

许石青,孙威,王明仲,等. 二氧化碳致裂技术在金佳煤矿 212 运输石门揭煤过程中的应用[J]. 矿业安全与环保,2018,45(6):57-60.
文章编号:1008-4495(2018)06-0057-04

二氧化碳致裂技术在金佳煤矿 212 运输石门揭煤过程中的应用

许石青^{1,2},孙威^{1,2},王明仲³,杨彧³,施凯³,任四伟⁴,张书盛⁴

(1. 贵州大学 矿业学院,贵州 贵阳 550025; 2. 贵州大学 瓦斯灾害防治与煤层气开发研究所,贵州 贵阳 550025;
3. 贵州盘江精煤股份有限公司金佳煤矿,贵州 盘县 553536; 4. 贵州联合安盛矿山技术服务有限公司,贵州 贵阳 550081)

摘要:针对金佳煤矿 212 运输石门揭煤工程量大、成本高、瓦斯抽采时间长等问题,采用现场试验并结合理论分析的方法,优化金佳煤矿石门揭煤瓦斯抽采钻孔的布孔方式和治理工艺。研究表明:在金佳煤矿 212 运输石门揭煤过程中实施 CO₂ 致裂煤层技术后,煤体的弹性潜能得到有效释放,有效消除了煤与瓦斯突出的应力;致裂有效半径提高至 6 m,石门揭煤时间缩短至 75 d,实现了掘进工作面安全高效开采的目标。

关键词:石门揭煤;二氧化碳致裂技术;钻孔布置;瓦斯抽采;致裂半径
中图分类号:TD713⁺.3 **文献标志码:**B

Application of Carbon Dioxide Induced Cracking Technology in 212 Transport of Rock Cross-cut Uncovering in Jinjia Coal Mine

XU Shiqing^{1,2}, SUN Wei^{1,2}, WANG Mingzhong³, YANG Yu³, SHI Kai³, REN Siwei⁴, ZHANG Shusheng⁴

(1. Mining College, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Institute of Gas Disaster Prevention and Development Research, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. Jinjia Coal Mine of Guizhou Panjiang Clean Coal Ltd., Panxian 553536, China; 4. Guizhou United Ansheng Mining Technology Service Co., Ltd., Guiyang 550081, China)

Abstract: In view of problems such as large quantity, high cost and long gas extraction time of 212 transport of rock cross-cut uncovering in Jinjia Coal Mine, with the method of field test and theoretical analysis, the perforation pattern and governance of rock cross-cut uncovering gas extraction in Jinjia Coal Mine were optimized. The research results show that the elastic potential of the coal is effectively released after the CO₂ cracking technology is implemented in the process of 212 transport of rock cross-cut uncovering in Jinjia Coal Mine, and the stress of coal and gas outburst is effectively eliminated; the effective radius of crack is increased to 6 m, and the time of rock cross-cut uncovering is shortened to 75 d, realizing the goal of safe and efficient mining of tunneling face.

Keywords: rock cross-cut uncovering; CO₂ cracking technology; borehole layout; gas extraction; fracture radius

传统的石门揭煤钻孔抽采法抽采钻孔工程量大、成本高、时间长、效果不佳,而且由于钻孔间距小、密度高、封孔难度大,极易因孔间裂隙造成窜孔和形成抽采盲区^[1-2]。为有效防治在石门揭煤过程中煤与瓦斯突出事故的发生,提高矿井瓦斯抽采技

术水平与抽采能力,国内外掀起一场提高瓦斯抽采效率的技术革命,其中二氧化碳致裂技术是当前的研究热点^[3-4]。20 世纪英国的 CARDOX 公司提出液态二氧化碳相变致裂技术可以用于采石场大规模开挖^[5];随后在土耳其,个别煤矿通过在钻孔中使用 Cardox 装置,使煤体被瞬间产生的大量高压二氧化碳气体撑开,产生裂隙,从而提高致裂效率;孙小明采用 Comsol Multiphysics 软件得到 270 MPa 压力下液态二氧化碳的相变致裂的影响半径^[6];邹德龙等将液态二氧化碳致裂增透技术应用于下沟煤矿 ZF302 工作面,为工作面煤层瓦斯预抽增透提供了科学依据^[7]。

