

大倾角煤层长壁大采高综采支架动态载荷特征分析

解盘石^{1,2} 伍永平^{1,2} 张 浩^{1,2} 刘字楷^{1,2} 王红伟^{1,2}

(1. 西安科技大学 能源学院 陕西 西安 710054; 2. 西安科技大学 西部矿井开采及灾害防治教育部重点实验室 陕西 西安 710054)

摘要: 针对大倾角煤层大采高工作面支架受载特征复杂、对工作面围岩稳定性控制影响大等问题。采用现场实测与理论分析相结合方法,研究了大倾角煤层大采高开采过程中,支架瞬态与长时载荷变化规律。结果表明:正常回采阶段与来压期间,工作面循环初期和循环末期支架载荷均呈现出倾斜中部较大、下部次之、上部最小的特征,工作面载荷分区特征更为明显,支架受载不均衡程度表现出后柱大于前柱、循环末期大于循环初期、来压期间大于正常回采阶段;与一般采高大倾角煤层工作面相比,支架受力多变程度明显增加,工作面倾斜上部区域尤为明显,初次来压与周期来压步距均明显减小,来压强度则明显增大,支架阻力整体增加。

关键词: 支架瞬态载荷 “支架-围岩”系统稳定性; 大倾角煤层; 长壁大采高

中图分类号: TD326; TD355 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2016)04-0101-05

Changeful load feature analysis of supports in longwall and large mining height fully-mechanized face of steeply dipping seam

Xie Panshi^{1,2}, Wu Yongping^{1,2}, Zhang Hao^{1,2}, Liu Zikai^{1,2}, Wang Hongwei^{1,2}

(1. School of Mineral Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. China Key Laboratory of Western Mine Exploitation and Hazard Prevention Ministry of Education, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: According to the complicated loading state of supports in large mining height face of steeply dipping seam and affected the stability of surrounding rock around the mining face, the site measurement and theoretical analysis were applied to study and summarize change rule of the transient loading and longtime loading on supports. The results showed that the initial cycle and end cycle loading value of supports in middle area along working face was bigger than the lower and upper area during the normal mining process and periodic weighting process, the districts character along the face became even more obvious, the imbalance of back hydraulic support loading was greater than the front hydraulic support and the same characteristics concluded in the end cycle and initial cycle, the periodic weighting process and normal mining process. The changeful loading states of supports were more obvious than in the normal mining height face of steeping dipping seam, especially in the upper area of working face, and the distance of first weighting and periodic weighting reduced significantly, weighting intense increased clearly, the loading values of all supports were markedly increased.

Key words: transient loading of supports; stability of support and rock system; steeply dipping seam; longwall and large mining height

0 引言

大倾角煤层是指倾角为35°~55°的煤层^[1-2],我国大倾角煤层占15%~20%的储量,50%以上的大倾角煤层为优质焦煤和无烟煤,是我国保护性开采

的稀缺煤种,大采高(厚度3.55.0 m)开采方法较综合开采可大幅度提高大倾角厚煤层资源的采出率^[2-5]。文献资料检索表明^[6-11],国内外缺乏大倾角煤层大采高开采岩层控制的系统研究,特别是针对大倾角大采高条件下支架受力状态方面。近年

收稿日期: 2015-10-13; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.04.020

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51074120, 51204132); 陕西省重点实验室科学研究计划资助项目(14JS057); 陕西省青年科技新星支持计划资助项目(2015KJXX-36)

作者简介: 解盘石(1981—),男,陕西三原人,讲师,博士。Tel: 13571821898, E-mail: tay584@qq.com

引用格式: 解盘石,伍永平,张 浩等.大倾角煤层长壁大采高综采支架动态载荷特征分析[J].煤炭科学技术,2016,44(4):101-105.

Xie Panshi, Wu Yongping, Zhang Hao, et al. Changeful load feature analysis of supports in longwall and large mining height fully-mechanized face of steeply dipping seam [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(4): 101-105.

