

受采动影响巷道支护优化设计及实践

刘海勇 杜斌斌

(山西兰花科技创业股份有限公司大阳煤矿分公司)

摘 要:大阳煤矿 3405 胶带顺槽受相邻 3404 工作面回采影响,出现了非对称性大变形现象,面临着巷道难以维护、多次返修的技术难题,原先采用的支护参数已不能适应当前地质条件。因此,进行了巷道卸压方案设计,通过 FLAC3D 数值计算的方法对比分析各方案下的巷道围岩应力和破坏分布特征,确定合理的卸压参数,并进行了现场工业性试验,实现了巷道支护方案的优化,对改进煤矿巷道支护设计具有一定的实践意义和工程价值。

关键词:支护优化;钻孔卸压;FLAC3D;现场观测

1 引言

长期以来,煤矿中巷道维护的主要手段是锚杆(索)支护^[1]和围岩结构加固,但是随着开采深度的增加,在采动应力影响和某些困难条件下,单纯的强力锚固已难以有效地保障巷道稳定。钻孔卸压^[2]是一种有效可行的治理方法,通过施工钻孔在其周围形成贯通裂隙,释放围岩应力,弱化围岩强度,使应力高峰向深部转移,并降低应力集中程

度,同时巷道锚固系统控制一定范围内围岩的变形破坏,可以提高围岩自承载能力,维持巷道稳定性^[3]。

大阳煤矿位于山西省泽州县大阳镇香山村,目前开采 3#煤层,埋深 306.29m~528.53m,煤层顶板为粗、细砂岩,底板为粘土质泥岩或细砂岩,煤层的层节理、裂隙比较发育,煤的强度较小。3405 胶带顺槽与 3404 工作面间隔 20m 煤柱平行布置,在 3404 工作面回采期间掘进,因此,受到 3404 工作面回采及埋深影响(3/4 巷道埋深达到 500m),3405 胶带顺槽

表现出巷道变形大且为非对称性、难以维护、多次返修的现象,结合所处地质条件及围岩应力状态,认为该巷道为高应力软岩巷道。高应力软岩巷道的围岩稳定性普遍难以控制,传统的巷道支护方式在一定程度上受到高地应力和强矿山压力显现的影响,多数巷道陷入了多次返修、多次扩刷、多次支护的境地。越来越多的专家和学者开展对高应力软岩巷道围岩控制理论的研究:吴鑫^[4]等学者对不同孔径下的卸压孔围岩变形情况进行了3DEC离散元数值模拟,得出对巷道两帮钻孔卸压后,应力集中区域由两帮转移到围岩深部且集中在卸压孔末端,对深部巷道起到了保护作用;王猛,王襄禹,肖同强^[5]系统研究了卸压钻孔参数,完善了钻孔卸压技术体系,围岩控制效果显著,且方法简单易行。

为保证矿井安全高效生产,且进一步扩大该技术的应用范围,本文以大阳煤矿3405胶带顺槽为工程背景,对不同钻孔卸压方案进行分析研究,从而确定适合当前条件的卸压参数。

2 3405胶带顺槽支护方案优化设计

2.1 原支护方案

3405胶带顺槽原有支护采用锚网索联合支护:顶板采用6根 $\Phi 20 \times 2200$ mm高强度螺纹钢锚杆,间排距为 900×900 mm;3根 $\Phi 22 \times 6200$ mm高预应力锚索,沿巷道走向“三·三”布置,锚索间距1500mm,排距1800mm。两帮各采用4根 $\Phi 18$ mm \times 2200mm高强度螺纹钢锚杆,间排距为 900×900 mm。金属网为矿用菱形金属网,网孔特征尺寸为 40×40 mm,并配以相应长度的锚杆梯子梁和穹形托盘。

2.2 巷道钻孔卸压方案设计

(1)方案一:顶板和两帮锚网索支护参数不变,

钻孔孔径 $\phi 110$ mm,钻孔深度6000mm。其中非回采帮部上下两排卸压孔,上部孔距底板1600mm,下部孔距底板1300mm,上下孔呈三角形布置,垂直间距300mm,排距450mm;回采侧帮部布置一排卸压钻孔,距底板1600mm,间距450mm。

(2)方案二:顶板和两帮锚网索支护参数不变,其中非回采侧帮部单排布置小直径爆破钻孔,孔径 $\phi 42$ mm,孔深6000mm,钻孔间距1800mm,距底板1600mm;回采侧帮部布置一排卸压钻孔,孔径 $\phi 110$ mm,孔深6000mm,距底板1600mm,间距450mm。

