

单一低透深部煤巷快速掘进浅孔预裂松动爆破技术

周连春

西昌学院土木与水利工程学院, 四川 西昌

收稿日期: 2023年9月23日; 录用日期: 2023年10月24日; 发布日期: 2023年10月31日

摘要

随着煤矿不断向深部开采, 单一透气性深部厚煤层煤巷掘进因受瓦斯制约影响, 掘进难度也越来越大。为解决这一技术难题, 提高煤巷单进速度, 本文进行了单一低透深部煤巷快速掘进浅孔预裂松动爆破技术研究, 通过在鹤煤六矿2125下顺槽试验研究, 有效地解决了瓦斯治理瓶颈, 极大地提高了掘进条件, 为今后深部地区煤巷快速掘进提供了安全保障。

关键词

低透气性, 深部煤巷, 快速掘进, 浅孔预裂爆破

Rapid Excavation Shallow Hole Pre-Splitting Loose Blasting Technology in Single Low Permeability Deep Coal Roadway

Lianchun Zhou

School of Civil and Hydraulic Engineering, Xichang University, Xichang Sichuan

Received: Sep. 23rd, 2023; accepted: Oct. 24th, 2023; published: Oct. 31st, 2023

Abstract

With the continuous deep mining of coal mines, the excavation of single permeability deep thick coal seam roadway is more and more difficult due to the influence of gas restriction. In order to solve this technical problem and improve the single entry speed of coal roadway, this paper studies the technology of shallow hole pre-splitting loose blasting for rapid excavation of single low

permeability deep coal roadway. Through the experimental study of 2125 lower crossheading in Hebi No.6 Coal Mine, the bottleneck of gas control is effectively solved, the driving conditions are greatly improved, and the safety guarantee for rapid excavation of coal roadway in deep area in the future is provided.

Keywords

Low Permeability, Deep Coal Roadway, Rapid Excavation, Shallow Hole Pre-Splitting Blasting

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着煤炭需求量的不断增加,对复杂条件下煤矿巷道掘进效率提出了新的要求。

同时,我国煤矿不断向深部掘进,瓦斯压力和地应力不断增加,瓦斯治理瓶颈愈发增大,严重制约矿井安全生产[1][2]。导致瓦斯预抽效果差的主要原因在于大多数深部煤层具有低透气性,只有通过采取煤储层改造措施,提高煤层透气性,才能从根本上解决瓦斯抽采效果。目前,增加煤层透气性的方法有水力加充填物压裂增加煤层透气性方法,也有在采煤工作面向卸压带打瓦斯抽采钻孔的方法增加煤层透气性方法,但是也存在一些弊端,主要表现在一是水力加充填物压裂增加煤层透气性需要很大的压力,而且水的压力在施工中不太方便控制;二是在采煤工作面向卸压带打瓦斯抽采钻孔的方法增加煤层透气性方法存在打钻钻孔长度比较短,预抽时间比较短,受工作面回采影响比较大。煤巷快速掘进预裂松动爆破技术是解决煤层卸压增透有效的技术手段之一,以其通过煤增透作用在煤矿得到了广泛应用[3][4][5]。陕西韩城矿区下峪口煤矿通过中深孔掏槽爆破试验,不同掏槽方式和炮孔深度下,在弱煤岩条件下,炮孔深度大于 1.8 m 时,煤岩预裂爆破效果较佳[6]。河南平顶山八矿通过优化爆破孔和排放孔布置,预测爆破有效开裂和有效影响半径分别在 3.3~3.4 m 和 7.2~7.3 m 范围内,爆破后纯瓦斯抽采量比爆破前增加了 1.54~2.24 倍[7]。

