

穿层钻孔帷幕注浆一体化技术的实践研究^{*}

马广兴¹, 王东杰^{2,3,4}, 陈立伟^{2,3,4}, 边乐²

(1.永城永安矿山安全技术工程有限公司, 河南 永城市 476600;

2.河南理工大学 安全科学与工程学院, 河南 焦作市 454000;

3.煤炭安全生产与清洁高效利用省部共建协同创新中心, 河南 焦作市 454000;

4.煤矿灾害预防与抢险救灾教育部工程研究中心, 河南 焦作市 454000)

摘要:车集煤矿底抽巷经过多轮瓦斯抽采穿层钻孔后,巷道围岩产生了较多的裂隙,导致钻孔封堵不严密,影响瓦斯抽采效果。针对此问题,选择帷幕注浆技术对巷道进行加固。首先,通过 COMSOL Multiphysics 软件建立实体煤岩钻孔注浆数值模型;然后,根据数值模拟结果分析注浆浆液在裂隙岩体中的扩散规律,并设计出适宜的注浆方案;最后,在现场开展钻帷一体化帷幕注浆和注帷一体化封孔注浆工艺的试验研究。结果表明:采取帷幕注浆措施能够有效封堵裂隙,提升瓦斯抽采浓度。相较于非帷幕注浆钻孔,试验钻孔单孔平均始抽浓度提高了 9.4 个百分点,单孔平均再抽浓度提高了 14.5 个百分点。该技术为类似矿山帷幕注浆工程提供了技术借鉴。

关键词:帷幕注浆;穿层钻孔;瓦斯抽采;封堵裂隙;数值模拟

中图分类号:TD712

文献标识码:A

文章编号:1005-2763(2024)04-0144-08

0 引言

我国煤矿煤层埋藏条件差,地质构造及瓦斯赋存条件较为复杂,由于煤炭开采受瓦斯、水、粉尘、地质构造等诸多因素制约^[1],随着矿井开采深度的增加,开采的煤层中瓦斯含量呈现增大趋势,瓦斯治理难度显著增大,给煤炭高效、安全生产带来了较大威胁^[2-3]。目前,我国矿井瓦斯治理中使用相对较多的是井下钻孔煤层瓦斯抽采技术^[4-6]。井下钻孔煤层瓦斯抽采技术是指在本煤层、煤层底板岩石抽采巷或者高抽巷中向含瓦斯煤体施工顺层钻孔或者穿层钻孔^[7],对突出煤层、采空区以及含瓦斯煤层进行瓦斯抽采,该技术原理简单、使用灵活、可操作性强,并且适用于各种条件下的煤层瓦斯抽采,可以有效治理矿井瓦斯^[8-10]。经过多轮瓦斯抽采之后,巷道受围岩变形及钻孔成型时受力破坏等影响,产生较多

裂隙^[11-12],围岩裂隙的存在导致钻孔封堵不严密,对瓦斯抽采效果影响较大^[13-15]。可采用帷幕注浆对巷道围岩进行加固,提高钻孔封孔密实性,提升钻孔封孔质量^[16]。随着注浆加固工程的广泛应用,帷幕注浆受到国内外学者的广泛关注。张庆松等^[17]根据浆液扩散运动方程,建立了考虑浆液扩散路径的多孔介质渗透注浆模型,较好地描述了浆液渗透扩散过程。杜海涛等^[11]对城郊煤矿煤层采取帷幕注浆措施后,有效地封堵了裂隙,提升了瓦斯抽采浓度,研究表明空白区钻孔平均始抽浓度是未采取帷幕注浆区域的3.1倍。罗昊等^[18]通过对隧道白云岩砂化段进行帷幕注浆加固处理,发现影响注浆效果的几个主要因素分别是注浆压力、注浆材料、注浆厚度和注浆工艺。刘香会等^[19]探究帷幕注浆孔位位置、钻孔数量和角度的计算方法,通过理论推导其计算公式。

本文结合车集煤矿帷幕注浆工程,对多次瓦斯抽采钻孔产生裂隙的 2616 底抽巷实施帷幕注浆加固技术,建立了实体煤岩钻孔注浆数值模型,分析注浆浆液在裂隙岩体中的扩散规律,设计合理注浆工艺,结合现场施工效果进行分析,研制出一套穿层钻孔帷幕注浆一体化技术及装备,以期对巷道帷幕注浆提供参考。

1 工程概况

研究区位于永夏矿井的车集煤矿,构造以北东方向为主的高角度正断层为主,受断层影响,部分煤层整体抬升。煤层顶板以砂质泥岩、粗粒砂岩为主,煤层透气性差,且该煤层瓦斯赋存地质条件较为复杂,煤层变质程度不一,随着开采深度的增加,煤层

^{*} 收稿日期:2023-06-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52074104);河南省科技攻关计划项目(222102320142)。

作者简介:马广兴(1982—),男,河南永城人,高级工程师,主要从事瓦斯治理、水害防治工作,E-mail:893040972@qq.com。

通信作者:王东杰(1999—),女,山东烟台人,硕士研究生,主要从事瓦斯治理与瓦斯灾害方面的研究,E-mail:w3259247770@163.com。

中的瓦斯含量也不断增加,极易发生矿井瓦斯灾害。因常规瓦斯抽采技术抽采不到位,煤层中残留大量瓦斯,车集煤矿采用穿层钻孔瓦斯抽采技术以提高瓦斯的抽采效率。

2 帷幕注浆数值模拟研究

2.1 帷幕注浆

帷幕注浆^[20]指通过一定的注浆压力,将浆液注入裂隙岩体中,随着浆液的扩散,不断对裂隙空间进行充填。该方法不仅能防止地下水渗流,阻断水流通道,而且凝固后的浆液还能使破碎的岩体形成一个完整的整体,共同承载外界应力以抵抗围岩变形,大大提高围岩体的稳定性和承载力,从而改善岩体结构的力学性能。

