

亭南煤矿液态 CO₂ 致裂巷道卸压技术的应用研究

题正义 陈 波

(辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁 阜新 123000)

摘 要 为了消除冲击地压给亭南煤矿带来的安全隐患, 采用液态 CO₂ 致裂技术对危险区域的煤体进行预裂爆破。通过数值模拟研究控制孔对钻孔爆破的影响及亭南煤矿爆破孔的合理间距, 并采用钻屑法对爆破后的效果进行分析。研究表明: 控制孔的存在对煤预裂爆破效果是有利的, 施工控制孔之后进行煤层液态 CO₂ 爆破的裂隙区影响范围明显大于无控制孔时的爆破的裂隙区影响范围; 爆破孔的合理间距为 7 m; 爆破后钻屑量的测定结果均小于钻屑量的临界值, 爆破后消除了煤体冲击地压的安全隐患, 可以正常开采。

关键词 煤矿 预裂爆破 液态 CO₂ 致裂技术 巷道卸压

中图分类号 TD823

文献标志码 A

文章编号 1001-1250(2019)-04-048-05

DOI 10.19614/j.cnki.jsks.201904010

Application of Pressure Relief Technology of Liquid CO₂ Fracturing Roadway in Tingnan Coal Mine

Ti Zhengyi Chen Bo

(School of Mining, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract In order to eliminate the potential safety problems of rockburst in Tingnan coal mine, liquid CO₂ fracturing technology is adopted for pre-splitting blasting in hazardous areas. Through numerical simulation, effect of the control hole on the drilling blasting and the reasonable spacing of blasting hole in Tingnan coal mine are investigated, and the blasting performance is analyzed by the method of drilling bits. The results show that the control hole is favorable for the coal blasting, and the influence scope of crack area of the liquid CO₂ blasting with control hole is significantly larger than that without blasting hole. The reasonable spacing of blasting hole in Tingnan coal mine is 7 m; After blasting, the measured amounts of drilling and cuttings are less than the critical values. The hidden danger of rock burst in coal blocks can be eliminated through blasting to realize normal mining.

Keywords Coal mine, Pre-splitting blasting, Liquid CO₂ fracturing technology, Tunnel pressure relief

近年来, 冲击地压已成为煤矿安全生产的主要影响因素^[1-2]。冲击地压作为一种特殊的矿山压力表现形式, 已成为矿山开采, 尤其是深部矿井开采的主要灾害之一^[3-4]。据统计, 我国每年发生冲击地压并引发事故影响估计可达几百次之多^[5]。目前, 冲击地压的主要治理技术有开采邻近层卸压、施工卸压钻孔等方法^[6-8]。尽管上述方法在一定程度上缓解了冲击地压给煤矿安全生产带来的危害, 但留有的问题主要有: 受矿井采深增大的影响, 具备保护层开采的矿井越来越少, 该方法将不具备普遍的适用性^[9]; 钻孔卸压是当前矿井普遍采用的煤层卸压方法, 其特点为施工工艺简单、安全性高, 但施工钻孔卸压范围

较小, 普遍面临费用成本高等问题。本研究基于 CO₂ 物理变化原理, 提出液态 CO₂ 预裂强矿压巷道试验方案, 通过数值模拟、现场试验等方法对强矿压隐患的煤巷进行预裂研究, 旨在通过该方法消除冲击地压给煤矿生产带来的安全隐患。

1 工作面概况

亭南煤矿位于陕西省咸阳市长武县, 井田走向长约为 5.7 km, 倾向上长约为 4.4 km, 井田面积约为 33.82 km²。201 回采面位于二盘区东南角, 工作面采用 U 型通风方式, 工作面共布置 3 条巷道, 巷道均布置在 4 号煤层中, 巷道宽、高分别为 4.5 m、3 m, 201 工作面主采 4 号煤层, 采煤方法为放顶煤开采。煤层厚

收稿日期 2019-02-20

作者简介 题正义(1957—), 男, 教授, 博士研究生导师。

度为14.1~19.1 m,平均约16.6 m,煤层倾角2°~6°。通过对顶底板煤岩单轴抗压强度进行测定,测定结果表明:4号煤层直接顶粉砂岩测定值为65.24 MPa,4号煤层直接底细砂岩测定值为33.2 MPa。冲击倾向性鉴定结果表明:201工作面开采区域的4号煤层为具有强冲击倾向性,巷道掘进期间留有一定的安全隐患。4号煤层顶底板岩层赋存特征见表1。

