

孙广京, 朱斯陶, 姜福兴, 等. 深井特厚煤层工作面强烈动压区安全开采技术[J]. 煤炭学报, 2015, 40(S1): 12-18. doi: 10.13225/j.cnki.jccs.2014.0254

Sun Guangjing, Zhu Sitao, Jiang Fuxing, et al. Safe mining technology at strong dynamic pressure area in deep extra-thick coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(S1): 12-18. doi: 10.13225/j.cnki.jccs.2014.0254

深井特厚煤层工作面强烈动压区安全开采技术

孙广京¹, 朱斯陶², 姜福兴², 史先锋², 谭文峰¹, 赵荣学¹

(1. 山东新巨龙能源有限责任公司, 山东 菏泽 274918; 2. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083)

摘要: 为保障深井特厚煤层工作面在强烈动压区的安全开采, 以新巨龙矿井 2302S 工作面为背景, 通过现场监测、数值模拟和理论分析, 研究了深井特厚煤层工作面强烈动压区的致灾机理与安全开采技术。研究表明: 应力监测得到的强烈动压区内冲击地压危险区超前影响距离约为 117 m, 峰值影响距离约为 48 m, 压架危险区超前影响距离约为 26 m, 并采用数值模拟进行了验证; 工作面过强烈动压区时存在煤柱冲击和采场压架两类动力灾害, 诱发煤柱型冲击地压的机理主要在于工作面开采引起煤柱应力高度集中; 诱发采场压架的主要机理在于支架控顶距的突变导致支架载荷异常; 根据强烈动压区致灾机理提出了相应的安全开采技术, 并进行了现场验证, 保障了工作面的安全开采。

关键词: 深井; 特厚煤层; 强烈动压区; 安全开采

中图分类号: TD324

文献标志码: A

文章编号: 0253-9993(2015)S1-0012-07

Safe mining technology at strong dynamic pressure area in deep extra-thick coal seam

SUN Guang-jing¹, ZHU Si-tao², JIANG Fu-xing², SHI Xian-feng², TAN Wen-feng¹, ZHAO Rong-xue¹

(1. Shandong Xinjulong Energy Limited Liability Company, Heze 274918, China; 2. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to enable the safe mining of extra-thick coal seam at a strong dynamic pressure area in deep mine, taking the working face 2302S in Xinjulong Mine as a case, by field monitoring, numerical simulation and theoretical analysis, this study investigated the disaster-causing mechanism and safe mining technology at strong dynamic pressure area in extra-thick coal seam of deep mine. The results show that, in strong dynamic pressure area, the stress monitoring indicated a coal burst risk area influence range is 117 m, the peak of influence range is 48 m, the support crushing risk area is 26 m. The results were verified by numerical simulation. The coal pillar rock burst and support crushing co-exist when coal face goes through a strong dynamic pressure area. The mechanism of coal pillar rock burst is that the working face mining results in a high stress concentration in coal pillars, and the mechanism of support crushing is that the roof control distance mutation results in support load anomaly. The corresponding safe mining technologies were put forward based on the strong dynamic pressure area disaster-causing mechanisms, which were verified in the field to enable a coal face safe mining.

Key words: deep shaft; extra-thick coal seam; strong dynamic pressure area; safety mining

收稿日期: 2014-03-06 责任编辑: 常琛

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2010CB226803); 国家自然科学基金资助项目(51174016, 51274022)

作者简介: 孙广京(1971—), 男, 山东广饶人, 高级工程师, 硕士。E-mail: xwsgj-711030@163.com。通讯作者: 朱斯陶(1990—), 男, 湖北荆州人, 博士研究生。E-mail: zhositao123@163.com

随着煤矿开采深度和强度的不断增加,工作面开采过程中频繁受强烈动压影响,给矿井的安全生产带来了重大隐患^[1-2]。近年来,在山东巨野、兖州等矿区先后发生近 10 起强烈动压诱发的冲击地压和采场压架事故(图 1)。因此,研究特厚煤层工作面强烈动压区安全开采技术,对该类采场顶板运动灾害控制具有十分重要的意义。本文所指的强烈动压,是指同时存在冲击地压和压死支架的动压,而工作面向联络巷推进过程中容易诱发强烈动压。



