

镇城底矿坚硬顶板定向水力压裂技术应用研究

张富荣（西山煤电集团有限责任公司镇城底矿，山西 太原 030053）

摘要：镇城底矿为解决 22212 工作面坚硬顶板难垮落造成的巷道稳定性差的问题，本文基于理论分析水力压裂卸压机理的基础上利用数值模拟软件对水力压裂切顶卸压对边界巷道、辅助巷道的稳定性影响进行研究，发现经过水力压裂切顶卸压后巷道的稳定性得到了大幅度的改善，较未经水力压裂切顶卸压时应力更加平稳，保证矿井的安全开采；同时，为矿井地质条件相类似工作面巷道围岩稳定性控制提供参考与借鉴。

关键词：坚硬顶板；水压致裂；切顶卸压；垂直应力

1 引言

随着煤矿开采年限的增加，地质覆存较简单的煤层逐步开采完毕，矿井开采逐步向埋藏较深、地质条件复杂的煤层推进。坚硬顶板工作面由于顶板岩性较为坚硬，使得采空区顶板极难垮落，并形成大面积的悬顶，大面积的悬顶一旦发生垮落极易造成层工作面冲击地压，同时为了保证巷道的稳定性，在留煤柱开采的巷道，大面积的悬顶使得煤柱留设宽度大幅增加，造成严重的资源浪费，在无煤柱开采的矿井，大面积的悬顶同样需要投入较大的资金来维护巷道的稳定性，所以对坚硬顶板的治理成为了一个热门的课题。目前针对坚硬顶板的治理的方法主要为切顶卸压，通过对顶板进行预裂，达到正常垮落的目的。本文以镇城底矿 22212 工作面为工程背景，采用数值模拟软件对坚硬顶板水力压裂技术进行研究，为矿井坚硬顶板的治理提供参考与借鉴。

2 矿井概况及数值模拟建立

镇城底矿井田位于西山煤田的西北边缘，距太原市 64km，矿区总面积 22.8 km²，生产能力 190 万 t/a。井田含煤层地层为二迭系山西组及石炭系太原组，可采煤层 8 层，主采煤层为 2[#]、3[#] 和 8[#]。煤层总厚度 16.79m，含煤系数为 10.42%。22212 工作面位于该矿南五盘区，主要开采太原组 2[#] 煤层，由于巷道顶板坚硬，难垮落导致的巷道稳定性差，威胁矿井的安全生产。

在矿井开采过程中，随着开采面积的增大，使得采空区覆岩得自重逐步转移至围岩，此时采空区的周围相邻位置构成支撑压力区域，在回采应力作用下形成不同的应力区域，分别为原岩应力区、应力增高区及应力稳定区。在超前支撑区域护巷煤柱载荷快速增长，此时巷道的变形量增大，巷道出现顶板下沉、底板底鼓及两帮片帮现象。为了降低压力承载区域的应力，减少巷道出现的应力集中，采用水力压裂技术进行切顶卸压。

水力压裂切顶卸压技术主要是在回采前对顶板进行机械钻孔，将钻好的孔进行密闭，利用高压射流水对钻孔进行注液，当钻孔内部压力大于钻孔起裂压力时，此时钻孔发生起裂，沿着钻孔会形成裂缝，随着注液时间的继续增大，此时裂缝随着水压的注入发生扩展，从而达到降低顶板完整性，达到随采随落，降低侧向支撑压力，提升巷道稳定性的目的。为了更好的对水力压裂切

顶卸压进行一定的研究，利用数值模拟软件对边界排水巷及水力压裂卸压的机理进行研究。

结合镇城底矿 22212 工作面地质条件，采用 FLAC3D 数值模拟软件构建数值模型，模型的长宽高分别为 800m、620m、1m，完成模型的建立后对模型进行网格划分，网格划分直接关系到模拟计算的时间与精度，本文采用 interfacce 单元进行建立，划分完成后共计 960000 个单元格，对岩层进行物理参数进行设定，本文根据实际情况设定煤层顶板岩层依次为中粒砂岩、细粒砂岩、泥岩、中粒砂岩、粉砂岩、泥岩，对物理参数进行设定参照表 1，数值模拟计算模型如图 1 所示。