来,对该类煤层工作面支架研究主要集中在以下几个方面:文献[1]采用理论手段研究了单个支架及工作面支护系统稳定性控制原则与方法;文献[12-15]等采用理论分析、数值模拟与相似模拟试验方法对大倾角综放工作面液压支架稳定性进行分析,并给出了支架合理工作阻力;文献[16]对倾角12°~35°的煤层综采液压支架进行理论分析,提出了支架防倒防滑措施;林忠明等^[17]采用理论分析对倾角29°~43°煤层的综放开采液压支架抗倒滑进行了分析,指出了保证大倾角综放液压支架稳定的途径;曲秋扬等^[18]利用薄板理论、数值模拟与现场实测方法,分析确定了倾角为39.5°工作面支架工作阻力分区特性。可以看出,以上研究主要集中在大倾角综(采)放开采支架稳定性分析方面,对大倾角大采高条件下支架动态稳定性方面研究较少,众所周知,随着采高的增加,支架重心偏移量也随之增加,支架倾倒倾向加剧。工作面倾斜上部支架受载特征更为复杂,“支架-围岩”系统稳定性控制难度增大。因此,对大倾角大采高工作面支架瞬态与长时载荷进行现场实测,深入分析支架载荷动态变化规律,可为解决大采高工作面岩层控制难题提供理论依据。

1 工程背景

新疆焦煤集团2130矿井目前主要开采下侏罗系八道湾组地层+1 950 m水平以上的部分,煤层结构简单。其中5号煤层平均厚度为5 m,局部最大厚度为7 m,煤层倾角42°51°,平均45°。煤层软弱松散,煤的普氏系数0.30.5。煤层基本顶坚硬,由含砾中砂岩、含砾粗砂岩等组成,单向抗压强度为79.9100.2 MPa;底板一般为炭质粉砂岩、炭质泥岩等,底板较软,岩石单向抗压强度为9.14~12.76 MPa。25221工作面布置于5号煤层中,工作面倾斜长度105 m左右,走向长度1 766 m,采用综合机械化大采高方法开采,最大采高4.5 m,大倾角煤层大采高工作面及支架布置如图1所示。工作面回采工艺流程为班前准备→下行割煤→上行清浮煤→移架→推移刮板输送机→下一个循环。

25221工作面装备了ZZ6500/22/48型四柱支撑掩护式液压支架60架,自运输巷至回风巷编号为1~60号。为了准确及时掌握工作面支架载荷变化特征,采用人工实时记录支架循环初阻力(初撑时)、循环末阻力(移架前),并布置KJ377型矿压动

态检测仪长时监测工作面不同区域支架载荷变化规律。

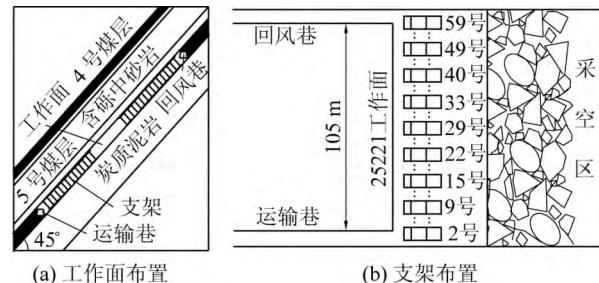


图1 大倾角煤层大采高工作面及支架布置示意

Fig. 1 Layout of large mining height working face and support in steeply dipping seam

2 沿工作面倾向支架载荷变化特征

2.1 支架循环初、循环末阻力变化特征

对25221大倾角大采高工作面支架循环初阻力、循环末阻力进行近3个月实时观测,并对具有代表性数据进行分析:

1) 工作面正常回采阶段,如图2所示,循环初期,工作面控顶距小,整个工作面支架受力较均衡,其中支架平均工作阻力(前后柱阻力之和)为4 676 kN,24号支架阻力最大,为5 900 kN。支柱平均载荷表现为:前柱<后柱,前柱受力不均衡程度小于后柱。