收稿日期:2018-05-21;2018-11-05 修订

基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2017]2815);贵州大学引进人才科研基金项目(2016-58)

作者简介:许石青(1968—),女,贵州盘县人,硕士,高级实验师,主要从事煤矿安全技术及工程方面的实验教学、实验技术及理论教学工作。

目前相关研究主要集中于工作面煤层瓦斯预抽增透技术,尚未对石门揭煤中二氧化碳致裂特性进行研究。笔者以金佳煤矿212运输石门揭煤为研究对象,采用现场试验并结合理论分析的方法,对二氧化碳致裂技术在石门揭煤中的应用进行研究,以期低透气高吸附强突出煤层实现煤、气安全高效共采提供理论和技术支持。

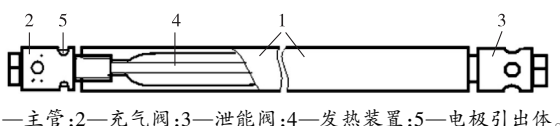
1 项目概况

212运输石门设计工作面全长706 m,按方位角 $\alpha=310^\circ$ 向前掘进,巷道设计高度为3.7 m,下宽为5.2 m,掘进期间采取“锚网索+喷浆”支护,过煤层段采用“U型棚+喷浆”支护。揭露岩性为玄武质凝灰岩、炭质泥岩、细砂岩、泥质细砂岩、泥岩、煤层、泥质粉砂岩等;含水性弱,以大气降雨为补给源,雨季(5—10月)涌水量大,地面无河流,工作面涌水主要为构造裂隙水,正常涌水量 $6\text{ m}^3/\text{h}$,最大涌水量 $18\text{ m}^3/\text{h}$,工作面周围无老空区。在距煤层法线11.6 m时打前探钻孔,前探钻孔所取煤样实测瓦斯含量为 $11.5871\text{ m}^3/\text{t}$,间接计算煤层瓦斯压力为1.172 MPa,由于揭煤区域下伏无工程,上覆无工程,处于原岩应力区掘进。实测煤层瓦斯含量点未受采动影响,因此,将实测瓦斯含量作为原始瓦斯含量进行计算。煤厚2 m,预计工作面揭煤114 d。

2 二氧化碳致裂原理及装置

CO_2 的临界温度 $t_c=31.1\text{ }^\circ\text{C}$,临界压力 $p_c=7.4\text{ MPa}$ 。当温度高于 $31.1\text{ }^\circ\text{C}$ 时,压力再大 CO_2 也不会液化;当温度为 $31.1\text{ }^\circ\text{C}$,压力达到7.4 MPa时 CO_2 为液态;当温度低于 $31.1\text{ }^\circ\text{C}$ 时,液化压力随温度降低而降低。

当温度低于 $31.1\text{ }^\circ\text{C}$,压力高于该温度下相对应的汽化压力时,液态 CO_2 将在40 ms内汽化, CO_2 汽化产生高压波冲破定压剪切片,瞬间产生的强大冲击力使其致裂^[8-9]。利用 CO_2 的亲煤特性对煤层吸附的瓦斯进行驱替,实现解吸,促进游离,使煤层的透气性和瓦斯游离度得到双重提高。在具有突出威胁的煤层中使用 CO_2 致裂技术,能在抽采过程中降低煤层瓦斯压力并消除煤层突出危险性。根据该技术的基本原理,结合212运输石门揭煤工作面实际情况,在212运输石门揭煤工作面端头选用该技术治理瓦斯。二氧化碳致裂器结构如图1所示。



1—主套管;2—充气阀;3—泄能阀;4—发热装置;5—电极引出体。
图1 二氧化碳致裂器结构示意图

3 二氧化碳致裂石门揭煤试验

3.1 钻孔布置

常规揭煤钻孔布置采用穿煤层轮廓的平行四边形布置方式,该方式布孔均匀且有规律。其布孔结构方式为^[10-11]:

$$\begin{cases} N_1 = \text{int}(L_w/r_0) + 2 \\ N_2 = \text{int}(L_h/r_0) + 2 \\ e_1 = L_w / (N_1 - 1) \\ e_2 = L_h / (N_2 - 1) \end{cases} \quad (1)$$