表 1 岩层物理参数参照表

岩性	内聚力 / MPa	内摩擦角 / °	剪切模量 / GPa	体积模量 / GPa	密度 / kN · m ⁻³
中粒砂岩	2.3	40	2.0	3.5	2680
泥岩	2.2	38	1.7	3	2670
细砂岩	1.1	34	1.8	3.1	2400
中粒砂岩	3.5	40	6.5	9.5	2700
煤层	1.5	31	1.7	2.5	1400
泥岩	2.2	38	1.7	3	2670
细砂岩	1.1	34	1.8	3.1	2400

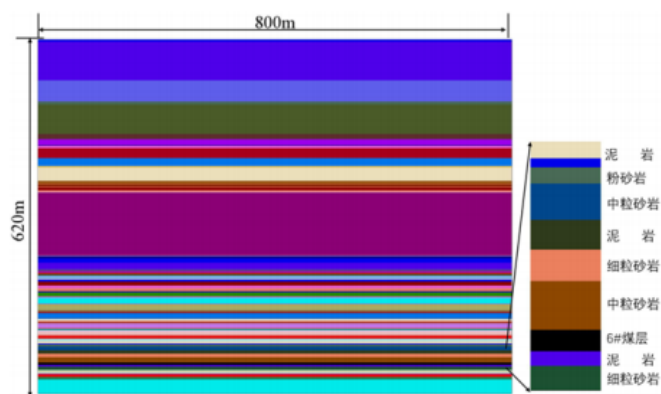


图 1 数值模量模型示意图

3 数值模拟计算

首先对水力压裂切顶卸压对边界巷道的稳定性影响

进行研究,方案一为非水力压裂切顶卸压对边界巷影响,在6号煤开挖排水巷,排水巷与保护煤柱的距离设定为25m,方案二为水力压裂对边界巷稳定性影响研究,正在采空区沿煤柱侧向上50°的位置布置一条垂直高度30m的裂缝,分别对两种情况进行模拟研究,研究结果如图2所示。

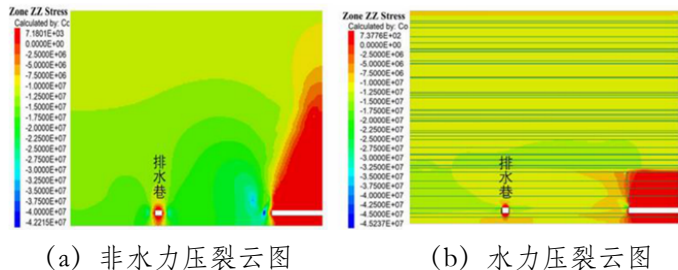


图2 水力压裂影响云图

从图2可以看出,在非水力压裂情况下,在采空区与巷道的上下方位置应力分布均低于10MPa,此区域内为低应力区,在工作面切眼与采空区的上端位置为拉应力分布区域,而高应力区域集中在煤柱附近,且距离切眼越近越大,在排水巷附近存在应力集中现象,在此范围内应力值在20MPa左右,在排水巷5m-10m及切眼左端10m-20m的范围内容易破坏,而在边界排水巷的顶板位置易出现张拉破坏。而在水力压裂下底应力区域主要集中在煤柱间及采空区与切眼50m的范围,而高应力区域也由非水力压裂情况下的17MPa左右降低至12MPa,在排水巷两侧应力最大值同样降低至12MPa附近。可以看出经过水力压裂下巷道应力分布有了明显的改善,巷道的稳定性也得到了一定幅度的提升。