2 液态CO₂爆破技术

2.1 液态CO₂爆破器结构

液态CO₂的组成结构如图1所示,以型号为MZL200-1180/50的液态CO₂爆破器为研究对象,设备总长1.5 m,主管长度1.415 m,外径50 mm,内径30 mm,泄能片极限压力为200 MPa,设备主管内可充装0.8~1 kg的液态CO₂,充装压力为8~10 MPa。

2.2 液态CO₂爆破器工作原理

二氧化碳爆破器主管内充装足量的液态CO₂,启动起爆头后快速引发发热管产生热量,短时间内当温度超过31℃时,主管内的液态CO₂快速气化,体积迅速膨胀达到原来的600余倍,膨胀气体冲击泄能片导致泄能片迅速破断,高能气体从泄能头2孔释放,产生应力波冲击周围煤体,以达到煤体致裂的目的,

液态CO₂爆破器工作原理见图2。

表1 201工作面煤层顶底板岩层赋存特征

Table 1 Occurrence characteristics of roof and floor strata in 201 working face

名称	岩石属性	岩性特征
老顶	粗砂岩	石英为主,长石、云母为辅,胶结疏松,上部存在少量炭屑及黄铁矿结核,近下部夹有中、细砂岩,局部具直线型斜层理,底部较疏松,含灰色泥砾,与下呈明显接触。
直接顶	灰色泥质粉砂岩	具微波、透镜状,含植物叶部化石,往下渐浑,颜色渐深,底部0.10 m砂质泥岩,含植物炭化茎秆及镜煤条带,与下伏层直接接触。
直接底	砂质泥岩	含铝质及植物根系化石,具裂隙,呈团块状,与下伏层呈渐变接触。
老底	泥质粉砂岩	不显层理,存在鲕粒及泥沙角砾。下部为泥岩,与上部颜色相同,显斜层理,细腻光滑,与下伏层分界明显。



图1 二氧化碳爆破器的组成结构

Fig. 1 Structure of carbon dioxide blaster

1—起爆头;2—发热管;3—主管;4—密封垫;5—泄能片;6—泄能头

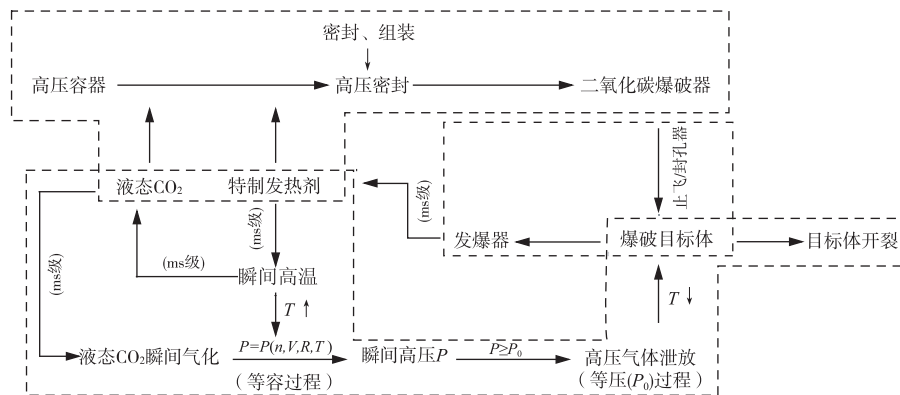


图2 二氧化碳爆破器工作原理

Fig. 2 Working principle of carbon dioxide blaster

2.3 液态CO₂爆破过程

爆破煤岩的破碎过程通常包括动作用和静作用过程,在裂纹扩展和煤岩体原生缺陷综合作用下形成裂纹网。由于煤岩体爆破破碎过程复杂,根据断裂力学理论,液态CO₂爆破大致可以分为3个过程:第一个过程是启动发热装置,主管内液态CO₂迅速汽化膨胀,达到泄能片能承受的极限压力,直到泄能片被冲破,形成冲击波,冲击煤体形成粉碎区和初始导向裂隙;第二个过程是冲击波波速下降转变为应力波,以压应力的形式作用于粉碎区,形成径向裂隙、切向裂隙和环向裂隙;第三个过程是高压气体楔入裂隙,在高压气体和瓦斯压力的联合影响下,裂隙尖

