

文章编号:1671-251X(2020)04-0098-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17532

屯宝煤矿逆断层破碎带巷道变形控制研究

刘明, 曹民远, 吴玉海, 李波

(神华新疆能源有限责任公司 屯宝煤矿, 新疆 昌吉 831114)



扫码移动阅读

摘要:针对屯宝煤矿逆断层破碎带煤柱侧巷道受采动影响造成的巷道变形量大、巷道底鼓、煤柱侧帮鼓、巷道顶板局部下沉等问题,采用锚杆测力计对锚杆应力进行监测,采用PASAT-M应力探测方法对逆断层煤柱侧巷道应力分布和巷道变形规律进行了研究。研究表明:胶带巷煤柱侧锚杆应力峰值出现在超前工作面10~15 m,轨道巷上帮锚杆应力峰值出现在超前工作面5~10 m;巷道不同位置的锚杆应力、围岩应力及巷道变形量均受 T_2 逆断层影响,应力和变形量集中分布在逆断层附近;距离逆断层25 m内围岩应力中等危险区分布相对集中。根据研究结果,提出了巷道补强支护和大孔径卸压综合治理措施,工程实践结果表明,该措施为围岩提供了稳定的支护力,适用于屯宝煤矿逆断层影响区域围岩变形的防治。

关键词:综放工作面;围岩控制;逆断层破碎带;预留煤柱侧巷道变形;锚杆应力;补强支护
中图分类号:TD712 文献标志码:A

Research on deformation control of roadway in reverse fault fracture zone of Tunbao Coal Mine

LIU Ming, CAO Minyuan, WU Yuhai, LI Bo

(Tunbao Coal Mine, Shenhua Xinjiang Energy Co., Ltd., Changji 831114, China)

Abstract: In reverse fault fracture zone of Tunbao Coal Mine, the coal pillar side roadway is affected by mining, which leads to large roadway deformation, roadway floor heave, coal pillar side wall heave, and local subsidence of roadway roof. Anchor stress was monitored by anchor dynamometer, and roadway stress distribution and roadway deformation were studied by means of PASAT-M detection. The results show that the peak value of anchor stress on coal pillar side of belt roadway appears at 10-15 m of the leading working face and the one of anchor stress on upper side of track roadway appears at 5-10 m of the leading working face. The anchor stress, surrounding rock stress and roadway deformation at different positions are all affected by T_2 reverse fault, and the stress and deformation are distributed near the reverse fault. The medium risk area of surrounding rock stress is relatively concentrated within 25 m from the reverse fault. According to the research results, a comprehensive control measure of roadway reinforcement and large pore pressure relief was proposed. The results of engineering practice show that the measure provides a stable supporting force for surrounding rock and can apply to preventing and controlling surrounding rock deformation in the area affected by the reverse fault of Tunbao Coal Mine.

Key words: fully mechanized caving face; surrounding rock control; reverse fault fracture zone; reserved pillar side roadway deformation; anchor stress; reinforcement support

收稿日期:2019-11-29;修回日期:2020-03-05;责任编辑:李明,郑海霞。
作者简介:刘明(1973—),男,新疆乌鲁木齐人,工程师,主要从事一通三防和顶板管控研究工作,E-mail:819045811@qq.com。
引用格式:刘明,曹民远,吴玉海,等.屯宝煤矿逆断层破碎带巷道变形控制研究[J].工矿自动化,2020,46(4):98-103.
LIU Ming, CAO Minyuan, WU Yuhai, et al. Research on deformation control of roadway in reverse fault fracture zone of Tunbao Coal Mine[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(4): 98-103.

