

顾桥煤矿大宽度工作面防火技术

丁金龙

淮河能源控股集团顾桥煤矿, 安徽 淮南

收稿日期: 2026年1月21日; 录用日期: 2026年2月26日; 发布日期: 2026年3月18日

摘要

采空区自然发火是矿井火灾主要的风险来源, 本文以顾桥煤矿1313(3)工作面为例开展防火技术实践。通过明确采空区三带的划分与指标气体的选取, 设计并实施了一套综合防灭火技术方案。基于采空区内O₂与CO浓度变化曲线的分析, 展示了方案的显著成果: 采空区氧化带宽度缩减达15 m以上, 遗煤低温氧化进程得到有效遏制, 为矿井的安全生产筑牢了坚实屏障。

关键词

工作面防火, 煤自燃, 采空区三带, 指标气体, 采空区监测

Fire Prevention Technology for Large-Width Working Faces in Guqiao Coal Mine

Jinlong Ding

Guqiao Coal Mine, Huaihe Energy Holding Group, Huainan Anhui

Received: January 21, 2026; accepted: February 26, 2026; published: March 18, 2026

Abstract

Natural ignition in goaf is the main risk source of mine fire. This paper takes 1313(3) working face of Guqiao Coal Mine as an example to carry out fire prevention technology practice. Through the clear division of three zones of goaf and the selection of index gas, a set of comprehensive fire prevention and control technology scheme is designed and implemented. Based on the analysis of the change curve of O₂ and CO concentration in the goaf, the remarkable results of the scheme are shown: the width of the oxidation belt in the goaf is reduced to more than 15 m, the low-temperature oxidation process of residual coal is effectively contained, and a solid barrier is built for the safe production of the mine.

文章引用: 丁金龙. 顾桥煤矿大宽度工作面防火技术[J]. 矿山工程, 2026, 14(2): 312-317.

DOI: 10.12677/me.2026.142033

Keywords

Working Face Fire Prevention, Spontaneous Combustion of Coal, Third Zones of Goaf, Indicator Gas, Monitoring of Goaf

Copyright © 2026 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

煤矿自燃现象被视为煤矿中最为严重的灾害之一[1], 据统计, 在矿井火灾事故中, 由煤自燃引发的比例高达 90%~94% [2], 特别是发生在采空区的自然发火事件, 构成了矿井火灾主要的风险来源[3], 对地下作业的安全构成了极大威胁, 并有可能诱发诸如煤尘或瓦斯爆炸等更为严重的安全事故[4]。

1313(3)工作面作为顾桥矿生产接替的核心工作面, 具有工作面宽度大、作业环境复杂、设备密集、通风条件受限等特点。在回采过程中, 由于工作面宽度大, 其对比普通工作面, 遗煤量与浮煤厚度更多、采空区漏风通道更复杂、机电设备散热与故障风险更高, 从而更易引发火灾事故。因此, 针对 1313(3)工作面的特殊工况, 开展系统性防火技术研究具有迫切的现实意义。

2. 工作面概况

1313(3)工作面回采标高-547.2 m~-677.2 m, 可采长度 1212.7 m, 回采面积 430,508.5 m²。工作面平均煤厚 4.2 m, 煤层倾角 3°~8°。

1313(3)工作面内 13-1 煤层, 黑色, 块状、粉末状, 亮煤为主, 镜煤等呈透镜状分布, 贝壳状断口, 玻璃光泽, 内生裂隙发育, 成分较均一, 为光亮型煤。13-1 煤层厚度 2.6~5.8 m, 平均厚度 4.2 m, 煤层赋存稳定, 局部煤层发育 1 层 0.2~0.5 m 的泥岩夹矸。煤层产状为 55~75°∠3°~8°, 沿巷道方向倾角为 2°~6°, 受断层影响, 断层附近煤层倾角变化大。

3. 三带划分与指标气体选取

根据《顾桥煤矿 13-1、11-2 煤层采空区自然发火“三带”考察》(2021 年 9 月平安煤矿瓦斯治理国家工程研究中心有限责任公司)可知, 顾桥矿 13-1 煤工作面平均散热带为 0~33.9 m, 氧化带为 33.9~77.7 m (宽度约 43.8 m), 窒息带为距工作面 > 77.7 m 之后的范围。

