



移动扫码阅读

甘林堂.煤矿开采动力灾害事故分析及防治对策研究[J].煤炭科学技术,2020,48(12):74-80. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.12.008
GAN Lintang. Analysis of coal mining dynamic disasters and study on prevention countermeasures[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(12): 74-80. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.12.008

煤矿开采动力灾害事故分析及防治对策研究

甘 林 堂

(淮河能源集团煤业分公司,安徽 淮南 232001)

摘 要:为进一步研究煤矿开采动力灾害发生的机理,预防和减轻煤矿开采动力灾害事故,通过对 3 起煤矿瓦斯、煤岩动力灾害事故相关技术参数和现场勘察分析,结合张集矿 1152(3) 回风巷顶板应力转移测定结果,分析了煤岩层结构特征、断层构造带、多因素耦合、采掘应力重新分布与动力灾害发生的关系。研究表明:原岩地应力和构造地应力的共同作用是产生能量积聚,地应力集中的主导因素,构造破坏带两侧一定范围弹性能富积,应力集中,特别容易发生动力灾害事故。坚硬顶板是应力传递转移的载体,完整顶板会加大集中应力的形成及加剧事故的扩大,掘进工作面前方 5~10 m 为采动应力集中区。在软硬交替煤岩结构条件下,局部地段软弱煤体受压变形弹性能积聚,加之煤体耦合富积瓦斯,降低了始突能量,采掘作业应力重新分布,易诱发煤岩或煤与瓦斯动力灾害事故,且大多数形成二次或多次集中应力(能量)卸放转移,造成能量扩展叠加,导致动力灾害范围或危害性扩大。做好地应力、瓦斯压力、钻屑指标法等冲击动力参数指标测定,通过开采保护层卸压或预裂爆破人工切断坚硬顶板,避免应力集中并切断应力传递途径,可达到减少冲击动力事故发生的目的。

关键词:冲击地压;应力集中;断层构造带;煤矿动力灾害

中图分类号:D324 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2020)12-0074-07

Analysis of coal mining dynamic disasters and study on prevention countermeasures

GAN Lintang

(Coal Industry Branch Office, Huaihe Energy Group, Huainan 232001, China)

Abstract: In order to further study the mechanism of coal mining dynamic disaster, prevent and reduce coal mining dynamic disaster accident, through the analysis of relevant technical parameters and field investigations of three coal mine gas and coal rock impact dynamic disaster accidents, combined with the measurement results of stress transfer change distribution of No.1152 (3) return air entry roof in Zhangji Coal Mine, the relationship between coal and rock structure characteristics, fault structure belts, multi-factor coupling, redistribution of mining stress and the occurrence of dynamic disasters were analyzed. The results show that the combined effect of in-situ stress and tectonic stress is the leading factor of energy accumulation and in-situ stress concentration. The elastic energy is abundant and the stress is concentrated in a certain range on both sides of the structural failure zone, which is especially prone to dynamic disaster accidents. The hard roof is the distribution carrier of stress transfer. The complete roof will increase the formation of concentrated stress and aggravate the expansion of accidents. The mining stress concentration area is 5 to 10 m in front of the development work. Under the condition of soft and hard alternating coal rock structure, the elastic energy of local soft coal body under compression deformation is accumulated, and the coal body is coupled with rich gas, which reduces the initial outburst energy. The redistribution of mining stress will induce the occurrence of coal or coal and gas dynamic disaster accidents, most of which form secondary or multiple concentrated stress (energy) release and transfer, resulting in energy expansion and superposition, leading to the expansion of the scope of dynamic disaster or hazard. In order to avoid stress concentration and cut off the stress transmission path, the impact dynamic parameters such as in-situ stress, gas pressure, drilling cuttings index method and other impact dynamic parameters should be measured. The hard roof can be cut off manually by pressure relief or pre-splitting blasting to avoid stress concentration and cut off the stress transmission path, which can effectively prevent the impact dynamic disasters and achieve the goal of reducing the occurrence of impact power accidents.