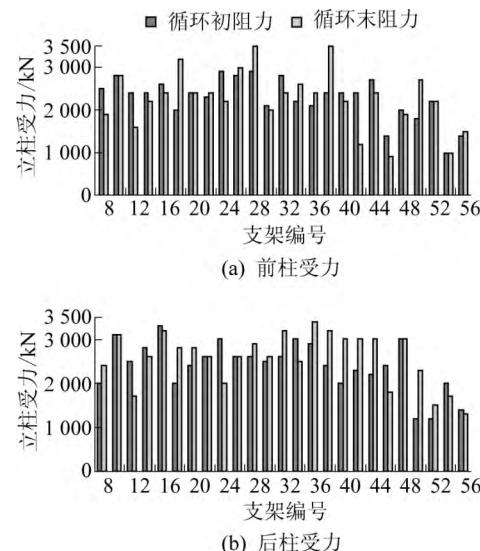


图2 正常回采阶段支架前、后柱瞬时受力特征

Fig. 2 Characteristic of loading of front and back hydraulic support in the normal mining process

循环末期,工作面处于最大控顶距时,支架支撑范围增大,支架不均衡程度增加,其中支架平均工作阻力为4 828 kN,38号支架工作阻力最大,为6 300

kN。较循环初期,工作面下部支架(8—16号支架)工作阻力明显下降,前柱下降程度大于后柱;工作面中部支架(18—42号支架)工作阻力有所增加,其中后柱增载幅度大于前柱,但对于该区域同一支架来说,前、后柱增卸载较为均衡,即前柱增载、后柱则小幅卸载;上部支架(44—60号支架)则增载、卸载交互出现。循环初期和循环末期支架载荷均呈现出倾斜中部较大、下部次之、上部最小的特征;与循环初期相比,工作面中部支架受力特征较为稳定,下部则有下降趋势,上部支架受力多变。

2) 工作面来压阶段,如图3所示,循环初期,整个工作面支架受力不均衡程度较正常回采阶段明显增大,支架平均工作阻力为5 044 kN,28号支架工作阻力最大,为6 400 kN;立柱平均载荷表现为:前柱<后柱,前柱受力不均衡程度小于后柱。

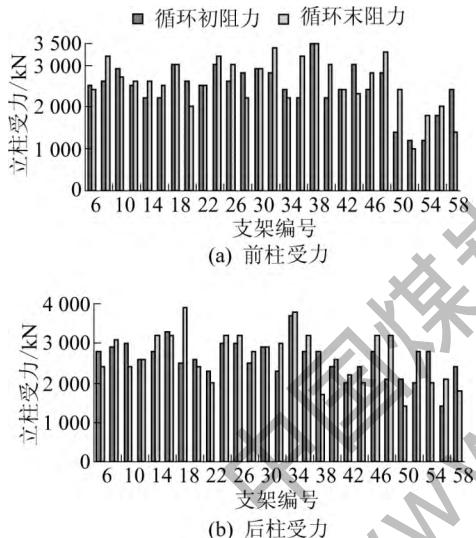


图3 来压期间支架前、后柱瞬时受力特征

Fig. 3 Characteristic of loading of front and back hydraulic support in the periodic weighting process

循环末期,工作面处于最大控顶距时,支架支撑范围增大,支架不均衡程度增加,支架平均阻力为5 255 kN,18号支架工作阻力最大,为6 900 kN;较循环初期,工作面下部支架(6—16号支架)工作阻力增加、下降较为均衡,整体呈小量下降,前柱下降程度稍大于后柱;工作面中部支架(18—42号支架)工作阻力整体增加,其中后柱增载幅度大于前柱,该区域同一支架前、后柱均呈现增载特征;上部支架(44—60号支架)增载、卸载交互出现,但增载支架数量多于卸载支架。来压期间,支架循环初期和循环末期载荷均呈现出工作面倾斜中部较大、下部次之、上部最小的特征,较循环初期,整个工作面支