根据《顾桥煤矿 13#煤层自然发火标志气体及临界值实验研究》(2018 年 1 月西安科技大学安全科学与工程学院煤火灾防治教育部重点实验室)报告: 当煤体温度超过 70°C~80°C 时, 其氧化放热强度、CO 产生速率、O₂ 消耗速度以及自身升温速度均会出现显著加快的趋势。故推断顾桥 13 煤的临界温度范围为 70°C~80°C, CO 浓度可作为判断煤自燃的主要气体指标。顾桥 13 煤样在实验初始阶段就开始有 C₂H₆ 气体, 而没有 C₂H₄ 气体。当氧气浓度为 21% 时, 如果产生 C₂H₄ 气体, 则表明温度已经超过 140°C; 当氧气浓度为 15% 时, 如果产生 C₂H₄ 气体, 则表明温度已经超过 120°C。故 C₂H₄ 作为第一辅助指标气体, C₂H₆ 作为第二辅助指标气体。

4. 综合防火技术方案

依据行业经验, 采空区防火管控的重点部位在氧化带[5]。所以本方案采取的综合防治措施主要作用

于 1313(3)工作面采空区 33.9~77.7 m 范围内。

4.1. 注氮防火技术

在工作面的轨顺沿采空区、运顺沿实体侧帮部各埋设一趟注氮管路(Φ 159 mm 铁管, 离地 1.2 m 悬挂, 局部高度根据现场条件细微调整), 注氮管路上安装流量计。当注氮管口埋入氧化带指定位置(充填墙向采空区方向 35 m 处)时, 启动注氮作业; 同时从主注氮管路的预留三通接口处, 接设第二趟注氮管路, 并将其管口布设至充填墙位置。待第二趟注氮管口埋入采空区氧化带与散热带的交界部位后, 开启该管路的采空区注氮, 同步接设第三趟注氮管路, 且将其管口同样布设至充填墙位置。当第三趟注氮管口埋入采空区氧化带与散热带的交界部位、启动注氮作业时, 立即停止第一趟管路的注氮, 并在充填墙位置将该管路截断。按此流程循环操作, 直至工作面回采完毕, 全程落实现场挂牌管理措施。注氮管路如下图 1 所示。

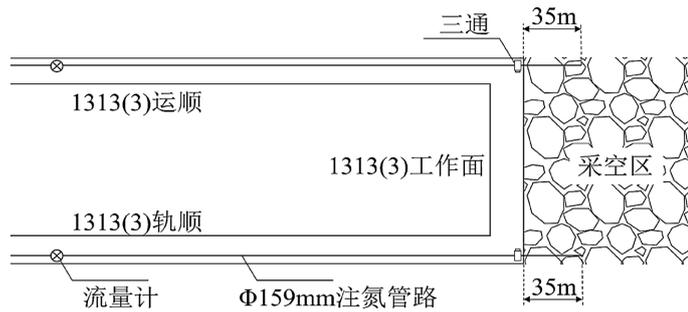


Figure 1. Schematic diagram of nitrogen injection pipeline
图 1. 注氮管路示意图

采空区注氮流量 Q_N 按下式(1)计算[6]。

$$Q_N = 60Q_o \frac{C_1 - C_2}{C_n + C_2 - 1} \quad (1)$$

式中, Q_o 为采空区氧化带内漏风量, 以工作面配风量 1% 计算, Q_o 取值为 $10 \text{ m}^3/\text{min}$; C_1 为采空区氧化带内的原始氧浓度, 取 10%; C_2 为采空区防火惰化指标, 取 7%; C_n 为注氮防火时氮气纯度, 取 97%。

综合上述计算, 结合国内采用注氮防火矿井设计生产情况、矿井注氮实际效果及一定的安全系数, 并考虑地表沉降裂隙引起浅部采空区可能自燃等多种因素, 确定工作面注氮量为 $450 \text{ m}^3/\text{h}$ ($7.5 \text{ m}^3/\text{min}$)。

4.2. 灌浆防火技术

在工作面的运顺沿采空区埋设一趟灌浆管路(Φ 108 mm 铁管, 离地 1.2 m 悬挂, 局部高度根据现场条件细微调整), 灌浆管路上安装流量计。当灌浆管口埋入氧化带指定位置(充填墙向采空区方向 35 m 处)时, 启动灌浆作业; 同时从主灌浆管路的预留三通接口处, 接设第二趟灌浆管路(Φ 51 mm 高压胶管), 并将该管路的管口布设至充填墙位置。待第二趟灌浆管口埋入采空区氧化带与散热带的交界部位、启动采空区灌浆作业时, 立即停止第一趟管路的灌浆, 同时在充填墙位置将第一趟管路截断。依照上述流程循环操作, 直至工作面回采完毕, 全程需严格执行现场挂牌管理措施。注浆管路如下图 2 所示。

