

水力压裂切顶卸压技术在 18104 工作面的应用研究

武星宇 王海平 (山西王家岭煤业有限公司, 山西 忻州 036600)

摘要: 在矿井开采过程中, 一般情况下工作面采用全部垮落法管理顶板, 由于我国大部分矿井工作面顶板无法及时随着工作面推移而垮落, 如顶板岩石较坚硬 (石灰岩)、厚度大、节理裂隙不发育、完整性较好等岩层, 极易导致大面积顶板悬顶, 垮落周期较长。一旦冒落会形成大面积周期来压, 甚至推倒工作面支架现象。针对此类问题, 目前常用深孔爆破预裂法来处理, 然而对于此方法有如下缺点: 施工工艺复杂、使用民用爆破器材申请难、工安全无保障、安全费用成本高、易污染井下空气、工序相互影响、易引起工作面控顶管理困难、尤其是在高瓦斯矿井或煤层中采用爆破法控顶时极易引发瓦斯或煤尘爆炸。

关键词: 水力压裂; 坚硬顶板; 切顶卸压

0 引言

在矿井开采中, 坚硬难垮顶板是指赋存在开采煤层正上方的直接顶厚度较大的或厚度较小的直接顶上面存在厚度大而稳定、坚硬的砂岩、砾岩或石灰岩等岩层, 普遍具有顶板岩石致密性、抗弯曲强度较大、节理裂隙不明显、整体性较好, 自身承载能力强等, 在工作面回采过程中, 经常出现采空区大面积悬顶不冒落情况, 一旦冒落, 会形成大面积、强烈的周期性来压, 且来压时有明显的动力现象, 造成支护设备损坏, 甚至出现危及人身安全的事故。例如山西平定古州东升阳胜煤业有限公司 6 月 3 日发生瓦斯爆炸事故, 造成 2 人死亡, 9 人受伤, 系因工作面初采期间空顶面积大, 初次来压期间瓦斯治理措施不到位, 造成上隅角瓦斯超限造成。水力压裂切顶技术作为一种成本低、施工简单、工艺不交叉、安全性较高有效地坚硬顶板处理技术, 有效降低附近采空区巷道受动压的影响程度, 降低支护难度, 使顶部岩层定向压裂、损坏顶板岩层的完整性, 从而减弱顶板的强度以及整体性, 使采空区顶板能够分层分次垮落, 减短初次压力和周期压距离, 以达到降低或消除坚韧难垮顶板对工作面回采危害的目的。

1 工程概况

山西王家岭王家岭煤业有限公司为高瓦斯矿井, 现开采 4# 煤, 具有爆炸性, 自燃煤层, 煤厚 4.7~5.7m, 倾角为 4°~9°, 平均 6.5° 左右。18104 工作面北部为石塘村、石塘河保护煤柱及设计的开拓运输巷, 南部 73m 为井田边界, 西部为设计的 18106 回采工作面, 东部为 18102 工作面采空区。18104 工作面倾向长约为 306m, 走向长度约为 1616m。切眼宽 9.5m, 高 3.7m, 切眼沿煤层底板挖掘, 留有部分顶煤, 切眼顶板锚杆支护密度高。工作面地面标高: +1019~+1094mm, 工作面标高为: +580~+604m。4# 煤层直接顶为砂质泥岩, 厚 2m 左右; 老顶为厚层中、粗砂岩, 厚度超过 18m, 岩层完整性较好。由于 18104 工作面顶板为典型的厚度超过 10m 的, 强度较高、完整性高、自身承载能力强的砂岩顶板, 在工作面回采中, 极易造成采空区大面积悬顶、第一次来压和周期来压距离较大, 矿压呈现尤为明显等

问题。

2 水力压裂原理及工艺

2.1 水致裂原理

初采初放过程中, 水力致裂提前切断老顶, 减少初次放顶的垮落步距, 提高初期的回采率; 正常回采致裂用脉冲与常规组合水力致裂: 通过脉冲泵的高频冲击作用在坚硬煤体内的各个方向形成大量的裂缝, 不仅提高了裂缝的数量, 而且突破节理、层理对均匀压裂的制约, 然后通过更换成高压泵, 对脉冲形成的水压裂缝进行进一步补充压裂, 持续增大裂缝的扩展范围, 有效减小顶煤块度。水力致裂破碎顶煤的同时, 提高了顶煤的含水率, 也有利于工作面的防灭火和工作面的防尘。

