

关于全断面帷幕实时注氮在煤矿防灭火中的研究与应用

臧燕杰, 孙建国

国网能源和丰煤电有限公司沙吉海煤矿, 新疆 和丰
Email: zangyanjiesjh@sina.com

收稿日期: 2021年5月22日; 录用日期: 2021年6月23日; 发布日期: 2021年7月2日

摘要

介绍了沙吉海煤矿采空区沿工作面倾向全断面敷设注氮管路, 科学、合理设置氮气释放口, 利用氮气在采空区中的扩散半径掌控注氮管路间距及采空区“三带”中的氧化升温带区域集中敷设注氮管路, 经过实践创新应用综放工作面全断面预埋花管连续帷幕注氮高效防灭火技术, 在采空区防灭火方面取得了良好的效果, 确保矿井安全生产, 创造了经济效益和社会效益。

关键词

煤矿, 帷幕, 全断面, 实时注氮, 采空区防灭火

The Research and Application of Full Section Curtain Nitrogen Injection in Coal Mine Fire Prevention and Extinguishing

Yanjie Zang, Jianguo Sun

Shajihai Coal Mine of State Grid Energy Hefeng Coal Power Co., Ltd., Hefeng Xinjiang
Email: zangyanjiesjh@sina.com

Received: May 22nd, 2021; accepted: Jun. 23rd, 2021; published: Jul. 2nd, 2021

Abstract

The paper introduces the Shajihai coal mine goaf along the working face tend to be full face nitrogen injection pipe laying, scientific and reasonable set of nitrogen release, using nitrogen diffusion

radius control of nitrogen injection in goaf line spacing, using the “three zones” of oxidation heating area concentrated equipped nitrogen management, through the practice of innovative applications whole section of full-mechanized caving mining face embedded tube continuous nitrogen injection efficient fire-fighting technology, have made good effect in the gob fire extinguishing, to ensure the mine safety production, created the economic and social benefits.

Keywords

Coal Mine, Curtain, Full Section, Real-Time Nitrogen Injection, Goaf Fire Prevention

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. 概况

沙吉海煤矿目前主采 B10 煤层, 该煤层为 31 号不粘煤、41 号长焰煤、少量 52 号褐煤, 经鉴定为煤尘具有爆炸危险性, 煤层自燃发火倾向性 I 类容易自燃煤层, 最短发火期 45 天。煤层平均厚度约 6.8 m, 煤层倾角为 9°~16°, 平均为 13°, 其顶、底板均为泥砂岩。采用综合机械化放顶煤开采技术, 工作面平均斜长约 210 m, 设计采高为 3.2 m, 采放比为 1:1.12。工作面沿倾向布置, 顺槽沿煤层顶板布置。工作面采用上行通风, 通风方式为“U”型, 设计风量为 1174 m³/min。根据对工作面采空区“三带”测定结果, 工作面最小推进速度为 1.56 m/d, 但受电厂用煤影响, 工作面推进速度较为缓慢且不均匀, 日均推进速度多数情况下不能达到最小推进速度, 导致采空区遗煤出现自燃的风险[1][2]。

矿井在立风井工广设有灌浆站及储灰场, 安装 ZLJ-60 型灌浆设备 2 套(每套制浆能力为 60 m³/h, 一用一备); 副斜井工广压风制氮车间安装 AH-GT-2000 型制氮机 2 台(每套制氮能力为 2000 m³/h, 一用一检修); 消防救援楼设有 JSG-8 型束管监测系统 1 套, 气相色谱仪型号 GC-20601; 综放工作面采空区预埋设铠装式测温电阻 3 个(循环测温)和光纤测温系统。矿井建有完善的“防灭火”管理组织机构, 编制了相应的矿井防灭火设计和综放工作面防灭火设计及方案、安全技术措施[3]。