0 引言

随着浅部煤炭资源逐渐减少,地下开采深度越来越大,面临高应力、大变形等严峻问题^[1-2]。断层地质构造及工作面采动应力是我国煤矿井工开采巷道围岩失稳的主要影响因素^[3]。在煤层开采过程中,采掘活动对断层造成扰动,容易诱发断层活化,从而引起断层附近地压增大、围岩破碎,对巷道稳定性和井下施工安全造成严重影响,并有可能引发冲击地压、煤与瓦斯突出等煤岩动力灾害,制约着煤矿安全高效生产^[4-5]。国内外学者对断层影响及巷道变形控制开展了较为深入的研究,提出了相应的应力测试及巷道支护技术^[6-9]。通过查阅文献,发现目前对逆断层应力分布和断层带巷道控制技术的研究主要集中在金属矿山或石油开采领域^[10-11],煤炭领域相关研究较少,特别是综放工作面预留煤柱侧巷道变形控制相关研究更少。

本文以神华新疆能源有限责任公司屯宝煤矿 1193 综放工作面煤柱侧巷道为工程背景,对该工作面煤柱侧巷道变形控制进行了研究。首先采用锚杆测力计对逆断层破碎带巷道受力进行观测分析;然后采用地震层析成像技术对探测区域内煤岩的波速分布情况进行 CT 成像,分析逆断层附近的应力分布规律;最后基于测试结果提出逆断层破碎带巷道变形控制措施。研究结果有利于提高屯宝煤矿逆断层影响区域围岩变形的防治效果。

1 工程背景

1.1 矿井概况

电宝煤矿位于淮南煤田硫磺沟煤矿区西部,井田含煤地层为中侏罗统西山窑组,可采煤层(组)由上而下依次为 M_{4-5} , M_7 , M_{9-10} , M_{14-15} 4 组煤层,煤层倾角为 $15 \sim 25^\circ$ 。1193 综放工作面主要开采 M_{9-10} 煤层,煤层平均厚度为 9.3 m;组合煤层中间含 3 层夹矸,夹矸平均厚度为 0.88 m,自东向西逐渐变厚,岩性为粉砂岩和炭质泥岩,岩性平均普氏系数为 3。井下共划分 2 个开采水平,一水平标高为 +850 m,二水平标高为 +600 m。采用走向长壁综采放顶煤方法,一水平采区工作面采用上行开采,二水平采区工作面采用下行开采,采用自然垮落法管理顶板。

井田回采范围内地质构造复杂,以逆断层为主。逆断层破碎带影响范围内巷道煤岩层松散、破碎,巷道围岩应力集中,巷道底鼓、煤柱侧帮鼓、巷道顶板局部下沉现象时有发生,特别是逆断层附近区域巷道变形明显,1193综放工作面煤柱侧巷道逆断层

300 m 范围内两帮变形量超过 1 m, 底鼓达 0.5 m, 对工作面作业人员及设备构成严重威胁。

1.2 工作面概况

1193 综放工作面斜长 132 m,走向长 1 267 m,采高 2.8 m,放煤厚度为 5.75 m,工作面倾角平均为 17°。如图 1 所示,工作面布置 2 条巷道:上部为轨道辅助运输巷(简称轨道巷),兼具回风功能;下部为带式输送机巷(简称胶带巷),兼具进风功能。沿开切巷倾斜方向,下部为正在回采的 1192 综放工作面,两工作面由 40 m 预留煤柱分开,上部为未开采实体煤层;沿煤层分布的垂直方向,工作面上方为已回采完毕的 1454 工作面(回采 M_{4-5} 组合煤层),下部的 M_{14-15} 煤层未开采。

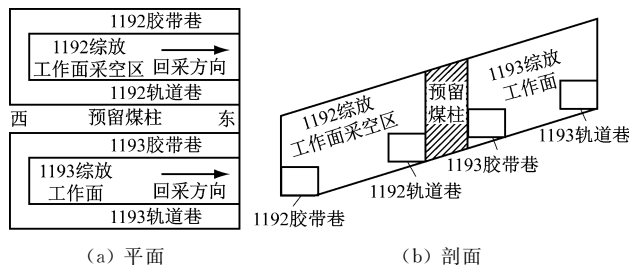


图 1 1193 综放工作面分布

Fig. 1 Distribution of 1193 fully mechanized caving face

根据矿井地质资料,1193 综放工作面预留煤柱侧巷道(胶带巷)揭露 T_1, T_2 2 条逆断层,贯穿整个工作面煤层。逆断层参数见表 1。受综放工作面采动影响,胶带巷煤壁变形较明显,出现较大的帮鼓和顶板下沉现象,回采过程中需进行加固。