端产生应力膨胀,推动裂纹继续向外扩展。

3 液态CO₂致裂强矿压区域解危方案及效果检测

3.1 控制孔对钻孔爆破的影响

建立煤层多孔连续液态CO₂爆破的FLAC3D数值模型,如图3所示,计算区域50 m×80 m×10 m,爆破钻孔和控制孔间隔布置,爆破孔直径为100 mm,控制孔直径100 mm,模型网格数124 800个,节点数139 755个。模型上方施加应力10 MPa的均压。

如图4所示,煤层致裂爆破时,控制孔的存在对煤致裂效果十分有利。受控制孔影响爆破区域影响范围明显增大,分析其原因为冲击波和应力波在煤

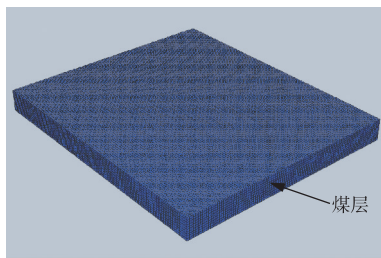


图 3 有控制孔数值模型

Fig. 3 Numerical model with control hole

体传递期间,应力波受控制孔影响产生反射作用,致使卸压区域裂隙发育更好。因此,在井下进行煤层预裂时,在爆破孔之间施工控制孔可有效提高爆破区域的卸压、增透效果。

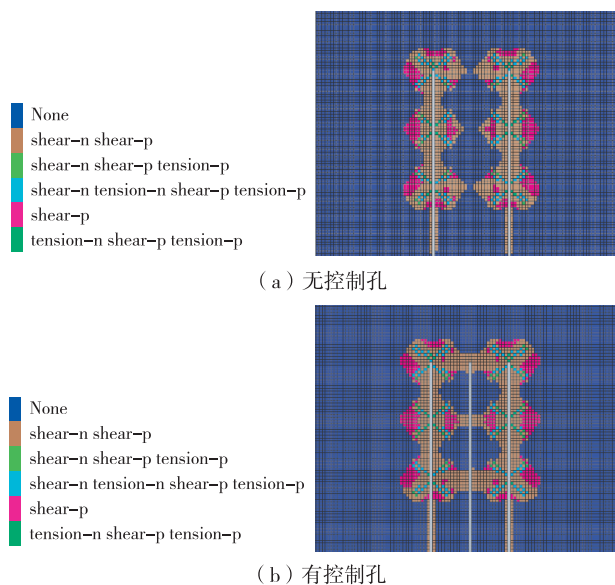


图 4 液态CO₂爆破效果对比

Fig. 4 Contrast of liquid CO₂ blasting effect

3.2 钻孔间距对钻孔爆破的影响

钻孔距离的大小对煤层的致裂效果也有直接影响。钻孔距离过大,则会造成炮孔间存在大面积爆破空白区,导致裂缝无法贯通,无法达到理想的卸压效果,若是爆破孔和控制孔间距过小,会造成爆破区域发生大面积重叠,增加额外的爆破成本,并导致煤体破碎严重而影响正常回采。因此,选择合理的爆破孔间距至关重要。通过对爆破孔间距为 10 m、8 m、7 m 进行数值模拟,如图 5 所示,观察爆破孔间的塑性区分布情况来评价爆破后裂隙的发展情况,即若存在塑性区则认为裂隙扩展,煤层已经发生破坏。爆破孔间距为 10 m 时,钻孔之间有大部分区域致裂效果不明显;爆破孔间距为 8 m 时,爆破有效范围明显增加,但仍有小部分区域没有达到爆破增透效果;爆破孔间距为 7 m 时,钻孔之间所有范围全部处于致裂有效影响范围内,达到理想的爆破效果。因此,爆破孔的合理间距为 7 m。