2.2 注浆材料选择

基于车集煤矿瓦斯赋存特性,选用压缩系数小、性能良好的普通硅酸盐水泥材料。水泥类浆液是一种黏塑性流体。浆液黏度对浆液流速、流量以及浆液的扩散半径影响极大。水泥类浆液可沿实体煤岩层中的孔、裂隙或薄弱区充分扩散充填,增强地层抗渗性能。

2.3 实体煤岩钻孔注浆数值模型的创建

2.3.1 基本假设条件

利用 COMSOL 软件建立煤岩钻孔注浆数值模型,考虑注浆工程的实际情况,对数值模型做出如下假设:

- (1) 假设模型的孔隙率和渗透率保持不变;
- (2) 相较于注浆压力,浆液的屈服应力对浆液扩散范围的影响非常小,可以忽略不计,因此可以将浆液视为牛顿流体,且浆液在扩散过程中不会损失;
- (3) 将地下水和浆液共存的空间看作达西两相渗流场,不考虑地下水动水环境对浆液扩散的影响;
- (4) 止浆塞以下浆液压力约等于孔口注浆泵中的控制压力,且忽略浆液从注浆孔口到注浆孔内的压力损失。

2.3.2 数值计算模型

模型尺寸如下:以注浆管几何中心为中心,注浆管直径为 100 mm,模拟注浆段高度为 10 m,地层厚为 20 m。实际工程中,浆液的扩散半径趋于无限远,在数值模型中,考虑到计算效率和浆液扩散稀释,在一定距离后浆液浓度几乎为零。因此本模型取浆液扩散范围在 10 m 以内,据此建立浆液扩散模型。

入口条件:入口边界为浆液的流入边界条件。此处的入口边界设定为压力边界条件。浆液自注浆孔,在设置的注浆压力条件下,向周围地层扩散。

出口条件:出口边界设第二类边界条件,包括模型的前、后、左、右 4 个面,设置为压力边界条件,取

0.8 MPa 的地下水压力。
无通量边界条件:其余的边界均为无通量边界,满足无滑移条件。

采用有限元三角形面网格剖分方法对模型进行网格划分,对注浆孔附近网格进行细化,增加计算的收敛性和精度。具体网格划分如图 1 所示,其中,颜色代表网格质量,影响计算的精度,越接近 1 网格质量越好(颜色标识见电子版)。

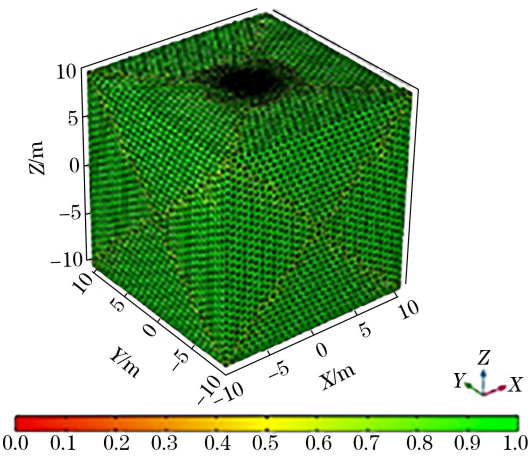
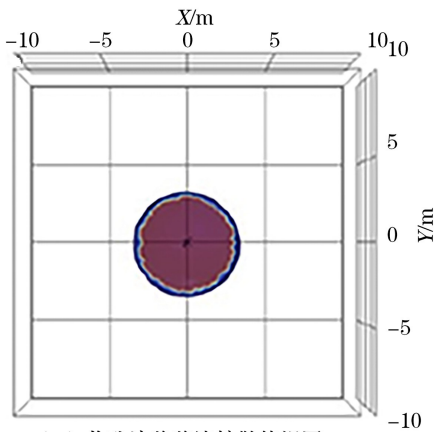


图 1 网格划分
Fig.1 Grid division

2.4 数值模拟结果分析

2.4.1 单孔注浆浆液扩散规律

浆液的球形扩散理论表明,在注浆孔底部区域,浆液会向四周扩散,扩散范围类似于一个球体;在注浆孔两侧,浆液扩散规律符合柱形扩散理论,可以视为平面径向渗流。图 2 中红色区域代表浆液体积分数大于 0.9 的区域,蓝色区域代表浆液扩散前缘,即浆液和水的混合交接带(颜色标识见电子版)。由此可以看出,随着注浆模拟时间的增加,浆液以注浆孔为中心,呈近似圆柱状向四周扩散,在注浆孔底部呈球形扩散,浆液扩散范围随着时间的增加而增加,符合柱形扩散的一般规律,浆液与地下水之间存在一个水浆混合交接带。