Yang Y [8]采用 LS-DYNA 模拟岩石爆破中的邻孔效应,研究了岩石爆破中相邻炮孔效应的关键参数孔间距、相邻炮孔直径、炮孔内不耦合介质等对爆破效果的影响。河南赵固二矿 11080 工作面上顺槽底板措施巷通过松动爆破试验优化研究,发现孔间距 2.5~3.5 m 范围内,爆破后的单孔平均瓦斯浓度、平均抽采纯量分别增大 0.9~3.35 倍、1.1~5.45 倍,抽采效果明显提升[9]。为了进一步研究浅孔预裂松动爆破在单一低透深部煤层煤巷快速掘进效果,本文通过对鹤煤六矿 2125 下顺槽煤巷掘进工作面进行试验研究,以期为今后深部底透煤巷快速掘进提供参考借鉴。

2. 矿井及工作面概况

2.1. 矿井概况

鹤煤六矿是鹤煤公司生产主力矿井之一,始建于 1958 年 7 月,1964 年 3 月投产,原设计生产能力 60 万吨/年,1995 年改扩建后设计生产能力提高到 120 万吨/年,现矿井核定生产能力为 130 万吨/年。矿井位于鹤壁矿区南部,北与五矿以 F40 断层为界,南与八矿相邻,走向长约 9.5 km,倾斜宽约 2.7 km,面积约 18.5508 km²,矿井主采二叠系山西组二 1 煤层,煤层倾角 10°~25°,平均煤层厚度 7.67 m。截止

2022年底, 矿井剩余可采储量 6110 万吨, 剩余服务年限 33.6 年。矿井属煤与瓦斯突出矿井, 2022 年矿井瓦斯鉴定绝对瓦斯涌出量为 $52.1 \text{ m}^3/\text{min}$, 相对瓦斯涌出量为 $54.6 \text{ m}^3/\text{t}$ 。矿井目前实测最大瓦斯压力为 1.65 MPa , 实测最大原始瓦斯含量为 $17.98 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

2.2. 工作面位置范围

2125 工作面位于二水平北翼 212 采区。2125 工作面东部为未开采区, 西部紧邻 2123 工作面采空区, 南部为已回采的 2146 工作面, 北部为 2121 采空区及 2122 采空区。煤层底板标高为 $-354.3 \text{ m} \sim -433.7 \text{ m}$; 工作面埋深 $548.46 \text{ m} \sim 645.79 \text{ m}$ 。2125 工作面地面正上为农田耕地, 鹤汤公路从工作面正上穿过, 东部为李古道村, 且距离较近, 南部、西部及北部为农田耕地。2125 工作面地面地势有邱陵、耕地, 标高 $+194.16 \text{ m} \sim +212.09 \text{ m}$ 。

2.3. 工作面布置情况

2125 工作面斜长 143.5 m ; 可采走向长 668 m ; 平均煤厚 9.1 m 。2125 工作面上顺槽沿煤层底板布置, 巷道起伏坡度 $1.5^\circ \sim 10.5^\circ$, 支护采用 $5.0 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}$ 三节式外曲腿半圆拱 U36 型钢棚, 支架净宽 5.0 m , 棚距 700 mm 巷道断面 $5.0 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}$, 净断面积 14.25 m^2 , 设计长度 652.2 m 。下顺槽与上顺槽平行, 巷道沿煤层底板布置, 巷道起伏坡度 $5.5^\circ \sim 12.1^\circ$, 支护采用 $5.0 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}$ 三节式外曲腿半圆拱 U36 型钢棚, 支架净宽 5.0 m , 棚距 700 mm , 巷道断面 $5.0 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}$, 净断面积 14.25 m^2 , 设计长度 708.0 m 。2125 工作面切眼沿煤层底板掘进, 巷道起伏坡度 $1.5^\circ \sim 16.2^\circ$, 巷道采用宽 \times 高 = $8.0 \text{ m} \times 2.85 \text{ m}$, 棚腿下扎 80° 的 U36 型钢棚支护, 棚距 600 mm , 巷道断面 $8.0 \text{ m} \times 2.85 \text{ m}$, 净断面积 21.40 m^2 , 巷道中心距 145.0 m , 设计长度 143.5 m , 2125 工作面平面布置如图 1 所示。

