

# 全断面快速灌浆法在采空区防灭火中的应用

周玉金

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯  
Email: 3528288542@qq.com

收稿日期: 2020年12月14日; 录用日期: 2021年1月14日; 发布日期: 2021年1月21日

## 摘要

为防止不连沟煤矿在开采时采空区遗煤发生自燃,本文提出一种快速灌浆法可以有效地弥补采空区注氮、喷洒阻化剂、地面塌陷区回填等常规防灭火方法的不足。该方法首先通过漏风、遗煤分布及采空区氧气浓度判断发火范围,之后通过相邻巷道向采空区打设钻孔,通过钻孔向火区大量注入具有膨胀性防灭火材料覆盖遗煤区域,对氧化遗煤进行隔氧冷却。最终,工作面气体及采空区遗煤氧化得到很好地控制,工作面安全回采或安全回撤。

## 关键词

采空区, 煤自燃, 防灭火, 快速灌浆法

# Application of Full Section Fast Grouting Method in Fire Prevention and Control of Goaf

Yujin Zhou

Inner Mongolia Mengtai Buliangou Coal Industry Co., Ltd., Ordos Inner Mongolia  
Email: 3528288542@qq.com

Received: Dec. 14<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jan. 14<sup>th</sup>, 2021; published: Jan. 21<sup>st</sup>, 2021

## Abstract

In order to prevent spontaneous combustion of leftover coal in goaf during mining in Buliangou Coal Mine, in this paper, a fast grouting method can effectively make up for the shortage of conventional fire prevention and extinguishing methods, such as nitrogen injection in goaf, spraying inhibitor and backfilling in ground subsidence area. In this method, the ignition range is first de-

terminated by air leakage, residual coal distribution and oxygen concentration in goaf. Then, a borehole is drilled into the goaf through an adjacent roadway, through which a large amount of expandable fire-fighting materials are injected into the fire area to cover the residual coal area, and oxygen isolation cooling is carried out on the residual oxidized coal. Finally, the gas and coal oxidation in the working face and goaf are well controlled, and the working face can be safely mined or withdrawn.

## Keywords

Mined-Out Area, Coal Spontaneous Combustion, Fire Prevention, Rapid Grouting Method

Copyright © 2021 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

对于特厚煤层一般采用综放开采工艺,煤厚在 15 m 左右时,采高 4.0 m,采放比为不大于 1:3 为宜。当工作面遇构造带易造成推进速度慢时,因采空区遗煤存在和氧气进入、工作面漏风等极易发生遗煤自燃现象;综放工作面因采放工艺限制,停采前 30~50 m 不放顶煤,采空区遗煤较厚;受矿压及采动影响,末采期间及末采前一段时间煤体易产生裂隙造成漏风,从而引发残煤自燃[1]-[8],导致采空区火灾事故频发。因此采空区的防火、灭火工作是矿井生产重点和难点工作之一。

采空区自然发火点不易检测、确定;综放工作面采空区因顶板破碎冒落不易形成注孔,这都增加采空区防灭火的难度。常见的防灭火技术主要有堵漏技术、均压技术、注水技术、密闭工程技术、胶体防灭火技术等[9] [10] [11],这些防灭火技术只能对顺槽和停采线附近区域进行火灾预防和治理,不能对采空区中部区域着火区点进行预防和治理。本文采用一种全断面快速灌浆方法,可以有效的解决上述问题。

## 2. 不连沟煤矿概况

不连沟煤矿位于内蒙古准格尔煤田北部即内蒙古鄂尔多斯市准格尔旗大路镇,北距呼和浩特市约 95 公里,距离托克托电厂约 30 公里,西距鄂尔多斯市 150 公里。不连沟煤矿开采的 6#煤层平均厚度为 15.8 m,煤层倾角为 0°~8°,平均为 4°,该煤层属于易自然煤层,自然发火期为 40~60 d,检测结果显示其最短发火期为 12 d。因此煤矿在开采时应做好防灭火措施,防止煤层自燃,造成不可估量的损失。

## 3. 灌浆防灭火系统设计

### 3.1. 灌浆方法的选择

传统的灌浆方法有预防性灌浆和随采随灌两种方法[12] [13] [14]。预防性灌浆是将泥浆通过输浆管路将其输送采空区等可能发生自燃的地方;随采随灌是指井下回采工作面采煤推进的同时,灌浆设备与工作面保持安全距离后,向采空区注入泥浆的作业方式。不连沟煤矿 6#煤层属于易自然煤层并且不确定着火点的具体位置,同时还要保证开采工作的进行,因此选用随采随灌的灌浆方法。

