关键层破断时对下煤层的应力为

$$P = \frac{qL}{2} \left(1 + \frac{L}{h^2} \right) \quad (4)$$

式中, L 为关键层断距; q 为关键层所受载荷; h 为关键层厚度。

2) 关键层周期破断力学模型。当关键层发生周期破断时,由于关键层一端位于未发生断裂的岩层之中,另一端位于采空区,其力学模型为悬臂梁模型,可得关键层破断时对下煤层的应力为

$$P = qL \left(1 + \frac{3L}{h^2} \right) \quad (5)$$

此时 P 为关键层破断时作用在关键层端的集中载荷,依据土力学应力传递理论可知,应力集中系数为

$$k = \frac{3P}{2\pi} \frac{z^3}{\left[z^2 + (x-1)^2 \right]^{3/2}} + 1 \quad (6)$$

式中, z 、 x 分别为集中载荷 P 的垂直距离和至煤壁距离; l 为应力达到峰值时至煤壁距离。

3) 关键层破断对支承压力控制。围岩受工作面回采影响造成二次应力,当应力变化量大于原岩应力的5%时,认为受到采动影响。

亚关键层 I 与煤层距离较近,对采动应力分布的影响较小。

亚关键层 II 初次破断时,应力集中系数为 1.43,工作面前方受亚关键层 II 初次破断影响,范围为 48 m;亚关键层 II 周期破断时,应力集中系数为 1.85,工作面前方受亚关键层 II 周期破断影响,范围为 58 m。

主关键层初次破断时,应力集中系数为 1.2,工作面前方受主关键层初次破断影响,范围为 40 m。主关键层周期破断时,应力集中系数为 1.46,工作面前方受主关键层周期破断影

响,范围为 50 m。主关键层与亚关键层 II 同时达到各自的断裂且同时破断时,应力集中系数为 2.31,工作面前方受主关键层与亚关键层 II 同时破断影响,范围为 66 m。

结合工作面来压步距分析,当工作面初次来压时,工作面前方受采动应力影响,范围为 48 m;当发生周期来压时,工作面前方受采动应力影响,范围为 58~66 m。

4 现场矿压监测

同忻煤矿石炭系特厚煤层,均采用单一走向长壁后退式综合机械化低位放顶煤开采的采煤方法,煤层平均厚度为 13.80~15.32 m,综采放顶煤一次采全高,工作面倾斜长度为 193~200 m,可采走向长度为 1406~1509 m。为研究坚硬覆岩综放开采条件下上覆岩层运动特征及其对矿压显现的控制,采用山东兖洛卡公司生产的 ZVDC-1 型综采支架计算机监测系统对工作面支架的载荷进行监测。通过对监测数据处理,利用工作面周期来压的判断指标,确定顶板周期来压判据。同忻煤矿 8105 工作面 48° 支架循环末阻力曲线如图 5 所示,工作面矿压显现具有周期大压、周期小压、强烈矿压显现和动压复合矿压等现象,与理论分析具有较好的一致性。

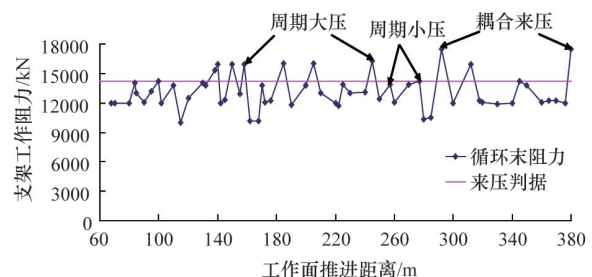


图5 工作面48°支架循环末阻力曲线

Fig. 5 Cycle resistance curve of 48° holder at the working face

由8105工作面矿压监测数据分析可知,现场确定的工作面初次来压步距为99.7 m,工作面周期来压步距为15.35~31.00 m。根据8105工作面推进过程中其邻空巷道的矿压监测数据,随着工作面推进,5104巷道不同监测断面的锚杆(索)应力变化曲线如图6所示,可以看出,工作面推进过程中,采动应力对工作面后方的影响范围约为200 m,采动应力对工作面前方的影响范围约为90 m。8105工作面矿压显现理论分析与现场监测结果对比如表4所示。由于在实验室力学测试过程中,岩石力学参数等数据可能有出入,同时现场监测数据也可能由于记录不及时而产生误差,因此允许理论计算与现场监测存在20%左右差距,由此可知,理论分析与现场监测基本符合。