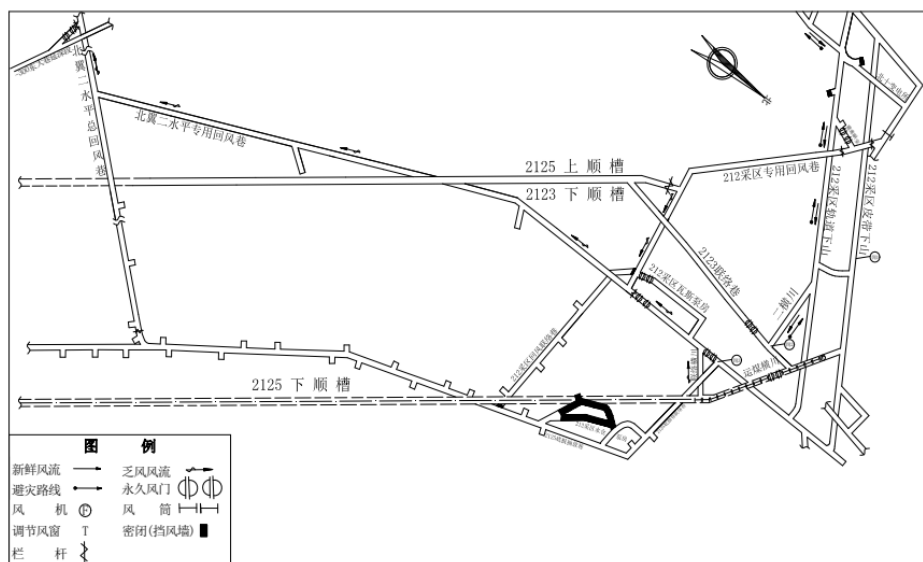


Figure 1. Plan layout of 2125 working face

图 1. 2125 工作面平面布置图

3. 浅孔预裂松动爆破施工工艺

3.1. 钻孔施工

按照钻孔布置方式, 用电煤钻或风煤钻施工钻孔(控制孔和爆破孔), 保证钻孔方向和深度满足设计要求。

3.2. 装药结构和装药工艺

完成钻孔后,对爆破孔内放置炸药。装药前,用压气吹净钻孔内钻粉。为了提高炮孔利用率、爆破效果和装药速度,采用特制药卷,正向起爆的装药结构,炸药卷用活节木炮棍送入孔底。松动爆破和封孔结构示意图如图2所示。

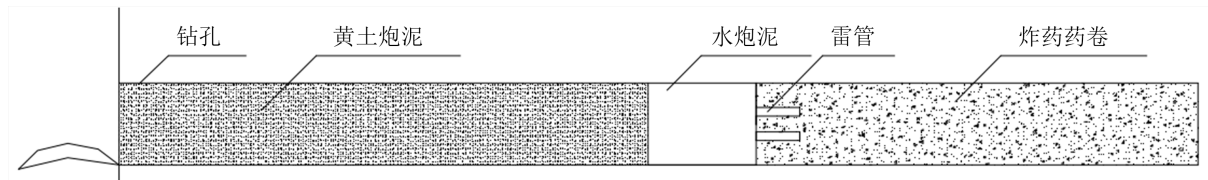


Figure 2. Structure diagram of loose blasting and hole sealing
图2. 松动爆破和封孔结构示意图

4. 煤巷松动爆破防突措施设计

2125 工作面下顺槽掘进松动爆破措施钻孔有效影响半径测定结果为 4.0 m, 据此进行松动爆破防突措施技术方案优化设计。按煤厚变化情况,分为单排孔和双排孔两种方式。爆破孔和控制孔孔径等与初始设计相同。

4.1. 爆破措施单排孔布置设计

当煤层厚度 ≤ 4.0 m 时,设计单排 3 个爆破孔,直径 $\Phi 42$ mm,水平布置;爆破孔开口孔间距 1.0 m、距巷道底板高度 1.2~1.4 m;终孔位置距煤层顶板 2.0 m;投影孔深 11 m,孔底间距 4.0 m。以煤层厚度 4.0 m 为例进行方案设计。共计 3 个爆破钻孔,即 1 号~3 号钻孔,设钻孔布置示意图如图 3 所示。