### 3.2. 灌浆系统方案的确定

煤矿常用的灌浆系统为地面固定式灌浆防灭火方法[15] [16] [17] [18]。地面固定式灌浆系统在地面需

建设固定灌浆设施、灌浆管路从地面铺设至井下需要防灭火的工作面, 有较长的输浆管路, 如果发生管路堵塞, 不能保证管路畅通并且处理难度较大, 总投资相对较高; 其优点是: 设备便于操作且运行稳定, 灌浆原料便于运输和储备, 浆液经过管道输送至防灭火处, 用量较大制浆原料黄土等不需向井下运输, 仅需运送少量促凝剂下井。为了弥补地面固定式灌浆系统的不足, 本文采用一种新型的灌浆方式。该方法是利用大口径探水钻向采空区钻孔, 利用钻杆内部孔径向采空区全断面进行灌浆或者注入其他防灭火材料。该方法可以有效避免输浆管路较长易发生管路堵塞等问题, 且操作简单, 灌浆速度快、防灭火初期效果好。

快速灌浆法可以实现快速灌浆作业, 实现在不确定着火点时对采空区全断面进行作业, 对漏风等问题可以实现有效封堵, 降低、杜绝自然发火的隐患; 该方法可以弥补上下端头灌浆防灭火的不足, 若与其他方法配合使用甚至可以实现采空区自然发火隐患的全面治理。全断面快速注浆法的不足之处为其只能对采空区底部进行连续灌浆, 无法实现采空区顶部的连续灌浆作业, 其次是该方法对于着火初期的预防和治理效果较好, 一旦着火区温度较高则会影响钻孔的钻探和浆体的输送。

### 3.3. 灌浆材料的选取

矿井用于灌浆防灭火的材料一般为黄泥、黏土及砂质黏土, 但是只要这三种原料配置的浆液存在泥浆流失大、灌浆效率低、且容易发生“溃浆”等事故[19][20]。为解决该问题会选择在泥浆中加入促凝剂等, 不连沟煤矿附近有多家电厂, 可以将电厂的废料粉煤灰加到泥浆中, 形成复合材料提高防灭火的效果。若是想要更好的效果, 也可以选择新型防灭火材料, 例如膨胀性防灭火材料等, 膨胀性材料在无法确定火源的情况下, 依靠其良好的膨胀性, 能将复杂火情控制在安全范围内。

## 4. 实施灌浆方案

不连沟存在自燃风险采空区处, 选择相邻工作面顺槽处, 采用 ZDY-3500LP 型钻机向采空区平行于工作面的位置钻孔, 利用钻杆内部孔径对采空区进行灌浆(选用的直径为 $\phi 73$  mm, 钻杆内径为 $\phi 63$  mm, 长度为 800 mm 钻杆, 钻孔长度和工作面长度相当)。每次灌浆时间和灌浆量根据实际情况制定; 然后逐渐撤除一定长度的钻杆后再次进行灌浆, 并确保两次灌浆区域重叠覆盖; 多次重复操作后确保采空区全断面进行了灌浆封堵, 然后进行下一个钻孔全断面灌浆操作。具体方法打孔位置与方式如下图 1~3 所示:

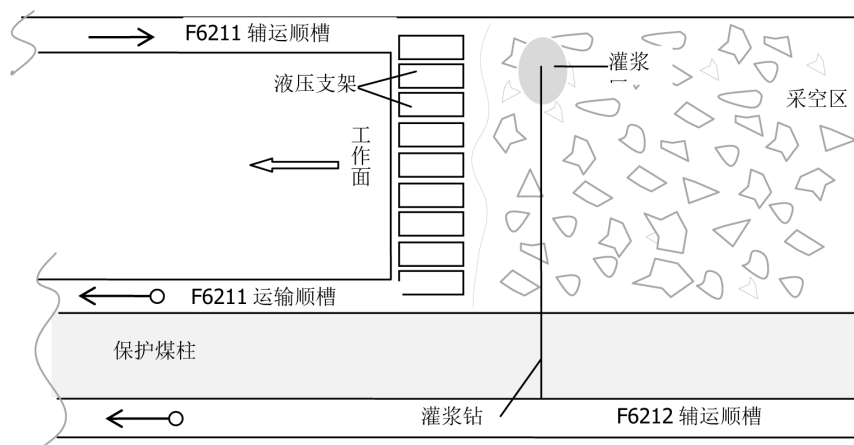


Figure 1. Schematic diagram of whole-section grouting in goaf  
图 1. 采空区全断面灌浆示意图

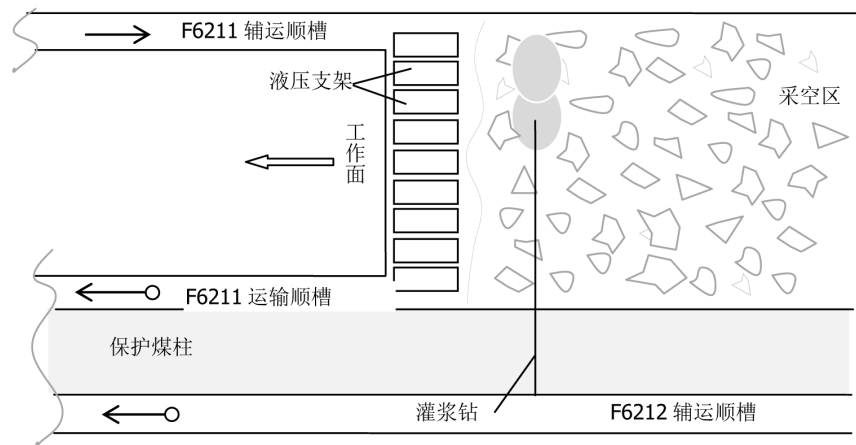


Figure 2. Schematic diagram of whole-section grouting in goaf  
图 2. 采空区全断面灌浆示意图

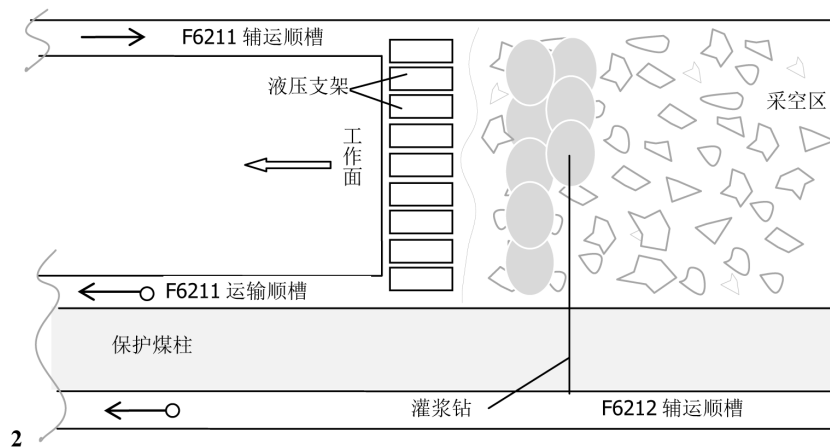


Figure 3. Schematic diagram of whole-section grouting in goaf  
图 3. 采空区全断面灌浆示意图

## 5. 快速灌浆应用结果

不连沟煤矿在 F6211 综放工作面生产时, 在距停采线 180m 附近由于构造带工作面推进速度慢, 采空区漏风处出现煤炭自燃趋向, 工作面 CO 含量最高达 0.0130%, O<sub>2</sub> 含量为 11.64%; 高浓度的 O<sub>2</sub> 极易引起采空区残煤发生氧化发生自燃。为防止采空区发生自燃现象同时保证工作面顺利完成生产, 在 F6212 工作面顺槽向采空区打钻, 利用探水钻钻杆内部孔径对采空区全断面进行快速灌浆处理, 并对采用快速灌浆方法前后采空区内的各种气体含量进行了检测, 检测结果如下。

采用快速灌浆方法后, 采空区全断面工作面内 CH<sub>4</sub> 气体含量变化如图 4 所示, F6211 工作面各处的 CH<sub>4</sub> 含量都有不同幅度的下降, 其中 F6211 回风采空区下降率达 69.8%, F6211 进风隅角处 CH<sub>4</sub> 含量降至 0。