图 1 强烈动压事故现场照片

Fig. 1 The strong dynamic pressure accident scene photos

由于联络巷将工作面煤层切割形成煤柱,当工作面向联络巷推进时(图 2(a)),两者间的煤柱宽度逐渐减小,煤柱上的应力集中程度不断增加,容易诱发冲击地压、采场支架动压和联络巷风暴;而当工作面接近联络巷时,煤柱已非常破碎几乎无承载能力,此时工作面支架控顶距由 L_K 突变至 $(L_K + a + b)$ (图 2

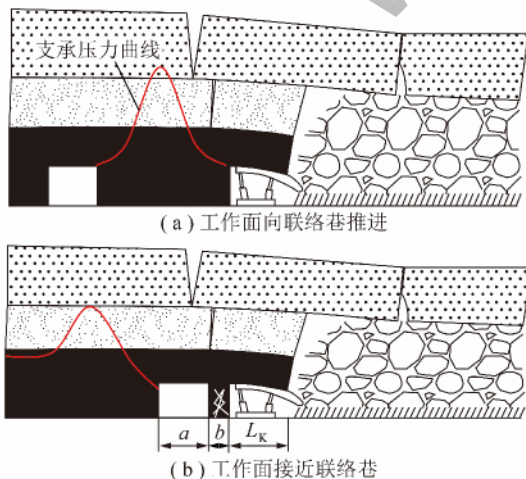


图 2 工作面向联络巷推进过程中煤柱宽度变化示意

Fig. 2 The coal pillar width changes when coal face through crossheading

(b)),进而导致支架载荷突然增加,容易诱发采场压架,图中 L_K 为支架控顶距, m ; a 为破碎煤柱宽度, m ; b 为联络巷宽度, m 。

在煤柱冲击地压方面,王存文等研究了煤柱型冲击地压的力学机制,认为煤柱诱发冲击存在在外围岩层受剪断裂和煤柱本身破裂 2 种机理^[3];袁瑞甫等研究了煤柱型冲击地压的微震信号分布特征及预警指标^[4];李佃平等研究了孤岛型边角煤柱的冲击机理,认为上覆岩层的周期性运动造成煤柱在动静应力综合作用下失稳,是诱发冲击地压的主要原因^[5];李振雷等研究了断层煤柱的诱冲机理,并将其分为断层活化型冲击、煤柱破坏型冲击和耦合失稳型冲击 3 类^[6]。在采场压架方面,姜福兴等提出了“异常压力”的概念,研究了异常来压机理,并提出了工作面异常来压危险性的评价方法及控制技术^[7-9];许家林等研究了松散承压含水层下薄基岩采场和近距离煤层出采空区煤柱压架事故的机制,并提出了相应的防治对策^[10-13]。

综上所述,许多学者对煤柱冲击和采场压架方面进行了一定研究,但研究内容相对独立,均未考虑到两者之间的相互影响。笔者以新巨龙公司冲击型特厚煤层综放工作面为例,提出了工作面在强烈动压区进行采煤作业时可能同时发生冲击地压和采场压架等动力灾害,通过现场监测、数值模拟研究了工作面推进过程中煤柱支承压力变化规律,提出了强烈动压区致灾机理,并在其指导下针对性地提出了强烈动压区安全开采技术,并进行现场验证,以期对深井特厚煤层工作面强烈动压区安全开采提供基础。

1 新巨龙矿井 2302S 工作面及动压概况

1.1 工作面概况

山东新巨龙矿井 2302S 工作面是一沿空工作面,走向长度平均 2 319 m,倾斜宽度 271 m,平均开采深度 900 m,回采煤层厚度 3.8 ~ 8.5 m,平均 7.7 m,密度为 1.36 t/m^3 ,倾角 $6.0^\circ \sim 9.6^\circ$,平均 7.8° ,采用综合机械化放顶煤开采工艺,工作面共使用 155 架 ZF15000/23/43 型液压支架。2302S 工作面上平巷为沿空巷道,与上区段采空区之间留设 6 m 煤柱,下平巷为实体巷道。煤层赋存较稳定,结构复杂,中间夹 0.10 ~ 0.93 m 炭质泥岩或泥岩。2302S 工作面联络巷距 2301S 切眼 60 m,与工作面夹角为 15° 。经鉴定,该工作面回采煤层具有弱冲击倾向,顶板具有中等冲击倾向;经评价,该工作面回采区域存在 8 个高度危险区、11 个中度危险区和 6 个一般危险区,其中联络巷及其附近区域巷道均为高度冲击危险区(图 3)。