表 1 1193 综放工作面逆断层参数

Table 1 Reverse fault parameters in 1193 fully mechanized caving face

断层名称	走向距离/m	走向角度/(°)	倾向角度/(°)	倾角/(°)	落差/m
T ₁	625	272	182	64	2.9
T ₂	1 000	323	53	84	1.9

2 逆断层破碎带巷道受力观测分析

使用锚杆测力计对锚杆应力进行监测^[12],间接得出围岩受力变化。具体布置如图 2 所示:1193 综放工作面回采前分别在轨道巷和胶带巷 T₂ 逆断层位置及前后 30 m 处各安装 1 组锚杆测力计(位于顶板和两帮锚杆上),设为 970,1 000,1 030 m 测点。

2.1 不同巷道煤柱锚杆应力分析

1193 综放工作面轨道巷上帮(实体煤侧)和胶带巷煤柱侧各测点锚杆应力变化如图 3 所示。可看出轨道巷上帮和胶带巷煤柱侧锚杆应力变化趋势相

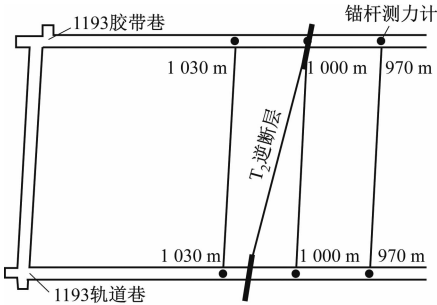


图 2 锚杆测力计布置

Fig. 2 Distribution of anchor dynamometer

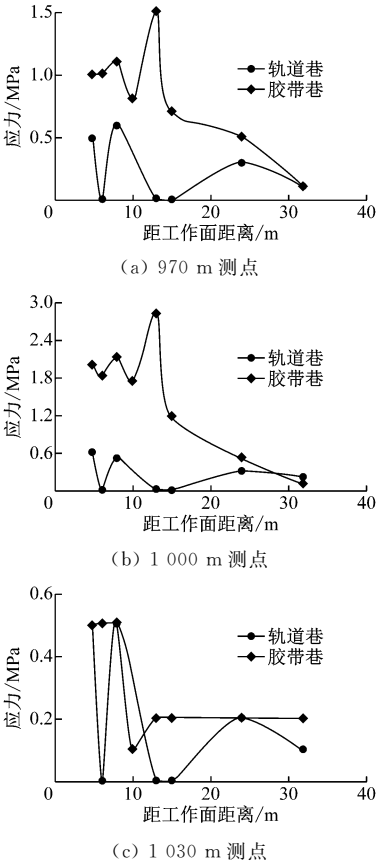


图 3 轨道巷上帮和胶带巷煤柱侧各测点锚杆应力变化曲线
Fig. 3 Anchor stress change curves of each measuring point on the upper side of track roadway and coal pillar side of belt roadway

似,距离工作面越远,锚杆应力越小;胶带巷煤柱侧锚杆应力峰值超前轨道巷上帮,胶带巷煤柱侧锚杆应力峰值出现在超前工作面 10~15 m,轨道巷上帮锚杆应力峰值出现在超前工作面 5~10 m。受 T_2 逆断层影响,逆断层前后锚杆应力出现较大差异。

2.2 巷道不同位置锚杆应力分析

1193 胶带巷各测点锚杆应力变化曲线如图 4 所示。受下部采空区影响,煤柱侧锚杆应力集中程度明显高于煤壁及顶板侧;随着距工作面距离减小,巷道不同位置的锚杆应力变化基本相同,锚杆应力出现增长,当达到峰值后下降,但煤柱侧的峰值明显高于其他位置。巷道不同位置锚杆应力均受到 T_2