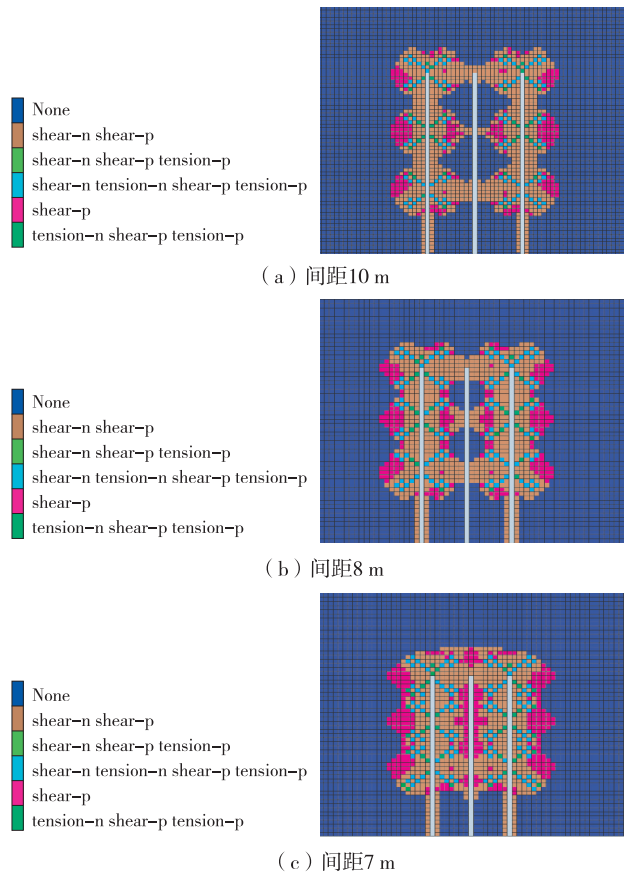


图 5 爆破孔不同间距多孔连续爆破数值模拟
Fig. 5 Numerical simulation of multi-hole continuous blasting with different space of blasting holes

3.3 液态 CO₂致裂强冲击煤层的现场试验

根据亭南煤矿强矿压危险区域分布情况,在 201 工作面回风巷侧掘进期间分别对巷道顶板、两帮预裂施工,预裂区域为切眼 200 m 范围内。采用液态 CO₂致裂两帮时,用原有的中位预抽钻孔设计位置作为本次试验的爆破孔和控制孔施工位置,孔径 113 mm,爆破孔深 50 m,装药深度 40 m;其中在工作面帮依次施工爆破孔 20 个,控制孔 19 个,控制孔位于爆破孔之间。钻孔开孔距底板 1.2 m,倾角为 6°~8°,相邻孔间距为 3.5 m;采用液态 CO₂致裂顶板时,采用风动钻机施工直径为 75 mm 的钻孔,沿工作面走向在顶板每间距 3.5 m 施工 1 个钻孔,其中爆破孔与控制孔交替布置,沿工作面走向的钻孔布置在距煤壁侧约 1.5 m 的顶板上,钻孔深度 45 m,与水平方向成 75° 夹角朝向老顶方向呈单排布置。

3.4 强矿压区域煤层致裂效果检验

采用钻屑法对强矿压危险区域致裂效果进行检验。检测地点在 201 工作面回风巷掘进工作面 50 m 范围内,主要检测单孔的钻屑量,单位 kg/m。如果检测指标低于临界指标,则认为煤体消除临界危险状态。如表 2 所示,可以利用实际钻粉量来判定矿压危

险性的指标,结合实际情况执行。

表 2 判别测定地点强矿压危险性的钻粉率指标

Table 2 Drilling dust rate index for determining the risk of strong rock pressure

钻孔深度/采高	钻粉量指数
1.5	>1.5
1.5~3	2~3
3	≥4

注:①钻粉量指数=每米实际煤粉量/每米正常煤粉量;②正常煤粉量在正常应力区测定。

通过测定 201 回风顺槽 10 个钻孔的钻粉量指数。采用钻屑法进行强矿压危险实际检测时,分别对每个钻孔 5 m、10 m 的钻粉量指数进行测定,测定结果见表 3。

表 3 爆破后煤体钻屑量测定结果

Table 3 Measurement results of drilling and cutting amounts in coal body after blasting

钻孔编号	取样深度 /m	钻屑量测定结果/(kg/m)	钻屑量临界值/(kg/m)	是否消除强矿压隐患
1	5	1.58	2~3	是
	10	2.96	4	是
2	5	1.67	2~3	是
	10	2.33	4	是
3	5	1.36	2~3	是
	10	2.54	4	是
4	5	1.45	2~3	是
	10	2.63	4	是
5	5	1.76	2~3	是
	10	2.89	4	是
6	5	1.88	2~3	是
	10	2.32	4	是
7	5	1.69	2~3	是
	10	2.66	4	是
8	5	1.48	2~3	是
	10	2.36	4	是
9	5	1.63	2~3	是
	10	2.45	4	是
10	5	1.59	2~3	是
	10	2.87	4	是