计算汇总90m煤柱近切眼15m的垂直方向应力变化情况如图3所示。

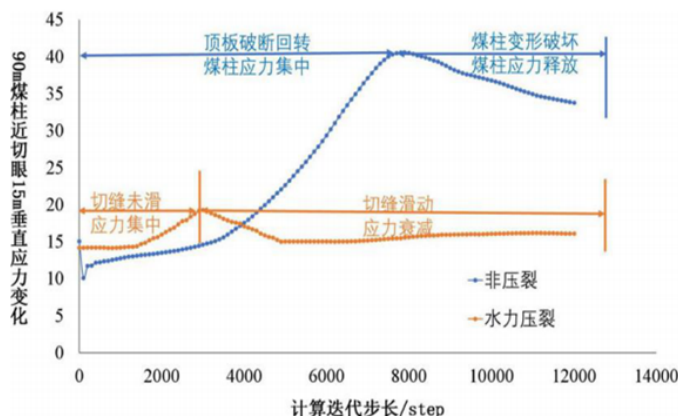


图3 两种方案对比图

从图3可以看出在非水力压裂顶板时采空区顶板发生旋转下沉造成煤柱在上端部形成应力集中如图蓝色曲线上升部分,当煤柱承载的应力超过煤柱的屈服极限时,此时的煤柱发生破坏,煤柱应力释放发此时应力下降如图蓝色下降部分,而经过水力压裂切顶卸压后应力值明显小于未经过切顶卸压时的情况,此时在注液阶段切缝未发生滑动此时应力出现增长的趋势,当注液压力超过钻孔的承载极限时,此时钻孔发生破坏,应力出现一定

幅度的降低,随后应力长时间区域稳定,如图棕色部分,可以看出水力压裂顶板主要是通过切缝,从而改变顶板的破坏形式,从而影响围岩的整体分布,降低巷道变形量。

同样的对比水力压裂对辅助顺槽的影响进行研究,方案一为非水力压裂采空区煤柱侧顶板受力情况,回采顺槽与煤柱间距设定为25m,相邻巷道的尺寸设定为5m×4m,方案二为水力压裂采空区煤柱侧顶板的受力情况,沿着煤柱方向在采空区设定一条裂缝,裂缝与采空区煤柱夹角为85°,裂缝的高度设定为30m,计算汇总煤柱10m处应力变化情况如图4所示。

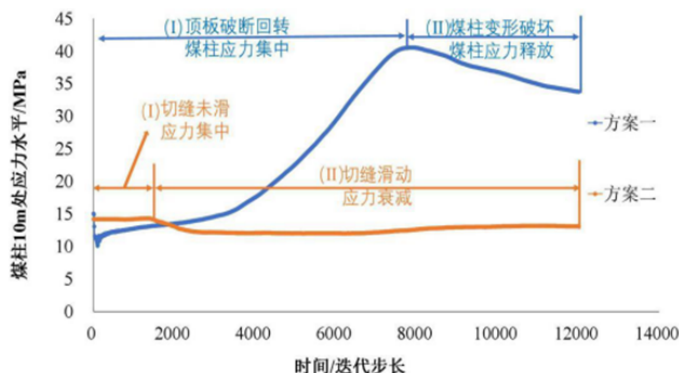


图4 两种方案对比图

从图中可以看出,在非水力压裂顶板情况下,顶板同样先经历顶板断裂回转,造成煤柱侧的应力集中,此时应力最大值为39MPa,应力曲线呈现先增大后减小的趋势,这是由于随着覆岩的下沉造成煤柱应力集中,当煤柱由于承载能力不足发生破坏时应力下降,而经过水力压裂卸压的顶板其垂直应力分布大致不会发生变化,仅在切缝未滑动时存在一定的应力集中。

4 结论

①镇城底矿为解决22212工作面坚硬顶板难垮难落造成的巷道稳定性差的问题。对水力压裂切顶卸压机理进行研究,给出了数值模拟模型建立的全过程,为后续模拟研究提供一定的参考;②通过采用数值模拟软件对水力压裂切顶卸压对边界巷道的稳定性影响进行研究。发现经过水力压裂后巷道的应力环境得到了较大幅度的改善,巷道稳定性提升。根据对水力压裂前后巷道垂直应力进行分析发现,未经水力压裂顶板的垂直应力呈现先增大后减小的趋势,而经过水力压裂卸压巷道应力变化不明显。

参考文献:

- [1] 韩晋光. 大采高综采工作面顶板控制技术应用研究 [J]. 水力采煤与管道运输, 2019, 000(004): 73-74, 77.
- [2] 王宏峰. 坚硬顶板大采高工作面合理长度确定及顶板控制技术研究 [J]. 煤炭工程, 2013, 45(s1): 1-3.
- [3] 孙志勇, 冯彦军, 郭相平. 凤凰山煤矿坚硬顶板定向水力压裂技术应用研究 [J]. 中国矿业, 2014(11): 108-110.
- [4] 孙志勇, 冯彦军, 郭相平. 凤凰山煤矿坚硬顶板定向水力压裂技术应用研究 [J]. 中国矿业, 2014(11): 108-110.