Key words: rockburst; stress concentration; fault structure belts; dynamic disaster

0 引 言

冲击地压(冲击矿压)是指井巷或工作面周围岩体,由于弹性变形能的瞬时释放而产生突然剧烈破坏的动力现象,常伴有煤岩体抛出、巨响及气浪等现象^[1],是严重威胁煤矿安全生产的典型动力灾害之一,一旦发生通常造成较大的人员伤亡和财产损失。根据国家煤矿安全监察局 2017 年对全国冲击地压矿井调研数据,我国已经定性的冲击地压矿井达到 177 座,主要分布在山东、陕西、山西和黑龙江等 25 个省份^[2]。随着我国大多数矿井进入深部开采阶段,冲击地压灾害愈发严重。诱发冲击地压主控因素为高静载、强矿震和低支护强度,顶板破断前后,常引起高能事件的发生^[3],诱发其他煤矿重大事故,如瓦斯异常涌出、煤与瓦斯突出、突水、瓦斯爆炸等灾害,造成次生灾害。由于深部岩体具有高应力、高瓦斯、高地温、高岩溶水压力的特点,未来井下由冲击地压诱发的复合动力灾害将会愈发常见,且诱发灾变的阈值有可能更低。统计分析表明,各种类型的矿井都有冲击地压发生,各类煤层都发生过冲击现象,地质构造从简单到复杂,煤层从薄到特厚,倾角从水平到急倾斜,砾岩、砂岩、灰岩、油母页岩顶板都发生过冲击地压。浅部开采也会发生冲击地压^[4],硬煤其冲击倾向性也与层理相关^[5]。冲击灾害发生机理比较复杂,是采矿工程领域和岩石力学领域至今未被攻克的一道难题。目前动力灾害理论是在直观认识或试验研究基础上得到的,国内外已针对冲击地压发生机理进行了广泛研究,如冲击

地压启动理论认为,冲击启动的实质是弹脆性单一结构体突破材料强度极限,导致工程结构体动力失稳^[6],扰动响应失稳理论认为,冲击地压是煤岩变形系统在扰动下响应趋于无限大而发生的失稳^[7],冲击地压应力控制理论提出,断层的构造应力是导致冲击地压发生的主要原因,受邻近采区残余应力的影响,采动应力也会诱发掘进巷道冲击地压^[8]。但是上述理论对动力灾害的预测方法和预防措施可靠性均不全面。根据调查及统计分析,按照冲击地压位置及影响因素的不同,冲击地压可分为 4 种类型,即煤柱型、坚硬顶板型、褶曲构造型和断层型^[9],深部煤层积聚的高应力是导致冲击地压发生的主要原因,冲击地压前兆信息主要有 2 个特点,即能量增大和应力突变^[10-11]。目前对坚硬顶板采用水力压裂、液态 CO₂ 致裂、深孔预裂爆破等措施^[12-14]来切断高地应力的传递,大直径钻孔进行卸压^[15]也取得了一定效果。笔者以 3 起有代表性的动力灾害事故为研究背景,尝试从煤岩结构特征,断层构造影响,采掘应力变化研究动力灾害的致灾机理,从而为制定动力灾害防治措施提供依据。

1 动力灾害事故工作面基本情况

3 起有代表性的动力灾害事故分别位于:贵州省梓木戛矿 110102 开切眼掘进工作面,安徽淮南谢一矿望峰岗井主井,安徽淮南丁集煤矿 1331(1)运输巷掘进工作面。工作面相关参数及冲击灾害基本情况见表 1。

表 1 动力灾害事故工作面相关事故情况及参数
Table 1 Relevant accidents of working face with impact disaster

矿井	发生地点	煤厚/m	倾角/(°)	顶底板岩性	事故类型	现场描述	突出煤量、瓦斯量	动力效应
贵州省梓木戛矿	110102 开切眼掘进工作面 (埋深 175~289 m)	1.40	31	粉砂岩、砂质黏土岩	煤与瓦斯突出	口小腔大的突出孔洞,开口宽 4.5 m,高 1.4 m,深 16.5 m,内部宽度变大至 10 m	突出煤量为 549 t,堆积巷道长度达 85 m,突出瓦斯量为 1.39 万 m ³	将开切眼顶板支护锚网撕裂,锚杆钻杆及正在加固的锚索被冲击弯曲
淮南谢一矿	主井井深 956 m 揭 13 煤处	5.77	19	粉砂质泥岩	煤与瓦斯突出	沿煤层倾向向上延伸待掘井筒上侧 27~38 m 的突出煤体全部倾出于井筒中	突出距离大于 96 m,突出煤量 2 153 m ³ ,瓦斯量约 50 万 m ³	井盖门被冲开,有气体向上冲出,风筒在井口处被冲开,沿煤层倾斜上帮钢筋混凝土变形折弯
淮南丁集煤矿	1331(1) 运输巷 (埋深 850 m)	2.20	2	砂质泥岩、细、中粒砂岩	冲击地压伴煤与瓦斯突出	巷道右侧顶帮呈不规则半椭圆形垮冒,掘进工作面左帮第 1 排顶部钢带向前空顶 1.6 m	突出煤量 35 t、瓦斯量 235.4 m ³	有爆破声,伴有强烈震动,右帮和工作面交界处煤体上部有不规则孔洞,直径 0.65 m,深约 3 m,孔洞中线距巷道右帮延长线平距 1.5 m