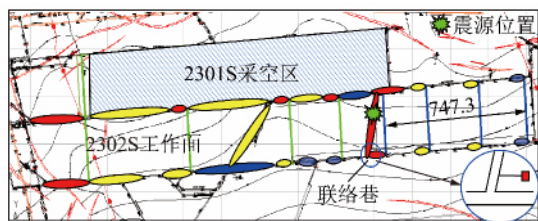


图3 2302S工作面冲击地压危险区划分

Fig. 3 Distribution of rock burst risk areas in LW2302S

1.2 强烈动压发生情况

2013-02-19, 2302S工作面推进至距切眼 747.3 m, 进入 2301S 采空区 16 m, 距联络巷 44 m, 工作面超前范围内发生一起强烈动压显现, 事件破坏性如下: ① 工作面上巷超前 70 m 范围内多棵单体支柱变形倾倒, 个别支柱发生较大弯曲; ② 联络巷上下端头板闭、袋子墙均被冲垮, 其中下端头墙体外 13 棵支柱有 8 棵被冲倒, 煤袋子最大抛出达 5 m; ③ 工作面 100 号支架至刮板输送机机尾有近 100 个安全阀被冲击开启、漏液, 需要更换; 上端头向下 140~90 号支架机道片帮, 最大片帮深度达到 1.0 m。

经微震定位分析, 事件震源位于工作面前 51.5 m, 自上巷向下 46.9 m 的煤层中, 震级 1.6 级, 能量 19 683.7 J。由于该区域经评价为高度冲击危险区, 且预先在危险区实施了直径 120 mm、间距 1 m、深度 25 m 的大直径预卸压钻孔。大能量事件发生后, 经现场勘查, 该区域煤层中所有大直径钻孔全部闭合, 上平巷超前 300 m 范围内掉渣、顶板多处锚杆断裂, 回采巷道围岩平均变形量在 200 mm 左右。

2 强烈动压区煤体支撑压力变化实测

为掌握工作面开采过程中联络巷附近煤体支撑压力变化特征, 采用冲击地压实时监测预警系统^[4]对 2302S 工作面开采过程中联络巷巷帮煤体支撑压力变化进行监测。超前工作面 233 m 布置一组应力计, 安装深度为 8 m, 距下平巷 20 m, 如图 3 所示, 测站连续监测 56 d。图 4 为测站各测点的相对垂直应力变化曲线, 图中负值为工作面距联络巷距离。

由图 4 可知, 当工作面距联络巷较远时, 应力曲线呈缓慢下降趋势, 为正常的应力松弛, 说明该区域未受工作面采动影响; 当工作面距联络巷 117 m 时, 应力曲线开始呈逐渐上升趋势, 说明此时应力计附近煤体开始受工作面采动影响; 当工作面距联络巷 48 m 时, 煤体支撑压力达到峰值, 此后曲线多次出现“突然下降—上升”, 说明煤体逐渐破坏, 开始进入屈服状态; 当工作面距联络巷 26 m 时, 应力测站停止监

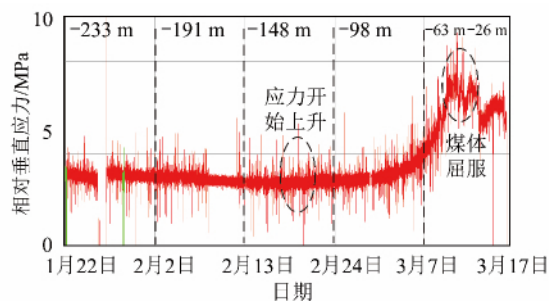


图4 煤体相对垂直应力变化曲线

Fig. 4 Variation curves of relative vertical stress of coal mass

测, 此时煤体经历多次破坏, 强度已大大降低, 但仍有一定支撑能力。随着工作面继续推进, 煤体破碎度会进一步增加, 支架载荷也会逐渐增大。应力监测结果表明, 强烈动压区内冲击地压危险区超前影响距离为 117 m, 峰值影响距离约为 48 m, 压架危险区超前影响距离约为 26 m。

3 工作面过强烈动压区对煤体影响的模拟分析

3.1 模型的建立

以新巨龙矿井 2302S 工作面地质条件为基础, 采用 FLAC^{3D} 模拟分析工作面过强烈动压区对煤体的影响。2302S 工作面倾向宽 250 m, 走向长度 600 m, 煤层厚度 8 m, 右侧为宽 240 m 的 2301S 采空区, 沿空巷道宽 5 m, 并留有 5 m 的护巷煤柱。模型尺寸长 × 宽 × 高 = 700 m × 700 m × 120 m, 四侧和底部为位移边界, 上部 800 m 岩层采用均布载荷代替, 模型计算采用 Mohr-Coulomb 准则, 岩层的物理力学参数取自试验矿井的地质报告及钻孔资料。