(a) 单孔注浆浆液扩散俯视图

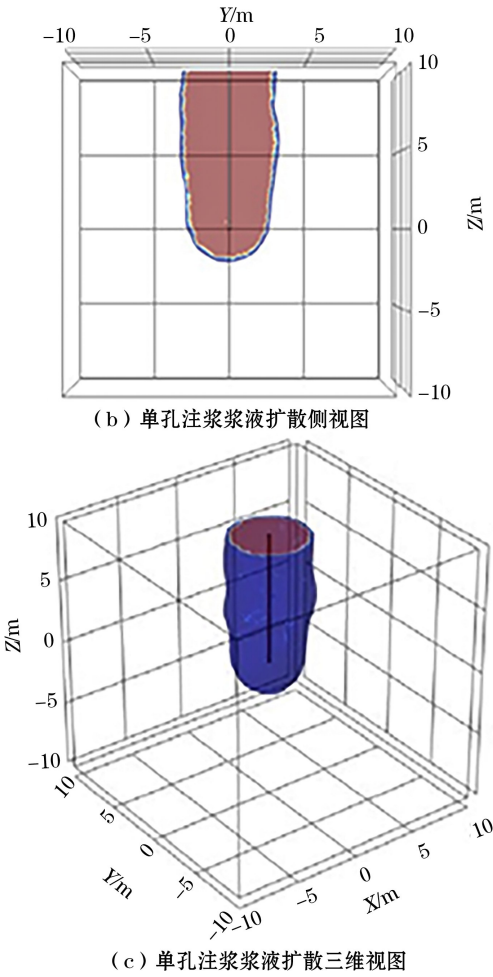


图 2 单孔注浆浆液扩散规律

Fig.2 Diffusion law of single-hole grouting slurry

2.4.2 多孔同步注浆浆液扩散规律

由于通过三维建模分析多孔注浆计算量巨大，一般计算机难以完成任务，因此，本节通过构建二维注浆模型，分析浆液在平面方向和竖直方向的扩散规律。

(1) 浆液在平面方向的扩散规律分析。图 3 为多孔同步注浆不同注浆时间浆液的体积分数图，其中红色代表区域中浆液体积分数越大，即浓度越大；蓝色代表水的体积分数越大，即水越多(颜色标识见电子版)。从图 3 可以看出，浆液在注浆压力的作用下，以注浆孔为中心，呈近似圆形由内向外扩散，浆液扩散范围随着时间的增加而增大。浆液扩散半径会在一定程度上受到相邻钻孔的影响，产生向垂直向扩散的倾向，浆液与地下水之间存在一个水浆混合交接带。注浆 20 min 时，相邻钻孔之间浆液扩散面初步接触，此时接触部位为水浆混合带，水的占比大，浆液体积分数小，难以形成有效的堵水帷幕；随着注浆时间的增加，交圈处浆液体积分数逐渐增大，形成的帷幕厚度逐渐增大；当注浆 60 min 后，浆液扩散范围由最初的以 3 个注浆孔为中心的圆形，逐渐发展为相互接触、互为一体的椭圆形帷幕墙。

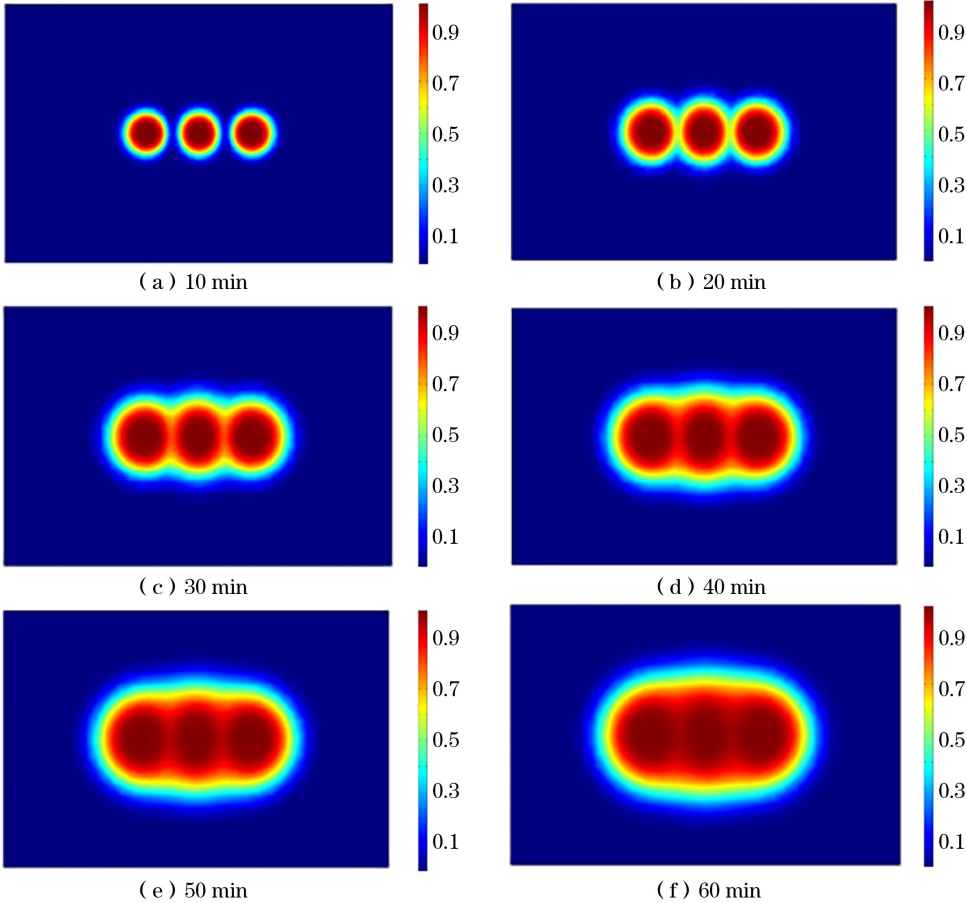


图 3 多孔同步注浆不同时间浆液扩散范围

Fig.3 Slurry diffusion range of multi-hole synchronous grouting at different times