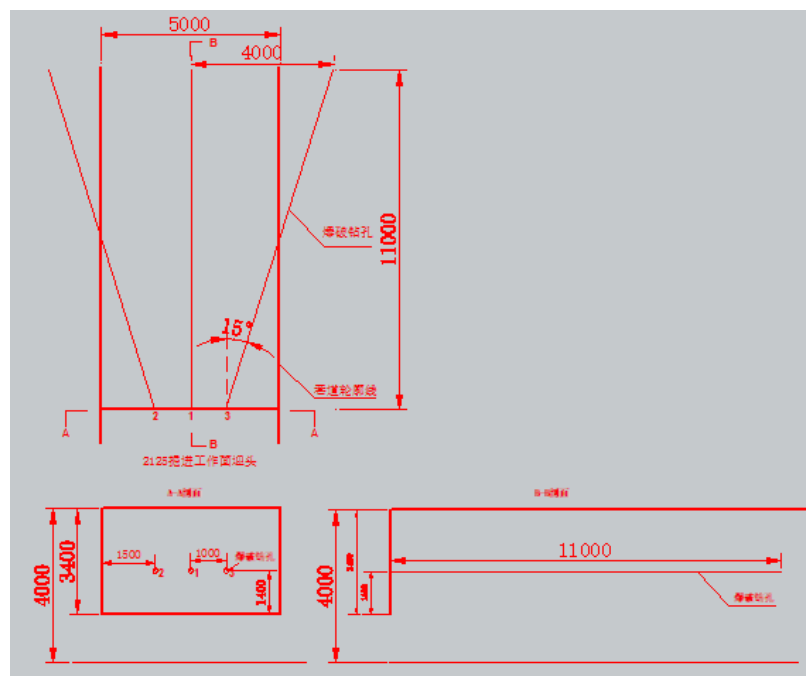


Figure 3. Design schematic diagram of single row hole (coal seam thickness 4.0 m) layout of blasting measures

图3. 爆破措施单排孔(煤层厚度 4.0 m)布置设计示意图

4.2. 爆破措施双排孔布置设计

当煤层厚度 > 4.0 m 时, 设计双排 6 个孔。上排孔 3 个爆破孔, 直径 $\Phi 42$ mm, 水平布置; 爆破孔开口孔间距 1.0 m、距巷道底板高度 1.4 m; 终孔位置距煤层顶板 2.0 m; 投影孔深 11 m, 孔底间距 4.0 m。下排孔 3 个抽采孔, 直径 $\Phi 80$ mm, 下向布置; 开口孔间距 1.0 m、距巷道底板高度 1.0 m; 终孔位置位于上排孔底和煤层底板中间; 投影孔深 11 m, 孔底间距 4.0 m。以煤层厚度 8.0 m 为例进行方案设计。上排 3 个爆破钻孔, 即 1 号~3 号钻孔; 下排 3 个控制钻孔, 即 4 号~6 号钻孔。钻孔布置如图 4 所示。