从煤岩层赋存情况看,3 起动力灾害工作面顶底板结构均坚硬完整,普氏系数 $f>10$,且夹软弱煤层结构,软煤、硬岩结构差异大。从冲击情况看,3 起事故均存在人为不可控的明显动力冲击,待掘巷道周边或前方 5 m,甚至 30 m 的煤(岩)体成为携带冲击能量的动力物,其能量释放转移后堵塞巷道空间,最高可达 2 700 余 m^3 ,反映了待掘巷道事故前弹性性能富集。事故分析及事故后探明,3 起事故点向前延伸的位置均存在断层构造。从突出点位置及形态看,沿倾向的煤体或帮顶部出现空洞,空洞均有随应力转移向上、向里延伸且扩大的现象和趋势。从造成的伤害分析,冲击均造成支护失效,人员伤亡,反映了既定的灾害防控措施不能满足支护要求。事故发生的埋藏深度为,2 起埋藏深,1 起埋藏浅。

2 事故致灾机理分析

2.1 硬岩软煤复合结构造成弹性性能积聚

地下赋存的岩层或煤层处在复杂和强大的重力及地球自转的水平应力场中。强大的应力作用,导致其体积与形状发生变化。根据做功原理煤岩体所承受的集中应力及受力变形越大,做功越多,当岩块处于弹性状态,且变形不能解除时,外力做的功将以能量的形式贮存在岩体内。这种由变形获得的能量称为弹性变形能,也称为弹性位能,或简称为弹性能。因此,处于三向高应力状态下的地下岩体,通常贮存有大量弹性能。地下岩层中弹性性能赋存符合公式: $U = \Delta \gamma^2 H^2$,其中, Δ 为应力状态; γ 为岩体容重; H 为采深。可见岩体赋存的弹性能与应力状态有关,并与开采深度的平方成正比例增长。所述 3 起事故中有 2 起埋深 850~950 m,且望峰岗揭煤动力灾害冲击显现非常明显。

三轴应力状态下岩(煤)体应力-应变曲线^[16]如图 1 所示。

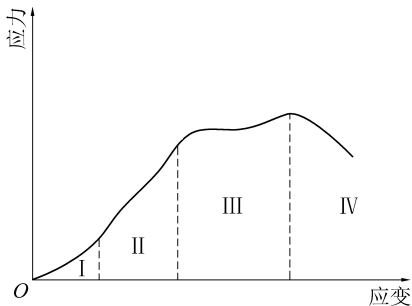


图 1 岩体的应力-应变关系

Fig.1 Stress-strain relationship of rock mas

软煤(岩)基本存在图 1 中前 3 个阶段(I、II、III),随着应力增加贮存的弹性能也越来越多,而硬

岩前 3 个阶段的变形甚至可以忽略直接进入第 4 阶段(IV),岩体储存弹性能少,但其自身承载的高地应力造成了软岩(煤)储存较高弹性能,所以软煤(岩)体是储存弹性能的主体层位,而硬岩一定范围内相对是承载自重应力和水平应力的主体,笔者研究的 3 起事故中巷道前方弹性性能富集的状况均存在硬岩夹软煤分层这一特征。

2.2 构造破坏带两侧应力集中

原岩弹性性能不可能在岩体中无限制地积累下去,随着能量的增加,应力达到岩体的强度极限时,它就要发生破坏,形成断层或裂隙等。这种破坏主要表现为最弱断面的屈服弱化,其余断面则由于没有达到承载极限将随着整个岩块的应力降低而卸载,岩体贮存的弹性性能向周边转移,因而表现为构造破坏带两侧一定范围内弹性性能富积、应力集中,形成构造应力集中区。由于地球自转形成的水平应力持续不断的作用,破坏的断面由于重新加载也会再次被压实,没有达到承载极限的断面卸载后重新加载聚集弹性性能,如此持续的作用,一定硬岩层控制的软煤(岩)分层会形成不同的应力(弹性性能)分布区,即原岩应力区、构造两侧应力集中区和构造附近软煤(含瓦斯)呈现近似流体状态的易失稳区。所以构造带两侧一定范围和过构造期间特别容易发生动力灾害事故。为防止动力灾害发生,煤矿应根据动力灾害指标预测,划定禁采区。贵州省梓木戛煤矿 110102 开切眼冲击动力突出事故点(图 2)上方存在 2 条落差约 6 m 的断层带,构造处于开切眼上部南侧。

