

松动爆破技术在综采工作面压架处理中的应用

吕华新¹, 连小勇²

(1. 开滦集团有限公司 钱家营矿业分公司, 河北 唐山 063000; 2. 尤洛卡(山东)环境工程有限公司, 山东 泰安 271000)

摘要:为解决支架压死事故中爆破参数的计算和应用问题,以钱家营矿 1295 工作面的具体地质条件为研究背景,采用理论分析、数值模拟和现场效果监测相结合的方法,对松动爆破技术在处理工作面支架压死事故中的实际应用效果进行研究。结果表明:采用松动爆破技术能够显著降低工作面压死支架所受到的顶板压力,工作面支架在实施松动爆破后可以依靠自身的支撑压力重新支撑起上覆岩层。在研究炸药爆轰作用过程中,FLAC^{3D}数值模拟软件表现出较高的应用价值,其通过在模型上施加动载荷,观测动载荷对模型的影响,探究了松动爆破参数的可行性及适应性;工程应用结果表明,采用松动爆破技术后顶板压力显著降低,同时,大幅减少了挖底和挑顶的工作量,减轻了工人劳动强度。

关键词:松动爆破;支架压死;综采工作面;液压支架

中图分类号:TD353 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2017)08-0164-06

Study on standing blasting technology applied to handle powered support jammed accident occurred in fully-mechanized coal mining face

Lyu Huaxin¹, Lian Xiaoyong²

(1. Qianjiaying Mining Branch, Kailuan Group Corporation Limited, Tangshan 063000, China;

2. Uroica (Shandong) Environmental Engineering Company Limited, Tai'an 271000, China)

Abstract: In order to solve the calculation and application problems of the blasting parameters applied to the powered support jammed accident, with the certain geological condition of No. 1295 coal mining face in Qianjiaying Mine as the study background, a method combined with the theoretical analysis, numerical simulation and site effect monitoring and measuring was applied to the study on the actual application effect of standing blasting technology applied to handle the powered support jammed accident occurred in the coal mining face. The results showed that the application of the standing blasting technology could obviously reduce the roof pressure affected to the jammed powered supports in the coal mining face. After the standing blasting conducted, the powered support in the coal mining face could re-support up the overburden roof with the self support pressure of the powered support. In the study on the detonation role process of the explosives, the performances of the FLAC^{3D} numerical simulation software showed a high application value. With the dynamic loading conducted on the model, an observation was made on the dynamic loading affected to the model and a study was conducted on the feasibility and suitability of the standing blasting parameters. The engineering application results showed that after the standing blasting technology applied, the roof pressure was obviously reduced. Meanwhile, the work load of the floor excavation and roof ripping was highly reduced and the labor intensity of the miners was reduced.

Key words: standing blasting; support jammed; fully-mechanized coal mining face; hydraulic support

0 引 言

液压支架压死事故^[1-3]是指在综合机械化采煤

工作面生产过程中,液压支架的活柱全部缩进液压缸体内,支架承受较大的顶板压力不能再次升起的现象。支架压死会造成工作面不能正常推进,严重

收稿日期:2017-05-05;责任编辑:朱拴成 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2017.08.028

作者简介:吕华新(1977—),男,山东陵县人,高级工程师,硕士,现任开滦集团有限公司钱家营矿业分公司总工程师。E-mail:15550888765@126.com

引用格式:吕华新,连小勇.松动爆破技术在综采工作面压架处理中的应用[J].煤炭科学技术,2017,45(8):164-169.

Lyu Huaxin, Lian Xiaoyong. Study on standing blasting technology applied to handle powered support jammed accident occurred in fully-mechanized coal mining face[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(8): 164-169.

