

浅埋近距离煤层过上覆采空区及煤柱动压防治技术

杨俊哲

(神华神东煤炭集团有限公司 陕西 神木 719315)

摘要:针对浅埋近距离综采工作面过上覆房采采空区和集中煤柱时易发生动压事故,并导致大面积切顶压架事故的问题,结合石圪台矿31号煤层综采工作面动压防治实践,分析可知采动影响导致上覆采空区集中煤柱失稳引发其上覆基岩关键块突然回转失稳,进而破坏下煤层基岩关键块的铰接结构,使其由回转失稳变为破坏性的滑落失稳,上下基岩层关键块体失稳产生的冲击载荷作用直接导致动压事故。结合顶板运动规律,提出了提前采取爆破集中煤柱、缩短工作面长度等技术,避免了上下煤层基岩失稳冲击叠加,减少了覆岩运动影响范围和程度,并在现场采用微震监测、地面钻孔多点位移计和地表下沉量观测等手段进行指导和验证,有效解决浅埋近距离综采工作面过上覆房采采空区和集中煤柱时易发生动压事故的问题。

关键词:浅埋煤层;近距离煤层开采;房采采空区;集中煤柱;动载矿压;微震监测

中图分类号:TD323 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2015)06-0009-05

Dynamic pressure prevention and control technology of coal mining face with shallow depth and contiguous seams passing through overburden goaf and coal pillars

Yang Junzhe

(Shenhua Shendong Coal Group Corporation Limited, Shennmu 719315, China)

Abstract: According to dynamic pressure accident easily occurred when the fully mechanized coal mining face in shallow depth seam and contiguous seams group passed through goaf of the overburden strata and concentrated coal pillars and large area roof cutting and powered supports jammed accident occurred in combination with the dynamic pressure prevention and control practices in the fully mechanized coal mining face in No. 31 seam of Shigetai Mine, the paper analyzed the known mining affected to the concentrated coal pillar lose stability in the goaf of the overburden strata and to cause the key block of the overburden base rock suddenly rotary and stability lost. Thus the articulation structure of the base rock key block in the low seam would be destroyed and the rotary stability lost would be changed to failure sliding stability lost. The mine pressure bump load role from the stability lost of the key block in the top and low base rocks would directly cause the dynamic accident. In combination with the roof movement law, the centralized coal pillars blasting, mining face length reduction and other technology conducted in advance could avoid the base rock stability lost and bump overlaid in the top and low seam and could reduce the overburden strata movement influence scope and degree. At the site, the micro-seismic monitoring and measuring, multi point displacement gauge in the surface boreholes, surface ground subsidence observation and other means were applied to guide and verify and could effectively solve the dynamic pressure accident easily occurred when the fully mechanized coal mining face in the shallow depth seam and contiguous seams passed through the goaf in the overburden strata and concentrated coal pillars.

Key words: shallow depth seam; contiguous seams mining; goaf of room mining; concentrated coal pillars; dynamic load mine pressure; micro-seismic monitoring and measuring

0 引言

在神东矿区开发初期,相关学者就对矿区浅埋

深、薄基岩、厚风积沙松散层条件下的长壁工作面矿压规律进行了系统研究,总结了该条件下综采工作面在回采期间普遍存在顶板台阶下沉、基本顶破断

收稿日期:2015-02-11;责任编辑:杨正凯 DOI:10.13199/j.cnki.est.2015.06.002

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012ABC10B00)

作者简介:杨俊哲(1964—),男,陕西洋县人,教授级高级工程师,硕士,现任神华神东煤炭集团有限公司副总经理兼总工程师。

引用格式:杨俊哲.浅埋近距离煤层过上覆采空区及煤柱动压防治技术[J].煤炭科学技术 2015 43(6):9-13 #0.

Yang Junzhe. Dynamic pressure prevention and control technology of coal mining face with shallow depth and contiguous seams passing through overburden goaf and coal pillars [J]. Coal Science and Technology 2015 43(6):9-13 #0.