2. 全断面帷幕注氮防灭火工艺

传统的注氮方式主要拖管注氮、钻孔注氮、插管注氮等。注氮范围为注氮管路出口氮气扩散半径区域, 存在以下缺点: 氮气扩散半径小, 有效作用范围有限; 受采空区漏风影响大, 在采空区内分布不均; 释放口数量少, 惰化效率低, 防灭火效果不明显[4][5]。

全断面帷幕注氮是沿工作面后部输送机进行预埋全断面抗阻燃 PE 花管, 自工作面进风侧, 沿平行工作面倾向方向布置注氮管路, 注氮管路每间隔 10 m 钻穿 1 对注氮花眼, 直径 10 mm, 如图 1。

氮气通过管路花眼进入采空区, 并随采空区内风流流动扩散到其他区域。该方式注氮覆盖广, 在采空区“三带”内均匀分布, 氮气扩散半径大, 可以有效的降低采空区氧化速率, 防止采空区遗煤自燃。

1) 系统组成: 主要由地面制氮系统、流量控制阀、压力表 P、流量计 Q、注氮管路、四通阀门等组成, 具体如图 2 所示。

2) 工艺流程

a) 工作面采空区埋设全断面注氮花管, 通过四通分支器连接注氮花管和注氮主管路。

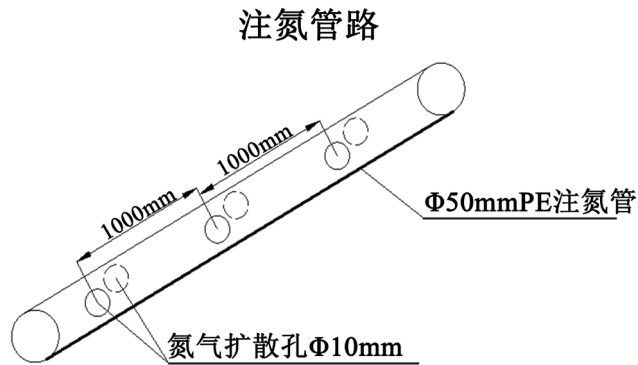


Figure 1. Schematic diagram of nitrogen injection flower tube
图 1. 注氮花管示意图

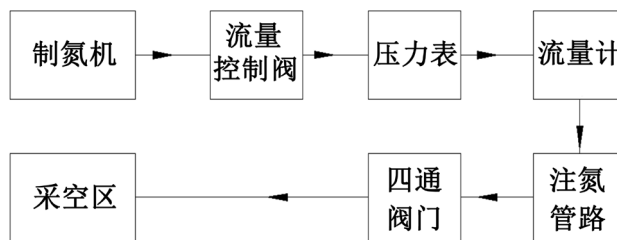


Figure 2. Schematic diagram of nitrogen injection system
图 2. 注氮系统示意图

- b) 开启注氮机进行氮气提纯，氮气浓度达到 97%以上开启阀门，向井下供氮，每天检测氮气浓度，保证注入采空区的氮气浓度不低于 97%。
- c) 当注氮花管埋入采空区 10 米后开启四通阀门开始进行注氮，如图 3。