取浆液体积分数大于 0.9 为浆液的有效扩散范围,即图中红色区域(颜色标识见电子版)。由图 4 可知,受浆液流变性的影响,随着注浆时间的增加,

浆液扩散半径的增长速率逐渐减小,并趋于平缓。在注浆 60 min 后,浆液扩散半径达到 2.7 m,此时相邻钻孔之间的交圈厚度达到 5.2 m。

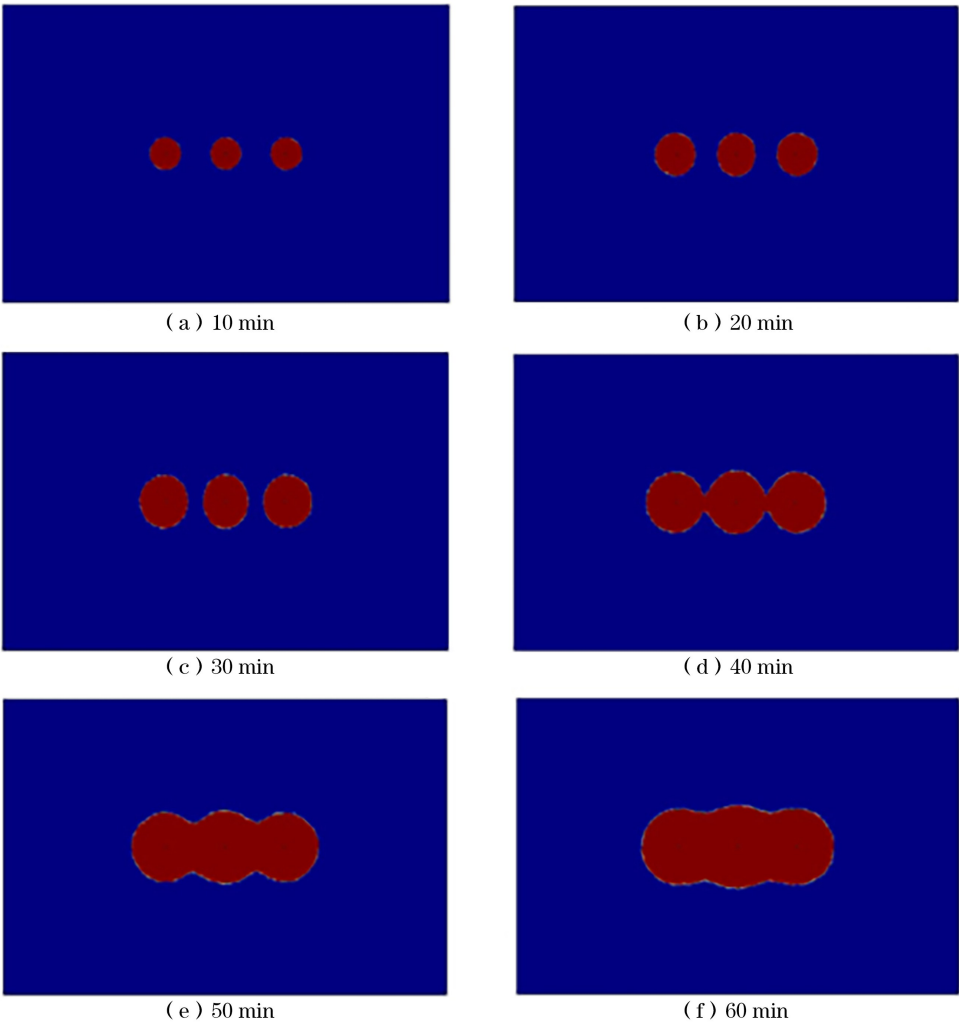


图 4 不同时间浆液的有效扩散范围

Fig.4 Effective diffusion range of slurry at different times

图 5 为浆液的有效扩散半径。随着注浆时间的增加,浆液的扩散半径逐渐增大。然而,由于受到地下静水压力的影响,随着注浆时间的增大,浆液扩散半径的增长速率逐渐减小。

较近,钻孔之间的浆液扩散会相互影响,中间钻孔受到左右两侧钻孔的影响,浆液趋向于向孔底方向扩散,左右两侧钻孔底部浆液扩散也会有一定的方向性。最终浆液会在钻孔底部发生较大范围的扩散,会造成过多的浆液损耗,不符合经济性原则。因此,必须尽可能地降低钻孔之间的相互影响,避免浆液在孔底竖向扩散,合理地控制浆液水灰比、注浆压力及钻孔间距对浆液扩散控制极为重要。

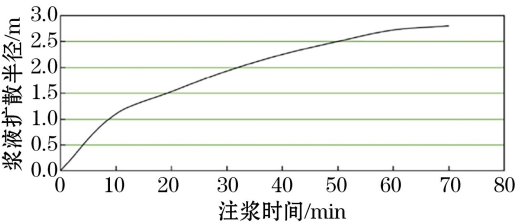


图 5 浆液有效扩散半径

Fig.5 Effective diffusion radius of slurry

(2) 浆液在剖面方向的扩散规律分析。不同于单一钻孔的柱形扩散及球形扩散规律,多孔注浆浆液在剖面上呈现的扩散规律如图 6 所示。从图 6 可以看出,当注浆压力为 2.5 MPa 时,由于钻孔间距