运动直接波及地表、顶板不易形成稳定结构、矿压显现剧烈等特点,揭示了上覆岩层运动规律,建立了针对矿区第1层主采煤层开采实践的浅埋煤层长壁开采矿压控制理论^[1-5]。近年来,随着神东矿区各矿井陆续进入第2层主采煤层开采(与上部已采煤层间距0.5~42.0 m),受矿区开发初期装备水平、回采工艺、小煤矿开采及地质构造影响,部分矿井第1层主采煤层采空区遗留有集中煤柱、房采采空区等,造成下层煤综采工作面在通过该区段时发生了多起大范围切顶压架事故,如大柳塔矿22103工作面过上覆煤层采空区、石圪台矿12102工作面过上覆集中煤柱等出现了较大范围切顶、支架立柱瞬间大幅下缩(下缩量达500~1 500 mm)、大部分支架被压死、损坏等剧烈的动载矿压现象,给矿井的安全高效生产造成了严重的影响。针对此类浅埋近距离下层煤综采工作面回采期间存在的急剧动载矿压现象,相关学者从现场观测、理论分析、试验模拟等方面对近距离煤层重复采动、过上覆集中煤柱或房采采空区发生动载矿压的机理进行了分析^[6-12],这些研究成果多侧重于对综采工作面过上覆单一集中煤柱切顶压架事故原因的分析,对特殊开采条件(如上覆横向集中煤柱、房采煤柱下开采等)下动压产生的一般规律及防治手段研究的较少。基于此,笔者将结合石圪台矿31号煤层综采工作面动压防治实践,对动压产生的一般规律及综合防治措施进行分析,为神东矿区特殊开采条件下综采工作面安全回采提供理论基础。

1 工作面概况

石圪台矿31201综采工作面采用一次采全高、全部垮落式综合机械化开采的采煤方法。工作面走向长1 865 m,倾向长311.4 m,煤层厚度3.0~4.4 m,平均3.9 m,煤层倾角1°~3°,地质储量290.04万t。工作面埋深110~140 m,上覆基岩厚度48~120 m,松散层厚度0~55 m,上部为22号煤层房采采空区,开采条带倾向布置,每个条带宽度约300 m,每组布置4条回采巷道,巷宽4.5~6.5 m,巷道间煤柱宽度分别为10、15、10 m,巷道具体布置不详,与31号煤层间距为30.0~41.8 m。工作面顶板岩性以中~细粒砂岩、砂质泥岩为主,底板以粉砂岩、砂质泥岩为主。

31201综采工作面安装156台ZY18000/25/45D型双柱掩护式液压支架,架宽2.05 m,安全阀

卸载压强为45.8 MPa,支护强度1.52 MPa。在采取动压防治技术前,31201综采工作面发生切顶动压事故3次,第1次在过上覆22号煤层第1组集中煤柱期间,第2、3次分别在进、出上覆22号煤层第2组集中煤柱期间。3次切顶动压事故均造成了不同程度的压架事故:^①第1次动压事故发生在工作面回采至上覆22号煤层第1组集中煤柱区域36.4 m时,工作面出现周期来压,60—110号支架立柱突然下缩,30 min内立柱下缩量达到1 000 mm及以上,造成局部支架压死。^②第2次动压事故发生在工作面回采至距上部22号煤层第2组集中煤柱31 m时,工作面部分支架立柱压强达到47.1 MPa以上,平均压强45.0 MPa,部分安全阀开启,65—110号支架立柱下沉0.3~1.2 m。^③第3次动压事故发生在工作面推至距煤柱15.5 m时,工作面整体来压,在20 s内23—135号支架整体下沉,立柱行程由原来1.3~1.5 m下缩到0~0.2 m,压力表损坏,支架立柱压强瞬间最大值达到80 MPa,其中有25号支架立柱压强甚至超过80 MPa。第2、3次压架前后31201综采工作面80号支架立柱压强变化曲线如图1所示,31201综采工作面压架如图2所示。

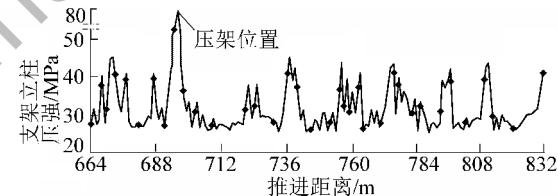


图1 31201综采工作面80号支架立柱压强变化曲线

Fig. 1 No. 80 support column pressure curve of No. 31201 fully-mechanized coal mining face