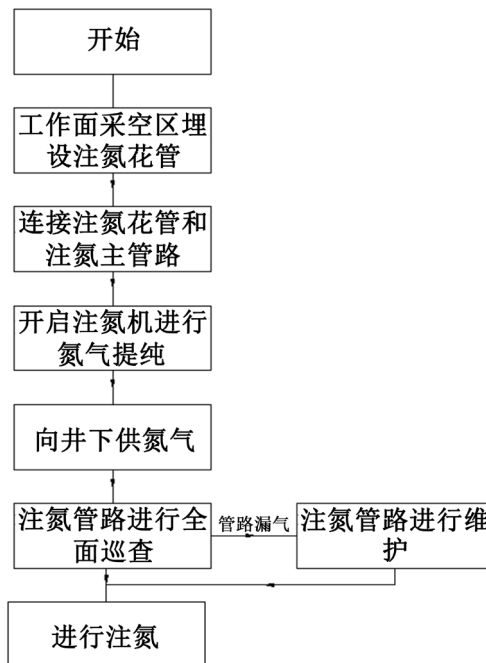


Figure 3. The process flow diagram of nitrogen injection
图 3. 注氮工艺流程图

3) 管路埋设

根据沙吉海煤矿 B1003W03 采空区三带关系分布及分布范围如图 4, 进风侧架后 20 m 范围为散热区, 回风侧 10 m 范围为散热区; 工作面倾向中部有一狭长区域散热区, 其走向宽度约 15 m 左右。采空区氧化升温区有两个, 一个位于进风侧架后 20 m 至 70 m, 运输顺槽煤帮至采空区 20 m, 另一个位于回风侧架后 10 m 至 60 m, 轨道顺槽煤帮至采空区 15 m。

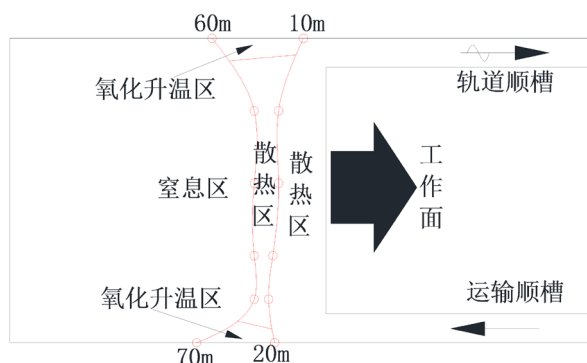


Figure 4. The scope of the “three zones” of the goaf divided by oxygen concentration
图 4. 按氧浓度划分采空区“三带”范围图

结合工作面 U 型通风方式采空区漏风流场研究及采空区氮气扩散半径、扩散距离计算等综合分析, 最终确定沙吉海煤矿 B1003W03 工作面采空区注氮管路埋设步距[6]。

工作面正常回采(>1.6 m/d)时, 在支架后部溜子里侧敷设第一根全断面注氮管路, 当工作面推进 50 米时, 重复埋管方法敷设第二根注氮管及重复埋管方法敷设下第二根注氮管及第三根注氮管, 采空区埋设注氮管间距为 50 m, 回采速度较慢时(<1.6 m/d)采空区埋设注氮管间距为 30 m, 当注氮管进入采空区 15 m 开始注氮, 进入采空区 90 m 后减少注氮流量, 直到进入采空区 150 m 停止注氮[7], 如图 5。

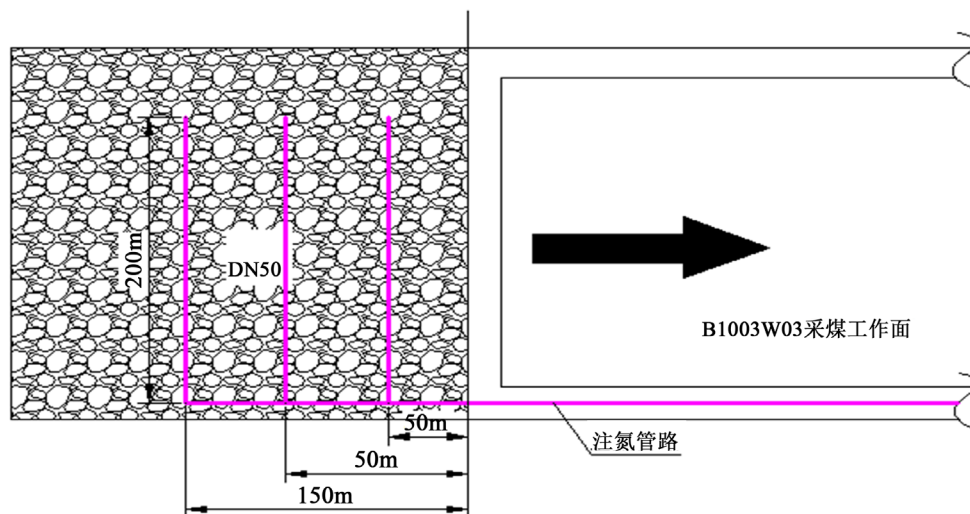


Figure 5. Schematic diagram of pipeline layout in goaf
图 5. 采空区管路布置示意图

4) 工作面注氮量计算

按《煤炭矿井设计防火规范》(GB 51078-2015)标准中的计算方法, 计算公式为:

$$Q_N = 60 \cdot Q_0 \frac{C_1 - C_2}{C_N + C_2 - 1}$$

式中: Q_N ——注氮流量, m^3/h ;

Q_0 ——采空区氧化带内漏风量, m^3/min , 取值 $12.6 \text{ m}^3/\text{min}$;

C_1 ——采空区氧化带内平均氧浓度, 取 13%;

C_2 ——采空区惰化防火指标, 取 7%;

C_N ——注入氮气中的氮气浓度, 取 98%。

根据上述公式可计算出采空区防灭火注氮流量约为 $908 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

5) 制氮设备选型

制氮设备选择按总注氮量乘以 1.2~1.5 富余系数确定。

$$Q = K \cdot Q_N$$

$$Q = 1.5 \times 988 = 1482 \text{ m}^3/\text{h}$$

矿井现有额定制氮能力为 $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ 的制氮机 2 台(1 用 1 备), 可满足工作面正常回采期间工作面防火的要求。

6) 注氮流量验证

注氮过程中, 工作场所的氧气浓度不得低于 18.5%, 否则应立即停止作业撤除人员, 同时降低注氮流量或停止注氮。

注氮地点及与其相连巷道的安全通风量, 按下式计算:

$$Q_0 = \frac{Q_N (C_N + C_1 - 1)}{C_1 - C_2}$$

式中: Q_0 ——工作场所的安全通风量, m^3/min ;

Q_N ——最大氮气泄漏量, m^3/min , 取完全泄漏量 $34 \text{ m}^3/\text{min}$;

C_N ——泄漏氮气中的氮气浓度, 取 98%;

C_1 ——工作面或巷道中原始氧气浓度, 一般取 20.8%;

C_2 ——工作面最低允许氧含量, 18.5%。

工作面设计注氮量为 $908 \text{ m}^3/\text{h}$, 制氮机额定制氮能力为 $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。假设 $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ 的氮气全部泄漏, 经计算, 此时的安全风量应为 $279 \text{ m}^3/\text{min}$, 而矿井中氮气管路途经巷道风量均大于 $279 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