淮南矿业谢一矿望峰岗井主井井深 956 m 处揭 13 煤突出事故,突出点沿倾向往上 200 m 处存在 3 条落差为 60~80 m 的 F_{13-5} 、 F_{13-6} 、 F_{13-7} 断层组,且事故突出煤量、瓦斯量极大,表现出大构造的集中应力控制着较大范围的突出危险区域(图 3)。该断层组附近多次发生动力灾害造成人员群死群伤。

淮南丁集煤矿由于未预测到 Z8 钻场前方 3.5 m 处落差 0.9 m 断层,前方煤体处于正断层下盘,煤体上升 3.6 m,致使事故点处抽采钻孔分布处于煤层底板下方 0.23~1.81 m。

2.3 多因素耦合作用引发动力灾害

综上所述,硬岩是承载的主体,形成集中应力控制弹性性能分布的同时,对煤层产生破坏形成裂隙或断层,3 起动力灾害事故均存在厚 0.2~1.0 m 严重破碎粉末状的软煤分层和断层破坏段(面),且望峰岗井动力灾害事故揭煤前井筒距揭煤点法距约 10 m 处的 12 煤线表现出明显层状滑移揉皱现象,

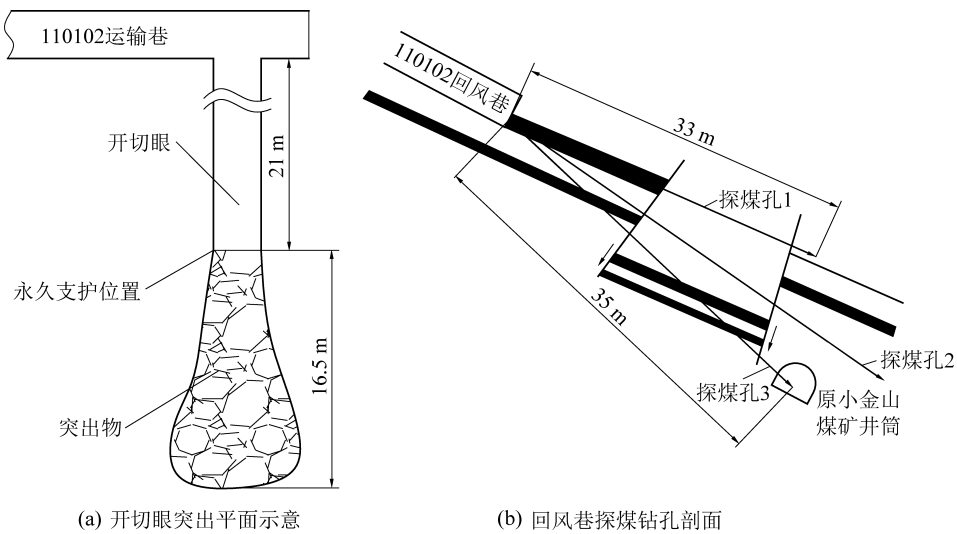


图 2 梓木戛煤矿 110102 开切眼突出位置

Fig.2 Position of No.110102 open-off cut protrusion in Zimujia Coal Mine

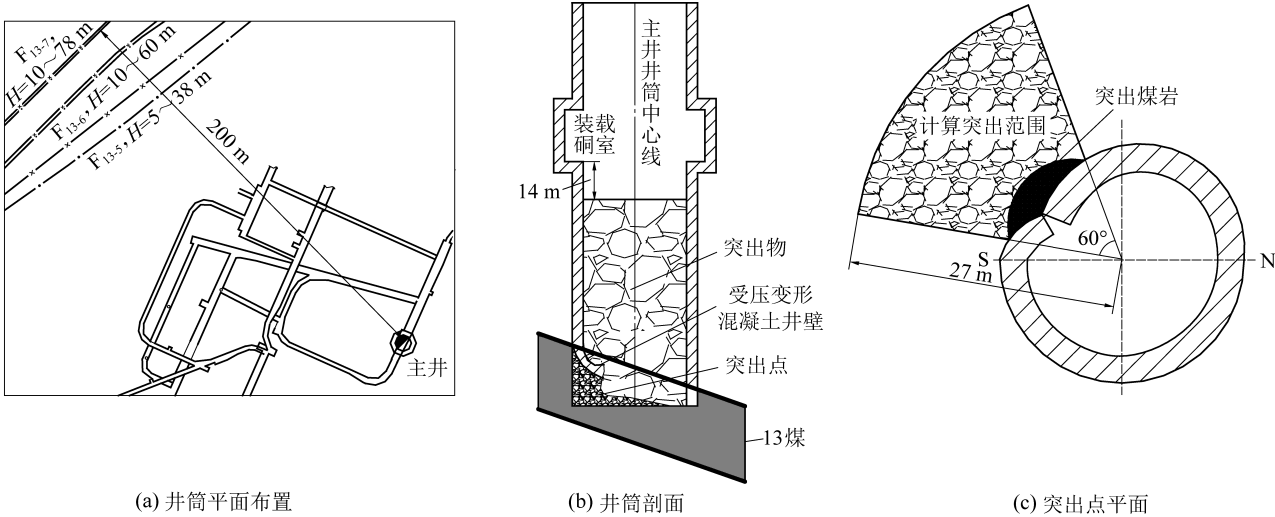


图 3 淮南谢一矿望峰岗井主井揭 13 煤突出示意

Fig.3 No.13 coal outburst diagram of Wangfenggang Shaft in Xieyi Coal Mine in Huainan

也进一步反映了强大的垂直应力和构造应力同时作用形成软煤分层的结果,受压变形破坏后的软煤分层其比表面积增大,存在富积瓦斯时更容易吸附更多的瓦斯分子,瓦斯吸附于煤体又对煤体起楔子作用,进一步降低煤体强度^[17],煤体自支撑力和弹性模量大幅度下降,呈近似流体状态。同时,高地应力造成富积瓦斯时也形高瓦斯压力,造成不同瓦斯分区,形成较大瓦斯压力梯度,产生作用于压力降低方向的力。如此多因素的叠加耦合,势必造成在该区域作业会发生低压力动力灾害风险。

2.4 采掘作业应力重新分布诱导动力灾害

虽然煤层在三轴应力状态下受构造应力作用弹性性能分布不均衡,存在部分能量(应力)富积区,但由于煤岩的黏聚力夹持作用,整体内部的应力处于相对平衡状态,而进行开采将改变原岩的应力状态。

一旦改变了原岩体的应力,积聚的弹性能将全部或部分释放,诱发动力灾害事故。发生动力灾害事故的条件有以下 3 方面。