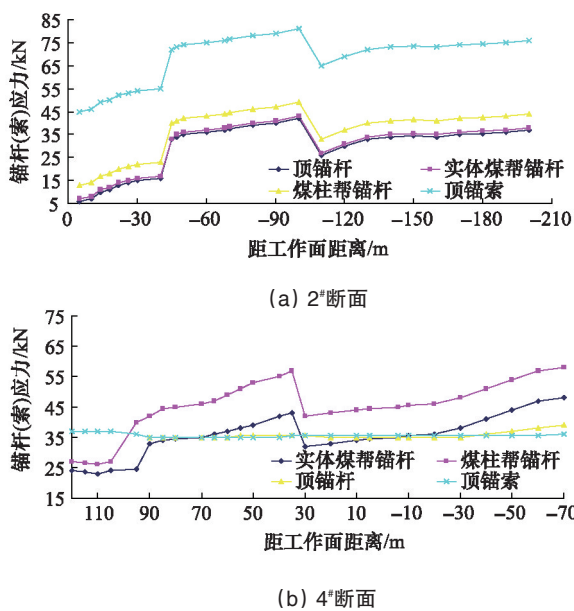


图6 断面锚杆(索)应力变化

Fig. 6 Stress change of the bolt (anchor cable)

表4 矿压显现理论分析与现场矿压监测对比

Table 4 Comparison between pressure monitor and theoretical results

分析方法	老顶初次来压步距/m	老顶周期来压步距/m	工作面前方影响范围/m	工作面后方影响范围/m
理论分析	69.4	周期来压强度 周期大压31~35 周期小压24	40~66	169~178
现场监测	99.7	15~31	75~95	160~200
矿压显现	来压强度一般;工作面中部支架增阻明显;部分支架安全阀开启	周期来压强度一般和强烈交替出现;工作面存在周期大压、周期小压现象	75~95	160~200

根据同忻矿石炭系特厚煤层坚硬覆岩的实际开采情况,由于顶板坚硬,工作面初次来压步距多数大于90 m,受亚关键层II破断垮落过程中形成的压力拱的影响,工作面前方支承压压力大,回采巷道超前支承压压力影响范围内变形破坏严重;顶煤坚硬,传力效果好,上覆岩层变形下沉产生的载荷通过顶煤作用于工作面四周围岩上,致使工作面压力显现明显,巷道变形严重;坚硬顶板暴露距离大,易于积聚弹性潜能,发生断裂时释放大量能量,形成冲击载荷,影响工作面与回采巷道的矿压显现。

5 结论

1) 同忻矿石炭系3-5煤层上覆坚硬岩层导致矿压显现具有特殊性。应用关键层理论,判定3-5煤层上覆坚硬岩层存在亚关键层I、亚关键层II和主关键层3个关键层,并确定了3个关键层的初次破断距和周期破断距。

2) 阐明了关键层破断对覆岩运动、矿压显现的控制作用。揭示了同忻矿石炭系3-5煤层坚硬覆岩的破断导致工作面产生周期大压、周期小压、矿压显现影响范围大等矿压现象的机理,亚关键层I、II的破断导致工作面产生大小周期来压,主关键层破断造成工作面采动影响范围大;推导了关键层破断对工作面前方支承压压力影响的关系式。

3) 工程实践表明,应用理论分析方法确定的矿压显现特征与现场矿压监测具有较好的一致性,为大同矿区坚硬顶板条件下特厚煤层开采覆岩运动规律、矿压显现规律研究提供了合理的理论分析方法。

参考文献(References)

[1] 窦林名, 何学秋. 冲击矿压防治理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
 Dou Linming, He Xueqiu. Theory and technology of rock burst prevention[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2001.

[2] 耿琳. 深部采场采空区基本顶来压规律研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2011.
 Geng Lin. Mine pressure rule of basic roof in deep mining[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2011.

[3] 杜晓丽. 采矿岩石压力拱演化规律及其应用的研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2011.
 Du Xiaoli. Research on the evolution and its application of rock pressure arch in coal mining[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2011.

[4] 卢国志, 汤建泉, 宋振骥. 传递岩梁周期裂断步距与周期来压步距差异分析[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(4): 538-541.
 Lu Guozhi, Tang Jianquan, Song Zhenqi. Difference between cyclic fracturing and cyclic weighting interval of transferring rock beams[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(4): 538-541.

[5] 缪协兴, 钱鸣高. 采场围岩整体结构与砌体梁力学模型[J]. 矿山压力与顶板管理, 1995(3): 4-12
 Miao Xiexing, Qian Minggao. Stope structure and model of voussoir beam of face surrounding rock[J]. Mine Pressure and Roof Management, 1995(3): 4-12.