采空区注浆流量 Q_w 按下式(2)计算[6]。

$$Q_w = \frac{GWh(\delta + 1)M}{\rho HLNt} \quad (2)$$

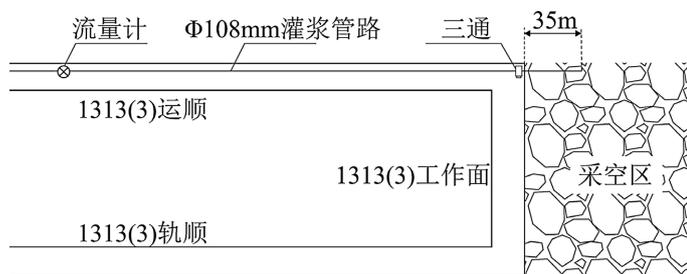


Figure 2. Schematic diagram of grouting pipeline
图 2. 灌浆管路示意图

式中, G 为工作面日产量, 9500 t/d; δ 为工作面灌浆宽度, 100 m; h 为灌浆材料覆盖厚度, 0.15 m; δ 、 M 分别为土水比例数和浆液制成率, 根据现场实际, 取值为 5 和 0.9; ρ 为煤层密度, 1.4 t/m³; H 为工作面回采高度, 4.2 m; L 为工作面长度, 355 m; N 为灌浆添加剂防灭火效率因子, 此次取 1; t 为灌注时间, 6 h/d。

经计算, 工作面所需的灌浆量为 41 m³/h。

4.3. 采空区防火实时监测技术

为实现工作面回采期间灾害数据的预测预报, 采用实时监测技术。从工作面轨顺采空区预留一趟监测管路, 管路配备若干实时监测装置, 实现自动连续对 CH₄、CO、CO₂、O₂、C₂H₄、C₂H₆ 等气体成分变化和温度的监测。管路吊挂在巷帮(悬挂高度不低于 1 m), 随着工作面回采每隔 30 m 放置监测装置, 通过管路内设的数据线将采空区内灾害数据向外传输。监测管路如下图 3 所示。



Figure 3. Schematic diagram of monitoring pipeline
图 3. 监测管路示意图

加强并规范现场人员工作流程, 每小班安设专职测气员检查工作面、回风隅角(墙内、外均布置测点, 并挂牌管理)、回风流、采空区、抽采干管的 CH₄、CO₂、CO、温度等参数并建立检查台账, 同时测气员每小班对工作面进、回风隅角、架后及架档温度进行测定一次。随时检查工作面有无“挂汗”、高温现象, 发现异常时及时汇报, 并采取措施进行处理。

5. 工作面综合防火技术成果

随 1313(3)工作面开始回采, 实施综合防火技术方案, 依次选取两台监测装置作为监测点 1、2, 采集监测点位置 O₂ 和 CO 浓度数据, 如下图 4、图 5 所示。

图中可见, 随着综合防火技术方案的应用, 监测点 1 在到达采空区深度 62 m 左右时, O₂ 浓度到达 8%, 此时可判断已提前到达窒息带[7]; 由于监测点 2 和监测点 1 相距 30 m, 且监测点 2 后进入采空区, 此时防火方案已实施一段时间, 在其到达采空区深度 56 m 左右时 O₂ 浓度达到 8%, 进一步提前进入窒息带。