1) 原岩应力区富积弹性能能够突破煤(岩)层阻力做功,形成突出动力现象,即积聚的应变能和瓦斯膨胀能之和大于突出阻力^[18],即 $U_c + W_{CH_4} > W_5$, 其中, U_c 为弹性变形能,即原岩积聚弹性能,为不变值; W_{CH_4} 为有瓦斯参与时的瓦斯膨胀能; W_5 为突出发生时所需最小临界能量。

2) 弹性能富积区与采掘作业空间存在较大的能量(应力)差:一方面深部围岩在重力作用与水平构造应力作用下存在弹性能差异,另一方面采掘作业的应力集中系数也可达原岩应力的 2~4 倍,形成大能量梯度,采动应力转移形成的集中应力与原岩集中应力的叠加是诱导动力灾害的重要因素。

3)煤岩层自身结构有阻止动力现象发生的能力。煤矿开采过程中要综合分析煤矿存在的地应力、采动影响因素、煤层自身的结构等因素,针对性采取有效的防治动力灾害措施。

2.5 其他诱导因素

相同构造单元内原岩应力分布相对均衡,但随着向前掘进,超前应力会向前方转移,造成采掘工作面局部应力集中,淮南矿业集团张集矿在1152(3)工作面回风巷的试验研究也反映这一情况,同时证实了顶板是应力传递转移的主要载体(图4)。图4中横坐标-8~0 m处为宽8 m煤柱,0~5.2 m位置为回风巷(轨道巷),可以看出回风巷未开挖前,宽8 m煤柱顶板是应力集中最严重的地方,煤壁内50 m以外是原岩应力区,当回风巷开挖后,-8~14 m处顶板均出现了不同程度的卸压,其中回风巷顶板卸压最为明显,而最大应力集中区出现在深入煤壁13 m处,集中应力达到原岩应力近2倍。由图4可知应力集中的来源是采空区顶板垮落后应力发生传递,若切断传递途径,则会减轻工作面应力集

中现象。同样掘进工作面采动应力一般在巷帮内2~4 m、前方3~5 m形成卸压带,巷帮4~6 m、前方5~10 m形成采动应力集中区,动力灾害的始发一般位于该集中应力范围。经调查和推算,贵州省梓木戛矿110102开切眼掘进工作面动力灾害事故突出深度16.5 m;淮南谢一矿望峰岗井主井揭13煤按照突出时突出煤体沿煤层倾向向上延伸30°或60°计算,待掘井筒上方27~38 m的煤体全部倾出于井筒中(图3),远大于一次冲击动力范围,分析认为是采掘作业诱发煤岩或煤与瓦斯动力灾害,集中应力(聚集能量)向周边转移,形成二次或多次集中应力(能量)卸压转移,加大了卸压范围,此种急剧卸压转移与正常回采的应力转移,都是通过顶板把事故释放的应力以应力波的形势转移到周边煤体上,因此要阻止动力灾害应力(能量)释放转移形成二次或多次应力叠加加剧事故严重程度,就要对应力集中区坚硬顶板提前采取破碎或切缝措施,阻止应力向工作面前方及周边转移。