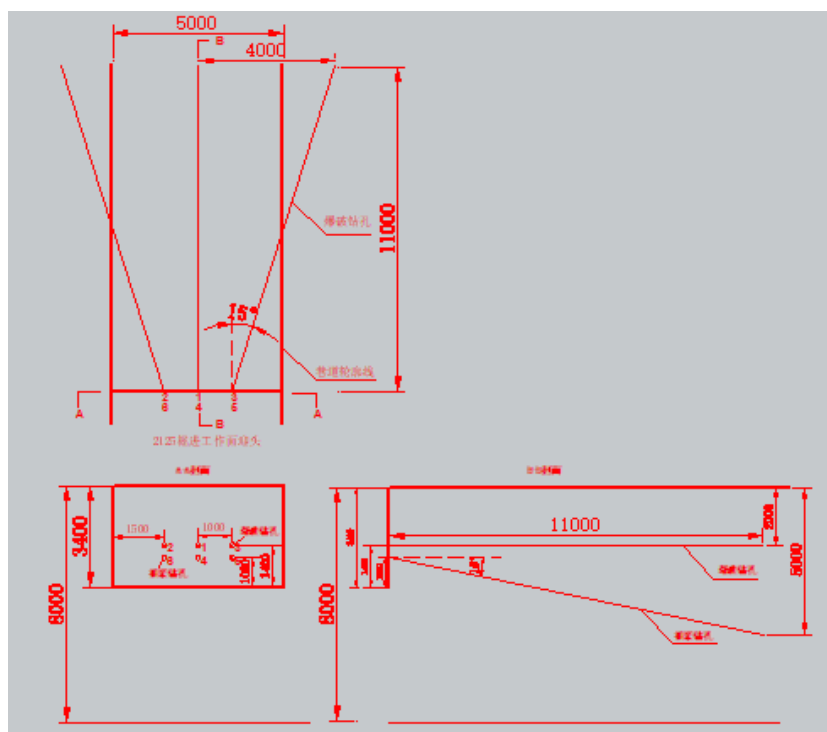


Figure 4. Layout design diagram of double-row holes (coal seam thickness 8.0 m) for blasting measures

图 4. 爆破措施双排孔(煤层厚度 8.0 m)布置设计示意图

5. 浅孔预裂松动爆破施工注意事项

在现场施工必须按照下列要求严格执行:

- (1) 矿方必须制定严密的浅孔预裂松动爆破施工安全技术措施, 并有煤矿总工程师组织会审, 并认真学习签字贯彻执行;
- (2) 施工时必须严格执行“一炮三检”和“三人联锁放炮”制度;
- (3) 严格按照设计要求进行施工;
- (4) 运输炸药和雷管时必须由爆破工专人运输;
- (5) 运输炸药和雷管时, 炸药和雷管必须分开运输, 不允许混装;
- (6) 现场施工期间通风区领导必须现场跟班组织协调各项工作。

6. 浅孔预裂松动爆破应用及效果分析

按照优化后的松动爆破技术方案, 于 2020 年 4 月开始至 2020 年 10 月结束, 在 2125 下顺槽掘进工

作面进行了应用试验,工作面松动爆破防突措施有效地消除了煤与瓦斯突出危险性。该掘进工作面下顺槽安全顺利完成了煤巷掘进工作,直至贯通。从以下四个方面分析考察松动爆破的消突效果。

(1) 爆破前后煤层瓦斯含量对比分析:

在 2125 下顺槽掘进工作面施工松动爆破措施期间,测定了爆破前试验区域的煤层瓦斯含量在 $4.89\sim 5.92\text{ m}^3/\text{t}$; 爆破后,在防突措施效果检验时测定了爆破后试验区域的煤层残余瓦斯含量为 $4.68\sim 5.16\text{ m}^3/\text{t}$ 。可见,实施控制预裂爆破后,明显降低了煤层残余的瓦斯含量,相应的煤层瓦斯压力也大大降低,消除了突出危险性。

(2) 爆破前后措施效检指标对比分析:

掘进工作面松动爆破措施前后预测及效果检验指标 q 对比变化情况如图 5 所示。可以看出松动爆破措施后,预测和效果检验指标 q 最大值整体上均有明显降低,显示了松动爆破措施的防突效果。保证了 2125 下顺槽煤巷顺利安全完成了掘进。