(3) 孔间距对注浆效果的影响。设置钻孔间距分别为 3 m、4 m、5 m、6 m,浆液水灰比为 0.8 : 1,注浆压力为 2 MPa,可以得出注浆一定时间后浆液的扩散范围,如图 7 所示。当孔间距为 3 m 时,形成的有效帷幕厚度达 6.8 m;当孔间距为 4 m 时,形成的有效帷幕厚度为 5.2 m;当进一步增大孔间距为 5 m 和 6 m 时,浆液扩散难以形成有效的帷幕。

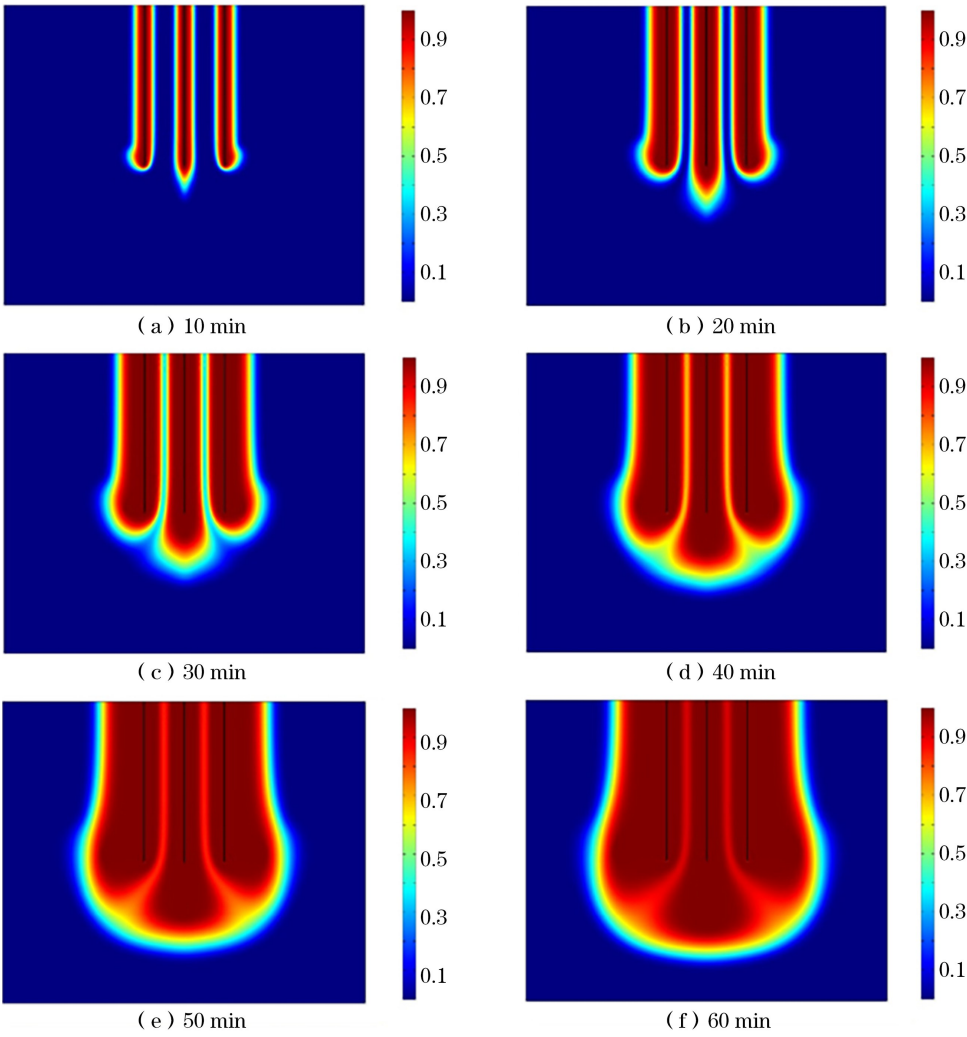


图 6 浆液在剖面上的扩散规律

Fig.6 Diffusion laws of slurry on the profile

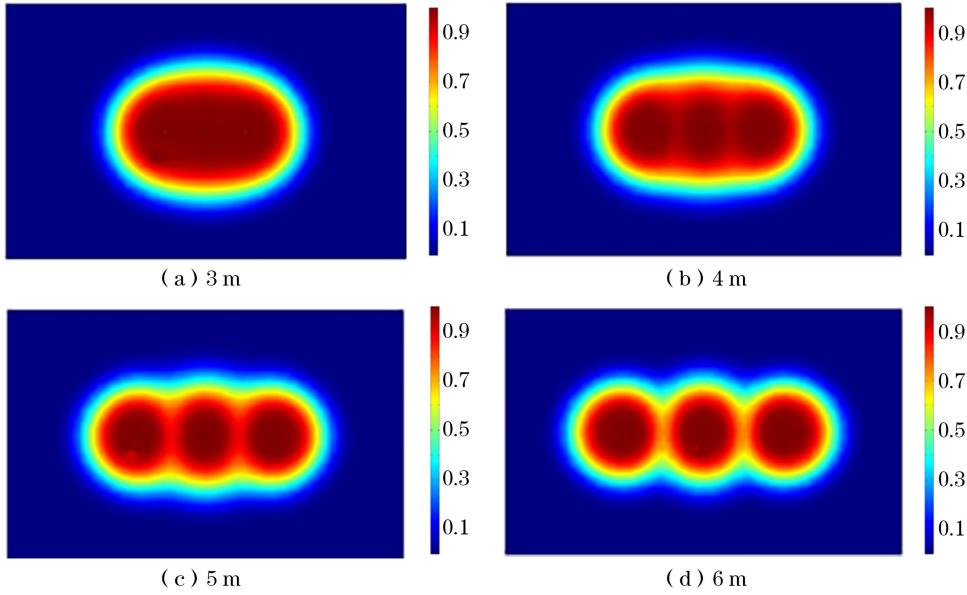


图 7 不同孔间距浆液扩散范围

Fig.7 Diffusion range of slurry with different hole spacing

3 现场应用

3.1 注浆钻孔方案布置

在 2616 切眼底抽巷硐室共设计 31 个钻孔，其

中 7 个钻帷一体钻孔，如图 8 所示，并在 2616 切眼底抽巷施工 21 个帷幕注浆钻孔，如图 9 所示（红色为钻帷一体钻孔，颜色标识见电子版）。钻帷一体注浆钻孔孔径为 $\Phi 94\text{ mm}$ ，注浆孔深为 8~15 m。

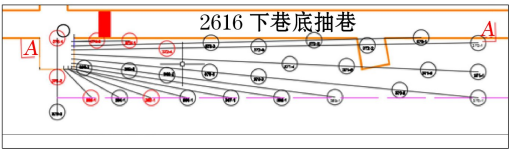


图 8 2616 切眼底抽巷硐室区域钻孔设计示意