图2 31201综采工作面压架示意

Fig. 2 Support crushing accident of No. 31201 fully-mechanized coal mining face

2 顶板破断规律及控制技术

2.1 顶板破断运动规律

31201工作面开采条件下,上覆集中煤柱及采空区顶板结构失稳如图3所示,在22号煤层采空区下回采时,受采动影响,作用于煤壁前方覆岩和上覆

22号煤层采空区遗留集中煤柱的超前支承压力也不断增大,随着煤柱受压变形,其上方基岩(关键层)将会随之回转、破断,形成铰接关系的块体B、C将伴随煤柱的不断变形而持续回转。由于煤柱自身强度及承载能力远小于基岩,煤柱将先于基岩失稳、破坏。当煤柱瞬间失稳时,其上覆的关键块体B、C在极短时间内回转,因煤柱已破坏失去支撑、让压的作用,其产生的冲击力将直接作用于31号煤层上覆基岩块体A与煤体上覆基岩之间的铰接结构上,该结构受22号煤层基岩关键块破断产生的冲击载荷作用会发生突然断裂,块体A失去煤体上覆基岩之间的铰接摩擦支撑,随之发生冲击性的滑落失稳,其产生的冲击作用直接导致工作面发生大范围顶板切落、冒顶。特别是过上覆集中煤柱区时,因集中煤柱及其支撑范围较大,导致22号煤层上覆关键层破断形成的关键块体的几何尺寸将比其他条件下的更大。当集中煤柱破坏时,块体A、B、C突然失稳产生的叠加载荷作用将远大于工作面正常情况下的来压强度,瞬间急剧来压,导致切顶压架事故发生。

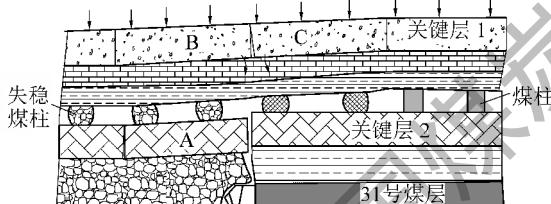


图3 上覆集中煤柱及房采采空区顶板结构失稳示意
Fig.3 Structure instability of overlying coal pillar and goaf roof

2.2 特殊开采条件下顶板控制技术

根据近距离下煤层综采工作面回采期间上覆基岩破断规律可知,由于集中煤柱突然失稳导致上下煤层基岩关键块瞬间失稳,由原来平缓的回转失稳转变为急剧的滑落失稳,由于顶板载荷的瞬间冲击作用强度非常大,单纯依靠提高支架工作阻力是不能有效控制此类情况下的顶板运动,也即不能防范此类开采条件下压架事故发生,如活鸡兔井12314工作面、石圪台矿31201工作面虽然分别配套工作阻力为12 000、18 000 kN的支架,架宽分别为1.75、2.05 m,但仍发生了切顶压架事故。

为避免上下煤层基岩关键块瞬间、急剧的滑落失稳和冲击叠加作用,必须提前破坏上覆采空区集中煤柱,使上下煤层基岩层的破断和运动能基本同步。提前对采空区集中煤柱实施爆破,采空区上覆基岩将提前破断、垮落,待工作面采至该区域时,上

煤层基岩破断块体将随着下煤层基岩的破断而同步回转,避免了上下基岩层急剧的滑转失稳和瞬间失稳后冲击载荷的叠加,从而消除了工作面切顶事故。

有时受上覆采空区复杂性和爆破作业不易施工等因素影响,出现不能采用爆破采空区集中煤柱或爆破处理效果差的问题,由综采工作面矿压一般规律和相关研究结果可知^[14~16],工作面长度越长,受采动影响的上覆岩层范围越大、形成的结构越大,当结构失稳时其对工作面的影响也就越剧烈,因此可通过缩短工作面长度减缓周期来压强度,避免动压事故发生。

3 工作面动压防治技术及效果分析

针对浅埋深近距离综采工作面过上覆采空区顶板运动规律,为防治上下煤层上覆基岩破断滑落失稳对工作面支架的叠加冲击作用,需提前破坏集中煤柱或最大程度减小采动对采空区的扰动范围。笔者结合石圪台矿31号煤层二盘区上覆集中煤柱及采空区的具体情况,采取对集中煤柱井上(下)爆破的措施、缩短工作面长度等技术手段,并利用微震监测、地面钻孔多点位移和地表下沉量观测等联合监测预警技术,防范工作面过上覆房采采空区和集中煤柱期间的动压事故^[17~20]。