7) 效果评价

B1003W03 工作面采用全断面帷幕注氮后, 利用束管监测监控系统及光纤测温技术连续监测分析采空区及回风隅角各种气体参数, 具体见表 1、图 6~8。

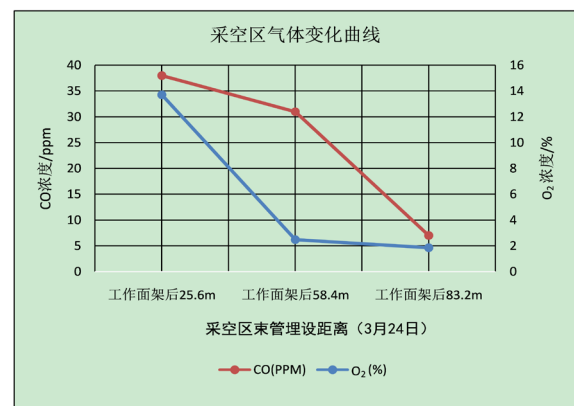
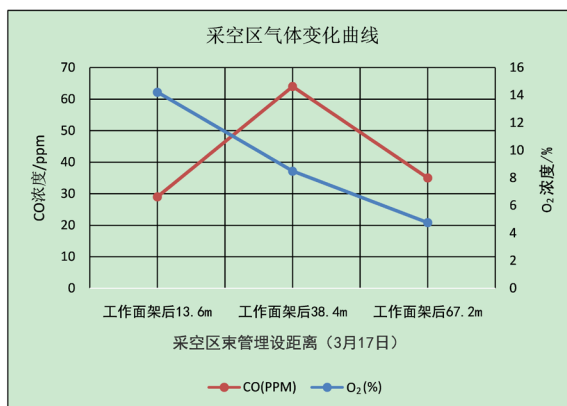
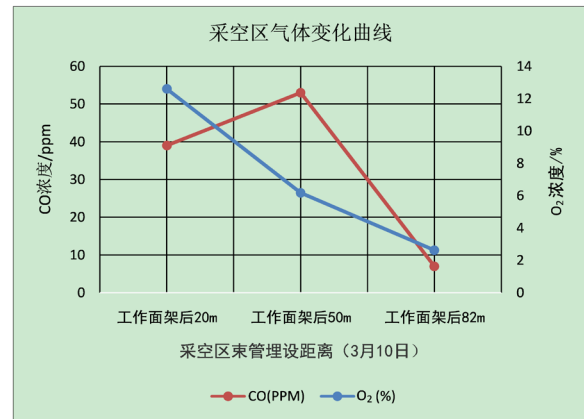
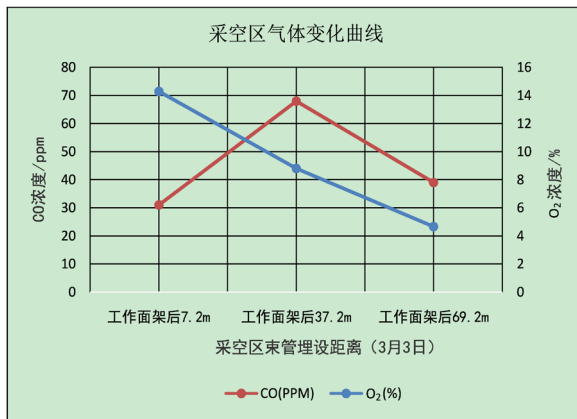
Table 1. Data table of goaf of B100303 working face in March

表 1. 3 月份 B100303 工作面采空区数据表

分析日期	地点	O ₂ (%)	CO (PPM)	温度
2021/3/3	工作面架后 7.2 m	14.2843	31	19
	工作面架后 37.2 m	8.7976	68	21
	工作面架后 69.2 m	4.658	39	24
	上隅角	20.3948	19	

Continued

2021/3/10	工作面架后 20 m	12.6088	39	18
	工作面架后 50 m	6.183	53	20
	工作面架后 82 m	2.6312	7	23
	上隅角	20.6059	17	
2021/3/17	工作面架后 13.6 m	14.2198	29	18
	工作面架后 38.4 m	8.4927	64	21
	工作面架后 67.2 m	4.7564	35	24
	上隅角	20.3275	18	
2021/3/24	工作面架后 25.6 m	13.7048	38	18
	工作面架后 58.4 m	2.4802	31	20
	工作面架后 83.2 m	1.8515	7	24
	上隅角	20.5139	18	
2021/3/31	工作面架后 7.8 m	18.7048	26	18
	工作面架后 17.4 m	15.4802	31	19
	工作面架后 38.2 m	10.8515	48	24
	上隅角	20.5139	18	



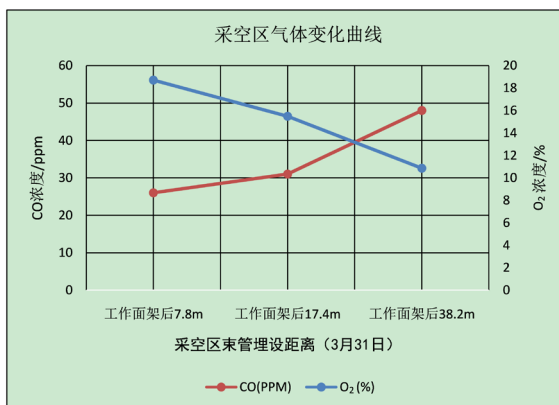


Figure 6. The change curve of gas monitoring data in the goaf in March
图 6. 3 月份采空区气体监测数据变化曲线