采用快速灌浆方法后, 采空区全断面工作面内 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 气体含量变化如图 5 所示, F6211 工作面各处的 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 含量都有不同幅度的下降, 其中 F6211 回风采空区下降率达 66.2%, F6211 回风流处 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 含量降至 0。

采用快速灌浆方法后, 采空区全断面工作面内 CO 气体含量变化如图 6 所示, F6211 工作面各处的 CO 含量都有不同幅度的下降, 其中 F6211 回风采空区 CO 下降率达 49.4%, F6211 进风隅角处 CO 含量降至 0。

采用快速灌浆方法后, 采空区全断面工作面内 N<sub>2</sub> 气体含量变化如图 7 所示, F6211 工作面各处的 N<sub>2</sub> 含量都有不同幅度的变化, 其中 F6211 回风采空区 N<sub>2</sub> 下降率可达 3.4%。

采用快速灌浆方法后，采空区全断面工作面内 O<sub>2</sub> 气体含量变化如图 8 所示，F6211 工作面各处的 O<sub>2</sub> 含量的变化幅度并不大，其中 F6211 回风采空区 O<sub>2</sub> 增长率达 40.5%。

采用快速灌浆方法后，采空区全断面工作面内 CO<sub>2</sub> 气体含量变化如图 9 所示，F6211 工作面各处的 CO<sub>2</sub> 含量都有不同幅度的变化，F6211 回风采空区 CO<sub>2</sub> 下降率达 38.2%。

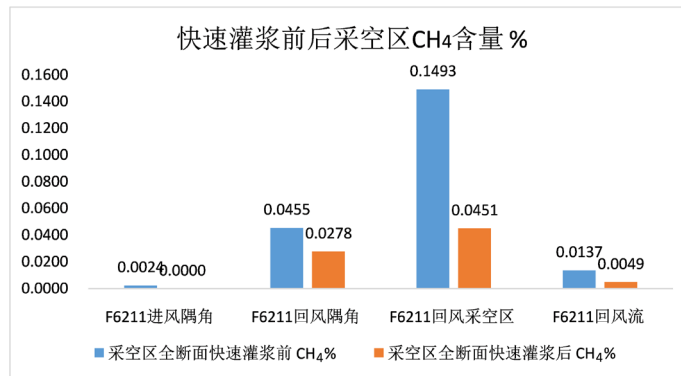


Figure 4. CH<sub>4</sub> gas content in working face before and after rapid grouting in whole section of goaf  
图 4. 采空区全断面快速灌浆前后工作面内 CH<sub>4</sub> 气体含量

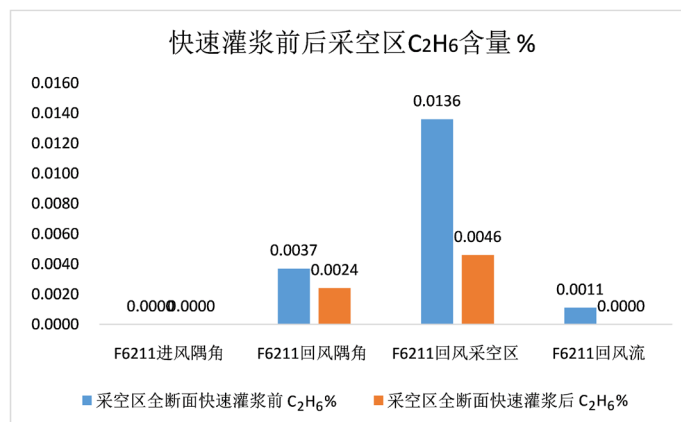


Figure 5. C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> gas content in working face before and after rapid grouting in whole section of goaf  
图 5. 采空区全断面快速灌浆前后工作面内 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 气体含量