3.1 工作面监测预警技术

1) 微震监测。通过微震监测技术对31201工作面上覆基岩及22号煤层采空区的立体空间监测,监测采动影响下上覆基岩震动特征、预测震动发展趋势,判断上覆岩层运动规律,通过对震源定位和能量计算,分析上覆基岩及采空区活动规律,为工作面防治动压事故提供基础依据。现场利用KJ768微震监测系统,采用井下和地面联合监测方案。

2) 地面钻孔多点位移计观测。在22号煤层上覆基岩布设多点位移传感器,建立岩层内部观测站,以研究31201工作面采动影响下22号煤层顶板上覆岩层的下沉规律。从地面向岩层内部施工4个钻孔(图4),沿工作面推进方向间隔30 m在集中煤柱两侧布置,其中在集中煤柱上方布置3号测站、工作面侧布置1号和2号测站、大巷侧布置4号测站,在各钻孔内部不同深度上设置8个测点,测点深度分别为:34、44、61、66、68.4、71.5、75.4、78.4 m。

3) 地表下沉量观测。在隔离煤柱对应地表位置沿工作面倾向布置10条岩移观测线,每条测线布置5个观测点,通过对地表裂隙及下沉情况进行观

测分析,判断31201工作面推进过程中22号煤层及31号煤层顶板下沉破断情况。

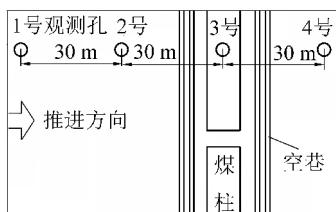


图4 地面钻孔多点位移观测孔布置

Fig. 4 Surface borehole multi-point displacement observation hole layout

3.2 集中煤柱井上(下)爆破技术

利用煤柱边界超前失稳对动载矿压的抑制效果,在集中煤柱对应井上位置打钻孔实施人工井上预爆破,或当工作面距离集中煤柱30 m左右时,沿工作面水平方向以仰角45°向顶板实施钻孔进行人工井下爆破,破坏集中煤柱的稳定性和集中煤柱上覆顶板的完整性,用以减弱煤柱边界的承载能力,并促使其在工作面临近出集中煤柱时能发生超前失稳,从而达到防治动载矿压灾害的目的。

3.3 监测结果分析

1) 微震监测结果分析。从爆破后微震事件分布的层位、范围来看,22号煤层顶板微震事件15个,31号煤层顶板微震事件27个,总能量 1.2×10^6 J;岩层能量集中释放区为工作面走向长约160 m、倾向长约110 m。结合微震事件结果分析,此次爆破诱发了31号煤层顶板和22号煤层采空区的煤柱受到破坏,进而导致22号煤层基本顶受到破坏,促使工作面前方煤体顶板、22号煤层采空区顶板提前破坏,避免了工作面过集中煤柱时发生动压现象的可能性。

2) 地面钻孔多点位移计观测结果分析。1号—3号钻孔的测点均在2014年3月29日有较大幅度下沉,下沉量最大的为1号钻孔,下沉量达3.175 m(图5)。

3) 地表下沉量观测结果分析。2014年3月29日集中煤柱上方超前工作面约200 m范围内地表有明显的下沉,最大下沉量达2.43 m,集中煤柱上方地表下沉曲线如图6所示。在工作面即将出集中煤柱期间,微震事件指标连续下降,超前工作面微震事件分布正常,即上覆岩层为正常破坏,与正常段超前工作面微震事件分布的特征相符。同时岩移观测结果也验证了22号煤层采空区和集中煤柱上方的顶

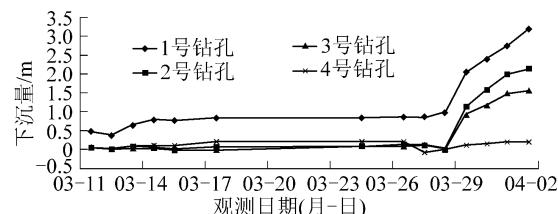


图5 地面钻孔多点位移计钻孔观测结果

Fig. 5 Results of Surface borehole multi-point displacement meter borehole observations