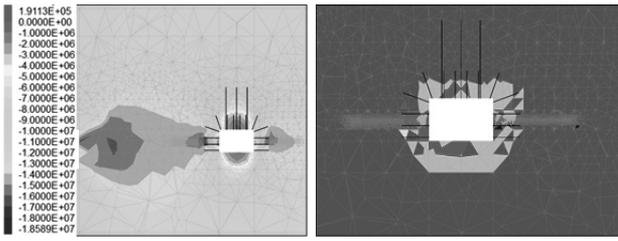
(3)方案三:顶板和两帮锚网索支护参数不变,两帮各布置一排卸压钻孔,孔径 $\phi 110$ mm,孔深6000mm,距底板1600mm,间距450mm。非回采侧帮部单排布置大直径钻孔爆破切顶,孔径 $\phi 75$ mm,孔深16000mm,间距3600mm。切顶钻孔位于非回采侧帮部的顶角,向煤柱内以 35° 倾角布置(与顶板水平面夹角 55°)。

3 3405胶带顺槽支护优化数值模拟研究

受3404综放工作面的回采影响下,为了研究适用于3405胶带顺槽的卸压方案,根据实际工程地质条件,采用FLAC3D模拟软件建立三维计算模型,长 \times 宽 \times 高= $345\text{m} \times 125.2\text{m} \times 74\text{m}$,模型侧面边界水平位移为零,底部为全约束边界,上部边界施加原岩自重应力。模拟方案为对原有支护、方案一、方案二、方案三下的模型分别进行数值计算,对所得出的巷道围岩应力和破坏分布特征进行对比分析,为卸压方法与参数的选择提供依据。

3.1 原有支护方案数值模拟

3405胶带顺槽在原有支护条件下,受3404综放工作面一次采动影响巷道周边垂直应力、和塑性区分布,如图3-1所示。



(a)垂直应力云图 (b)塑性破坏图

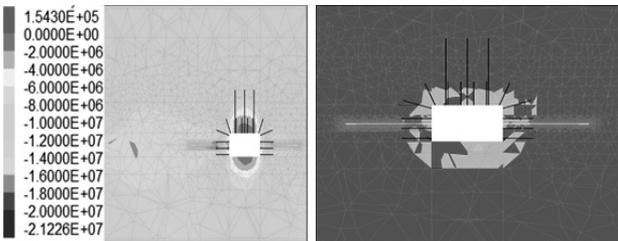
图3-1 原有支护方案数值计算结果

由图可知,3405 胶带顺槽开挖后,围岩初始平衡破坏,在原岩应力作用下,在巷道周边形成应力集中。垂直应力主要集中在巷道两帮,煤柱帮最大垂直应力为 18.6MPa,距煤壁约 10m;工作面帮最大垂直应力 16.2Mpa,距煤壁约 2.5m。巷道底板和两帮塑性区范围较大,主要以剪切破坏为主,煤柱帮破坏深度为 1.78m、工作面帮破坏深度为 1.63m、顶板破坏深度为 1.21m、底板破坏深度为 2.41m。

3.2 钻孔卸压方案数值模拟

(1)方案一

3405 胶带顺槽在实施两帮大直径钻孔($\varphi=110\text{mm}$)卸压方案后巷道垂直应力和塑性区分布如图 3-2 所示。



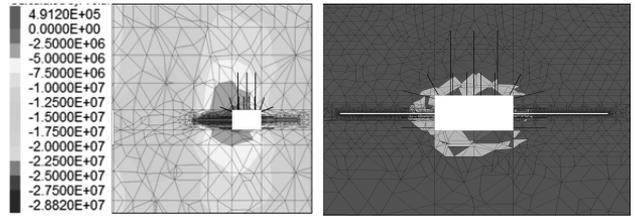
(a)垂直应力云图 (b)塑性破坏图

图3-2 卸压方案一数值计算结果

由图可知,垂直应力主要集中在巷道两帮,煤柱帮最大垂直应力为 16.8MPa,距煤壁约 13m;工作面帮最大垂直应力 14.0Mpa,距煤壁约 3.5m。巷道底板和两帮塑性区范围较大,主要以剪切破坏为主,煤柱帮破坏深度为 1.97m、工作面帮破坏深度为 1.87m、顶板破坏深度为 1.49m、底板破坏深度为 2.41m。

(2)方案二

3405 胶带顺槽在实施煤柱帮小直径钻孔($\varphi=42\text{mm}$)爆破卸压+工作面帮大直径钻孔($\varphi=110\text{mm}$)卸压方案后巷道垂直应力和塑性区分布如图 3-3 所示。



