

# 沿煤高压水力压裂试验与效果

张 寅<sup>1,2</sup>, 韩荣军<sup>3</sup>

(1. 中国矿业大学, 江苏 徐州 221008; 2. 义煤集团有限责任公司 千秋煤矿 472300; 3. 义煤集团有限责任公司, 河南 义马 472300)

**[摘 要]** 为了进一步探索防治冲击矿压的治理方法, 减少冲击矿压对千秋煤矿的威胁, 千秋煤矿在研究煤矿井下钻孔高压水力压裂技术时, 通过采用电磁辐射仪、微震系统、钻屑法等监测技术, 分析得知, 高压水力压裂过程中, 煤体不断破裂, 应力不断释放, 应力集中区域应力得以解除, 从而达到了冲击矿压的有效防治, 同时该技术具有增透、消突、降尘、阻止自然发火等多项功能, 实测证明高压水力压裂是煤矿灾害综合治理技术的一种行之有效的办法。

**[关键词]** 高压水力压裂; 冲击矿压; 综合防灾; 监测; 评价

**[中图分类号]** TD324.2 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1006-6225 (2010) 02-0095-02

## Test of High Pressure Hydrofracturing along Coal Seam and Its Effect

随着开采深度的增加, 鉴定千秋煤矿二煤开采为中等强度冲击危险。二煤平均厚为 8.32m, 倾角 11~13°。自然发火期一般为 0~3 个月, 最短 7d。自然倾向性等级属容易自然发火煤层。煤尘爆炸指数为 47.29%, 有爆炸危险, 为高瓦斯矿井。

为了增透、消突、降尘、阻止自然发火、释放冲击矿压应力和解除局部应力集中, 拟采用煤矿井下钻孔高压水力压裂技术, 辅以煤粉监测、微震监测评价防冲效果。

### 1 工业性试验

#### 1.1 工业性试验地点概况

选择 21141 下巷掘进工作面进行水力压裂。21141 工作面位于 21 区轨道下山西翼, 北与 21121 已采工作面相邻, 南与 21161 未采工作面相邻, 西为矿井边界煤柱, 东与 21 区轨道下山相接。下巷分别从巷道两端相对掘进, 贯通距离剩余 100m。

下巷设计断面为马蹄型, 长度 1537.23m, 巷道设计方位 S89°34'E, 沿煤层底板掘进, 并预留 2m 厚底煤作为巷道底板。巷道支护采用锚网索 + 36U 全断面复合支护, 巷道净宽 5154mm, 净高 3660mm, 柱窝深度为 200mm。顶帮锚杆全部采用  $\phi 22\text{mm} \times 2500\text{mm}$  金属全螺纹加强锚杆, 树脂药卷端头锚固, 锚杆间排距为 600mm  $\times$  600mm。

#### 1.2 压裂施工设备

选用额定压力为 40MPa, 最大排水量为 1.2 m<sup>3</sup>/min 的 YL600/315 型压裂泵。压裂泵供电电压 660V, 负荷为 315kW。压裂泵组由可拆卸的 2 个

橇架构成, 分别为压裂泵和防爆电机, 2 个橇架分别编号入井。

水箱采用特制井下压裂水箱 2 个, 一个使用, 一个备用, 容量 10m<sup>3</sup>, 满足压裂流量需求, 通过  $\phi 159\text{mm}$  软管与压裂泵吸入总管连接。高压管路选用  $\phi 65\text{mm}$  高压胶管, 专用封孔器封孔, 封孔深度 40m, 采用快速接头与高压胶管相连接, 封孔器抗压强度为 40MPa, 外径 55mm, 内径 25mm。

压力表 1 个、流量计 1 个、专用封孔器 1 套、压裂高压管路 1400m、 $\phi 20\text{mm}$  无缝压裂钢管 30m、压裂现场监控系统 1 套, 携粒剂、破解剂、专用骨粒等根据需要配备。

#### 1.3 施工工艺

##### 1.3.1 压裂钻孔布置

钻孔布置见图 1。施工位置在 21141 下巷, 沿巷道掘进方向, 在巷道中心位置, 自东向西在掘进工作面迎头前方, 顺煤层施工压裂孔, 钻头直径  $\phi 72\text{mm}$ , 钻孔深度 50m, 采用专用封孔器与化学材料相结合的方式封孔, 封孔深度 40m。

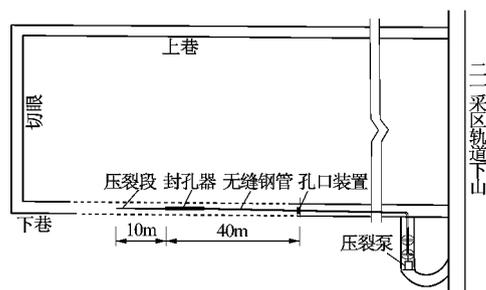


图 1 21141 工作面下巷压裂孔布置

[收稿日期] 2009-11-16

[作者简介] 张 寅 (1974-), 男, 陕西安康人, 高级工程师, 在读博士生, 现任义煤集团千秋煤矿矿长。

水力压裂结束后，在压裂孔周围施工抽采钻孔，钻孔自东向西沿巷道掘进方向施工。

采用长度 10~20m 专用封孔器封孔，封孔器以外用无缝钢管连接。压裂试验的泵站设置在 21141 下巷车场以外轨道巷的瓦斯抽放泵口上方 15m 处。高压管路铺设路线为：21141 压裂泵站（21141 车场）→21141 下巷迎头→压裂孔。