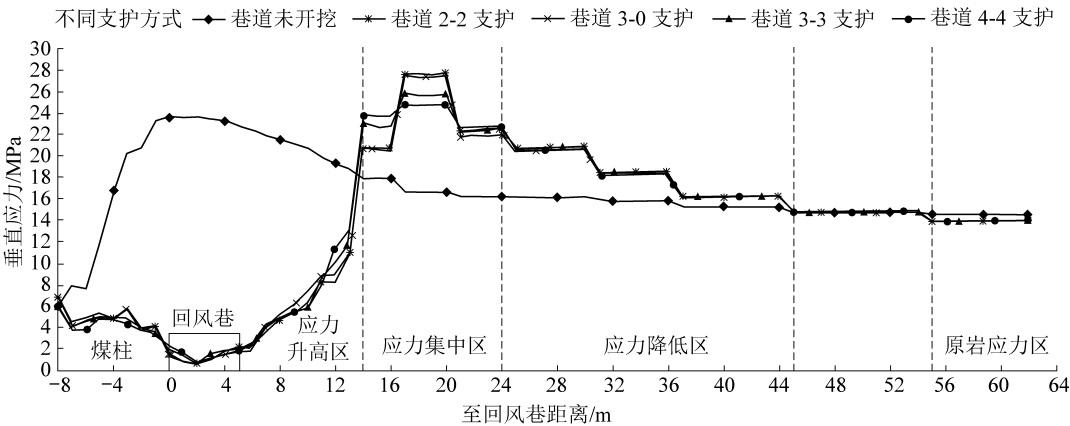


图4 张集矿1152(3)回风巷顶板应力分布

Fig.4 Distribution of stress along roof of No.1152(3)tail entry in Zhangji Mine

煤炭科学研究总院重庆分院、中梁山矿务局对南矿+290 m水平南西二半抬高石门揭开西K10煤层进行的研究^[17]也证明了动力灾害事故存在二次或多次冲击动力叠加的现象(图5)。采用震动爆破诱导突出,爆破后突出煤量817 t,喷出瓦斯38 540 m³,震动爆破后1.3 s首次出现冲击声,在2.6、3.0、4.0 s时,又相继听到3次冲击声。突出过程中各参数变化如图5所示。由图5可得:①待掘巷道震动爆破后大量瓦斯解吸,附近的2号孔、距石门断面8 m的1号孔瓦斯压力测定传感器显示,瓦斯压力分别在爆破后和爆破后6 s迅速下降为0.3~0.4 MPa,分析认为1号孔爆破后6 s压力显示值才下降的原因是二次冲击发生影响瓦斯压力下降。②掘进工作

面瓦斯传感器显示值上升后有个大幅下降然后急速上升的过程,反映存在二次动力灾害。③石门周边

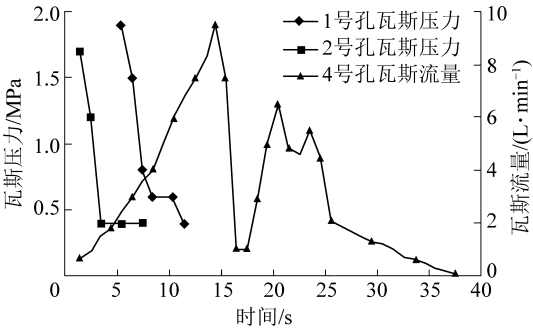


图5 南矿+290 m水平揭西K10煤层突出时各参数变化
Fig.5 Variation of each parameter in outburst of K10 coal seam in the +290 m level of Nankuang Mine

10 m 范围内 4 号抽采管路流量传感器显示,在爆破后 8 s(受抽采管路流速影响计量显示值应较实际慢 2~3 s,可认为与 1 号孔发生值是同期,是在二次冲击发生后开始显示)又出现 2 次显示值下降后急速上升的现象,进一步证明了一次动力灾害是由多次冲击叠加造成的。

3 动力灾害解危措施

3.1 积极探索预防预测措施

形成动力灾害的 3 个因素中,主导因素地应力控制弹性能富积和瓦斯压力增高,因此预测预报动力灾害的冲击动力敏感指标首选弹性能或地应力指标,对富积瓦斯可选择瓦斯压力指标。但由于弹性能指标现场不能直接测定,打钻取煤(岩)样时煤(岩)相关参数有的已经变化,取样测定相关指标准确性差,故应直接选测定的地应力指标为动力灾害预测指标之一。局部或工作面采掘过程的预测预报(包括临界指标值)可采用现行的钻屑指标法。