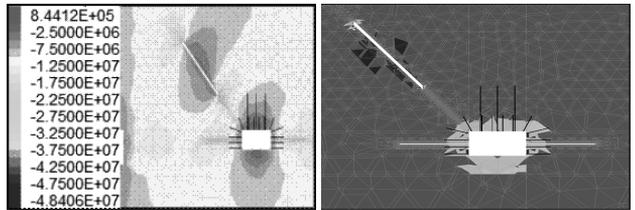
(a)垂直应力云图 (b)塑性破坏图

图3-3 卸压方案二数值计算结果

由图可知,垂直应力主要集中在巷道两帮,煤柱帮最大垂直应力为 16.74MPa,距煤壁 6m;工作面帮最大垂直应力 14.99Mpa,距煤壁约 3.5m。巷道底板和两帮塑性区范围较大,主要以剪切破坏为主,煤柱帮破坏深度为 1.78m、工作面帮破坏深度为 1.56m、顶板破坏深度为 1.53m、底板破坏深度为 2.41m。

(3)方案三

3405 胶带顺槽在实施煤柱帮大直径钻孔($\varphi=110\text{mm}$)卸压+煤柱侧大直径钻孔($\varphi=75\text{mm}$)爆破切顶+工作面帮大直径钻孔($\varphi=110\text{mm}$)卸压的方案后,巷道垂直应力、水平应力、位移量和塑性区分布如图 3-4 所示。



(a)垂直应力云图 (b)塑性破坏图

图3-4 卸压方案三数值计算结果

由图可知,垂直应力主要集中在巷道两帮,煤柱帮最大垂直应力为 12.9MPa,距煤壁约 3m;工作面帮最大垂直应力 12.5Mpa,距煤壁约 3m。巷道底板和两帮塑性区范围较大,主要以剪切破坏为主,煤柱帮破坏深度为 1.66m、工作面帮破坏深度为 1.59m、顶

板破坏深度为1.78m、底板破坏深度为2.41m。

3.3 巷道表面位移结果分析

各模拟方案所得巷道表面位移,见表3-1。

表3-1 各模拟方案巷道表面位移计算结果统计表

	煤柱帮/m	工作面帮/m	顶板/m	底板/m
原支护方案	0.0583	0.0523	0.0315	0.045
方案一	0.0428	0.0402	0.0321	0.0348
方案二	0.069	0.06	0.033	0.034
方案三	0.039	0.037	0.023	0.051

由表3-1可以看出,相比于钻孔爆破卸压方案,大直径钻孔卸压能够有效减少巷道两帮相对移近量,这是因为煤体过于松软,钻孔爆破增加了巷道破碎圈的深度,反而会使两帮收敛量增加,效果不理想。大直径钻孔卸压在各方面都优于单独的爆破切顶方案,且爆破切顶方案两帮垂直应力增大,增加了支护结构所承受的载荷,容易过载失效。另外,虽然方案三在各方面都优于其他方案,但是考虑到现场生产实际需求,最终采用方案一。方案一与原支护方案顶板内垂直应力如图3-6所示,钻孔卸压后,围岩内的应力峰值由浅部向深部转移。

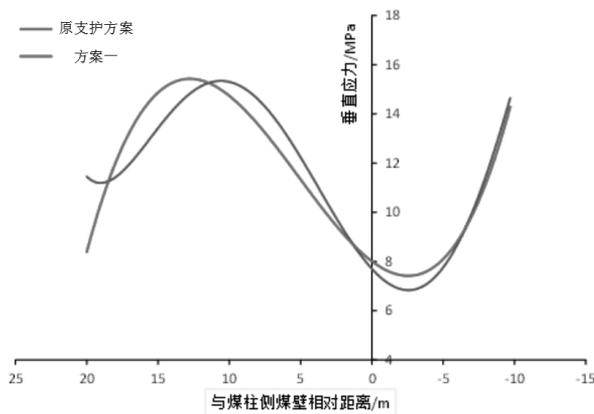


图3-6 方案一与原支护方案顶板内垂直应力

实际生产过程中,巷道受断层和采动影响严重,方案一未能有效控制全部巷道,原因是两帮围岩破坏深度接近锚杆锚固长度,导致锚杆随着围岩同步发生位移。因此基于方案一,在受3404工作面回采影响区域施加两帮锚索并搭设单体液压支柱棚架加

强支护,具体参数为每侧每排1根,水平排距900mm,锚索布置在2排锚杆中间,前后排锚索呈三角形布置。上部锚索距顶板600mm,下部锚索距顶板1300mm。II型钢顶梁长4800mm,每根钢梁下3根单体柱,单体柱伸展高度3500mm,工作阻力大于300kN。3根单体柱自煤柱侧巷帮开始的间距分别为300mm、2370mm、2030mm和300mm,单体液压柱棚架间距900mm。