逆断层影响,断层前后不同走向位置锚杆应力存在较明显差异,整体而言,逆断层附近锚杆应力最大,远离逆断层后,锚杆应力降低。

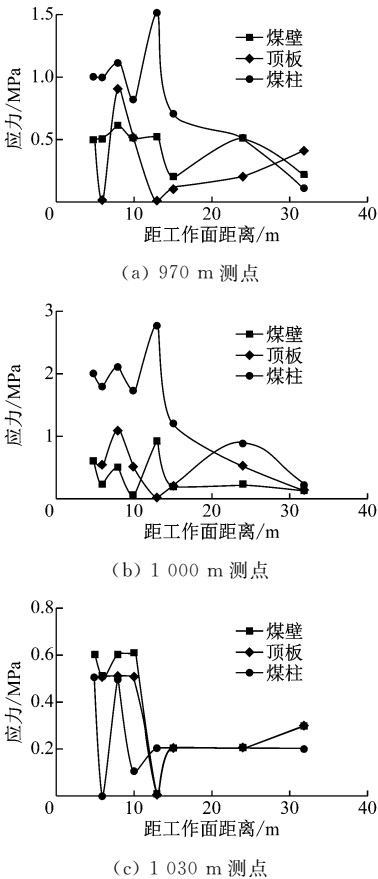


图 4 胶带巷各测点锚杆应力变化曲线
Fig. 4 Anchor stress change curves of each measuring point of belt roadway

3 煤柱侧应力分布规律研究

3.1 静荷载作用下 PASAT-M 应力探测

PASAT-M 应力探测是通过地震层析成像技术对探测区域内煤岩的波速分布情况进行 CT 成像,然后利用应力与地震波波速的良好对应关系确定煤岩应力的分布情况,进而分析其冲击危险性^[13-14]。PASAT-M 应力探测技术对静荷载作用下的煤岩体应力探测具有较好的应用效果^[15]。因此,在 1193 综放工作面回采前,分别将轨道巷、胶带巷作为接收端和激发端进行 PASAT-M 应力探测,探测走向范围覆盖整个 T_2 逆断层,探测结果如图 5 所示。可看出静荷载作用下,围岩应力受 T_2 逆断层影响明显,距离逆断层 25 m 范围内应力中等危险区分布相对集中;巷道走向方向,胶带巷煤柱侧应力中等危险区数量较轨道巷煤柱侧多,范围较轨道巷煤柱侧大,受 T_2 逆断层分布影响,走向范围逆断层不同断面的应力分布不同,巷道东侧应力中等危险区较宽。

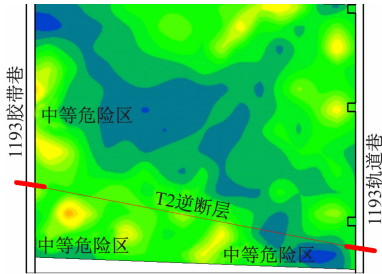


图5 PASAT-M探测应力分布

Fig. 5 Stress distribution of PASAT-M detection

3.2 采动作用下煤柱侧巷道变形观测

为了掌握逆断层破碎带煤柱侧巷道围岩变形与移动的基本规律,在巷道内利用“十字布点法”布置表面位移监测站,如图6所示。工作面回采至T₂逆断层65 m位置时,分别在距离工作面50 m(第1组测点)、65 m(第2组测点)、80 m(第3组测点)处设置3个测点,监测煤柱侧巷道帮部与巷道中心线的变形量。

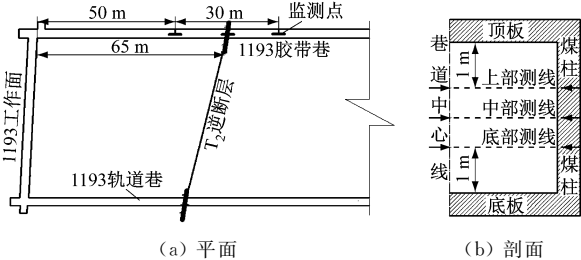


图6 巷道变形测点布置

Fig. 6 Observation points arrangement of roadway deformation

1193 胶带巷煤柱侧不同位置的变形量如图7所示。巷道变形量受采动影响较大,距工作面越近,巷道两帮变形越严重,帮鼓量均大于0.2 m,最大帮鼓量达1.07 m。此外,逆断层两侧巷道变形程度不同,逆断层东侧变形量大于西侧,变形量最大位置集中在逆断层位置,表明该区域为巷道加强支护的关键位置。