3.2 实现过程预防向治理达标转变

国家和企业高度重视煤与瓦斯突出动力灾害事故防治,但近几年冲击地压事故明显增多。笔者认为冲击地压治理,也要树立与煤与瓦斯突出治理一样的可防可治的思想,从治本入手,落实区域治理达标、先治后采的理念,才能抓好区域防治冲击地压工作。

3.2.1 保护层区域开采卸压措施

动力灾害的发生主要是由于应力集中,软煤层内弹性能积聚,因此需要开采保护层。而造成应力集中的垂直应力主要是煤层上覆硬岩,开采保护层的目的就是降低硬岩或硬岩上覆的其他荷载,因此动力灾害治理措施首选为开采上保护层,即选择被保护层上方 20~60 m 的煤(软岩)层先行开采,不具备上保护层开采条件的才选择开采下保护层做为区域卸压措施。

3.2.2 区域卸压槽切顶措施

坚硬顶板是承载的主体,也是应力转移和动力灾害二次或多次发生的应力传递载体,因此在没有保护层开采的条件下实施防治措施,就要提前对应力集中区坚硬顶板采取破碎或切缝措施。无煤柱自成巷工法核心内容是“拉得住、切得开、下得来、护得住”,是成熟的切顶技术方法,即通过定向预裂切缝爆破,在留巷边缘切断工作面顶板关键层应力传递,减弱巷道压力,且定向预裂爆破能够很好地保护巷道顶板完整性。实施定向预裂切缝爆破的基础是要有实施定向预裂切缝爆破的巷道环境和条件。坚

硬顶板受力变形小,赋存弹性变形能少,掘进施工能保证不发生冲击事故,可比照瓦斯防突管理在软弱待采(掘)煤层顶板 10~15 m 位置实施顶板卸压巷完成定向预裂切缝爆破,对于采煤工作面顶板长距离不垮(超过见方)且有冲击倾向的,可施工煤层联络巷实施定向预裂切缝爆破措施。顶板卸压巷或煤层联络巷按间隔小于工作面见方的走向布置 1 组,然后实施有效的倾向预裂切缝爆破;采煤工作面回采过程中,沿走向在两巷实施预裂切缝爆破,减少工作面前方以及邻近工作面集中应力,减少顶板垮落时动压对邻近采掘作业空间的扰动;且一旦发生动力灾害,也可阻止动力灾害应力(能量)释放转移形成二次或多次冲击叠加的严重事故。

3.2.3 从设计源头避开断层带应力集中区

从 3 起突出事故可以看出,突出点延展方向均与断层面呈现垂直关系,而且断层落差越大,动力灾害表现越强烈,冲击发生地点也呈远离断层面的现象。一方面反映了集中构造应力随断层破断程度加大弹性能向周边转移越远、量越大,也反映了构造应力主应力方向与断层面延展方向垂直的特点,防治措施是从采区巷道设计源头入手确保避开断层带应力集中区,无法避开时要测准地应力和瓦斯压力等基础参数,针对性采取区域卸压措施,保证采掘施工方向与构造应力主应力方向垂直,避开构造应力主应力的冲击。

4 结 论

1) 原岩地应力和构造地应力的共同作用是产生能量积聚,地应力集中的主导因素。构造破坏带两侧一定范围弹性能富积,应力集中,特别容易诱发动力灾害事故,为防止动力灾害发生,煤矿应根据动力灾害指标预测,对构造附近严重冲击危险区域划定禁采区。

2) 硬岩是承载的主体,控制一定范围内相对软弱煤岩体弹性能分布,集中应力控制弹性能分布的同时,会对煤层产生破坏,形成裂隙或断层,有发生低压力动力灾害风险。

3) 坚硬顶板是应力传递转移的载体,完整顶板会加大集中应力的形成,为减轻工作面应力集中和防止动力灾害扩大应采取切缝措施切断应力传递途径。

4) 实施防治动力灾害措施,应从采区巷道设计源头考虑,避免迎向构造应力主应力方向施工,即保证采掘施工方向与构造应力主应力方向垂直。

5) 为有效防治动力灾害,必须综合分析煤矿存在的地应力、采动影响因素、煤层自身的结构等因素,针对性采取防冲措施。冲击地压煤矿企业应落

实区域治理达标、先治后采的理念,从防冲治本入手,严格落实防治动力灾害的治本措施,优先开采保护层,若无保护层可采的冲击危险煤层硬岩顶板冒落不及时,必须落实巷道先行、区域切缝达标的有效卸压措施。

参考文献(References):

[1] 齐庆新, 窦林名. 冲击地压理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
QI Qingxin, DOU Linming. Theory and technology of rockburst [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2008.