4 结 论

(1)模拟结果表明:控制孔的存在对煤预裂爆破效果是有利的,施工控制孔之后煤层液态CO₂爆破效果更加显著;亭南煤矿爆破孔的最佳间距为7 m。

(2)试验结果表明:爆破后钻粉量在5 m和10 m的最大值分别为1.88 kg/m和2.96 kg/m均小于钻屑量的临界值,爆破区域的煤体均消除冲击地压带来的安全隐患,可以正常回采。

参 考 文 献

[1] 杜学领. 厚层坚硬煤系地层冲击地压机理及防治研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2016.
Du Xueling. Study on Mechanism and Prevention of Rock Burst in Thick Hard Coal Strata [D]. Beijing:China University of Mining and Technology (Beijing), 2016.

[2] 蓝 航,陈东科,毛德兵. 我国煤矿深部开采现状及灾害防治分析[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(1): 39-46.
Lan Hang, Chen Dongke, Mao Debing. Current status of deep mining and disaster prevention in China [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44 (1): 39-46.

[3] 向 鹏. 深部高应力矿床岩体开采扰动响应特征研究[D].北京:北京科技大学,2015.
Xiang Peng. Study on the Characteristics of Mining Disturbance Response of Rock Mass in Deep High Stress Deposits [D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2015.

[4] 周林生. 深井综放开采沿空巷道变形破坏特征与围岩控制技术研究[D].青岛:山东科技大学,2006.
Zhou Linsheng. Study on Deformation and Failure Characteristics of Entry along Goaf and the Technology of Strata Control about Fully Mechanized Sublevel Caving in Deep Mine [D]. Qingdao:Shandong University of Science and Technology, 2006.

[5] 兰天伟. 大台井冲击地压动力条件分析与防治技术研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2012.
Lan Tianwei. Research on Dynamic Condition Analysis and Prevention Technology of Rock Burst in Daitai Coal Mine [D]. Fuxin:Liaoning University of Engineering and Technology, 2012.

[6] 朱斯陶. 特厚煤层开采冲击地压机理与防治研究[D].北京:北京科技大学,2017.
Zhu Sitao. Study on Mechanism and Prevention of Rock Burst in Mining of Extra-thickness Coal Seam [D]. Beijing:University of Science and Technology Beijing, 2017.

[7] 田利军. 忻州窑矿压缩型冲击地压发生机理及防治研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2013.
Tian Lijun. Study on the Mechanism and Prevention of Compressive Rock Burst in Xinzhou Coal Mine [D]. Fuxin:Liaoning Technical University, 2013.

[8] 谢鹏飞. 济二矿上层煤采动影响下冲击地压预测与防治技术研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2012.
Xie Pengfei. Research on Prediction and Prevention Technology of rock Burst under the Influence of Upper Coal Mining in Ji No.2 Coal Mine [D].Fuxin:Liaoning Technical University, 2012.

[9] 李润芝,梁 冰,孙维吉,等. 顺层钻孔瓦斯抽采半径及布孔间距实验研究[J]. 中国安全科学学报, 2016, 10(26):133-138.
Li Runzhi, Liang Bing, Sun Weiji, et al. Experimental study on both gas drainage radius and bedding boreholes space [J]. China Safety Sciences Journal, 2016, 10 (26): 133-138.

[10] 王红星. 深部硬岩巷道侧帮钻孔爆破卸压数值模拟研究[D].西安:西安建筑科技大学,2016.
Wang Hongxing. Numerical Simulation of Side-wall Blasting Pressure Relief in Deep Hard Rock Roadway [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2016.

- [11] 王宁博. 穿层钻孔周围应力变化特征及其对瓦斯抽采的影响 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016.
Wang Ningbo. Characteristics of Stress Variation around Cross-layer Boreholes and Its Influence on Gas Extraction [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2016.
- [12] 杨 光, 章 光, 郑业忠. 新型 CO₂ 加砂无水压裂技术研究 [J]. 现代矿业, 2017(10): 83-85.
Yang Guang, Zhang Guang, Zheng Yezhong. New type of CO₂ sand fracturing without water [J]. Modern Mining, 2017 (10): 83-85.

(责任编辑 石海林)