影响煤矿正常生产,每年因为支架压死而造成的直接经济损失近千万元,处理顶板压架事故一般有挑顶和挖底2种方法^[4]。挑顶是主要方法,挖底是挑顶的辅助措施,因挖底存在的风险较大,大部分情况下都是采用挑顶的方式处理压架事故。挑顶一般采用松动爆破的方式将顶板岩石破碎,释放支架上方积聚的压力,从而将支架升起,但是实际应用过程中爆破参数的选择大都依靠经验,该计算结果大都没有经过验证,存在较大的安全隐患。目前,国内煤矿采用松动爆破处理顶板压架事故的应用较多,但大都是凭借经验进行处理,对松动爆破相关理论方面没有进行过多的探讨和细致的研究,因此,笔者针对钱家营煤矿1295工作面支架压死事故现场的具体地质条件,利用FLAC^{3D}数值模拟软件的爆破动力学功能^[5-7],模拟理论计算的爆破参数在现场地质条件下的应用效果,从而修正理论计算的结果,使其更好地符合现场实际情况,为类似条件下松动爆破技术在处理顶板压架事故的应用提供了借鉴。

1 工作面压架事故概况

1295工作面煤层厚度为1.0~2.4 m,平均煤厚2.0 m,由于受采动影响,该工作面压力较大,顶板破碎且煤层下部有一层不稳定泥岩夹矸,厚度0.2 m左右,煤层倾角3°~19°,平均6°,煤层走向变化较大,煤层结构复杂,煤体结构为I类,煤层的顶底板特征见表1。该工作面采用综合机械化单一走向后退式采煤法,使用MG-200/500-AWD型电牵引采煤机割煤,SGZ-730/400型刮板输送机运煤,ZY4800-13/32型掩护式液压支架控制顶板,安装时布置111组普通支架,上、下端头各3组端头支架,总共115组支架,工作面支护长度为173.1 m,顶板属II类中等稳定顶板,采用全部垮落法管理顶板。基本顶初次来压和周期来压明显,在回采过程中由于支架额定工作阻力较低,发生支架压死事故,工作面中部54—95号支架大部分被压死,多组相邻支架安全阀同时开启,支架承受较大的煤层顶板支撑压力,支架和顶板形成紧固的镶嵌结构,支架在煤层顶板和底板之间被锁死,且液压支架的活柱缩量基本用尽,被压的支架已丧失控制能力。为保障工作面安全和尽快恢复生产,矿方决定采用松动爆破技术处理该次压架事故。

表1 各岩层物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of various strata

岩石	体积模量/ MPa	剪切模量/ MPa	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	内摩擦角/ ($^{\circ}$)	黏聚力/ MPa	抗拉强度/ MPa
粉砂岩	57.47	413.2	2 100	45	1.85	0.59
细砂岩	50.34	532.6	2 540	35	2.64	2.90
煤	20.14	103.2	1 400	32	1.04	0.80
泥岩	22.36	191.4	2 230	30	1.35	1.10
中细砂岩	56.26	497.8	2 250	35	2.50	3.20

2 顶板松动爆破原理

松动爆破^[8-13]就是利用炸药产生的爆轰作用引起岩体中质点的震动,并以波的形式传播,将周围的岩体破碎,将岩体中的应力释放,从而达到减轻支架压力,利用支架自身的支撑力将支架升起。

利用炸药的爆轰作用破坏岩石解除顶板压力,这是一个高温、高压、高速的瞬态变化过程,爆轰应力波的作用过程如图1所示。

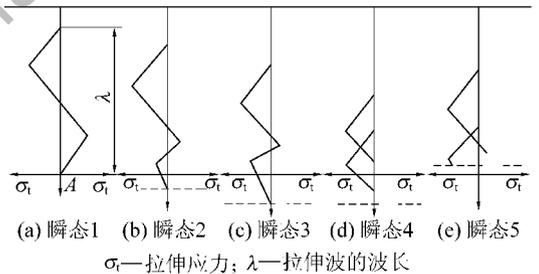


图1 应力波作用下顶板破坏机制

Fig. 1 Roof failure mechanism under the action of stress wave

爆炸产生的爆轰波在传播过程中,纵波首先到达工作面顶板,即A点受纵波压缩波前作用(图1a)。在极短的 t_1 时刻A点移动到新位置2',同时产生反射拉伸波2'至2''(图1b)抵消一部分压缩波前。经过 t_2 时刻,工作面顶板表面A点移至3'点,纵波波前降至3''点,反射拉伸波为3'至3''区(图1c)。纵波能量耗尽后,顶板靠本身抗力使得A点回到原来位置(图1d)。A点回到初始位置时横波传到该位置,引起工作面顶板左右晃动,但横波的破坏作用较小,其产生的剪切应力与爆轰压缩纵波相比较小,且与顶板表面产生的反射压缩波相互叠加,加速了工作面顶板裂隙的扩展(图1e)。