2.2 水力压裂工艺

水力压裂包括打孔、封孔、高压水压裂、保压注水、压裂监测等主要工序。施工致裂孔→安装致裂泵→连接铺设高压胶管→安装封孔器→孔口加装防冲装置→泵前孔后 20km 设警戒→开泵前检查→启动致裂泵 (调压阀打到零位)→检查各连接管路、仪表接口 (如有问题停泵处理)→关掉注水阀打开封孔阀→逐渐加压至 20MPa 关闭封孔阀→打开注水阀逐渐加压至最高→检查封孔情况 (如有问题停泵处理)→记录好各数据→观察孔口前后 10km 漏水情况→观察压力波动→压力下降→停泵→采用窥视仪收集孔内裂缝信息。该压裂系统如图 1 所示。

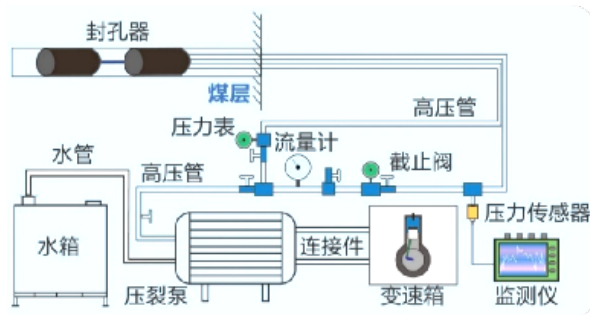


图 1 压裂系统组成

使用横向切槽钻头, 预制横向切槽。采用高压注水泵为封隔器更加压力使胶筒逐渐膨胀, 达到封孔目的后, 密封封孔器, 打开注水铁管截止阀, 连接高压泵进行压裂。封孔压力为 12~16MPa, 按照下图连接管路,

保证连接处密封完好,试压到达要求值后再进行使用。试压时压力到 2-5MPa 检查密封状况。

3 现场试验

3.1 钻孔布置

根据 18104 工作面钻孔柱状图显示,18104 工作面直接顶为厚 2m 左右砂质泥岩,老顶为厚度超过 18m 厚层中、粗砂岩,岩层完整性较好。煤层采高为 6.5m,压裂垂高设计在 15-20m 间,由于压裂半径可达 10m 左右,故压裂影响垂高应在 54m 左右。具体水力压裂过程中可以有针对性的进行预裂,以达到更好的压裂效果。

根据矿井生产地质报告中提供的顶板岩性强度,其中泥岩抗压强度平均为 10.7MPa,最大为 13.6 MPa,属于软岩层;而砂岩抗压强度平均为 56.1MPa,最大为 60.8MPa,属于坚硬岩层。

根据水力压裂理论、最大拉应力准则及 18104 工作面切眼顶板岩层结构、岩层厚度、岩性及采高。结合弹性理论、工作面顶板条件及在其他矿井的高压水预裂经验,可估算 18104 综采工作面初采初放高压水预裂压力约为 10-60MPa。即要想达到压裂效果,静水压力应不小于岩石的单轴饱和抗压强度,即不小于 56.1MPa;同时由于压裂岩石为三向受压状态,故静水压裂需要适当加大,最大压力选择 60.8 MPa。

①在 18104 胶带顺槽内 1500m 左右至停采线附近,施工长度为 1500m;②沿顺槽轴向方向布置压裂钻孔 S,钻孔与顺槽夹角 5° - 10° ,孔间距 10m,距煤柱侧帮不超过 1m,布置见图(a);③压裂钻孔 -S,钻孔长度 40m,倾角 45° - 50° ,布置见图(b);④采用倒退式压裂,间隔 3m 压一次,初步确定压裂范围为从距离孔口 12m 到孔底。