架载荷均呈增加趋势。

3) 正常回采阶段与来压期间支架工作阻力对比分析可知,支架循环初期和循环末期中均呈现出倾斜中部较大、下部次之、上部最小的特征;循环末期,支架载荷均呈增加趋势,但来压期间载荷增幅较大,其中,中部支架增载幅度大于下部、上部支架;从支架受力均衡角度来看:后柱大于前柱、循环末期大于循环初期、来压期间大于正常回采阶段;从整个工作面受力不均衡程度来看,工作面中部、下部支架受力较为稳定,而上部则呈现出受力多变状态,此区域是大倾角大采高采场岩层控制的关键区域。与一般采高大倾角煤层工作面相比^[3-5],大采高工作面支架受力多变程度明显增加,工作面上部区域尤为明显。

2.2 支架前、后柱受力变化特征

通过分析25221工作面支架前柱和后柱受力变化(图4和图5)可知:循环初期,工作面大部分支架受力较均衡,仅有少数支架出现低压现象。前、后柱对比可知,前柱受力更为稳定,相邻支架后柱受力起伏较大,但前柱整体受力小于后柱;从工作面自下向上,支架前、后柱载荷均呈逐渐降低趋势,后柱更为明显。

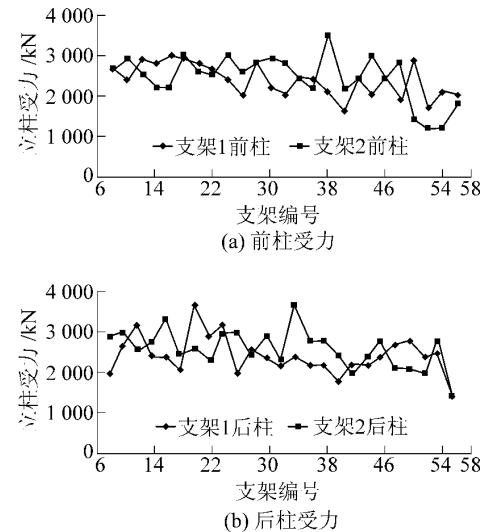


图4 循环初期前、后柱受力变化特征曲线

Fig. 4 Characteristic curves of loading of front and back hydraulic support in the initial cycle period

循环末期,支架前、后柱受力波动明显,前柱受力变化幅度较循环初期明显增大,中上部区域部分前柱阻力减小明显,支架后柱载荷波动较大;在工作面倾斜中上部区域,支架后柱载荷降低明显,而前柱相对于循环初期有较小增幅。

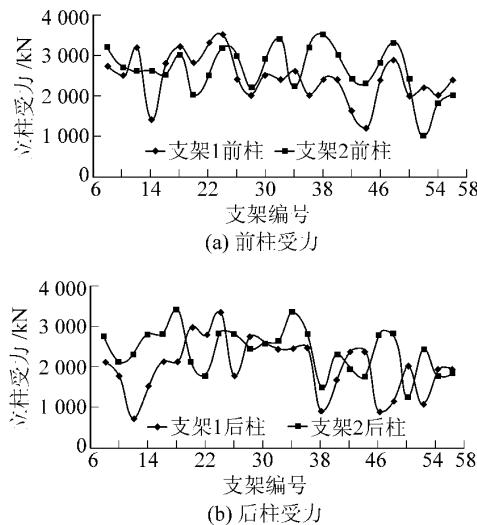


图5 循环末期前、后柱受力变化特征曲线

Fig. 5 Characteristic curves of loading of front and back hydraulic support in the end cycle period

3 沿工作面走向支架载荷变化特征

25221工作面支架日平均载荷监测结果表明,工作面具有初次来压和周期性来压特征,基本顶初次来压步距40 m,周期来压步距13 m,来压持续时间23 d,沿工作面长度方向,矿压显现分区特征明显,支架工作阻力呈现出中部较大、上部和下部较小的特征,来压期间中上部区域煤壁片帮次数和范围明显增加。与一般采高大倾角煤层工作面相比,初次来压与周期来压步距均明显减小,来压强度则明显增大,如图6所示。