岩石在炸药的作用下,沿炮眼横截面自爆破震

源向外会形成压碎区、裂隙区和震动区^[14],如图2所示。多个炮眼起爆以后,爆轰裂隙相互联系,从而达到预裂顶板,释放顶板压力的作用,使得被压死的支架重新支撑起来。

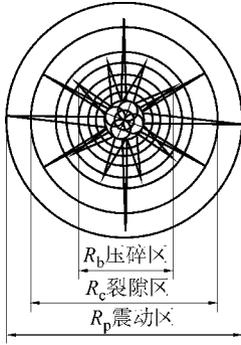


图2 炮眼横截面岩石破碎状态

Fig. 2 Rock broken state of blasthole cross-section

3 松动爆破数值模拟

3.1 松动爆破参数

1) 冲击波压力峰值。一般松动爆破都采用不耦合的装药结构^[15-16],炸药冲击波初始压力峰值可采用经验公式计算,即

$$P_d = \frac{\rho_0 D^2 n}{8} \left(\frac{d_c}{d_b} \right)^6$$

式中: ρ_0 为炸药密度, kg/m^3 ; D 为炸药爆速, m/s ; n 为爆生气体对孔壁产生的增压系数,取8~11; d_c 为装药直径, mm ; d_b 为炮孔直径, mm 。

2) 裂隙区半径。当最小抵抗线不大于裂隙圈半径时,形成松动爆破的效果,最小抵抗线由下式计算,即

$$W \leq R_c = r_b \left(\frac{\lambda P_d}{S_T} \right)^{\frac{1}{e}}$$

式中: W 为最小抵抗线(通常为药包中心或重心到最近自由面的最短距离), m ; R_c 为裂隙区半径, m ; r_b 为岩石单轴抗压强度, MPa ; λ 为侧压系数; S_T 为岩石动态抗拉强度, MPa ; e 为岩石应力波衰减指数。

3) 松动爆破的装药量。一些学者通过对松动爆破影响因素的研究,总结出深孔爆破装药量按照体积法计算的公式:

$$Q = K_s f(n) q_L W^3$$

式中: Q 为炮孔装药量, kg ; K_s 为松动系数,取1.1~1.3; $f(n)$ 为鲍列斯夫经验函数, $f(n) = 0.4 + 0.6n^3$; q_L 为标准爆破漏斗单位耗药量,取0.4~0.8 kg/m^3 。

3.2 FLAC^{3D}模拟爆破动力学分析

在FLAC^{3D}动力学数值模拟计算中,静力平衡分析是动力分析的基础。松动爆破动力学计算,需要分2步,第1步进行重力作用下的初始地应力平衡计算,采用直接加载重力的方法完成初始应力,第2步进行爆破动力学计算。在动力学分析中有4个阶段^[17]:施加静态边界条件;施加合适阻尼;施加动力载荷;设置模型动力响应的监测。

1) 静态边界条件。为保证计算的精确度,在模型边界上波的反射需要被最小化,因此,需要设置动力边界条件,包括静边界条件和自由场边界2种,本次数值模拟分析中采用自由场边界条件,网格剖分的尺寸受输入波动的最短波长控制。设网格的最大尺寸为 Δl ,输入波动的最短波长为 u ,则 Δl 必须小于 $(1/10 \sim 1/8)u$ 。模型网格尺寸80 m×20 m×80 m,在此要求之内。

2) 动载荷输入。当在模型边界上加载速度或加速度时程时,在静边界条件的情况下该边界条件不能施加动载荷,此时应该将速度时程或加速度时程转化成应力时程,再施加到这一边界上。因此,本次数值模拟中在FLAC^{3D}模型工作面上方10 m处采用应力时程方式输入动力载荷,从而模拟工作面上方顶板受到内部动力载荷后模型应力的变化。