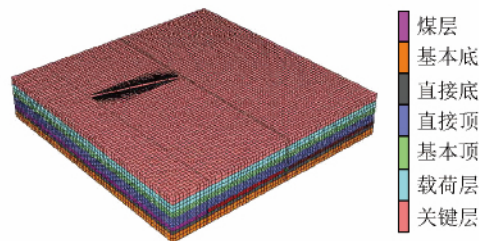


图5 工作面回采模型

Fig. 5 Model diagram of working face recovery

3.2 数值模拟计算结果分析

图 6 为工作面推进到不同位置时煤体垂直应力云图, 由于联络巷两侧煤柱支撑压力分布规律不一致, 将联络巷两侧煤柱分别命名为 A 和 B (图 6(a))。图 7 为工作面推进过程中 A、B 煤柱支撑压力峰值变化曲线图。由图可知, 工作面开采初期, B 煤柱区域支撑压力峰值要稍大于 A 煤柱, 其主要原因在于锐角煤柱比钝角煤柱的应力集中程度更高。工作面回

采对联络巷的超前影响距离为 100 ~ 150 m, 此时工作面开始进入冲击危险区; 当工作面距离联络巷 50 ~ 75 m 时, A 煤柱上支承压力达到最大值 65 MPa, 此时工作面冲击危险性最大。当工作面距联络巷 25 m 时, A 煤柱上应力开始出现快速下降, 说明煤体已经

开始屈服, 煤柱承载能力也逐渐降低, 此时工作面开始进入压架危险区。当工作面距联络巷距离 100 ~ 150 m 时, B 煤柱上支承压力峰值呈持续上升趋势, 此时工作面极易发生冲击地压灾害。对比可知, 数值模拟结果与现场监测结果较一致。