4 逆断层破碎带巷道变形控制工程实践

4.1 巷道变形控制工程实践

(1) 巷道补强支护。为了提高逆断层破碎带巷道支护强度,采用组合拱理论和围岩大变形的协调支护原则^[16]对支护参数进行计算分析,确定了1193胶带巷锚杆、锚索支护参数,见表2。对距离T₁逆断层石门侧走向30 m煤柱侧巷帮进行了2排锚索梁补强支护,锚索为14号槽钢,槽钢长度为4.5 m,采用“一梁两索”布置,锚索距离槽钢端部0.5 m,锚索直径为20 mm;锚索长度为4.0 m。为提高煤柱侧巷帮的支护强度,避免因2排槽钢错位造成的局部补强支护盲区,锚索梁采取错位迈步式设计,2根

锚索梁间隙为0.5 m,上排锚索梁距巷道顶部1 m,下排锚索梁距巷道底板1 m,如图8所示。

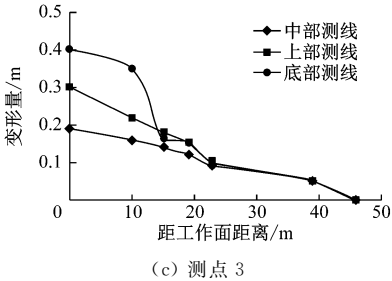
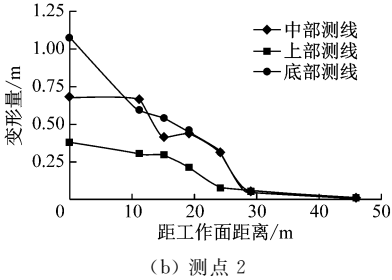
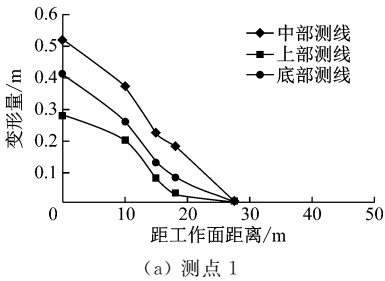


图7 煤柱侧巷道变形量曲线

Fig. 7 Deformation curve of coal pillar side roadway

表2 优化的巷道支护参数

Table 2 Optimized roadway support parameters			
支护方式	直径/mm	长度/mm	间排距/(mm×mm)
锚杆	22	3 000	800×800
锚索	20	4 000	2 400×2 400

(2) 煤柱侧大孔径煤体卸压。根据文献^[17],煤体施工大孔径卸压孔可有效降低煤岩体弹性能,减小煤岩体应力集中程度。钻孔参数参考部分同类矿井资料^[18],将预留煤柱侧大孔径卸压孔塑性区半径设为0.5 m,在巷道中部垂直巷帮向1192综放工作面采空区侧施工钻孔,钻孔间距1 m,孔径133 mm,孔长9 m,施工范围为T₁逆断层东西两侧各30 m,如图9所示。

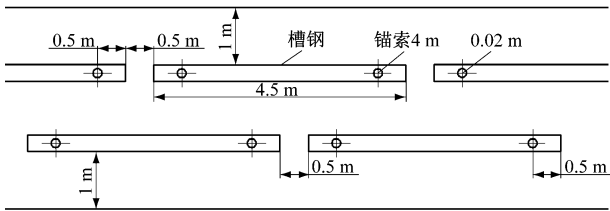


图8 煤柱侧巷帮锚索梁设计

Fig. 8 Design of anchor cable beam at coal pillar side roadway

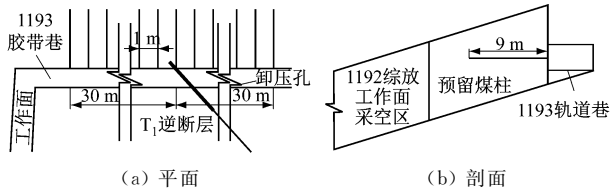


图 9 煤体卸压孔布置

Fig. 9 Distribution of coal pressure relief hole

4.2 工程效果验证

为了检验逆断层破碎带煤柱侧巷道变形控制措施的有效性,对采取措施后的 T_1 逆断层附近煤柱侧巷道表面进行了变形量监测。工作面回采至 T_1 逆断层 65 m 位置时,在胶带巷下帮 T_1 逆断层及逆断层两侧各 20 m 范围内每隔 10 m 布置 1 个断面监测站,共布置 5 个,监测站设置在煤柱侧巷帮中部位置,通过测量巷帮与巷道中心线之间的变形量,来验证控制措施的有效性。