3) 瑞利阻尼选择。FLAC^{3D}数值模拟软件中,采用了瑞利阻尼和局部阻尼2种形式的阻尼。局部阻尼适用于精力计算中,用来使结构达到最终平衡,也可以用来进行动力分析;瑞利阻尼是结构分析和弹性体系中用来抑制系统自振的,通常用下式来表示^[18]:

$$C = \alpha M + \beta K$$

式中: C 为阻尼矩阵。 α 、 β 分别为质量阻尼常数和刚度阻尼常数; M 为质量矩阵; K 为刚度矩阵。

3.3 数值模拟计算与分析

根据钱家营煤矿1295工作面的地质情况,在模型中输入相关的爆炸参数,利用FLAC^{3D}数值模拟软件进行分析,建立的3D模型如图3所示,数值模型的尺寸长80 m,宽20 m,高80 m,有128 000个单元,137 781个节点,鉴于每个孔炸药量有限,影响范围有限,因此在分析过程中截取工作面20 m范围,分析单孔炸药爆轰作用对支架顶板的影响。

数值模拟软件在回采之前,让模型原始应力达到平衡,然后工作面回采一段时间后,顶板压力逐渐增大,在超前集中压力的作用下,支架承受的顶板压力逐渐增大,如图4所示,工作面支架上方顶板压力

50 MPa,达到支架安全阀开启值 40 MPa,此时,安全阀频繁开启,支架活柱缩量减小,以卸载较大的压力,当支架活柱缩量用尽后支架被压死。

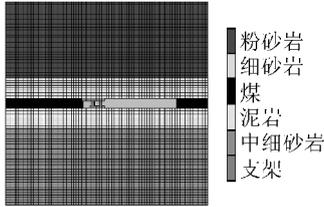


图3 数值模拟模型

Fig. 3 Numerical simulation model

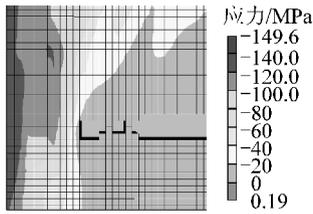


图4 工作面支架顶板围岩应力分布状态

Fig. 4 State of roof surrounding rock stress distribution for working face support

FLAC^{3D}模型在顶板上方 10 m 处,即坐标(38, 10, 48)处施加爆破动载荷,如图 5a 所示,当炸药起爆 10 ms 后,爆轰中心处冲击波超压达到 1.152 GPa,受到爆轰波的震动影响,支架上方的压力瞬时值达到 200 MPa,此时支架处于压死状态且承受较大的动载荷。随着时间的延长,如图 5b 所示,在爆炸冲击波释放过程中,工作面上方顶板岩体产生塑性破坏,爆破范围内破坏岩体反复承受拉压交变载荷的作用,爆轰范围内的岩石发生破坏,支架顶部由于受到爆轰波峰前压力的影响,仍然承受 136.3 MPa

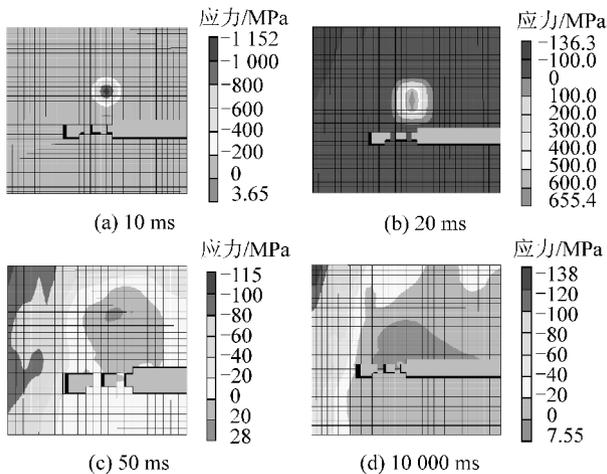


图5 爆炸发生 10、20、50、10 000 ms 后的顶板应力分布

Fig. 5 Roof stress distribution of explosion occurred after 10、20、50、10 000 ms

的高压,此时,支架受压较大,处于压死状态。爆轰作用停止后,应力重新调整,如图 5c 所示,此时支架受到的顶板压力已经降低到 20 MPa 左右,说明炸药的爆轰作用已经起到效果,顶板压力得到明显的释放。爆破完成 10 s 后,顶板上压力调整趋于结束,如图 5d 所示,压力降低到 7.55 MPa,此时,松动爆破已经达到预期的效果,支架可以依靠自身支撑力升起,支架压死事故得到较好的处理。