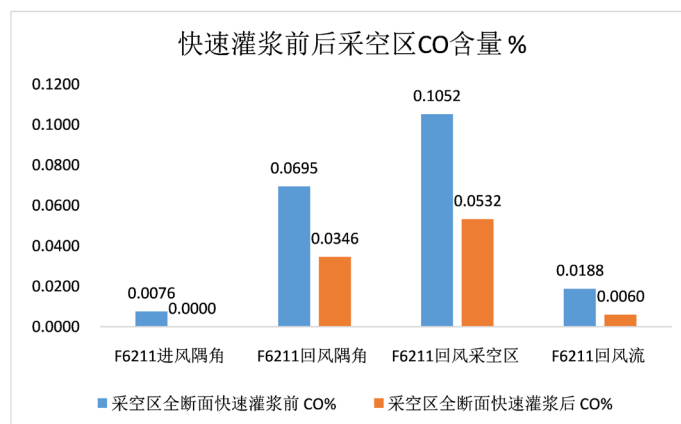
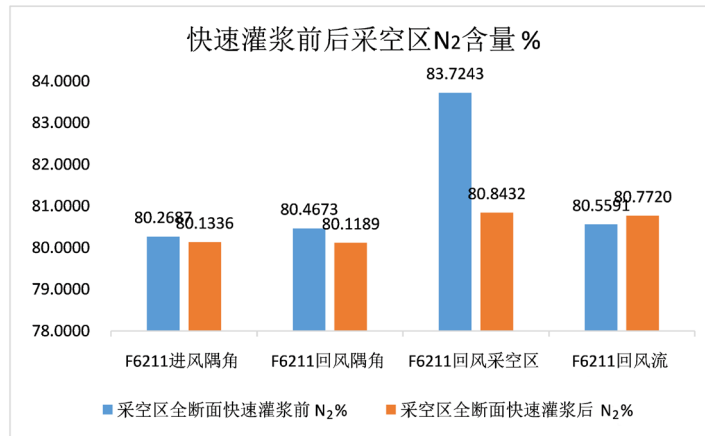
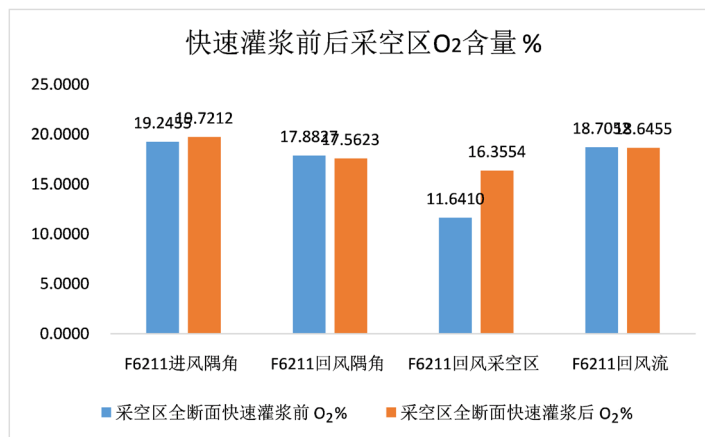


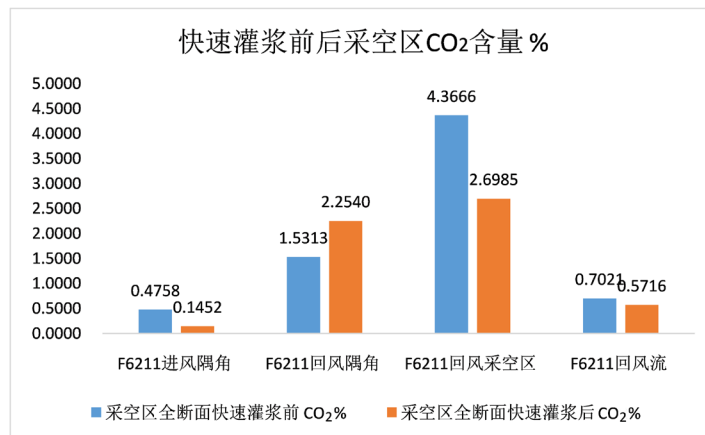
Figure 6. CO gas content in working face before and after rapid grouting in whole section of goaf  
图 6. 采空区全断面快速灌浆前后工作面内 CO 气体含量



**Figure 7.** N<sub>2</sub> gas content in working face before and after rapid grouting in whole section of goaf  
**图 7.** 采空区全断面快速灌浆前后工作面内 N<sub>2</sub> 气体含量



**Figure 8.** O<sub>2</sub> gas content in working face before and after rapid grouting in whole section of goaf  
**图 8.** 采空区全断面快速灌浆前后工作面内 O<sub>2</sub> 气体含量



**Figure 9.** CO<sub>2</sub> gas content in working face before and after rapid grouting in whole section of goaf  
**图 9.** 采空区全断面快速灌浆前后工作面内 CO<sub>2</sub> 气体含量