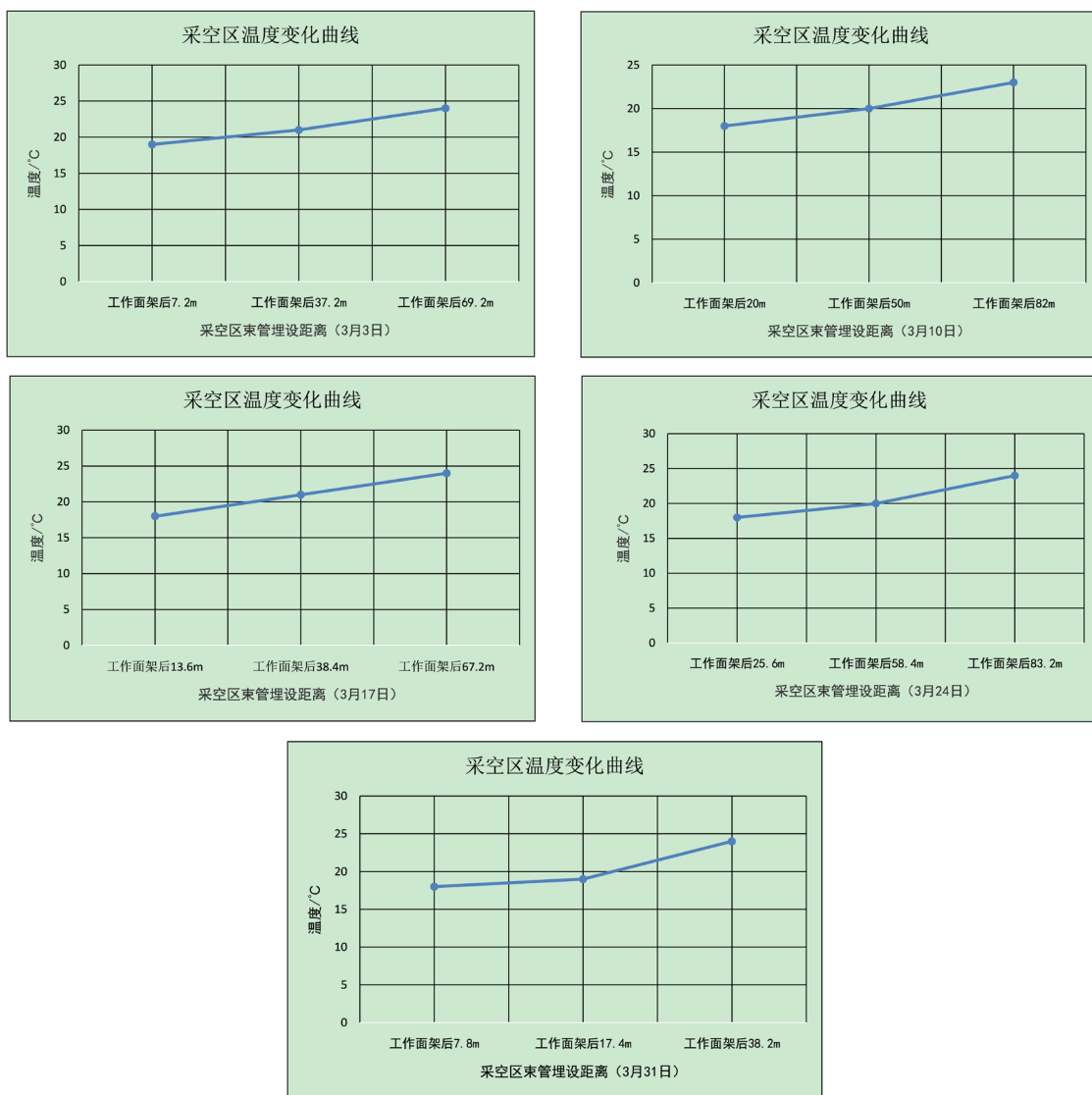


Figure 7. Temperature change curve of goaf in March
图 7. 3 月份采空区温度变化曲线

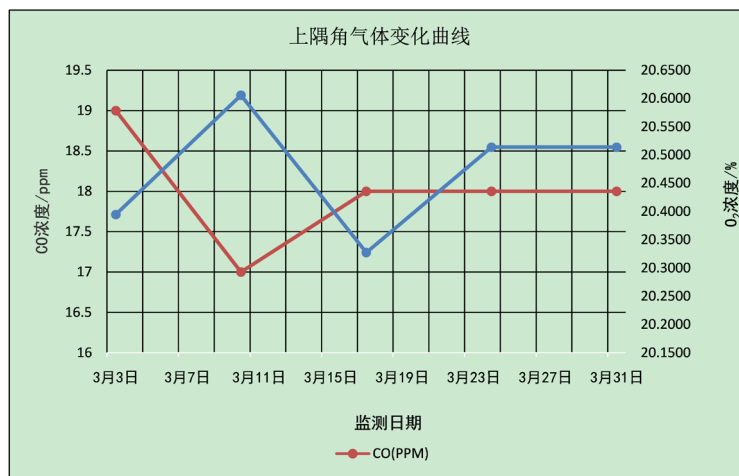


Figure 8. The change curve of the monitoring data of the return air corner beam tube in March
图 8. 3 月份回风隅角束管监测数据变化曲线

从上述图表综合分析得出：采空区各路束管随工作面的推进，O₂ 浓度整体呈现缓慢下降趋势，CO 浓度在散热带和氧化带呈现整体上升趋势，进入窒息带开始下降，温度呈上升趋势，但最高未超过 26℃ (临界温度)。回风隅角 CO 浓度均在 20 ppm 以下，氧气浓度均在 20% 以上，温度均在 20℃ 以下。采空区及回风隅角气体变化平稳无自然发火征兆，全断面帷幕注氮防灭火效果明显[8]。

8) 结束语

矿井采取了沿工作面倾向全断面 24 小时连续注氮的防火灾技术防治方案，技术可行、经济合理、防治效果明显，不仅能够做到火灾检测有效、超前预警，而且能够确保矿井安全生产，更重要的能够大大节约防灭火成本，节省防灭火工程量 750 万元，多出煤炭 20 万吨，产生经济效益 3000 万元，经济效益显著。沙吉海煤矿自然发火特点具有区域典型性，如果将这种技术推广具有类似条件的生产矿井，将会创造更大的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1] 曹志刚, 师吉林, 张海洋. 采空区注氮流量对氮气扩散半径的影响研究[J]. 矿业安全与环保, 2019, 46(5): 12-15.
- [2] 刑真强, 何启林, 彭伟. 正行煤矿综放工作面采空区“三带”分布规律研究[J]. 矿业安全与环保, 2013, 4(2): 5-11.
- [3] 张辛亥, 席光, 陈晓坤, 等. 近距离煤层群开采自燃危险区域划分及自燃预测[J]. 煤炭学报, 2005, 30(6): 733-736.
- [4] 郭英, 王宝齐, 骆伟. 赵楼煤矿 1302 综放工作面自然发火综合防治[J]. 煤矿安全, 2012, 9(43): 136-138.
- [5] 朱兴攀, 许敏, 王鹏. 分布式温度监测系统在煤自燃预警中的应用[J]. 煤炭工程, 2019(10): 24-27.
- [6] 张国枢. 通风安全学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.
- [7] 邓军, 李贝, 王凯, 等. 我国煤火灾防治技术研究现状及展望[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(10): 1-7.
- [8] 文虎, 王文, 陶维国, 等. 超长综采工作面撤架期间煤自燃预测及防控技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(1): 167-173.