式中: N_1 、 N_2 为四边形煤层面每排、每列的钻孔数; e_1 、 e_2 表示每排、每列钻孔间距,m; L_w 、 L_h 为钻孔应控煤体范围高度、宽度,m; r_0 为有效卸压直径,m。

若采用该平行四边形钻孔布置方式,取有效卸压半径为3 m,根据公式(1)计算可得 N_1 、 N_2 均为3,孔间距为5 m,共需布置9个钻孔,假设两孔之间无间距,则抽采盲区的面积为 7.74 m^2 。改用平行圆形的布孔方式后,此抽采盲区的面积减小为 1.44 m^2 ,如图2所示。

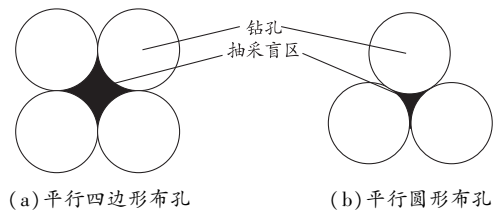


图2 钻孔布置方式示意图

本次试验在掘进工作面布置钻孔,共布置12个孔(其中10#、11#、12#孔用于检测致裂半径是否能达到15 m),选取5#孔为致裂孔(致裂后兼作瓦斯抽采孔)施工。钻孔布置参数见表1,钻孔设计方案如图3所示。

表1 钻孔布置参数

孔号	偏角(左+,右-)/(°)	倾角(上+,下-)/(°)	设计孔深/m
1#	8	5	29
2#	0	5	27
3#	-8	5	29
4#	10	2	33
5#	0	2	33
6#	-10	2	33
7#	6	-1	40
8#	0	-1	39
9#	-6	-1	37
10#	0	15	19
11#	15	10	22
12#	-15	10	22

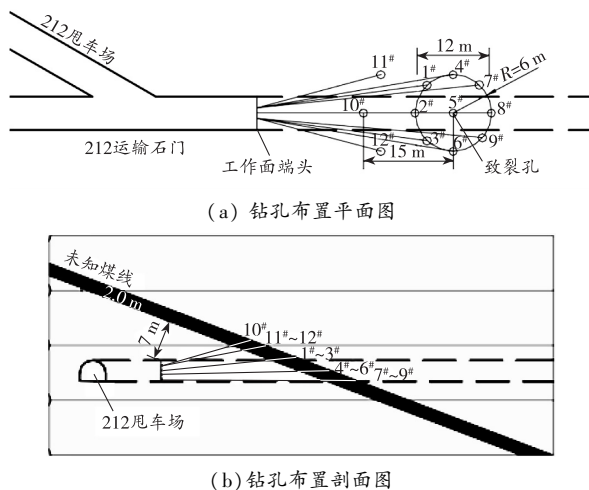


图3 212运输石门揭煤工作面CO₂致裂抽采钻孔设计方案

采用Φ75 mm的钻杆配Φ94 mm钻头进行钻孔施工,先施工11个钻孔(1#、2#、3#钻孔兼作压力释放孔),后施工致裂孔(每个孔仅有1根致裂器,致裂后兼作瓦斯抽采孔)。钻孔施工过程中固定好钻机位置,采用慢速钻进,保证孔身直、内壁光滑、孔内干净。在施工致裂抽采钻孔时,应避免与邻近孔打穿或者距离太近,防止致裂时高压气体从邻近孔喷出,影响致裂效果^[12-13]。为防止塌孔,致裂孔当天成孔或提前一天成孔较好;为避免钻孔失效,必要时采取防塌孔的措施,在钻孔完成致裂以后将网管塞入孔中,网管塞到位后将其封孔连抽^[14-15]。

钻孔施工前对揭煤区域进行瓦斯含量测定(实测煤层原始瓦斯含量 q 为11.587 1 m³/t),即 $Q_{总} = q \times (\text{宽度} \times \text{斜长} \times \text{煤厚} \times \text{密度}) = 74\ 145.85\ \text{m}^3$,预计将抽采区域煤层瓦斯残存含量降至8 m³/t以下,则至少需要抽瓦斯22 896.26 m³。

3.2 揭煤试验结果分析

根据《防治煤与瓦斯突出规定》,在施工区域实施防突措施后需进行措施效果检验。采用直接测定煤层残存瓦斯含量的方法,对预抽区域进行措施效果检验,分别检验揭煤至距煤层法线7.0 m和5.0 m时的瓦斯含量及压力并与原始瓦斯赋存量进行对比分析,如图4~5所示。