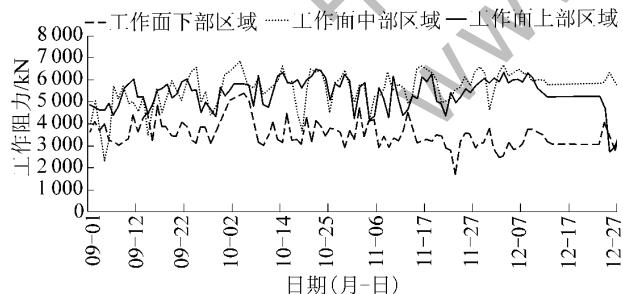


图6 工作面不同区域平均工作阻力曲线(2015年)

Fig. 6 Characteristic of working resistance in different area of working face(2015)

同时,支架受力非均衡特征明显,工作面上部区域,支架受力状态多变且变幅较大,部分支架工作阻力很小,甚至为零,导致“支架-围岩”系统构成元素缺失或形成“伪系统”^[5]。同时,个别支架载荷超过额定工作阻力,支架整体阻力大于一般采高大倾角工作面开采^[4-11],架间相互挤压作用明显,“支

架-围岩”系统受载特征更为复杂。

4 结论

1) 大倾角煤层大采高工作面正常回采阶段与来压期间,循环初期和循环末期支架载荷均呈现出倾斜中部较大、下部次之、上部最小的特征,载荷分区特征更为明显。

2) 支架后柱受力不均衡程度大于前柱,循环末期大于循环初期,来压期间大于正常回采阶段;工作面倾斜中部、下部支架受载较为稳定,上部则呈现出受载多变状态。与一般采高大倾角煤层工作面相比,支架受载多变程度明显增加,工作面上部区域尤为明显。

3) 与一般采高大倾角煤层工作面相比,初次来压与周期来压步距均明显减小,来压强度则明显增大,工作面支架整体阻力增加,架间相互挤压作用明显,“支架-围岩”系统稳定性控制难度增大。

参考文献(References):

- 1] 伍永平, 贾东风. 大倾角综采支架稳定性控制[J]. 矿山压力与顶板管理, 1999(3/4): 82-85.
Wu Yongping, Yun Dongfeng. Stability control of support in full-mechanized coal mining face with large inclined [J]. Ground Pressure and Strata Control, 1999(3/4) 82-85.
- 2] 王金华. 我国大采高综采技术与装备的现状及发展趋势[J]. 煤炭科学技术 2006, 34(1): 4-7.
Wang Jinhua. Present status and development tendency of fully mechanized coal mining technology and equipment with high cutting height in China [J]. Coal Science and Technology, 2006, 34(1): 4-7.
- 3] 黄国春, 伍永平, 李如明, 等. 大倾角硬顶软底走向长壁综放开采技术研究[R]. 乌鲁木齐: 新疆焦煤集团有限责任公司, 2008.
- 4] 伍永平, 李方立, 解盘石, 等. 大倾角煤层走向长壁大采高开采研究[R]. 乌鲁木齐: 新疆焦煤集团有限责任公司, 2013.
- 5] 伍永平. 大倾角煤层开采“R-S-F”系统动力学控制基础研究 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2003.
- 6] 伍永平, 贾东风, 周邦远. 大倾角煤层综采基本问题研究[J]. 煤炭学报, 2000, 25(5): 465-468.
Wu Yongping, Yun Dongfen Zhou Bangyuan. Study on the elementary problems of full-mechanized coal mining in greater pitching seam [J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(5): 465-468.
- 7] 解盘石, 伍永平, 王红伟, 等. 大倾角煤层长壁开采覆岩空间活动规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(9): 1-5.
Xie Panshi, Wu Yongping, Wang Hongwei et al. Study on space activity law of overburden strata above longwall coal mining face in