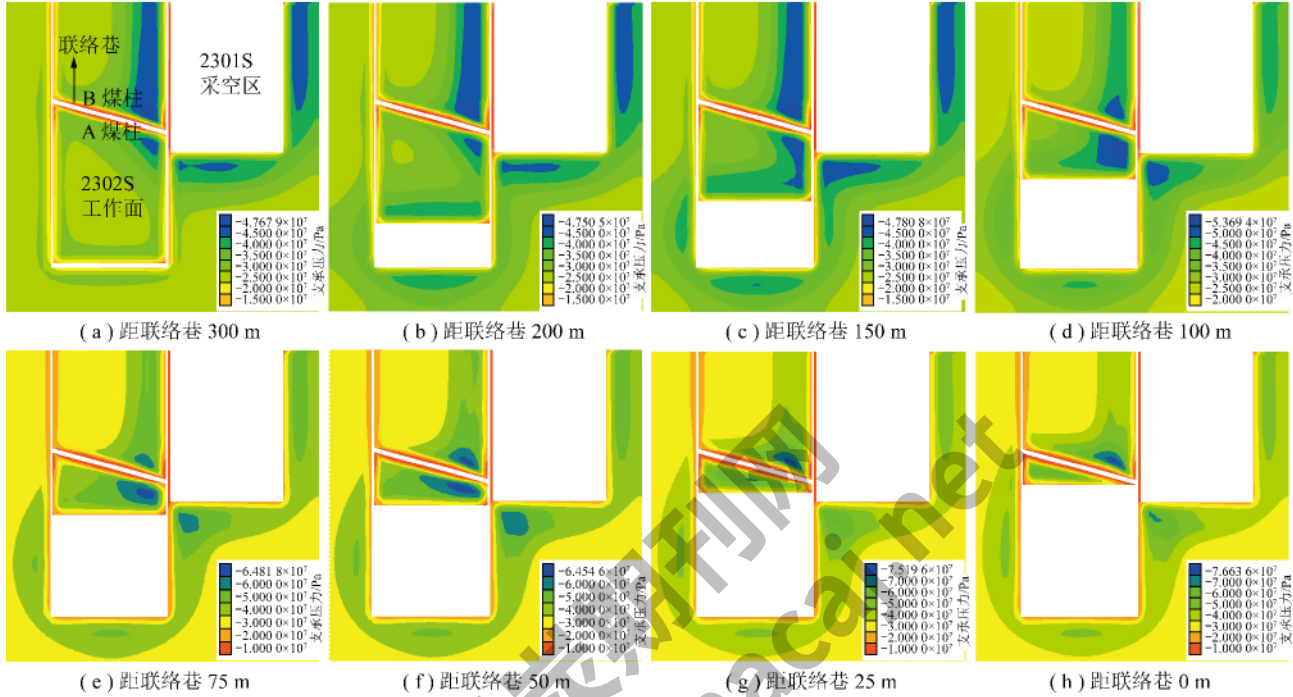


图 6 煤体支承压力云图

Fig. 6 Cloud picture of coal mass abutment pressure

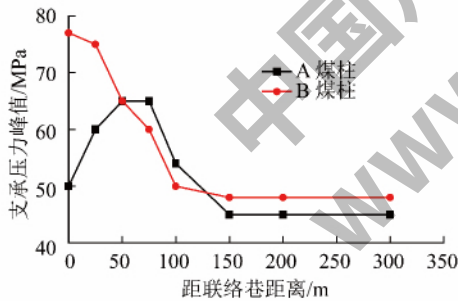


图 7 煤体支承压力变化曲线

Fig. 7 Pressure variation curves of coal mass

4 特厚煤层工作面强烈动压区安全开采技术

4.1 强烈动压区致灾机理

根据上述分析可知, 工作面过强烈动压区时存在煤柱冲击和采场压架两类动力灾害。

(1) 煤柱冲击机理。

煤体发生冲击地压的可能性系数^[3]为

$$I_c = \frac{\sigma}{[\sigma_c]} = \frac{k\gamma h}{[\sigma_c]} \quad (1)$$

式中, I_c 为冲击可能性系数, 当 $I_c \geq 1.5$ 时可认为具有冲击危险; σ 为煤体承受最大应力; $[\sigma_c]$ 为煤体单

轴抗压强度; k 为煤体应力集中系数; γ 为煤体上覆层的平均容重; h 为煤体平均埋深。

由式(1)可知, 煤体发生冲击地压可能性与应力集中系数 k 成正比。根据数值模拟结果, 联络巷两侧煤体上的平均应力集中系数 k 约为 3.1。根据 2302S 工作面实际条件, 取 $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, $h = 900 \text{ m}$, $[\sigma_c] = 15 \text{ MPa}$, 将以上参数代入式(1)中可得 $I_c = 4.65$, 远超过煤体发生冲击地压的临界值 1.5。因此工作面回采引起的联络巷两侧煤体应力高度集中是引发煤柱冲击的主要原因。

(2) 采场压架机理。

综放工作面液压支架需控的载荷包括顶煤及直接顶的全部自重和基本顶的部分重力, 而基本顶作用给支架的重力通常用动载系数补偿。工作面支架需承担的载荷^[7]为

$$p = k' L_R L_R (\gamma_z \sum h_i + \gamma_D T) \quad (2)$$

式中, p 为支架载荷; k' 为动载系数, 一般取 1.05 ~ 1.8; L_R 为支架中心距; $\sum h_i$ 为直接顶厚度; T 为顶煤厚度; γ_z 为直接顶平均容重; γ_D 为顶煤平均容重。

由式(2)可知, 支架载荷与控顶距 L_K 成正比。

根据 2302S 工作面实际条件,当工作面推进至联络巷时,取联络巷宽度 $a=4.5$ m,支架控顶距 $L_K=6$ m,将其代入式(2)中可得支架载荷增加约 1.75 倍。故工作面过联络巷时支架控顶距由 L_K 突变至 (L_K+a+b) ,导致支架载荷异常是引发采场压架的主要原因。因此,煤柱冲击的防治主要是应力控制问题,采场压架的防治主要是支架载荷控制问题。

4.2 强烈动压区安全开采技术

工作面过强烈动压区时同时面临多种动力灾害和诱发灾害,主要包括煤柱冲击(及其诱发的支架动压、联络巷风暴)和采场压架,需分别采取不同措施进行防治。

(1) 煤柱冲击危险区安全开采技术。

煤柱冲击危险区的安全开采技术主要包括开采前的预卸压、开采过程中的监测预警、解危措施和诱发灾害的防治。

① 预卸压。超前工作面 350 m 对强烈动压区巷道实施大直径钻孔预卸压、煤层注水等措施,施工后需对巷道两帮和顶板进行补强支护。

② 监测预警。超前工作面 300 m 范围布置应力监测系统 and 微震监测系统,当应力测点出现预警时采用钻屑法进行检验;当微震事件在数量、总能量或分布区域出现较大异常时,应及时分析原因并采取相应措施。