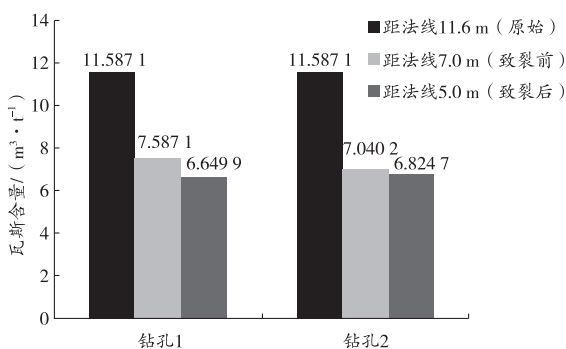


图4 瓦斯含量对比图

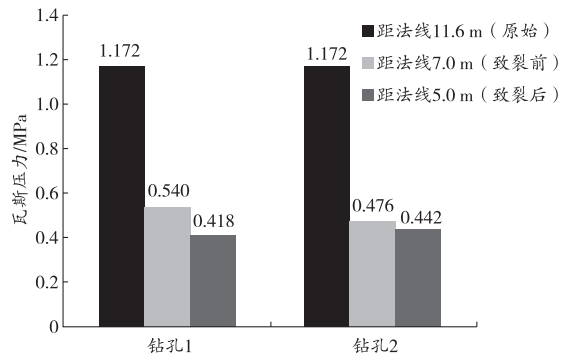


图5 瓦斯压力对比图

由图4和图5可知,在揭煤至距煤层法线7.0 m时,钻孔1与钻孔2的瓦斯含量分别减小了4.00和4.55 m³/t,瓦斯压力减小了0.632和0.696 MPa,均处于临界值8 m³/t、0.74 MPa以下,即此时防突措施有效且可继续向前揭煤。为安全起见,在揭煤至距煤层法线5.0 m时检测,钻孔1与钻孔2的瓦斯含量和压力在原始基础上分别减小了0.937 m³/t和0.122 MPa、0.216 m³/t和0.034 MPa,由此认为煤层内瓦斯含量及压力呈稳定减小状态且符合进度要求。对预抽区域进行效果检验可以有效验证二氧化碳致裂技术在石门揭煤中防突、提高抽采效率的能力;与此同时,对致裂后的1#、2#、3#钻孔和主管内的瓦斯浓度进行了10 d的数据统计,去除无效数据,取其平均值后得到单孔和主管的瓦斯浓度变化图,如图6~7所示。

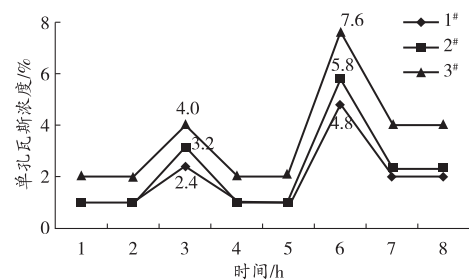


图6 单孔瓦斯浓度测定对比图

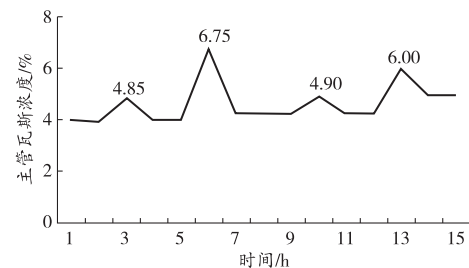


图7 主管二次致裂瓦斯浓度测定变化图

由图6可以看出,在致裂半径6 m内的1#、2#、3#单孔瓦斯浓度都得到了有效提高:第1次增加是由于爆破干扰到煤层,使得小部分游离瓦斯被驱替出来;第2次增加是在CO₂被释放后增加了煤层的

透气性,使得大部分吸附瓦斯和游离瓦斯被解吸和驱替出来,在致裂达到最大值时,1[#]、2[#]、3[#]钻孔的瓦斯浓度分别增加了3.8、4.8、2.8倍,此刻CO₂已全部释放完毕,被解吸的吸附瓦斯量也已达最大值,管道内的瓦斯浓度开始下降并趋于未致裂前的2倍。