- high inclined seam [J]. *Coal Science and Technology*, 2012, 40(9): 1-5.
- [8] 伍永平,解盘石,任世广.大倾角煤层开采围岩空间非对称结构特征分析[J].*煤炭学报*,2010,35(2):182-184.
Wu Yongping, Xie Panshi, Ren Shiguang. Analysis of asymmetric structure around coal face of steeply dipping seam mining [J]. *Journal of China Coal Society* 2010, 35(2): 182-184.
- [9] 伍永平,解盘石,王红伟,等.大倾角煤层开采围岩空间倾斜砌体结构[J].*煤炭学报*,2010,35(8):1252-1256.
Wu Yongping, Xie Panshi, Wang Hongwei, et al. Incline masonry structure around the coal face of steeply dipping seam mining [J]. *Journal of China Coal Society* 2010, 35(8): 1252-1256.
- [10] 解盘石.大倾角煤层长壁围岩结构特征及其稳定性研究[D].西安: 西安科技大学, 2011.
- [11] 解盘石,伍永平,王红伟,等.大倾角煤层长壁采场倾斜砌体结构与支架稳定性分析[J].*煤炭学报*,2012,37(8):1275-1280.
Xie Panshi, Wu Yongping, Wang Hongwei, et al. Stability analysis of incline masonry structure and support around longwall mining face area in steeply dipping seam [J]. *Journal of China Coal Society* 2012, 37(8): 1275-1280.
- [12] 何富连,杨伯达,田春阳,等.大倾角综放面支架稳定性及其控制技术研究[J].*中国矿业*,2012,21(6):97-100.
He Fulian, Yang Boda, Tian Chunyang, et al. Stability and control technology of powered support in deep inclined fully mechanized top-coal caving face [J]. *China Mining Magazine*, 2012, 21(6): 97-100.
- [13] 章之燕.大倾角综放液压支架稳定性动态分析和防倒防滑措施[J].*煤炭学报*,2007,32(7):705-709.
Zhang Zhiyan. Dynamic analysis on stability of hydraulic powered support in deep inclined fully mechanized wall and prevention slips measures [J]. *Journal of China Coal Society*, 2007, 32(7): 705-709.
- [14] 王红伟,伍永平,解盘石,等.大倾角特厚煤层综放液压支架工作阻力确定[J].*辽宁工程技术大学学报:自然科学版*,2014,33(8):1020-1024.
Wang Hongwei, Wu Yongping, Xie Panshi, et al. Determination of support working resistance of fully-mechanized caving in steeply dipping seam with ultra thick [J]. *Journal of Liaoning Technical University: Natural Science* 2014, 33(8): 1020-1024.
- [15] 徐涛.大倾角综放工作面液压支架稳定性技术探讨[J].*煤炭科学技术*,2007,35(9):58-62.
Xu Tao. Study on stability technology of hydraulic support in fully mechanized caving working face with large dip angle [J]. *Coal Science and Technology* 2007, 35(9): 58-62.
- [16] 张东升,吴鑫,张炜,等.大倾角工作面特殊开采时期支架稳定性分析[J].*采矿与安全工程学报*,2013,30(3):331-336.
Zhang Dongsheng, Wu Xin, Zhang Wei, et al. Stability analysis on support in large inclined coal face during special mining period [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering* 2013, 30(3): 331-336.
- [17] 林忠明,陈忠辉,谢俊文,等.大倾角综放开采液压支架稳定性分析与控制措施[J].*煤炭学报*,2004,29(3):264-268.
Lin Zhongming, Chen Zhonghui, Xie Junwen, et al. Stability analysis and control measures of powered supports in greater inclined fully-mechanized coal seam [J]. *Journal of China Coal Society*, 2004, 29(3): 264-268.
- [18] 曲秋扬,毛德兵.大倾角大采高综采工作面支架工作阻力分布特征研究[J].*中国煤炭*,2014,40(3):45-48.
Qu Qiuyang, Mao Debing. Research on working resistance distribution features of support in fully-mechanized mining face with large angle and height [J]. *China Coal* 2014, 40(3): 45-48.