- [6] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力及其控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
Qian Minggao, Shi Pingwu. Mining pressure and strata control[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2010.
- [7] 姜福兴. 采场覆岩空间结构观点及其应用研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(1): 30-33.
Jiang Fuxing. Viewpoint of spatial structures of overlying strata and its application in coal mine[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(1): 30-33.
- [8] 姜福兴, 张兴民, 杨淑华, 等. 长壁采场覆岩空间结构探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(5): 979-984.
Jiang Fuxing, Zhang Xingmin, Yang Shuhua, et al. Discussion on overlying strata spatial structure of long wall in coal mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(5): 979-984.
- [9] 冯国瑞, 王鲜霞, 康立勋. 采场上覆岩层面接触块体结构的力学机理分析[J]. 煤炭学报, 2008, 33(1): 33-37.
Feng Guorui, Wang Xianxia, Kang Lixun. Analysis on the mechanism of the face-contacted blocks structure in overlying strata above the long wall face[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(1): 33-37.
- [10] 冯国瑞, 翟英达, 康立勋. 大同采场覆岩面接触块体可动性判定研究[J]. 太原理工大学学报, 2001, 32(5): 463-465.
Feng Guorui, Zhai Yingda, Kang Lixun. The study on the movability of the face-contacted blocks in overlying strata above the long wall face in Datong[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2001, 32(5): 463-465.
- [11] 弓培林, 靳钟铭. 大采高采场覆岩结构特征及运动规律研究[J]. 煤炭学报, 2004, 29(1): 7-11.
Gong Peilin, Jin Zhongming. Study on the structure characteristics and movement laws of overlying strata with large mining height[J]. Journal of China Coal Society, 2004, 29(1): 7-11.
- [12] 张宏伟, 朱志洁, 霍利杰, 等. 特厚煤层综放开采覆岩破坏高度[J]. 煤炭学报, 2014, 39(5): 816-821.
Zhang Hongwei, Zhu Zhijie, Huo Lijie, et al. Overburden failure height of superhigh seam by fully mechanized caving method[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(5): 816-821.
- [13] 张庆松, 高延法, 刘松玉. 覆岩结构破坏度模型及其应用研究[C]//中国土木工程学会第九届土力学及岩土工程学术会议论文集. 北京: 中国土木工程学会, 2003: 1290-1293.
Zhang Qingsong, Gao Yanfa, Liu Songyu. Overlying rock structural damage model and its application[C]// Ninth China Civil Engineering Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Conference Proceedings. Beijing: China Civil Engineering Society, 2003: 1290-1293.
- [14] 曹安业, 朱亮亮, 李付臣, 等. 厚硬岩层下孤岛工作面开采“T”型覆岩结构与动压演化特征[J]. 煤炭学报, 2014, 39(2): 328-335.
Cao Anye, Zhu Liangliang, Li Fuchen, et al. Characteristics of T-type overburden structure and tremor activity in isolated face mining under thick-hard strata[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(2): 328-335.
- [15] 史红. 综采放顶煤采场厚层坚硬顶板稳定性分析及应用[D]. 青岛: 山东科技大学, 2005.
Shi Hong. Study and application on stability of hard and massive overlying strata fully mechanized sublevel caving face[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2005.

(责任编辑 韩星明)

· 学术动态 ·



中国科学技术协会

2015年全民科学素质纲要实施工作会召开

2014年3月26—27日,2015年全民科学素质纲要实施工作会在北京召开。会议传达了刘延东副总理听取《全民科学素质行动计划纲要》实施情况汇报会的讲话。印发了中国科协党组书记、常务副主席、书记处第一书记尚勇的书面讲话。中国科协党组成员、书记处书记、全民科学素质纲要实施工作办公室主任徐延豪出席会议。全民科学素质纲要实施工作办公室的成员和联络员等280余人出席会议。

中国科协科普部部长、全民科学素质纲要实施工作办公室副主任杨文志作“加快科普信息化建设 开启公民科学素质精准服务新时代”专题报告,中国科普研究所所长罗晖作“‘十三五’全民科学素质行动专题研究”专题报告,中国科学院科学传播局局长周德进作“履行科普职责,传播科学文化”专题报告,卫生计生委宣传司健康促进处处长石琦作“健康中国行——全民健康素养促进行动”专题报告,全国总工会宣教部职工教育处处长彭艺作“推进规划实施,全面提升职工素质”专题报告。会议围绕2015年全民科学素质纲要实施工作进行了研讨。

详见中国科协网<http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n10225918/16320344.html>。