③ 解危。针对监测到的高应力区采取大直径钻孔或卸压爆破措施解危,及时降低和消除冲击地压隐患。

④ 诱发灾害防治。对于冲击地压诱发的支架动载可通过更换大流量安全阀及时卸载保护支架;冲击地压诱发的联络巷风暴可将联络巷两端的普通风门/密闭墙更换为防爆风门/密闭墙进行有效防治^[4]。

(2) 采场压架危险区安全开采技术。

采场压架危险区的安全开采技术主要包括工作面调斜、降低采高、加快推进速度、确保支架合理初撑力和工作姿态等措施。

① 工作面调斜。工作面调斜可利用联络巷与工作面斜交形成的三角区空间自稳结构稳定性大于工作面与联络巷平行的平面结构稳定性,减少同时通过危险区的支架数量,人为造成分段来压、改变支架受力方式,能有效降低工作面压架危险。为避免工作面调斜带来的繁琐工序,设计阶段不允许布置与工作面近乎平行的联络巷。

② 降低采高。支架载荷与采高正相关,即采高越大,支架需控岩层厚度越大。因此,降低采高有利于降低支架载荷,从而降低异常来压发生的可能性。

③ 加快推进速度。工作面过联络巷期间易发生压架事故。因此,应适当加快推进速度,将顶板载荷“甩到”支架后方。

④ 确保支架合理初撑力和工作姿态。根据对多起综放工作面压架事故的调研分析,工作面发生大面积来压或压架事故的主要原因之一是初撑力偏低^[4]。而液压支架姿态是影响支架支撑能力的重要因素之一。姿态不良,将降低支架的支撑能力,甚至损坏支架结构。因此,确保支架合理初撑力和工作姿态是避免压架的有效措施。

此外,联络巷与工作面巷道交叉点处需要加强支护,防止冒顶。

5 工程验证

新巨龙矿井 2301N 工作面是该矿井二采区北翼首采面,埋深为 700~800 m,表土层平均厚 650 m,基岩厚度最小仅有 45 m;回采煤层平均厚 8.6~10.1 m,平均 9.2 m;煤层倾角 $0^\circ\sim5^\circ$,平均 3° ;煤层结构简单,密度 13.5 kN/m^3 ;工作面走向长 1 597 m,倾斜宽 270 m,割煤厚度为 4 m,放煤厚度为 5.2 m。根据工作面内多个钻孔揭露情况,煤层顶板岩层赋存特征变化较大,基岩受风化较严重。经鉴定,该工作面回采煤层具有弱冲击倾向,顶板具有中等冲击倾向;经评价,该工作面回采区域存在 5 个中度冲击危险区和 15 个一般冲击危险区,联络巷附近为采场压架高度危险区,与冲击危险区叠加形成强烈动压危险区,如图 8 所示。

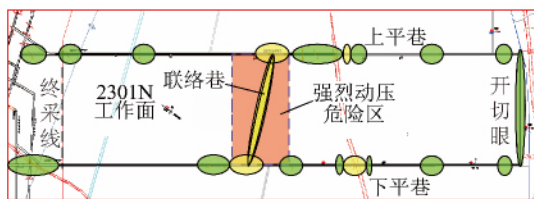


图 8 2301N 工作面

Fig. 8 Plan of LW 2301N

5.1 强烈动压区安全开采措施

(1) 冲击地压防治措施。

为保证 2301N 工作面安全通过强烈动压区,超前工作面 350 m 对强烈动压区上、下巷道和联络巷施工直径 150 mm、间距 2 m、深度 25 m 的预卸压钻孔。同时采用冲击地压在线监测系统对上下、平巷煤体应力进行监测,应力测站间距 25 m,每组测站分别安装深度 8,14 m 钻孔应力计各一个。工作面开采过程中采用微震监测系统对顶板运动与采场矿压显现进行监测。联络巷在两端设置防爆风门/密闭墙。

(2) 采场压架防治措施。

考虑到工作面开采煤层厚度大、基岩薄、表土层厚的特点,选择 ZF15000/23/43 型四柱式综放液压支架控制工作面顶板,并安装大流量安全阀来保护支架。工作面开采过程中严格控制支架初撑力与推进速度,确保顶板支护效果。