4 支护效果监测及分析

在3405胶带顺槽内共布设12个点用于监测巷道变形,观测时间历时四个半月,各测点位移观测数据整理数据统计见表4-1。

表4-1 胶带顺槽各测点位移观测数据整理数据统计表

测点编号	顶底板最大移近量 (mm)	两帮最大移近量 (mm)	顶底板最大移近速度 (mm/d)	两帮最大移近速度 (mm/d)
1#	79	109	1.47	2.80
2#	94	87	2.80	1.53
3#	131	104	2.93	2.13
4#	98	118	2.80	3.67
5#	344	104	8.40	4.07
6#	386	163	9.53	3.93
7#	716	506	14.73	11.67
8#	491	614	11.13	8.73
9#	791	761	13.47	18.13
10#	783	530	16.60	11.47
11#	192	575	3.00	11.47
12#	572	475	13.40	12.60
平均	390	346	8.35	7.68

综合以上各测点分析:

(1)3405胶带顺槽最大顶底板移近量平均为390mm,最大位移点为9#测点,推测该测点在断层附近,巷道变形破坏严重,顶底板最大移近速度平均为8.35mm/d;

(2) 3405 胶带顺槽最大两帮移近量平均为 346mm, 最大位移点为 9# 测点; 距离巷道开口 0m~300m 范围内、400m~500m 范围内, 煤柱帮变形大于工作面帮, 300m~400m 范围内工作面帮变形大于煤柱帮, 从另一个方面佐证了在 350m 附近可能存在一隐伏断层; 顶底板最大移近速度平均为 7.68mm/d;

(3) 与 12# 测点相比较, 7#~11# 测点同时期顶底板变形量分别减小 7.6%、33.3%、17.1%、1.2%、72.7%, 两帮变形量减小 17.2%、-0.01%、-19.8%、12%、20.5%, 由此可见实施卸压—加固方案比原有支护方案基本上变形量减少约 17%~33%, 巷道治理效果明显。由于 12# 测点滞后工作面距离大于其他测点, 因此变形量减少理论值应当比实测值更大。

5 结论

大阳煤矿 3405 胶带顺槽在 3404 工作面回采期间掘进, 受到回采及埋深影响, 表现出巷道变形大且为非对称性、难以维护、多次返修的现象, 本文提出了大直径钻孔卸压、小直径钻孔爆破+大直径钻孔卸压、大直径钻孔爆破切顶+大直径钻孔卸压三种治理方案, 通过对原有支护方案和各治理方案的对比

分析, 结合现场生产需求, 最终采用大直径卸压钻孔—加固强化治理方案, 实施后巷道变形量减少约 17%~33%。

卸压支护虽然能有效降低围岩浅部应力, 但是以牺牲围岩整体性为代价, 对原有支护结构必定会产生消极影响, 因此必须把握好卸压参数合适的“度”, 充分利用钻孔卸压与锚固支护的有益效果, 尽量一次支护有效控制围岩变形与破坏, 避免二次支护和巷道维修。

参考文献:

- [1] 康红普. 我国煤矿巷道锚杆支护技术发展 60 年及展望[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(06): 1071-1081.
- [2] 卢全体. 高应力软岩煤巷钻孔卸压支护技术研究[D]. 中国矿业大学, 2015.
- [3] 易恩兵, 牟宗龙, 窦林名, 居建国, 谢龙, 徐大连. 软及硬煤层钻孔卸压效果对比分析研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(06): 1-5+85.
- [4] 吴鑫, 伯志革, 杨凯, 杨俊燕. 3DEC 数值模拟方法在巷道支护优化设计中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2013, 40(02): 73-76.
- [5] 王猛, 王襄禹, 肖同强. 深部巷道钻孔卸压机理及关键参数确定方法与应用[J]. 煤炭学报, 2017, 42(05): 1138-1145.

(上接第 13 页) 控制之间的最大通讯距离 500m。

(8) 传输速率

控制箱之间的数据传输速率为 2400bps。

5 系统组成

采煤机尘源跟踪喷雾降尘系统主要喷雾控制箱、红外发射器、红外接收器、红外发射器电源箱、电动球阀、电动电缆、通讯电缆、供水管路(高压胶管)、

喷嘴及其它必要设备组成。

6 结束语

唐安煤矿综放工作面综采随机联动自动洒水防尘系统的使用, 与其他防尘设施(清水过滤器、转载点喷雾、防尘水幕等)的联合应用, 工作面降尘率高达 80% 以上, 大大改善了工人的作业环境, 降低了尘肺病的发生率。