[2] 国家煤矿安全监察局科技装备司. 全国煤矿冲击地压矿井专项调研报告[R]. 北京: 国家煤矿安全监察局科技装备司, 2017.

[3] 张传玖, 杜涛涛, 李红平, 等. 坚硬顶板工作面高静载型冲击地压防治研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(3): 112-119.
ZHANG Chuanjiu, DU Taotao, LI Hongping, et al. Study on the prevention and control of high static load rockburst in hard roof working face [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(3): 112-119.

[4] 李宏艳, 莫云龙, 孙中学, 等. 煤矿冲击地压灾害防控技术研究现状及展望[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(1): 62-68.
LI Hongyan, MO Yunlong, SUN Zhongxue, et al. Research status and prospect of coal bumps prevention and control technology [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(1): 62-68.

[5] 郝宪杰, 袁亮, 王少华, 等. 硬煤冲击倾向性的层理效应研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(5): 1-7.
HAO Xianjie, YUAN Liang, WANG Shaohua, et al. Study on bedding effect of impact tendency of hard coal [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(5): 1-7.

[6] 潘俊锋. 冲击地压的冲击启动机理及其应用[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2016.

[7] 潘一山. 煤矿冲击地压扰动响应失稳理论及应用[J]. 煤炭学报, 2018, 43(8): 2091-2098.
PAN Yishan. Instability theory and application of coal mine rockburst disturbance response [J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(8): 2091-2098.

[8] 齐庆新, 李一哲, 赵善坤, 等. 我国煤矿冲击地压发展70年: 理论与技术体系的建立与思考[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(9): 1-40.
QI Qingxin, LI Yizhe, ZHAO Shankun, et al. Seventy years development of coal mine rockburst in China: establishment and consideration of theory and technology system [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(9): 1-40.

[9] 窦林名. 煤炭深部开采中的动力灾害机理与防治基础研究: 深

部煤岩动力灾害的前兆信息特征与监测预警理论[R]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.

DOU Linming. Mechanism and prevention of dynamic disasters in deep coal mining: precursory information characteristics and monitoring and early warning theory of dynamic disasters in deep coal and rock [R]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2014.

[10] 高新, 苗德俊, 宋大川. 深部煤层冲击地压机理与防治技术[J]. 煤矿安全, 2018, 49(12): 75-78.
GAO Xin, MIAO Dejun, SONG Dachuan. Mechanism and prevention technology of deep coal seam rockburst [J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(12): 75-78.

[11] 谭云亮, 张明, 徐强, 等. 坚硬顶板型冲击地压发生机理及监测预警研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(1): 166-172.
TAN Yunliang, ZHANG Ming, XU Qiang, et al. Study on the occurrence mechanism and monitoring and early warning of hard top plate rockburst [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(1): 166-172.

[12] 翁明月, 郝英豪, 解嘉豪. 坚硬煤岩体“钻-切-压”一体化释能减冲技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(8): 84-88.
WENG Mingyue, HAO Yinghao, XIE Jiahao. Study on “drilling cutting pressure” integrated energy release and erosion reduction technology of hard coal rock [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(8): 84-88.

[13] 刘世奇, 方辉煌, 桑树勋, 等. 基于多物理场耦合求解的煤层CO₂-ECBM数值模拟研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(9): 51-59.
LIU Shiqi, FANG Huihuang, SANG Shuxun, et al. Numerical simulation study on coal seam CO₂-ECBM based on multi-physics fields coupling solution [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(9): 51-59.

[14] 滕伟, 王桂峰, 贾开庆. 兴安煤矿深孔爆破技术防治冲击地压应用[J]. 煤炭科技, 2018(3): 91-93.
TENG Wei, WANG Guifeng, JIA Kaiqing. Application of deep hole blasting technology to prevent rockburst in Xing'an Coal Mine [J]. Coal Science and Technology Magazine, 2018(3): 91-93.

[15] 张惟昭, 李杨杨. 唐口煤矿大直径钻孔防治冲击地压的研究与应用[J]. 山东煤炭科技, 2020(2): 148-150, 153.
ZHANG Weizhao, LI Yangyang. Research and application of large diameter borehole in Tangkou Coal Mine to prevent rockburst [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2020(2): 148-150, 153.

[16] 钱鸣高, 刘听成. 矿山压力及其控制[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.

[17] 于不凡. 煤矿瓦斯灾害防治及利用技术手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2015.