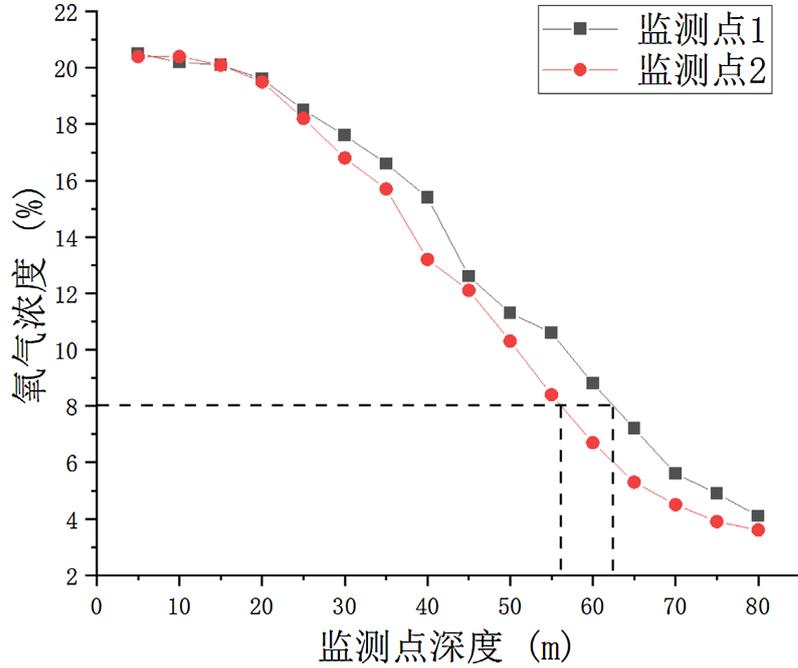


Figure 4. Monitoring point oxygen concentration curve
图 4. 监测点氧气浓度曲线

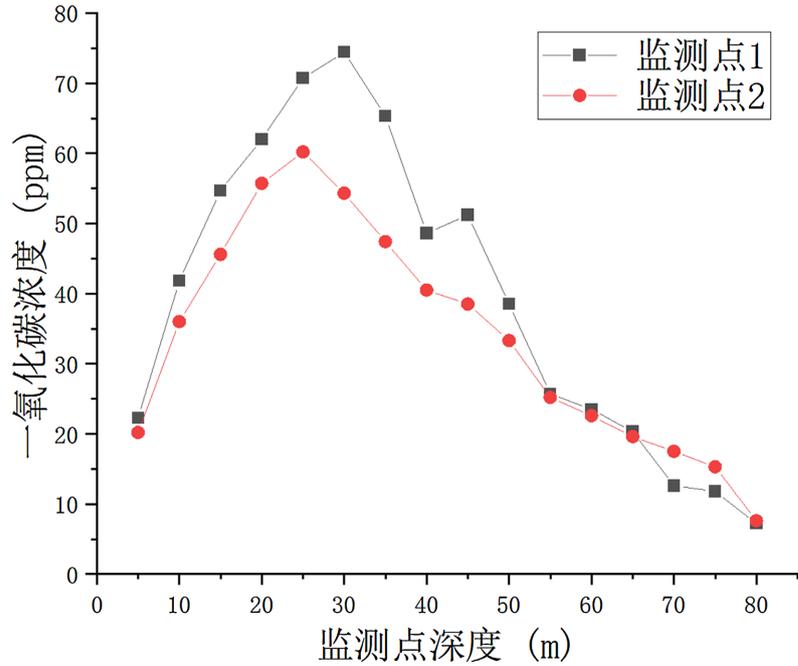


Figure 5. Monitoring point carbon monoxide concentration curve
图 5. 监测点一氧化碳浓度曲线

CO 浓度在散热带末端达到最大，随着回采的推进和综合防火技术方案的实施，因持续注氮，CO 被挤至窒息带或被稀释带走，浓度逐渐下降。

以上说明，采取综合防火技术后，大大缩短了采空区氧化带宽度达 15 m 以上，氧化带内 CO 浓度明显下降。防火方案成果显著，有效抑制了遗煤氧化，降低了采空区自然发火可能。

6. 结语

本文以顾桥煤矿 1313(3)工作面为例,分析了采空区三带的划分、指标气体的选取,设计并实施了综合防火技术方案,通过对采空区内 O₂ 和 CO 浓度曲线的分析,展示了方案的显著成果:缩短氧化带宽度达 15 m 以上、有效抑制采空区内遗煤的氧化,保障了矿井安全生产。

参考文献

- [1] 秦剑云,李小超,周中立,等.地温对不同变质程度煤自燃特征影响的实验研究[J].中国矿业,2024,33(1):186-192.
- [2] 张向东,陈思嘉,周云帅.综采工作面过采空区煤柱期间矿压显现规律及控制技术研究[J].建井技术,2024,45(6):53-56.
- [3] 姜子亮.建井废弃泥浆无害化、资源化工艺实践[J].建井技术,2023,44(3):40-44.
- [4] 曹志刚,师吉林,张海洋,等.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.
- [5] 杨泽全.朱仙庄煤矿易自燃煤层综放工作面采空区注氮防火技术研究[J].建井技术,2025,46(4):16-21.
- [6] 李学军.易自燃厚煤层防灭火技术实践[J].大众标准化,2025(24):63-65.
- [7] 李胜利.高瓦斯综放工作面采空区自燃“三带”分布规律研究[J].能源科技,2025,23(6):16-21.