5.2 微震监测揭示支承压力分布规律

根据 2301N 工作面开采初期经验,工作面微震事件数量一般在每天 10~20 次。图 9 为 2013-12-03—12-12 期间工作面微震事件分布特征曲线。由图 9 可知,自 12 月 4 日(距联络巷 165 m)开始,工作面微震事件数量和总能量开始缓慢增加,至 12 月 8 日(距联络巷 147 m)微震事件数量突增至 58 个,总能量达到 4.2×10^4 J。在工作面推进速度变化不大的情况下,微震事件数量和总能量的异常增大说明工作面开始进入强烈动压影响区。

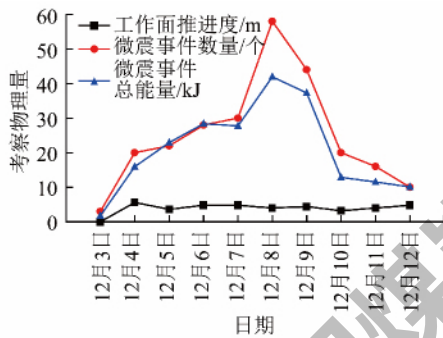


图 9 微震事件分布特征曲线

Fig. 9 The characteristic distribution curves of microseismic events

图 10 为 2013-12-03—12-12 期间工作面微震事件分布平面图。由图可知,微震事件大部分分布在工作面中和上平巷附近,上平巷微震事件较多的主要受褶曲翼部、断层和煤层倾向变化带影响;工作面中部微震事件较多主要原因在于强烈动压区联络巷两帮和上、下平巷均采用钻孔卸压措施,使支承压力向煤体深部转移。

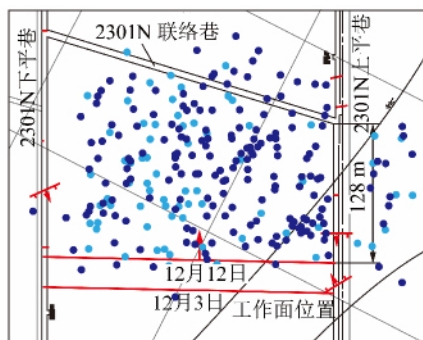


图 10 微震事件平面分布

Fig. 10 Plane distribution of microseismic events

虽然微震事件出现异常,但应力监测系统并未预警,且在工作面前方 60 m 内采用钻屑法检验并无煤粉超标和动力现象,因此判定钻孔预卸压效果较好,工作面无冲击危险,可继续推进。

当工作面推进至联络巷附近时,支架安全阀开启频繁、煤壁片帮明显,采取降低采高、加快推进速度和确保支架初撑力等措施,工作面安全推过强烈动压区。

6 结 论

(1) 应力监测结果表明,强烈动压区内冲击地压危险区超前影响距离为 117 m,峰值影响范围约为 48 m,压架危险区超前影响距离约为 26 m。

(2) 数值模拟结果表明,强烈动压区内冲击地压危险区超前影响范围为 100~150 m,峰值影响范围为 50~75 m,压架危险区超前影响距离约为 25 m,与应力监测结果相近。

(3) 工作面通过强烈动压区时诱发煤柱型冲击地压的机理主要在于工作面开采引起煤柱应力高度集中;诱发采场压架的主要机理在于支架控顶距的突变导致支架载荷异常。

(4) 根据强烈动压区致灾机理提出了相应的安全开采技术,并进行了现场验证,保障了工作面的安全开采。研究结果对类似条件下的工作面安全开采具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 刘金海,姜福兴,王乃国. 深厚表土长大综放工作面顶板运动灾害控制 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [2] 马立强,张东升,孙广京,等. 厚冲积层下大采高综放工作面顶板控制机理与实践 [J]. 煤炭学报, 2013, 38(2): 199-203.
Ma Liqiang, Zhang Dongsheng, Sun Guangjing, et al. Thick alluvium full-mechanized caving mining with large mining height face roof control mechanism and practice [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(2): 199-203.
- [3] 王存文,姜福兴,王平,等. 煤柱诱发冲击地压的微震事件分布特征与力学机理 [J]. 煤炭学报, 2009, 34(9): 1169-1173.
Wang Cunwen, Jiang Fuxing, Wang Ping, et al. Microseism events distribution characteristics and mechanical mechanisms of rock bursting induced by a coal pillar [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(9): 1169-1173.
- [4] 袁瑞甫,李化敏,李怀珍. 煤柱型冲击地压微震信号分布特征及前兆信息判别 [J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(1): 80-85.
Yuan Ruifu, Li Huamin, Li Huaizhen. Distribution of microseismic signal and discrimination of portentous information of pillar type rock burst [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(1): 80-85.
- [5] 李佃平,窦林名,牟宗龙,等. 孤岛型边角煤柱工作面反弧形覆