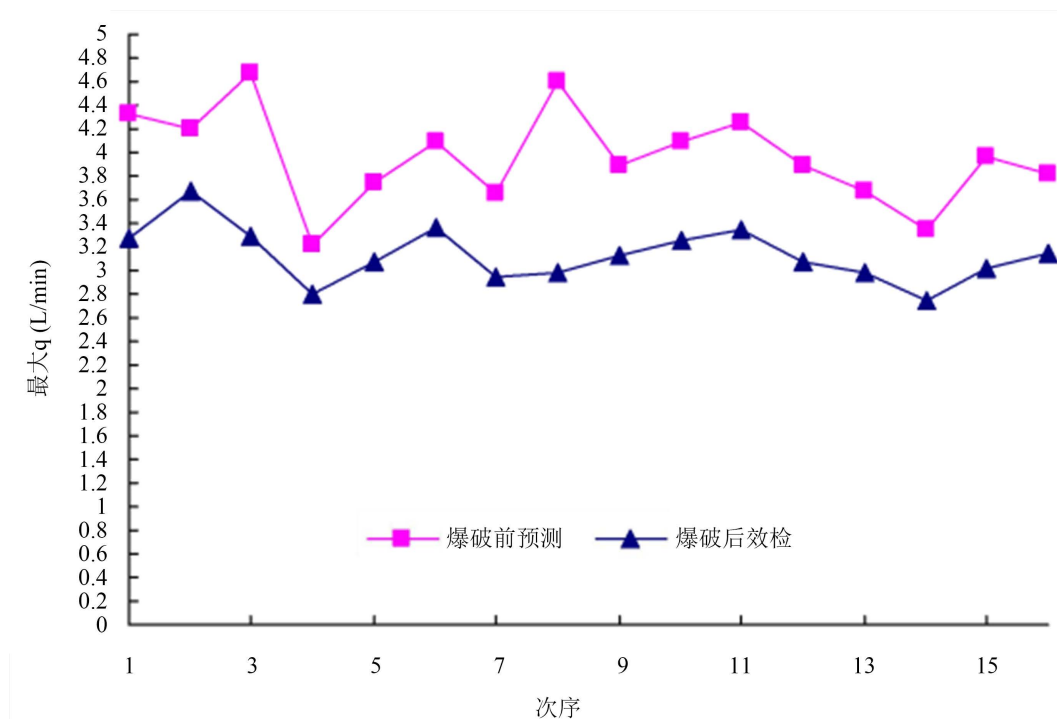


Figure 5. The change of the maximum value of the prediction index q of the loose blasting in the trough under 2125

图 5. 2125 下顺槽松动爆破预测指标 q 最大值变化情况

(3) 措施前后掘进期间瓦斯涌出量对比分析:

对比措施前后工作面掘进期间瓦斯涌出量,考察分析实施松动爆破后,由于爆破产生裂隙及集中应力带前移,工作面前方煤体透气性系数增大能够排出大量瓦斯,使得煤层瓦斯含量大大降低,减小了在正常掘进时瓦斯涌出。

图 6 掘进工作面实施松动爆破措施时,工作面瓦斯涌出变化曲线。可以看出松动爆破瓦斯涌出规律:在放炮瞬间会使工作面瓦斯涌出量突然增大,之后逐渐降低、趋于平稳。这是由于爆破产生裂隙,工作面前方煤体透气性系数增大,煤体瓦斯涌出量增加。松动爆破这种促进瓦斯涌出的作用,有利于预排煤层瓦斯,降低瓦斯危害及防止突出。