1—5 号监测站监测结果如图 10 所示。 T_1 逆断层煤柱侧巷道帮鼓量小于 0.17 m,与图 7 中 T_2 逆断层煤柱侧巷道最大帮鼓量 1.07 m 相比有较大幅度的降低,且逆断层两侧巷道变形量基本相同。监测结果表明 1193 胶带巷变形控制措施为围岩提供了稳定的支护力,适用于屯宝煤矿逆断层影响区域围岩变形的防治。

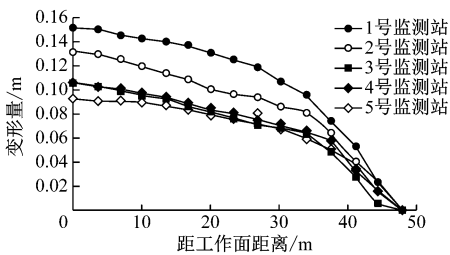


图 10 1—5 号监测站监测结果

Fig. 10 Monitoring results of 1-5 monitoring stations

5 结论

(1) 屯宝煤矿 T_2 逆断层破碎带巷道中煤柱侧巷道锚杆应力最大,胶带巷煤柱侧锚杆应力峰值出现在超前工作面 10~15 m,轨道巷上帮锚杆应力峰值出现在超前工作面 5~10 m。

(2) 巷道不同位置的锚杆应力、围岩应力及巷道帮鼓量均受 T_2 逆断层影响,应力和变形量集中在逆断层附近,东侧应力、变形量较大。

(3) 距离逆断层 25 m 内围岩应力中等危险区分布相对集中。在巷道走向方向,胶带巷煤柱侧应力中等危险区数量较多、范围较大。

(4) 对 T_1 逆断层煤柱侧巷帮采取补强支护和大孔径卸压综合措施,为围岩提供了稳定的支护力,适用于屯宝煤矿逆断层影响区域围岩变形的防治。

参考文献(References):

- [1] 谢和平. 深部岩体力学与开采理论研究进展[J]. 煤炭学报, 2019, 44(5): 1283-1305.
XIE Heping. Research review of the state key research development program of China: deep rock mechanics and mining theory[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(5): 1283-1305.
- [2] 陈登红, 华心祝. 多因素影响下深部回采巷道围岩变形规律与控制对策研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2017, 34(4): 760-768.
CHEN Denghong, HUA Xinzhu. The deformation law of the surrounding rock in deep mining roadways under the influence of multi-factors and the control countermeasures[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2017, 34(4): 760-768.
- [3] 吕进国, 王涛, 丁维波, 等. 深部开采逆断层对冲击地压的诱导机制[J]. 煤炭学报, 2018, 43(2): 405-416.
LYU Jinguo, WANG Tao, DING Weibo, et al. Induction mechanisms of coal bumps caused by thrust faults during deep mining[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(2): 405-416.
- [4] 李长洪, 卜磊, 魏晓明, 等. 深部开采安全机理及灾害防控现状与态势分析[J]. 工程科学学报, 2017, 39(8): 1129-1140.
LI Changhong, BU Lei, WEI Xiaoming, et al. Current status and future trends of deep mining safety mechanism and disaster prevention and control[J]. Chinese Journal of Engineering, 2017, 39(8): 1129-1140.
- [5] 邱黎明, 李忠辉, 王恩元, 等. 煤与瓦斯突出远程智能监测预警系统研究[J]. 工矿自动化, 2018, 44(1): 17-21.
QIU Liming, LI Zhonghui, WANG Enyuan, et al. Research on remote intelligent monitoring and early warning system for coal and gas outburst[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(1): 17-21.
- [6] 宋卫华, 史苗壮, 赵春阳, 等. 大断面矩形巷道采动条件下过断层组破碎带研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(10): 117-124.
SONG Weihua, SHI Miaozhuang, ZHAO Chunyang, et al. Study on fracture zone of cross fault group in large section rectangular roadway under mining conditions[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(10): 117-124.
- [7] 王军, 胡存川, 左建平, 等. 断层破碎带巷道底臌作用机理与控制技术[J]. 煤炭学报, 2019, 44(2): 397-408.
WANG Jun, HU Cunchuan, ZUO Jianping, et al.