综上所述,采用全断面快速灌浆法之后,F6211工作面内相关气体都有所下降,尤其是CO、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>表征自燃的气体含量都有大幅度的下降,在F6211进风隅角处,CO、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>甚至降为0;N<sub>2</sub>、

CO<sub>2</sub> 等含量也有明显的下降。通过工作面各气体含量的对比, 全断面快速灌浆法可以有效遏制采空区火灾事故的发生。

## 6. 结论

1) 快速灌浆法可以实现快速灌浆作业, 解决不确定着火点、漏风等问题降低煤层自然发火可能且不耽误煤层开采工作; 并且能够弥补常规防灭火技术不能对采空区中部区域着火区点进行预防和治理的不足。

2) 采用膨胀性防灭火材料, 在无法确定火源的情况下, 通过钻孔向火区注入膨胀性防灭火材料依靠其良好的膨胀性, 能覆盖遗煤区域将复杂火情控制在安全范围内。

3) F6211 工作面采空区遗煤发火区域采用快速灌浆方法后, 工作面 CO、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 等气体浓度与灌浆之前有明显地降低, 全断面快速灌浆法能够有效防止采空区自燃, 保证工作面安全回采和回撤。

## 参考文献

- [1] 张修峰, 周旋旋. 综采面下隅角三角煤自燃防治技术[J]. 能源技术与管理, 2020, 45(5): 45-46+54.
- [2] 焦世雄. 白洞矿井综采采空区遗煤自燃防治技术研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 包头: 内蒙古科技大学, 2020.
- [3] 王德明. 矿井火灾学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010: 9-11
- [4] 任英勇, 鲁义, 晏志宏, 张天宇. 州景煤矿 5304 工作面煤柱自燃特性及防治[J]. 能源与环保, 2020, 42(10): 48-51.
- [5] 孔庆军, 路庆彬, 吴建斌, 王强, 拓龙龙. 大采高综放工作面停采撤架期间防灭火技术[J/OL]. 矿业安全与环保, 2020, 47(5): 1-6. <https://doi.org/10.19835/j.issn.1008-4495.2020.05.014>, 2020-10-27.
- [6] 李生鑫, 孙珍平, 刘春刚. 基于通风量与推进度的采空区自然发火数值模拟[J]. 煤矿安全, 2020, 51(9): 196-200.
- [7] 李宗翔, 纪奕君. 开区注氮采空区自燃温度场的数值模拟研究[J]. 力学与实践, 2005(4): 47-50+46.
- [8] 李庆源, 张峰, 孔维一. 自燃采空区注氮过程标志性气体分布特征研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2012, 31(4): 382-386.
- [9] 慈忠贞. 近距离煤层综采工作面均压防灭火技术应用研究[J]. 能源与环保, 2020, 42(9): 22-25+29.
- [10] 张志强. 采煤工作面囊袋封堵漏风技术研究[J]. 当代化工研究, 2020(15): 92-93.
- [11] 冯良兵, 徐超, 高星星, 刘大虎. 胶体防灭火技术在深井综放工作面的应用[J]. 煤矿安全, 2016, 47(9): 79-81.
- [12] 关汉杰. 煤炭自燃发火与防火灌浆技术的研究[J]. 西部探矿工程, 2019, 31(8): 165-166.
- [13] 付金存. 煤矿井下移动灌浆防灭火技术探讨[J]. 黑龙江科技信息, 2017(16): 135.
- [14] 赵孝德. 何家塔煤矿灌浆系统的研讨与应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2019(6): 34-35.
- [15] 何帅印. 地面钻孔灌浆技术在煤矿防灭火中的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2020(4): 137.
- [16] 何宁. 官地矿风峪沟地面灌浆系统设计质量研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(16): 31-32.
- [17] 姜南. 浅谈地面固定式灌浆注浆防灭火系统设计[J]. 能源与节能, 2012(4): 79-80.
- [18] 陈明浩, 吕英华. 地面钻孔灌浆技术在煤矿防灭火中的应用[J]. 陕西煤炭, 2019, 38(4): 18-21+5.
- [19] 胡成名. 神华布尔台煤矿地面灌浆防灭火系统研究[J]. 煤炭技术, 2016, 35(6): 209-210.
- [20] 樊继强. 大同矿区复杂条件下综合灌浆防灭火技术探讨[J]. 科技情报开发与经济, 2012, 22(11): 159-160.