Fig.8 Schematic diagram of the drilling holes design for the chamber area in the 2616 cut-off bottom pumping roadway

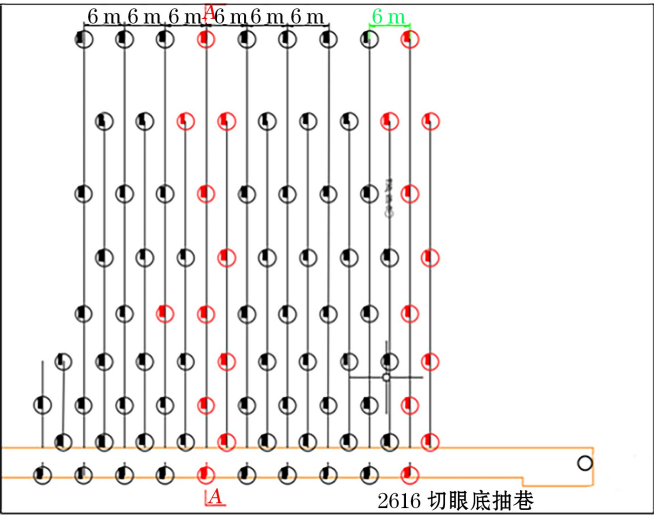


图 9 2616 切眼底抽巷钻孔设计示意

Fig.9 Schematic diagram of drill holes design in the 2616 cut-off bottom pumping roadway

3.2 注浆施工

按照设计参数,利用普通钻机施工至设计深度。然后退出钻杆,将钻头更换为钻杆打捞器(公锥)并作为孔口封孔器,公锥使用破布包裹后推入孔内 0.5 m。接入注浆管路,开始注浆。帷幕注浆压力控制在 8~10 MPa,注浆时间为 1 min。注浆结束后,使用钻机退出封孔器,放掉钻孔内部部分浆液。

3.3 注浆效果考察

为考察钻孔内注浆试验的效果,在注浆结束后对试验钻孔的始抽瓦斯浓度和一段时间之后的再抽瓦斯浓度进行了观测,相关数据如图 10 所示,而未进行帷幕注浆钻孔的瓦斯抽采浓度相关数据如图 11 所示。

由图 10 可见,试验钻孔在帷幕注浆后,单孔平均始抽浓度为 79.2%,单孔平均再抽浓度为 78.4%;由图 11 可知,非帷幕注浆钻孔平均始抽浓度为 69.8%,单孔平均再抽浓度为 63.9%。相较于非帷幕注浆钻孔,试验钻孔单孔平均始抽浓度提高了 9.4 个百分点,单孔平均再抽浓度提高了 14.5 个百分点。试验数据表明,对试验孔注浆后,其对钻孔瓦斯