- Mechanism of roadway floor heave and control technology in fault fracture zone[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(2): 397-408.
- [8] 周波, 袁亮, 薛生, 等. 断层带破碎煤巷围岩锚注预强化技术[J]. 采矿与安全工程学报, 2018, 35(3): 509-516.
- ZHOU Bo, YUAN Liang, XUE Sheng, et al. Pre-strengthening technology of bolt-grouting in broken coal roadway in fault zone[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2018, 35(3): 509-516.
- [9] 谭小刚, 王俊超. 复杂围岩受损动压巷道修复技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(增刊1): 64-67.
- TAN Xiaogang, WANG Junchao. Study on repair technology of large section and dynamic mining pressure roadway in complex surrounding rock condition[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(S1): 64-67.
- [10] 饶运章, 徐灵彬. 某铜矿逆断层对围岩稳定性影响数值分析[J]. 有色金属科学与工程, 2012, 3(6): 55-60.
- RAO Yunzhang, XU Lingbin. Copper mine numerical simulation study of the impact of reverse fault on the surrounding rock stability[J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2012, 3(6): 55-60.
- [11] 姜素华, 宋传会, 李三忠, 等. 吐哈盆地哈密坳陷逆断层活动性及演化[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2013, 37(4): 1-6.
- JIANG Suhua, SONG Chuanhui, LI Sanzhong, et al. Activities and evolution of thrust faults in Hami depression, Tu-Ha Basin [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2013, 37(4): 1-6.
- [12] 来兴平, 郑建伟, 蒋新军, 等. 断层破碎区域煤岩体动压影响范围确定[J]. 采矿与安全工程学报, 2016, 33(2): 361-366.
- LAI Xingping, ZHENG Jianwei, JIANG Xinjun, et al. Influential range assessment of dynamic pressure in fault zone with broken rock masses [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2016, 33(2): 361-366.
- [13] 潘俊锋, 王书文, 刘少虹, 等. 基于集中静载荷探测的冲击地压危险性预评价[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(7): 1227-1234.
- PAN Junfeng, WANG Shuwen, LIU Shaohong, et al. Pre-evaluation of burst hazards based on concentrated static load detection[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(7): 1227-1234.
- [14] 巩思园, 窦林名, 徐晓菊, 等. 冲击倾向煤岩纵波波速与应力关系试验研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(1): 67-71.
- GONG Siyuan, DOU Linming, XU Xiaoju, et al. Experimental study on the correlation between stress and P-wave velocity for burst tendency coal-rock samples[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(1): 67-71.
- [15] 梁德. PASAT-M 煤体 CT 扫描技术在南山矿冲击危险评价中的应用[J]. 煤炭工程, 2017, 49(8): 99-102.
- LIANG De. Application of PASAT-M CT scanning in rock burst risk evaluation of Nanshan Coal Mine[J]. Coal Engineering, 2017, 49(8): 99-102.
- [16] 王卫军, 袁超, 余伟健, 等. 深部高应力巷道围岩预留变形控制技术[J]. 煤炭学报, 2016, 41(9): 2156-2164.
- WANG Weijun, YUAN Chao, YU Weijian, et al. Control technology of reserved surrounding rock deformation in deep roadway under high stress[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(9): 2156-2164.
- [17] 杜涛涛, 杨永, 杨磊, 等. 掘进巷道冲击危险区探测及卸压工程实践[J]. 煤矿开采, 2017, 22(4): 79-82.
- DU Taotao, YANG Yong, YANG Lei, et al. Practice of unloading engineering and rockburst hazard zone exploration of tunneling roadway [J]. Coal Mining Technology, 2017, 22(4): 79-82.
- [18] 贾传洋, 韩宇超, 王海龙, 等. 钻孔卸压参数研究及应用[J]. 煤矿开采, 2018, 23(1): 65-68.
- JIA Chuanyang, HAN Yuchao, WANG Hailong, et al. Studying and application of drilling hole loading relief parameters[J]. Coal Mining Technology, 2018, 23(1): 65-68.