1.3.2 井下压裂工艺流程

(1) 压裂前采用 KBD-5, KBD-7 电磁辐射仪、微震系统、钻屑法、煤粉含水率等设备和技

- (2) 与压裂设备相连铺设高压管路；
- (3) 按要求施工压裂钻孔；
- (4) 压裂孔封孔；
- (5) 高压管路连接压裂孔；
- (6) 高压管路试压检漏；
- (7) 停电、撤人，设置警戒；
- (8) 按照设计程序实施压裂；
- (9) 压裂结束 40min 后，由矿安检员和压裂作业现场指挥人员进入压裂地点查看；

(10) 压裂后采用 (1) 的设备和技

2 压裂效果监测与减灾效果分析

压裂试验在 2009 年 7 月 16 日 14:20~17:40 在 21141 下巷进行。压裂过程中泵站压力情况：14:00 开泵冲洗管路，14:20 开始压裂，初始压力为 22MPa 14:55 压力达到 24MPa 15:30 压力达到 26MPa 17:10 压力达到最高值 29.4MPa 17:30 压裂结束。压裂后煤壁现象：迎头右上角煤壁渗水，迎头煤墙向外平均位移 300mm。

KBD-5 监测数据 如图 2 压裂前后该地点煤体电磁强度和脉冲强度均下降，其中压裂前电磁平均强度约为压裂后 2.4 倍，压裂前电磁平均脉冲约为压裂后 5.3 倍，说明能量得到有效释放。

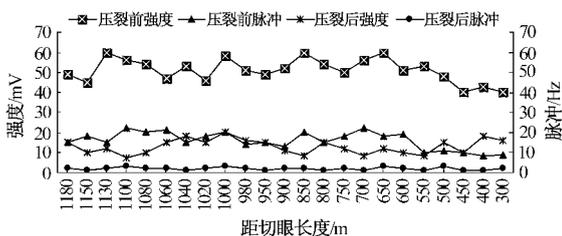


图 2 21141 下巷压裂前、后电磁辐射监测对比

微震系统监测 探头分别布置在上巷切眼

(70m) 中间, 1300m, 1180m, 1100m, 900m, 860m, 700m, 500m, 300m, 160m, 100m; 下巷检波器分别布置在 300m, 500m, 700m。水力压裂前微震监测到 8 次微震事件 (时间为 2009 年 7 月 16 日 0:00~14:20), 总能量为  $6.7 \times 10^4$  J; 从压裂开始后到晚上 (14:20~24:00) 前, 微震监测到 17 次微震事件, 总能量为  $9.2 \times 10^5$  J

压裂过程中煤体破裂产生的微震波被系统接收, 形成多个事件。说明围岩破裂, 使能量得到有效释放。经过致裂后, 煤粉量降低 28%, 远远低于千秋煤矿发生冲击矿压的煤粉量门槛值 (预警值) 2.8kg 由此表明了水压致裂的效果。

钻屑法对比 在压裂前后分别进行了钻屑法取样, 见表 1。

表 1 压裂前后钻屑值对比

点号	压裂前钻屑值 /kg	压裂后钻屑值 /kg
4	2.23	1.94
5	2.53	1.96
6	2.71	1.95
7	2.89	1.99
8	2.96	2.10
9	3.12	2.08
10	2.75	1.97
平均值	2.74	1.99

3 结论

通过对 KBD-5, KBD-7 电磁辐射仪、微震系统、钻屑法等设备数据压裂前后分析得知, 压裂过程中, 煤体不断破裂, 应力不断释放, 应力集中区域应力得以解除, 煤体含水率增大, 煤层中释放冲击矿压和解除局部应力集中的效果明显, 从而达到了冲击矿压的有效防治, 并为千秋煤矿提供了一种新的可行的防治冲击矿压技术。

另外, 该技术把水作为动力, 在煤层中形成人工的空腔、槽缝和裂隙, 或扩大已有的裂缝以及使煤体发生位移。经压裂后的煤层, 其内部能出现众多且延伸很远的裂缝, 使得在抽气时钻孔周围出现大面积的压力下降, 煤层受降压影响解析出来的气体能够通过压裂形成的裂隙运移至钻孔中, 保证了煤层气体能迅速并相对持久地泄放, 抽出量较压裂前可增加数十倍, 从而起到卸压和排放瓦斯的作用, 最终达到防治突出、释放冲击矿压和解除局部应力集中的效果。

因此, 该技术具有增透、消突、降尘、阻止自然发火、释放冲击矿压应力和解除局部应力集中等多项功能。

(下转 67 页)