抽采浓度起到提升作用,钻孔封堵效果良好。

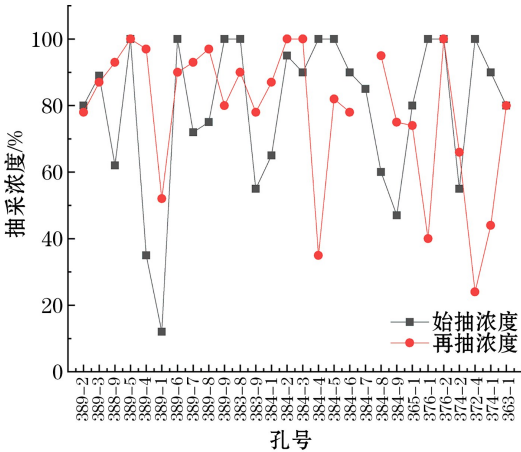


图 10 2616 切眼底抽巷抽采浓度

Fig.10 Extraction concentration in the 2616 cut-off bottom pumping roadway

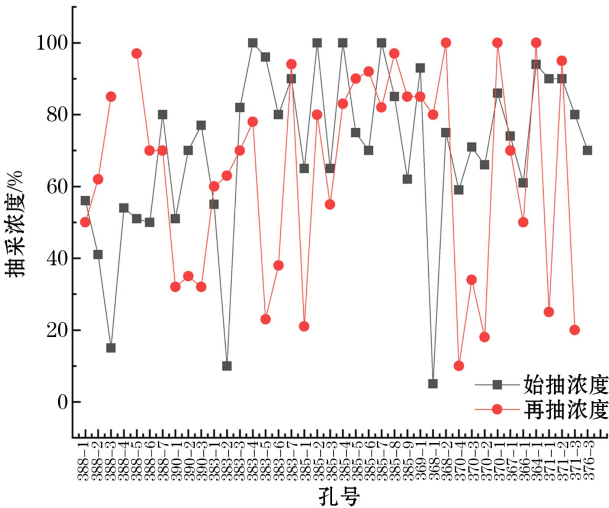


图 11 2616 切眼底抽巷抽采浓度(非帷幕注浆钻孔)

Fig.11 Extraction concentration in the 2616 cut-off bottom pumping roadway (Non-curtain grouting drilling)

4 结论

- (1) 根据数值模拟结果,研究浆液在裂隙岩体中的扩散规律,为车集煤矿注浆工程的方案设计提供一定的依据。
- (2) 采用帷幕注浆技术对巷道围岩裂隙进行加固,结合车集煤矿注浆工程的现场应用,效果显著。
- (3) 采取帷幕注浆措施能够有效封堵裂隙,提升瓦斯抽采浓度。相较于非帷幕注浆钻孔,试验钻孔单孔平均始抽浓度提高了 9.4 个百分点,单孔平均再抽浓度提高了 14.5 个百分点。

参考文献(References):

[1] 任沁元.矿井地质条件对煤层瓦斯赋存的控制因素分析[J].内蒙古煤炭经济,2023,368(3):178-180.

- REN Qinyuan. Analysis of the controlling factors of mine geological conditions on coal seam gas occurrence[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2023, 368(3): 178-180.
- [2] 王定琪, 陈鱼. 近距离煤层群高位定向钻孔瓦斯抽采技术应用研究[J]. 煤矿机械, 2021, 42(7): 153-156.
- WANG Dingqi, CHEN Yu. Application research on gas drainage technology of high level directional drilling in close distance coal seam group[J]. Coal Mining Machinery, 2021, 42(7): 153-156.
- [3] 邓成均. 突出矿井采煤工作面瓦斯综合治理实践探析[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(2): 59-61.
- DENG Chengjun. Analysis on the practice of gas comprehensive treatment in outburst coal face[J]. China Mining Engineering, 2021, 50(2): 59-61.
- [4] 连晓阳. 地面压裂钻井与井下抽采钻孔瓦斯抽采技术研究[J]. 江西煤炭科技, 2022, 175(3): 178-179+182.
- LIAN Xiaoyang. Study on gas drainage technology of surface fracturing drilling and underground drainage drilling[J]. Jiangxi Coal Science & Technology, 2021, 175(3): 178-179+182.
- [5] 董亚楠. 浅谈煤矿井下瓦斯抽采钻孔施工技术[J]. 科技风, 2015, 276(18): 154.
- DONG Yanan. Talking about the construction technology of underground gas extraction borehole in coal mine[J]. Ke Ji Feng, 2015, 276(18): 154.
- [6] 王晨阳, 李树刚, 张永涛, 等. 煤矿井下硬煤层顺层长钻孔分段压裂强化瓦斯抽采技术及应用[J]. 煤田地质与勘探, 2022, 50(8): 72-81.
- WANG Chenyang, LI Shugang, ZHANG Yongtao, et al. Enhanced gas drainage technology by staged fracturing in long bedding borehole in hard coal bed of underground coal mine and its application[J]. Coal Geology & Exploration, 2022, 50(8): 72-81.
- [7] 郝世俊, 殷新胜, 方俊. 煤矿井下碎软煤层瓦斯抽采钻孔钻进工艺[C]//中国地质学会. 第二十一届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集. 北京:《钻探工程》编辑部, 2021: 185-192.
- HAO Shijun, YIN Xinsheng, FANG Jun. Drilling technology for soft broken coal seam underground gas extraction in coalmines [C]//Chinese Geological Society. Proceedings of the twenty-first annual national academic exchange conference on prospecting engineering (geotechnical drilling engineering). Beijing: Editorial Board of Drilling Engineering, 2021: 185-192.
- [8] 郭晨曦. 玉溪煤矿 1301 工作面底抽巷瓦斯抽采技术研究[J]. 煤矿现代化, 2022, 31(3): 46-49.
- GUO Chenxi. Research on gas drainage technology of the bottom drainage roadway in 1301 working face of Yuxi coal mine[J]. Coal Mine Modernization, 2022, 31(3): 46-49.
- [9] 赵雄飞. 综放工作面瓦斯来源分析和抽采技术探讨[J]. 江西煤炭科技, 2023, 177(1): 159-161+164.
- ZHAO Xiongfei. Discussion on gas source analysis and extraction technology at fully-mechanized mining face [J]. Jiangxi Coal Science & Technology, 2023, 177(1): 159-161+164.
- [10] 白一宁. 井下顺煤层长钻孔抽采瓦斯技术方案的应用[J]. 能源与节能, 2022, 200(5): 178-181.
- BAI Yining. Application of technical scheme for underground gas drainage with long borehole along coal seams[J]. Energy and Energy Conservation, 2022, 200(5): 178-181.
- [11] 杜海涛, 葛林. 帷幕注浆封闭漏气通道提升钻孔抽采浓度研究实施[J]. 煤, 2023, 32(3): 58-62.
- DU Haitao, GE Lin. Study and implementation of curtain grouting to close air leakage channel and improve extraction concentration of borehole[J]. Coal, 2023, 32(3): 58-62.
- [12] 刘红星, 贾博宇. 采煤工作面破碎围岩底板巷穿层钻孔瓦斯抽采技术[J]. 山东煤炭科技, 2022, 40(9): 100-102.
- LIU Hongxing, JIA Boyu. Gas drainage technology of dailling hole through layer in broken surrounding rock floor roadway in coal mining working face [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2022, 40(9): 100-102.
- [13] 李季. 基于 3DEC 的大采高回采巷道围岩变形特征研究[J]. 中国矿山工程, 2023, 52(1): 67-71.
- LI Ji. Study on deformation characteristics of surrounding rock of large mining height roadway based on 3DEC [J]. China Mining Engineering, 2023, 52(1): 67-71.
- [14] 刘华博, 孟凡净, 花少震, 等. 近距离不规则采空区下综放煤巷分区控制研究[J]. 煤矿安全, 2023, 54(2): 113-120.
- LIU Huabo, MENG Fanjing, HUA Shaozhen, et al. Study on sub-regional control of fully mechanized top-coal caving roadway under close irregular goaf [J]. Safety in Coal Mine, 2023, 54(2): 113-120.
- [15] 马智会, 潘荣锟, 马智勇, 等. 顺层钻孔瓦斯抽采漏气规律及封孔技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(8): 90-96.
- MA Zhihui, PAN Rongkun, MA Zhiyong, et al. Study on gas leakage law and hole sealing technology of gas drainage in layered drilling [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(8): 90-96.
- [16] 周洋. 顺层瓦斯抽采钻孔围岩裂隙演化与堵漏研究[J]. 煤炭技术, 2022, 41(5): 133-136.
- ZHOU Yang. Study on fracture evolution and plugging in surrounding rock of gas drainage bedding borehole [J]. Coal Technology, 2022, 41(5): 133-136.
- [17] 张庆松, 王洪波, 刘人太, 等. 考虑浆液扩散路径的多孔介质渗透注浆机理研究[J]. 岩土工程学报, 2018, 40(5): 918-924.
- ZHANG Qingsong, WANG Hongbo, LIU Rentai, et al. Study on the permeable grouting mechanism of porous media considering the diffusion path of slurry [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2018, 40(5): 918-924.