板已破坏,说明集中煤柱爆破措施效果较好。

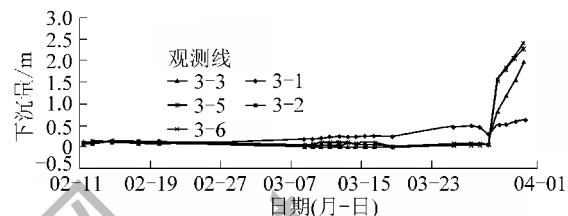


图6 集中煤柱上方地表下沉曲线

Fig. 6 Subsidence curves of surface above coal pillars

由于2014年3月28日提前对上覆集中煤柱采取爆破措施,工作面过上覆集中煤柱期间未发生动压事故。但在4月22日过上覆采空区和集中煤柱时,因未采取爆破措施,上覆集中煤柱提前失稳诱发22号煤层、31号煤层顶板基岩突然破断,导致工作面发生了动压,58—68、95—113号支架立柱下缩量超过1000 mm,剩余行程不足300 mm,支架立柱压强超过49 MPa,微震事件数超过85个,超过预警指标值46个的2倍;总能量达 3.7×10^6 J,远超预警值 1.22×10^6 J。

3.4 工作面动压防治技术应用

依据以上观测及分析结果,结合工作面周期来压强度与工作面长度成反比的规律,笔者将工作面动压防治技术在31202-1工作面进行应用,对工作面参数进行优化,缩短了工作面长度,将原367 m缩短至180 m,减小覆岩运动破坏范围和影响程度。通过缩短工作面长度,31202-1工作面在通过上覆房采采空区和集中煤柱时,工作面周期来压强度相对较低,立柱压强最大值为46 MPa,片帮深度400~1000 mm,安全阀最大开启率33%,支架立柱下缩不明显,微震监测事件的数量、能量都明显减小,动压微震数量、能量预警指标仅为31201工作面的64.5%、62.5%,工作面回采期间未发生动压事故。31202-1工作面与31201工作面过上覆采空区和集中煤柱期间(未采取爆破措施)周期来压强度对比结果见表1。通过对上覆集中煤柱实施井上(下)爆

破,集中煤柱上方的地表均能实现超前破坏,大幅降低了工作面过上覆采空区及集中煤柱期间的动载矿压强度,达到了预期效果。

表1 来压强度与工作面长度关系

Table 1 Relationship between pressure strength and length of working face

工作面名称	工作面长度/m	立柱最大压强/MPa	动载系数	安全阀开启率/%	立柱下缩量/mm
31201	311.4	80	1.87	42~65	800~1 500
31202-1	180.0	46	1.41	<33	<500

4 结 论

1) 神东矿区浅埋近距离综采工作面过上覆采空区及集中煤柱时,受回采扰动影响,采空区集中煤柱首先破坏失稳,引发采空区上覆基岩破断、回转,其失稳直接破坏了下煤层基岩关键块体的铰接结构,使其由平缓的回转失稳变为急剧的滑落失稳,上下基岩关键块体产生的冲击载荷叠加并短时间内作用于工作面导致了动压事故的发生。

2) 采取地面或井下爆破预裂集中煤柱,促使上下基岩层基本同步回转失稳,避免了急剧的滑转失稳和失稳产生的冲击载荷叠加作用;缩短工作面长度,减少采动对上覆岩层扰动范围,并辅以等压或快速推进等技术措施,顶板得到有效控制,未发生大的来压,避免了动压事故的发生。

3) 采用微震监测技术对上覆基岩和采空区运动情况实时监测分析,提前预测工作面前方矿压趋势,同时结合地面钻孔多点位移计和地表下沉量观测结果进行验证,为制定合理、经济的防治措施提供科学依据。

参考文献:

- [1] 石平五,侯忠杰.神府浅埋煤层顶板破断运动规律[J].西安矿业学院学报,1996,16(3):204~207.
Shi Pingwu,Hou Zhongjie. Coal seam roof breaking law of motion of shallow Shenshu [J]. Journal of Xi'an Institute of Mining and Technology,1996,16(3):204~207.
- [2] 黄庆享.浅埋煤层长壁开采顶板结构及岩层控制研究[M].徐州:中国矿业大学出版社,2000:50~72.
- [3] 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):1174~1178.
Huang Qingxiang. Shallow buried coal seam mining in shallow coal seam pressure characteristics and definition [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(8): 1174~1178.
- [4] 黄庆享,钱鸣高,石平五.浅埋煤层采场某本顶周期夹压给构分析[J].煤炭学报,1999,24(6):581~585.
Huang Qingxiang,Qian Minggao,Shi Pingwu. The top cycle analysis to the stope pressure clamp of the shallow buried coal seam [J]. Journal of China Coal Society,1999,24(6):581~585.
- [5] 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,2010:280~293.
- [6] 鞠金峰,许家林,朱卫兵.走向煤柱对近距离煤层大采高综采工作面矿压影响[J].煤炭科学技术,2009,37(2):17~21.
Ju Jinfeng,Xu Jialin,Zhu Weibing. Strike coal pillar affected to strata pressure of fully mechanized longwall mining face with high cutting height in closed distance seam [J]. Coal Science and Technology, 2009, 37(2): 17~21.
- [7] 朱卫兵.浅埋近距离煤层重复采动关键层结构失稳机理研究[D].徐州:中国矿业大学,2010:3~11.
Zhu Weibing. Shallow buried closed distance seam repeated mining instability of key stratum in mechanism research [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2010: 3~11.
- [8] 鞠金峰,许家林,朱卫兵,等.近距离煤层采场过上覆T形煤柱矿压显现规律[J].煤炭科学技术,2010,38(10):5~8.
Ju Jinfeng,Xu Jialin,Zhu Weibing,et al. Strata behavior law of coal mining face with short distance to above seam passing through upper seam T-crossing coal pillar [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(10): 5~8.
- [9] 解兴智.浅埋煤层房柱式采空区下长壁开采矿压显现特征[J].煤炭学报,2012,37(6):898~902.
Xie Xingzhi. Shallow coal pillar under goaf ground pressure characteristics of long wall mining [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(6): 898~902.
- [10] 王路军,许家林,朱卫兵,等.浅埋深极近距离煤层工作面矿压显现规律研究[J].煤炭科学技术,2013,41(3):47~50.
Wang Lujun,Xu Jialin,Zhu weibing,et al. Study on mine strata pressure behavior law of coal mining face in ultra contiguous seam with shallow depth [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(3): 47~50.
- [11] 陈苏社.综采工作面过上层煤集中煤柱动载矿压控制技术[J].煤炭科学技术,2014,42(6):140~143.
Chen Sushe. Dynamic mine strata pressure control technology of fully-mechanized coal mining face passing through concentrated coal pillars in above seam [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(6): 140~143.
- [12] 曹安业,窦林名,秦玉红,等.微震监测冲击矿压技术成果及其展望[J].煤矿开采,2007,12(1):20~23.
Cao Anye,Dou Linming,Qin Yuhong,et al. Pressing technology and Prospect of microseismic monitoring rock burst [J]. Coal Mining Technology, 2007, 12(1): 20~23.
- [13] 肖剑儒,李少刚,张彬,等.浅埋深煤层房采区下综采工作面动压控制技术[J].煤炭科学技术,2014,42(10):20~23.
Xiao Jianru,Li Shaogang,Zhang Bin,et al. Control technology of dynamic mine strata pressure of fully-mechanized coal mining face under gob left by room and pillar mining of shallow depth seam [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(10): 20~23.

(下转第40页)