4 现场施工方案及应用效果

4.1 松动爆破施工方案

根据数值模拟结果,按照钱家营煤矿 1295 工作面的实际情况,在被压支架顶板上方布置 4 个深度 10 m,直径 75 mm 的钻孔,详细的现场布置方式如图 6 所示,在施工过程中人员要撤离到巷道安全区域以保证施工安全。施工爆破结束后工作面支架移动过程中要防止散碎岩石从支架间冒落引起工作面二次抽顶事故。

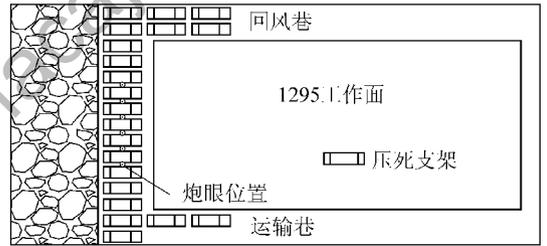


图6 1295 工作面松动爆破钻孔布置

Fig. 6 Loose blasting borehole layout of No. 1295 Working Face

松动爆破施工结束后,紧接着被压支架升起,工作面开始正常推进,此时支架监测到的压力为 10 MPa 左右。

4.2 效果监测

从支架工作阻力历史曲线可以明显看出,支架在 2 月 12 日 9 点开始,受力增加,达到安全阀开启值 40 MPa,在安全阀开启后的 5 天内,支架虽然经过多次调整,最终在 2 月 17 日安全阀经历频繁开启后支架活柱缩量用尽,支架被压死,此时支架受力曲线如图 7 所示。采用松动爆破技术后 2 月 18 日支架的受力状态如图 8 所示。

在 2 月 18 日 1295 工作面采用松动爆破技术以后,工作面支架压力大幅降低,支架压力降至 9~12 MPa,与数值模拟的结果(7.55 MPa)较为接近,从而说明松动爆破技术在处理压架事故中起到了显著的作用。

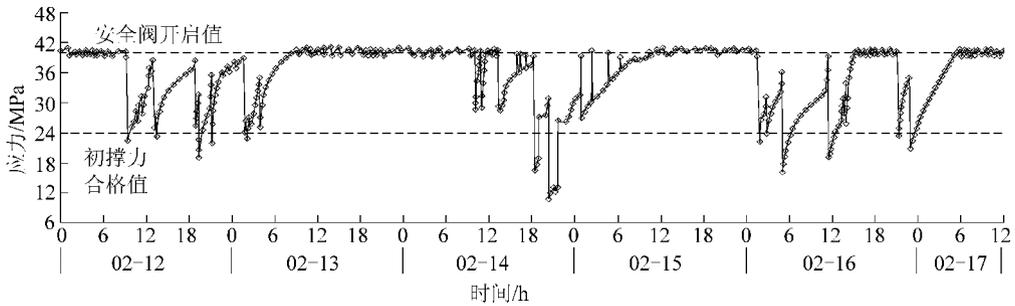


图7 液压支架被压死过程的受力状态

Fig. 7 Stress of hydraulic support in crushed process

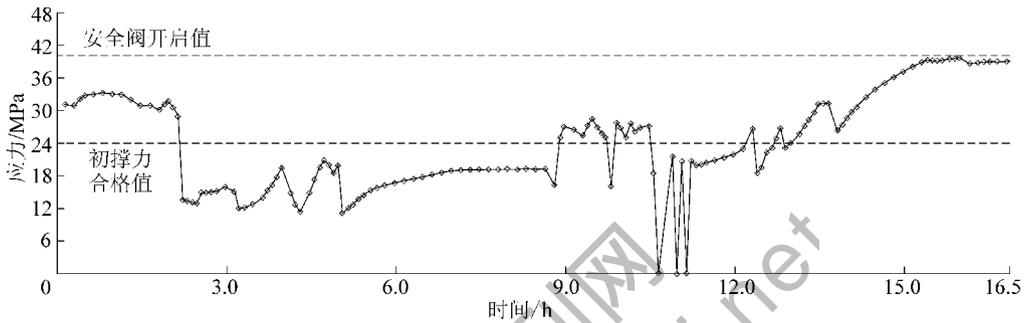


图8 采用松动爆破技术后支架的受力状态

Fig. 8 Loading state of support with loose blasting technology

5 结 论

1) 通过对顶板松动爆破原理的分析,引入了相关爆破参数的计算公式,为松动爆破技术的实施提供了理论基础,实施松动爆破技术后大幅减轻了压死支架上方的顶板压力。

2) 采用FLAC^{3D}数值模拟软件很好地模拟了压架事故处理的过程,动载荷加载结束后,应力云图显示支架上方压力7.55 MPa,这与现场监测到的压力值12 MPa较为接近,说明FLAC^{3D}数值模拟软件在爆破动力学分析中具有较好适应性,为模拟处理类似条件的压架事故的计算提供了新思路。