- 岩结构诱冲机理及其控制 [J]. 煤炭学报, 2012, 37(5): 719 – 724.
- Li Dianping, Dou Linming, Mou Zonglong, et al. The anti-arc overlying strata structure induced mechanism and control of isolated corner coal pillar working face [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(5): 719 – 724.
- [6] 李振雷, 蔡林名, 蔡 武, 等. 深部厚煤层断层煤柱型冲击矿压机制研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(2): 333 – 342.
- Li Zhenlei, Dou Linming, Cai Wu, et al. Fault-pillar induced rock burst mechanism of thick coal seam in deep mining [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(2): 333 – 342.
- [7] 姜福兴, 朱斯陶, 刘金海, 等. 深井综采(放)工作面大面积异常来压控制研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 8(8): 1528 – 1536.
- Jiang Fuxing, Zhu Sitao, Liu Jinhai, et al. Control of abnormal weighting in fully mechanized/caving face of deep shaft [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 8(8): 1528 – 1536.
- [8] 姜福兴, 汪华君, 吴士良, 等. 综放工作面“异常压力”的力源研究 [J]. 煤炭学报, 2004, 29(5): 523 – 526.
- Jiang Fuxing, Wang Huajun, Wu Shiliang, et al. Study on the “abnormal weighting” on support in fully mechanized sublevel caving face [J]. Journal of China Coal Society, 2004, 29(5): 523 – 526.
- [9] 史 红, 姜福兴, 李连祥. 构造带综放工作面支架异常压力机理探讨 [J]. 岩土力学, 2006, 27(S1): 266 – 269.
- Shi Hong, Jiang Fuxing, Li Lianxiang. Study on mechanism of abnormal pressure on support in fully mechanized sublevel caving face at geologic changing [J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(S1): 266 – 269.
- [10] 许家林, 蔡 东, 傅昆岗. 邻近松散承压含水层开采工作面压架机理与防治 [J]. 煤炭学报, 2007, 32(12): 1239 – 1243.
- Xu Jialin, Cai Dong, Fu Kunlan. Mechanism of supports crushing accident and its preventive measures during coal mining near unconsolidated confined aquifer [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(12): 1239 – 1243.
- [11] 许家林, 陈稼轩, 蒋 坤. 松散承压含水层的载荷传递作用对关键层复合破断的影响 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(4): 699 – 704.
- Xu Jialin, Chen Jiaxuan, Jiang Kun. Effect of load transfer of unconsolidated confined aquifer on compound breakage of key strata [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(4): 699 – 704.
- [12] 鞠金峰, 许家林, 朱卫兵, 等. 神东矿区近距离煤层出一侧采空煤柱压架机制 [J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(7): 1321 – 1330.
- Ju Jinfeng, Xu Jialin, Zhu Weibing, et al. Mechanism of support crushing while mining out of upper goaf-side coal pillar in close distance seam of Shendong mining area [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(7): 1321 – 1330.
- [13] 鞠金峰, 许家林. 浅埋近距离煤层出煤柱开采压架防治对策 [J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(3): 323 – 330.
- Ju Jinfeng, Xu Jialin. Prevention measures for support crushing while mining out the upper coal pillar in close distance shallow seams [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2013, 30(3): 323 – 330.
- [14] 曲效成, 姜福兴, 于正兴, 等. 基于当量钻屑法的冲击地压监测预警技术研究及应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(11): 2346 – 2351.
- Qu Xiaocheng, Jiang Fuxing, Yu Zhengxing, et al. Rockburst monitoring and precaution technology based on equivalent drilling research and its applications [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(11): 2346 – 2351.
- [15] 于正兴, 姜福兴, 桂 兵. 冲击地压危险性的宏观评价方法在“孤岛”工作面的应用 [J]. 矿业安全与环保, 2011, 38(5): 30 – 32.
- Yu Zhenxing, Jiang Fuxing, Gui Bing. The application of Macroscopic evaluation method of rock burst risk in island coal face [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2011, 38(5): 30 – 32.
- [16] 滕 博, 姜福兴, 莫自宁, 等. 煤矿防爆密闭墙技术标准探讨 [J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(2): 97 – 100.
- Teng Bo, Jiang Fuxing, Mo Zining, et al. Discussion on technical standard of mine flame proof seal dam [J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(2): 97 – 100.