[18] 罗昊,邓飞,何刚,等.隧道白云岩砂化段帷幕注浆处理技术[J].科学技术与工程,2020,20(18):7441-7450.
LUO Hao, DENG Fei, HE Gang, et al. Curtain grouting treatment technology for dolomite sanding section of tunnel [J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20 (18): 7441-7450.

[19] 刘香会,王利民,王浩,等.矿山法隧道止水帷幕注浆钻孔施工控制关键技术研究[J].建筑技术,2022,53(9):1146-1148.
LIU Xianghui, WANG Limin, WANG Hao, et al. Research on key technologies for construction control of grouting drilling of waterproof curtain in mining tunnels [J]. Architecture Technology, 2022, 53(9): 1146-1148.

[20] 罗昊.砂化白云岩段帷幕注浆影响因素研究[D].重庆:重庆交通大学,2018.
LUO Hao. Study on influencing factors of curtain grouting in sanded dolomite section [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2018.

Practical Research on Integrated Technology of Curtain Grouting in Through Layer Boreholes

MA Guangxing¹, WANG Dongjie², CHEN Liwei^{2,3,4}, BIAN Le²

- (1.Yongcheng Yongan Mine Safety Technology Engineering Co., Ltd., Yongcheng, Henan 476600, China;
- 2.College of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China;
- 3.Collaborative Innovation Center of Coal Work Safety and Clean High Efficiency Utilization, Jiaozuo, Henan 454000, China;
- 4.Engineering Research Center of Ministry of Education for Coal Mine Disaster Prevention and Emergency Relief, Jiaozuo, Henan 454000, China)

Abstract: After many rounds of gas extraction and through layer boreholes in the bottom pumping roadway of Cheji coal mine, the surrounding rocks of the roadway produces more cracks leading to poor sealing of the drilling holes, which affects the effect of gas extraction. In view of the problem, curtain grouting technology was selected to reinforce the roadway. Firstly, a numerical model of solid coal rock borehole grouting was established by COMSOL Multiphysics software. Then, according to the numerical simulation results, the diffusion law of the grouting slurry in the crack rock was analyzed, and the suitable grouting scheme was designed. Finally, the experimental research of the drilling integrated curtain grouting and grouting integrated sealing grouting process was carried out in the field. The results show that curtain grouting measures can effectively seal the cracks and increase the gas extraction concentration. Compared with the non-curtain grouting drilling holes, the average initial pumping concentration of a single hole in the test borehole increases by 9.4 percentage points, and the average re-pumping concentration of a single hole increases by 14.5 percentage points. This technology provides a technical reference for curtain grouting projects in similar mines.

Key words: Curtain grouting, Through layer boreholes, Gas extraction, Sealing cracks, Numerical simulation