3) 松动爆破技术实施以后,顶板压力得到释放,支架依靠自身的支撑能力将工作面顶板抬起,大幅减少了挖底和挑顶的工作量,减轻了工人的劳动强度,提高了工作面处理事故的效率。

参考文献 (References) :

[1] 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, 41(9): 122-125.
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, 41(9): 122-125.

[2] 刘宏学, 息金波. 综放工作面周期来压期间液压支架压死现象分析[J]. 山西煤炭, 2010, 30(4): 45-47.
Liu Hongxue, Xi Jinbo. Analysis on hydraulic support pushing down of fully-mechanized caving face during the cyclic weighting [J]. Shanxi Coal, 2010, 30(4): 45-47.

[3] 李勤, 吴丽丽. 综采工作面大规模液压支架压死处理[J]. 矿业工程研究, 2015, 30(1): 14-17.
Li Qin, Wu Lili. Fully mechanized working face hydraulic support on large-scale processing [J]. Mineral Engineering Research, 2015, 30(1): 14-17.

[4] 张进军, 张红卫, 张永涛, 等. 大采高综放工作面支架压死原因及处理方法[J]. 煤矿安全, 2014, 45(6): 188-191.
Zhang Jinjun, Zhang Hongwei, Zhang Yongtao, et al. The reasons and treatment methods of support pushed down not to extensible in large fully mechanized caving face [J]. Safety in Coal Mines, 2014, 45(6): 188-191.

[5] 陈占军, 朱传云, 周小恒. 爆破荷载作用下岩石边坡动态响应的FLAC^{3D}模拟研究[J]. 爆破, 2005, 22(4): 8-13.
Chen Zhanjun, Zhu Chuanyun, Zhou Xiaoheng. FLAC^{3D} simulation for dynamic response of rock slope under explosion [J]. Blasting, 2005, 22(4): 8-13.

[6] 刘国华, 王振宇. 爆破荷载作用下隧道的动态响应和抗爆分析[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2004, 38(2): 15-18.
Liu Guohua, Wang Zhenyu. Dynamic response and blasting resistance analysis of a tunnel subjected to blasting loading [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science Edition, 2004, 38(2): 15-18.

- [7] 乔宪队,黄仁东.邻近隧洞爆破的FLAC^{3D}模拟[J].采矿技术,2007,7(2):94-96.
Qiao Xiandai, Huang Rendong. The FLAC^{3D} simulation of adjacent tunnel blasting[J]. Mining Technology, 2007, 7(2): 94-96.
- [8] 庄新炉.爆炸载荷作用下裂隙岩体的损伤特性研究[D].淮南:安徽理工大学,2005.
- [9] 郑刚,王洪,郭玉新,等.松动爆破技术在综掘机掘进硬岩巷道时的应用与研究[J].内蒙古煤炭经济,2013(3):70-73.
Zheng Gang, Wang Hong, Guo Yuxin, et al. Application and research of loose blasting technology in hard rock roadway excavation[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2013(3): 70-73.
- [10] 卢旭,张丰,周少华,等.数值模拟在松动爆破泄压技术中的应用[J].煤炭科学技术,2005,33(8):21-23.
Lu Xu, Zhang Feng, Zhou Shaohua, et al. Application of digital simulation to vibration blasting and pressure releasing technology[J]. Coal Science and Technology, 2005, 33(8): 21-23.
- [11] 周长巨.松动爆破在煤矿生产中的应用[J].煤炭技术,2008,27(5):65-66.
Zhou Changju. Application of loose blasting in mine production[J]. Coal Technology, 2008, 27(5): 65-66.
- [12] 吴进和.采煤工作面松动爆破研究[J].西北煤炭,2004,2(2):16-18.
Wu Jinhe. Research in coalface by standing shot[J]. Northwest
- Coal, 2004, 2(2): 16-18.
- [13] 王玉锦.煤体松动爆破的研究与实践[J].煤炭工程,2003(9):37-38.
Wang Yujin. Research and practice of loose blasting in Coal[J]. Coal Engineering, 2003(9): 37-38.
- [14] 张立.煤层综采面底板岩石深孔松动爆破技术研究[D].淮南:安徽理工大学,2008.
- [15] 张立.不耦合装药结构下底板岩石松动爆破技术研究[J].煤矿爆破,2011(1):71-72.
Zhang Li. Research on rock blasting technology of floor rock under coupling charge structure[J]. Coal Mine Blasting, 2011(1): 71-72.
- [16] 温耀军.坚硬顶板工作面强制放顶技术试验[J].山西焦煤科技,2015(S1):46-47.
Wen Yaojun. The test of forced caving on hard roof face[J]. Shanxi Coal Science & Technology, 2015(S1): 46-47.
- [17] 陈育民,徐鼎平.FLAC/FLAC^{3D}基础与工程实例[M].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [18] 蒋楠,郑晓硕,张磊,等.采矿爆破振动对巷道围岩影响的数值模拟研究[J].工程爆破,2010(3):21-24.
Jiang Nan, Zheng Xiaoshuo, Zhang Lei, et al. Numerical simulation study about the effect of mining blasting vibration on tunnel surrounding rock[J]. Engineering Blasting, 2010(3): 21-24.