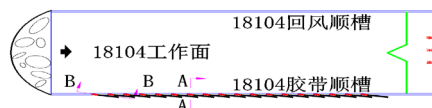


图 2 水力压裂钻孔平面布置

3.2 设备安装

高压致裂泵和脉冲泵及过滤水箱运送到指定地点后,平整场地按致裂泵、过滤水箱、脉冲泵的先后顺序按放,用三通球形截止阀将静压水通过 $\varnothing 51$ 高压水管引入过滤水箱,连接泵与水箱的连接管,安装压力表,安装水力检测仪。打开排气阀排掉泵内空气,高压致裂泵和脉冲泵安装完毕。

高压致裂泵和脉冲泵安装完毕后,依次启动两台泵开始调试。将泵调压阀调到零位,开泵观察电机转向是否正确。查看供水是否正常。检查各仪表、连接管接口是否漏水。将出水口关闭,将调压阀逐渐加压,测试泵的最高压力和达到最高压力后安全阀是否能自动打开。

3.3 压裂技术要求

①使用后退式单孔多次压裂,间隔 3m 压裂一次,次数可以依据钻孔查看和岩层钻探硬度进一步调整。如果顶板出现异常响动和大面积积水,立即暂停压裂;②

压裂时长暂时设定为 30min,依据水压情况和岩层出水进行调整;③钻孔施工和钻孔压裂同时作业,间距不少于 30m。

3.4 压裂注意事项

高压注水钢管连接封孔器逐根推送入钻孔中后首次压裂位置为孔底 1-1.5m,后退式分段预裂,边压裂边撤杆,即从钻孔底部向孔口逐次压裂注水。压裂注水过程中,保证一定的注水时间,确保压裂、软化充分,同时安排专人检查压裂孔周围顶板,当有大量水从顶板中流出时,停止压裂注水;压裂过程中,安排专人观测顶板支护情况,出现顶板变形、锚杆断裂时,立即停止该孔压裂,在压裂 60m 范围内设置临时支护。所有工程施工期间,若遇到顶板、帮部条件不好或有异常状况,必须及时采取加强支护措施并通知矿调度室和生产技术科。使用槽钢和锚杆在孔口处做一防冲装置,当封孔器突然泄压射出孔内时,使其起到卸力保护作用。高压水力致裂过程中,致裂泵前 10m 孔口后 20m 各设一道警戒,所有人员禁止入内,现场致裂人员必须站在孔口两侧 20m 之外,严禁人员站在孔口正面,以防封孔器突然射出伤人。

4 现场效果监测

为了评价压裂效果,在 18104 工作面胶带顺槽布置监测测站,共布置 3 个测站,每个测站设置 2 个空心包体、4 个钻孔应力计以及 1 个表面位移测量点,在 18104 工作面胶带顺槽对应位置同时设置表面位移测点,监测巷道表面位置变化。

根据在高压水力压裂管路上的数据可知,裂缝破裂压力低于裂缝扩展压力,说明横向切槽很好减小裂缝起裂压力。定向水力压裂时,查看钻孔有压裂流量,压裂段与孔口距离缩小时 ($< 18m$) 顶板有压裂水流出,顶板水流位置基本位于顶板锚索或锚杆处,距压裂段约为 15m。通过压裂得出,除此之外,通过分段逐次压裂时,钻孔中也会有水流出。把监测孔与压裂孔的间距调整为 25m 时压裂时,监测孔压裂水流出量就很少,并且出水的监测孔水量较小。

5 结论

通过在王家岭矿井 18104 工作面开展的水力压裂切顶卸压技术控制坚硬顶板研究,主要得出如下结论:

采用水力压裂处理技术后,裂缝扩展半径约为 30-35m,工作面在推进 12.5m 开始垮落,老顶的初次来压布距为 33m,周期来压距离平均为 15m,来压强度低,压力不明显。采用水力压裂处理技术后,巷道在回采时承受超前压力影响,巷道两帮移近量最大为 125mm,顶底板最大移近量为 50mm。通过现场监测和顶板垮落过程得知,水力压裂区域范围内未出现明显顶板压力增高区,有效缓解临近工作面的动压影响。

作者简介:

武星宇(1992-),2013年毕业于中国矿业大学,山西王家岭煤业有限公司从事综采工作。