- Jia mingkui. roof caving accidents and hidden danger prediction of coal roadway supported by anchors [D]. Beijing: China University of mining & Technology(Beijing) 2004.
- [9] 于学馥, 郑颖人, 刘怀恒. 地下工程围岩稳定分析 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1983.
- [10] 谷德振. 岩体工程地质力学基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1983: 22–23.
- [11] 陈耕汉, 丁帮祥. 煤巷锚杆支护巷道冒顶原因分析 [J]. 江苏煤炭, 2003(3): 8–9.
Chen Genghan, Ding Bangxiang. Analysis on roadway roof fall reasons of coal roadway supported by anchors [J]. Jiangsu Coal, 2003(3): 8–9.
- [12] 赵结君, 刘召辉, 尚建岗. 影响煤矿顶板事故的地质因素 [J]. 矿业快报, 2002(5): 12–15.
Zhao Jiejun, Liu Zhaohui, Shang Jianguang. Geological factors affecting roof accidents in coal mine [J]. Express Information of Mining Industry, 2002(5): 12–15.
- [13] 马念杰, 李季, 赵志强. 圆形巷道围岩偏应力场及塑性区分布规律研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2015, 44(2): 206–213.
Ma Nianjie, Li Ji, Zhao Zhiqiang. Distribution of the deviatoric stress field and plastic zone in circular roadway surrounding rock [J]. Journal of China University of mining & Technology, 2015, 44(2): 206–213.
- [14] 马念杰, 李季, 赵希栋, 等. 深部煤与瓦斯共采中的优质瓦斯通道及其构建方法 [J]. 煤炭学报, 2015, 40(4): 742–748.
Ma Nianjie, Li Ji, Zhao Xidong, et al. High quality gas channel and its construction method of simultaneous extracting of deep coal and methane [J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(4): 742–748.
- [15] 刘洪涛, 王飞, 王广辉, 等. 大变形巷道顶板可接长锚杆支护系统性能研究 [J]. 煤炭学报, 2014, 39(4): 600–607.
Liu Hongtao, Wang Fei, Wang Guanghui, et al. Research on lengthening bolt roof support system performance in largely deformed roadway [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(4): 600–607.
- [16] 刘洪涛, 王飞, 蒋力帅, 等. 顶板可接长锚杆耦合支护系统性能研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2014, 31(3): 366–372.
Liu Hongtao, Wang Fei, Jiang Lishuai, et al. On the performance of lengthened bolt coupling support system in road roof [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2014, 31(3): 366–372.
- [17] 马念杰, 赵志强, 冯吉成. 困难条件下巷道对接长锚杆支护技术 [J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(9): 117–121.
Ma Nianjie, Zhao Zhiqiang, Feng Jicheng. Technology of bolt on roadway supporting in difficult conditions [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 117–121.
- [18] 冯吉成, 马念杰, 蔡猛, 等. 对接长锚杆在深井大采高窄煤柱巷道支护中的应用 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(8): 22–25.
Feng Jicheng, Ma Nianjie, Cai Meng, et al. Application of connected long bolt support in high cutting and narrow coal pillar gateway of deep mine [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(8): 22–25.
- [19] 李季, 冯吉成, 张胜凯, 等. 软岩巷道长短锚杆协调支护技术研究 [J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(3): 17–21.
Li Ji, Feng Jicheng, Zhang Shengkai, et al. Study on long and short bolt coordinate support technology of mine soft rock roadway [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(3): 17–21.
-
- [18] 许家林, 朱卫兵, 鞠金峰. 浅埋煤层开采压架类型 [J]. 煤炭学报, 2014, 39(8): 1625–1634.
Xu Jialin, Zhu Weibing, Ju Jinfeng. Support crushing types in the longwall mining of shallow seams [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(8): 1625–1634.
- [19] 欧阳振华, 齐庆新, 孔令海, 等. 浅埋深薄基岩煤层顶板破断中的微震分布特征 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(11): 28–31.
Ouyang Zhenhua, Qi Qingxin, Kong Linghai, et al. Distribution features of microseisms occurred in roof breaking of seam with thin base rock and shallow depth [J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(11): 28–31.
- [20] 李浩荡. 浅埋深工作面冲击地压切顶卸压效果监测分析 [J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2013, 32(3): 36–38.
Li Haodang. Analysis and study on stress-relaxed effects monitoring with roof cut to prevent rock burst in working face with shallow depth seam [J]. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science, 2013, 32(3): 36–38.
- [21] 张玉亮, 徐元强, 李俊, 等. 华亭煤矿冲击地压监测及防治技术 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(9): 20–23.
Zhang Yuliang, Xu Yuanqiang, Li Jun, et al. Monitoring and measuring of mine pressure bumping and prevention and control technology in Huating Mine [J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(9): 20–23.

(上接第13页)

- [14] 伊茂森. 神东矿区浅埋煤层大采高综采工作面长度的选择 [J]. 煤炭学报, 2007, 32(12): 1253–1257.
Yi Maosen. Shallow buried coal seam in Shendong Mining Area with large mining height fully mechanized working face length selection [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(12): 1253–1257.
- [15] 吕梦蛟. 神东矿区长壁采场矿压显现规律与支架选型 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(11): 48–52.
Lyu Mengjiao. Strata pressure behavior law and powered support selection of longwall coal mining face of Shendong Mining Area [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(11): 48–52.
- [16] 孙广义, 柏兴明, 李兴伟. 不等长工作面矿压规律研究 [J]. 煤矿安全, 2013, 44(3): 47–50.
Sun Guangyi, Bai xingming, Li Xingwei. Study on the regularity of mine pressure of unequal length [J]. Safety in Coal Mines, 2013, 44(3): 47–50.
- [17] 周海丰. 综采工作面上覆集中煤柱压架机理分析 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(7): 120–123.
Zhou Haifeng. Analysis on hydraulic support crushed mechanism when fully-mechanized coal mining face passed through concentrated coal pillar area in above seam [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(7): 120–123.