(上接第163页)

- working characteristics and roof control of back filling hydraulic support[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2017, 36(2): 42-47.
- [12] 刘贺,秦健,夏明生,等.四连杆机构对超前支架受力影响规律分析[J].煤炭科技,2015(2):35-38.
Liu He, Qin Ming, Xia Mingsheng, et al. Analysis of the influence of the four bar linkage mechanism on the force of lead bracket[J]. Coal Science and Technology, 2015(2): 35-38.
- [13] 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 lame minim height longwall face in shallow coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(S2): 279-286.
- [14] 卢进南,毛君,谢苗,等.巷道超前支架全支撑态动力学模型[J].煤炭学报,2015,40(1):50-57.
Lu Jinnan, Mao Jun, Xie Miao, et al. Dynamics model of advanced powered support in heading under full support situation[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(1): 50-57.
- [15] 曹连民,魏翠翠,王鹏怀,等.大采高液压支架主体结构件的有限元分析[J].山东科技大学学报:自然科学版,2017,36(1):94-98.
Cao Lianmin, Wei Cuicui, Wang Penghui, et al. Finite element analysis of the main components of large mining height hydraulic support[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2017, 36(1): 94-98.
- [16] 刘新华,王国法,刘成峰,等.两柱大采高液压支架的整架有限元分析[J].煤炭科学技术,2010,38(8):93-96.
Liu Xinhua, Wang Guofa, Liu Chengfeng, et al. Full set finite element analysis on two-leg high cutting hydraulic powered support[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(8): 93-96.
- [17] 张宏明,曹伟.石炭系千万吨级矿井综采巷道超前支护支架设计及应用[J].煤矿安全,2012,43(9):98-100.
Zhang Hongming, Cao Wei. Design and application of advance support frame of fully-mechanized mining crossheading in carboniferous ten million tons coal mine[J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(9): 98-100.
- [18] 索永录,商铁林,陈小绳.大采高综采面运输巷超前支架应用分析[J].煤炭技术,2015,34(6):58-60.
Suo Yonglu, Shang Tielin, Chen Xiaosheng. Analysis on the application of advanced support for transport roadway in fully-mechanized mining face with large mining height[J]. Coal Technology, 2015, 34(6): 58-60.
- [19] 吴士良,刘思利.顶板结构模型法计算确定综采面支架合理支护强度[J].山东科技大学学报:自然科学版,2015,36(6):40-44.
Wu Shiliang, Liu Sili. Roof structure model method to calculate and determine the reasonable supporting strength of fully-mechanized coal mining face[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2015, 36(6): 40-44.
- [20] 罗文.工作面巷道超前液压支架的研制及应用[J].煤炭工程,2009(11):98-99.
Luo Wen. Development and application of the advanced hydraulic support for working face along the groove[J]. Coal Engineering, 2009(11): 98-99.