式看,主要为承受扭矩时发生破坏。图3为ZY7600/24/50型掩护式液压支架在不同支撑高度时,在顶梁偏载工况下顶梁和掩护梁的扭矩图。由图可以看出,支架高度在5.0~3.0m范围内变化时,顶梁的扭矩变化不大,而掩护梁的扭矩却增加了68%。可见,支架在支撑高度达到3.0m时,工况比较恶劣,是掩护梁发生破坏的原因之一。

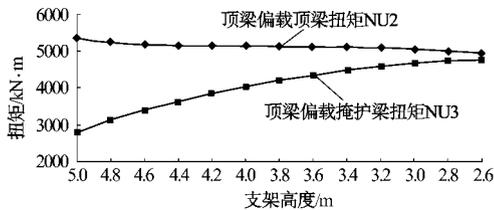


图3 顶梁、掩护梁在顶梁偏载时的扭矩曲线

(5) 支架初撑力分析 支架初撑力是保证工作面顶板稳定和控制顶板下沉量的关键因素之一。足够的初撑力不但能维护顶板的完整性,而且能控制顶板的下沉速度。从图4可以看出,ZY7600/24/50型液压支架在3.5m左右的高度时的初撑力较4.5m高度时初撑力低5%左右。初撑力的降低导致顶板下沉速度增加,从而使工作面工况更加恶劣,来压加剧。

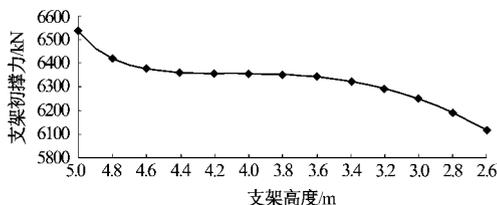


图4 支架初撑力变化曲线

(6) 工作面过断层 工作面初次来压时,距离采面前方30m左右,有倾角 $65^\circ$ , $H=4.2\text{m}$ 的断层,完全横贯工作面。断层的存在,工作面基本顶的断裂长度增加,并且回转形态发生变化,从而造成工作面压力增加。

## 2 应对措施

基于上述原因,并根据ZY7600/24/50型掩护式支架的具体损坏情况,在保证工作面正常生产的前提下,提出如下应对措施:

(1) 焊接加固。首先对损坏严重的5架支架进行补焊,保证支架功能的实现和工作面正常回采;其次,对剩余损坏支架利用工作面检修时间进行加固处理。

(2) 凡是损坏的支架掩护梁用单体液压支柱加以辅助支护,并采用远距离操作。

(3) 过断层时,支架工作状态更加恶劣。有关部门在生产过程中详细制定了工作面过断层安全技术措施,并严格执行。

(4) 支架高度的降低,会造成掩护梁扭矩的增加,受力状态的恶劣,因此,在条件允许的情况下,尽量保证支架工作高度控制在4.0~4.5m的范围内,以减小支架掩护梁的扭矩。 [责任编辑:张银亮]

(上接 53 页)

## 6 结论

(1) 实测表明,L3515机巷在掘进期间、掘后稳定期间和受上覆煤层开采影响期间的围岩变形具有类似规律:巷道顶底板间的相对移近量远大于两帮的相对移近量,且顶底板变形主要以底鼓为主,顶板下沉明显很小。且在上覆工作面推过后,巷道围岩即趋于稳定,变形基本不再增长。

(2) 在整个观测过程中,巷道顶板的离层主要以锚固区内变形为主,量值约在10mm以内,锚固区内和锚固区外之间一般无离层。

(3) 随着巷道位移发生变化,锚杆受力逐步增大,但其受力均在锚杆破断强度之内。

(4) 实践表明,该条件下机巷的支护可采用“强顶弱帮”支护思路,且所提出的方案可以保证巷道的围岩稳定。 [责任编辑:王兴库]

(上接 96 页)

## 【参考文献】

- [1] 章梦涛.冲击地压和突出的统一失稳理论[J].煤炭学报,1991,16(4):25-31.
- [2] Lippmann H.关于煤矿中“突出”的理论[J].力学进展,1990,24(4):452-466.
- [3] 姜福兴,王同旭,潘立友,等.矿山压力与岩层控制[M].北京:煤炭工业出版社,2004.
- [4] 齐庆新,史元伟,刘天泉.冲击地压粘滑失稳理论的研究[J].煤炭学报,1997,22(2):144-148.
- [5] 潘一山,李忠华,章梦涛.我国冲击地压分布、类型、机理及防治研究[J].岩石力学与工程学报,2003,22(11).
- [6] 蒋金泉,毛仲玉,潘立友.长壁工作面冲击地压发生区域性与时间性[J].岩石力学与工程学报,1998(专).
- [7] 潘一山,杜广林,张永利,等.冲击地压研究中的几个哲学问题[J].中国岩土,2000(1):60-64.
- [8] 姜福兴,杨淑华, XUN Luo.微地震监测揭示的采场围岩空间破裂形态[J].煤炭学报,2003,28(4):356-360.
- [9] 谭云亮,李芳成,周辉,等.冲击地压声发射前兆模式初步研究[J].岩石力学与工程学报,2000,19(4).
- [10] 窦林名,何学秋.冲击矿压防治理论与技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2001. [责任编辑:王兴库]