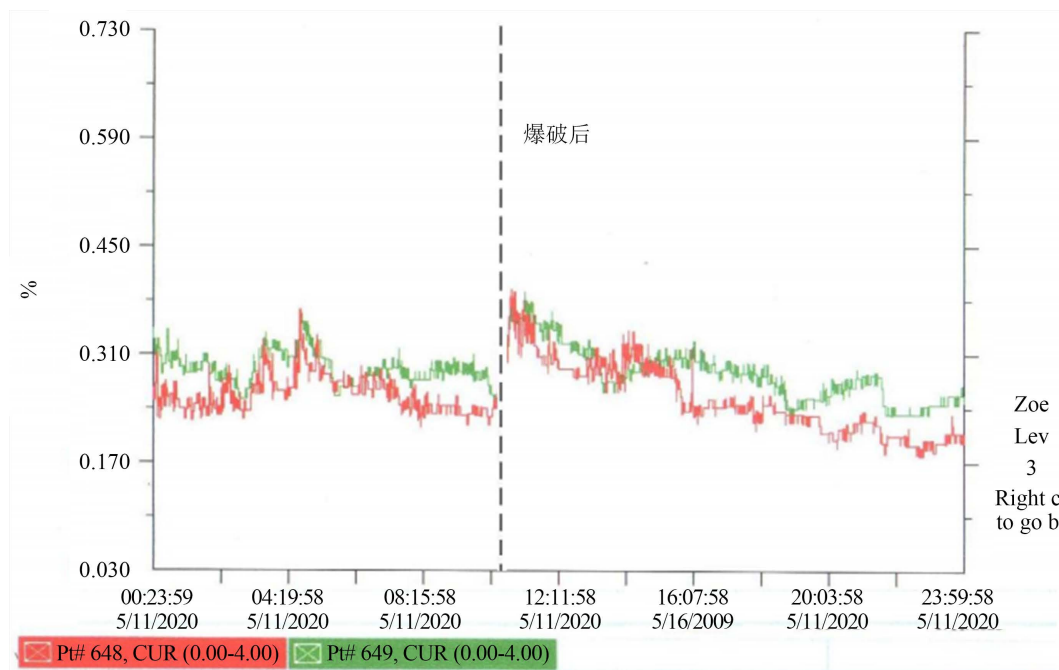


Figure 6. Gas emission curve of loose blasting

图 6. 松动爆破瓦斯涌出曲线

(4) 措施前后掘进期间瓦斯涌出量对比分析:

原工作面防突措施单一排放钻孔措施的平均月掘进速度 25 m/月, 实施松动爆破后月平均掘进速度 84 m/月。掘进速度较传统的防突措施提高了三倍以上, 大大地提高了生产效率。至 2020 年 10 月, 该掘进工作面下顺槽完成掘进, 安全贯通。

7. 结论

- (1) 通过采用浅孔预裂松动爆破技术, 爆破后煤层瓦斯含量和瓦斯压力大大降低, 消除了突出危险性。
- (2) 通过运用该技术, 掘进工作面松动爆破措施前后预测及效果检验指标 q 和瓦斯涌出量整体上有明显降低, 保证了 2125 下顺槽煤巷顺利安全完成了掘进。
- (3) 松动爆破后掘进速度较传统的防突措施提高了三倍以上, 大大地提高了生产效率, 并确保了安全贯通。

参考文献

- [1] 程磊, 张玥, 李辉, 等. 低渗透性煤层深孔预裂爆破参数优化模拟研究[J]. 煤炭技术, 2022, 41(10): 155-158.
- [2] 王志亮. 煤层松动爆破裂隙扩展机理与应用研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2010.
- [3] 刘健. 低透气煤层松动爆破增透技术研究及应用[D]: [博士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2008.
- [4] 韩颖, 张飞燕, 勾攀峰. 穿层深孔预裂爆破防治高应力高突区域煤巷突出的试验研究[J]. 煤炭工程, 2009(6): 87-89.
- [5] Jia, T., Huang, C.G., Liu, G.J., et al. (2018) Study on Gas Drainage Boreholes with Different Space Distances between Boreholes Affected to Pre-Cracking Blasting Enhancement Effect of Deep Boreholes. *Coal Science and Technology*, **46**, 109-113.
- [6] Ding, Z.W., Jia, J.D., Li, X.F., et al. (2020) Experimental Study and Application of Medium-Length Hole Blasting Technique in Coal-Rock Roadway. *Energy Science & Engineering*, **8**, 1554-1566. <https://doi.org/10.1002/ese3.612>
- [7] Xie, Z.C., Zhang, D.M., Song, Z.L., et al. (2017) Optimization of Drilling Layouts Based on Controlled Presplitting

Blasting through Strata for Gas Drainage in Coal Roadway Strips. *Energies*, **10**, Article 1228.
<https://doi.org/10.3390/en10081228>

- [8] Yang, Y.Z., Shao, Z.S., Mi, J.F., *et al.* (2018) Effect of Adjacent Hole on the Blast-Induced Stress Concentration in Rock Blasting. *Advances in Civil Engineering*, **2018**, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2018/5172878>
- [9] 娄亚北. 赵固二矿二₁煤穿层深孔松动爆破卸压增透应用研究[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2016.