由图7可知,对主管采用二次致裂的方式研究其致裂的特点,致裂后的主管瓦斯浓度并没有单孔的增长量大,在第1次及第2次致裂主管瓦斯浓度达到峰值时,主管瓦斯浓度分别增加到致裂前的1.7和1.5倍,最终稳定在致裂前1.25倍的位置。对比致裂孔和其他单孔,该二氧化碳致裂器的有效致裂半径为6 m,相比原来传统钻孔抽采半径(3 m)增加了1倍。揭煤时间由原来预计的114 d,缩短至75 d,212运输石门揭煤成功。

4 结语

1)在距煤层法线7.0 m处以圆形方式布孔比四边形方式布孔能量分布更均匀,致裂效果更佳,钻孔数量更少,抽采达标时间更快。

2)现场实测二氧化碳致裂有效半径为6 m,采取致裂措施后瓦斯抽采量有两段时间的持续高抽期,第1次是由于爆破干扰到煤层,使得小部分游离瓦斯被驱替出来;第2次是在CO₂被释放后增加了煤层的透气性,使得大部分吸附瓦斯和游离瓦斯被解吸和驱替出来,表现为线性式的衰减,最后趋于致裂前2倍的稳态平衡。

3)将二氧化碳致裂技术应用于212运输石门揭煤中,解决了使用传统方法预钻孔工作量大和施工难度大、抽采时间长等问题,煤体的弹性潜能得到有效释放,有效消除了煤与瓦斯突出的应力,大大减少原来的钻孔数量,缩短工期39 d,减少了瓦斯赋存含量,节约了大量成本,提高了经济效益。

4)此次石门揭煤抽采瓦斯浓度呈较剧烈变动,瓦斯浓度下降较快,分析原因认为每个钻孔仅有

1根致裂器,致裂效果不显著,且封孔不够严实,未进行更有效的注浆封孔。

参考文献:

- [1] 徐华. 机巷掘进条带煤层瓦斯CO₂致裂增透治理技术应用[R]. 六盘水:六枝工矿(集团)有限责任公司化处煤炭分公司,2016.
- [2] 王联. 采动影响下的煤岩瓦斯裂隙场耦合模型及其分析[D]. 西安:西安科技大学,2007.
- [3] 杨维军. 煤与瓦斯突出事故原因分析与防范措施[J]. 工会博览·理论研究,2011(5):200-203.
- [4] 杨德明. 下石节煤矿地面钻井抽采瓦斯技术的研究[D]. 西安:西安科技大学,2014.
- [5] 韩亚北. 液态二氧化碳相变致裂增透机理研究[D]. 焦作:河南理工大学,2014.
- [6] 孙小明. 液态二氧化碳相变致裂穿层钻孔强化预抽瓦斯效果研究[D]. 焦作:河南理工大学,2014.
- [7] 邹德龙,王岩,刘东,等. 液态二氧化碳致裂增透技术在下沟煤矿的应用[J]. 现代矿业,2017(1):206-207.
- [8] 霍中刚. 二氧化碳致裂器深孔预裂爆破煤层增透新技术[J]. 煤炭科学技术,2015,43(2):80-83.
- [9] 王惠明. CO₂预裂增透瓦斯抽采技术的应用——以宏远煤业150103运输顺槽掘进工作面为例[J]. 技术与市场,2014,21(12):53-55.
- [10] 余忠林,夏抗生. 石门揭煤瓦斯卸压钻孔设计[J]. 矿业安全与环保,2000,27(2):37-38.
- [11] 刘宪正,余忠林,赵涛. 石门揭煤抽排瓦斯布孔数学模型及可视化应用[J]. 矿业安全与环保,2013,40(1):65-69.
- [12] 赵彬. 东大矿回风立井揭煤防突技术实践[J]. 煤炭技术,2017,36(2):171-172.
- [13] 黄园月,尹岚岚,倪昊,等. 二氧化碳致裂器研制与应用[J]. 煤炭技术,2015,34(8):123-124.
- [14] 周光华. 特厚煤层大采高开采技术研究及应用[D]. 西安:西安科技大学,2010.
- [15] 张振兵,李向峰,袁月琴,等. 财神井田聚煤规律及控煤因素分析[J]. 能源技术与管理,2015,40(1):11-13.

(责任编辑:李 琴)