Mine Engineering 矿山工程, 2020, 8(2), 170-176
Published Online April 2020 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/me
https://doi.org/10.12677/me.2020.82023

Hans汉斯

Study on Management Technology of Spontaneous Combustion of Deep Coal in Goaf

Feng Gao

Inner Mongolia Mengtaibuliangou Coal Co. Ltd., Erdos Inner Mongolia
Email: 869935486@qq.com

Received: Mar. 21st, 2020; accepted: Apr. 15th, 2020; published: Apr. 22nd, 2020

Abstract

During the end mining and retraction period of F6209 working face in Mengtaibuliangou coal industry, Inner Mongolia, the CO concentration of the working face and the corner of return air seriously exceeded the limit. This paper analyzed the causes and problems of spontaneous combustion of coal according to the working face, the distribution and characteristics of residual coal, and the geological conditions of the working face. Under the condition that it is difficult to control the ignition area, the fire area is successfully and quickly extinguished by applying the new fire prevention technology of Pratt. The successful practice of fire prevention technology during the retracement of F6209 working face provides a new reference for mine fire prevention technology in China.

Keywords

Thick Coal Seam, Goaf, the Surface of the Air Leakage, Coal Spontaneous Combustion, Fire Prevention and Control, Pratt

采空区中深部煤自燃治理技术研究

高　峰

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司，内蒙古　鄂尔多斯
Email: 869935486@qq.com

收稿日期：2020年3月21日；录用日期：2020年4月15日；发布日期：2020年4月22日

摘　要

内蒙古蒙泰不连沟煤业F6209工作面末采及回撤期间，工作面及回风隅角CO浓度严重超限，本文根据工

文章引用: 高峰. 采空区中深部煤自燃治理技术研究[J]. 矿山工程, 2020, 8(2): 170-176.
DOI: 10.12677/me.2020.82023

作面的推采情况、遗煤分布及特点，结合工作面的地质条件，分析了煤自燃发火的原因及问题所在。在发火区域治理难度较大的情况下，通过应用普瑞特防灭火新技术成功快速地扑灭火区。F6209工作面回撤期间防灭火技术的成功实践，为我国矿井防灭火技术提供了新的参考。

关键词

巨厚煤层，采空区，地表漏风，煤炭自燃，防灭火，普瑞特

Copyright © 2020 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

煤炭是我国的主要能源，煤自燃发火严重威胁矿井的安全生产[1]。我国矿井煤炭开采的深度不断增加，复杂的地质构造及采空区漏风极易引发煤自燃灾害，煤自燃灾害治理的难度也随之不断提高。随着我国科技的发展，煤炭开采机械化水平的提高，巨厚煤层放顶煤一次采全高的开采方式大量应用，由于开采工艺的影响，采空区遗煤量较大，遗煤范围大，煤自燃发火危险性高。根据近年来煤自燃的案例，新疆煤田矿区、陕西彬长矿区、徐州煤业集团、甘肃神华宁煤等矿区都面临着不同程度的煤炭自燃威胁。

目前，国内外常用的防灭火技术主要有注浆、阻化剂、均压、惰性气体、堵漏、凝胶、泡沫以及三相泡沫等[2] [3] [4]。在采空区遗煤量大，且存在采空区漏风问题的工作面煤自燃防治方面，采用注惰性气体技术由于漏风影响，气体不易滞留火区，其防灭火效果不佳；注水或黄泥浆则容易顺沟往低处流，不能向高处堆积，无法对目标区域有效覆盖；凝胶和复合胶体覆盖、包裹性能好，但扩散范围较小，在大面积火源的治理方面有所不足。

本文通过分析排查工作面采空区的煤自燃发火区域，综合各类防灭火技术的优点，选用普瑞特泡沫凝胶材料，采取针对性的治理方案，通过现场施工治理，对巨厚煤层工作面采空区大范围氧化自燃进行全方位覆盖，隔氧降温[5]，最终保障工作面的顺利回撤及工人的作业安全。

2. 工作面概况

2.1. 工作面介绍

内蒙古蒙泰不连沟煤业 F6209 综放工作面位于二盘区东翼，煤层赋存较稳定，平均厚度 16.7 m，煤层倾角为 0˚~24˚，平均 4˚。工作面西连 6 煤辅运大巷，北邻 F6208 工作面采空区，东部为井田边界，南部为 F6210 未采工作面。F6209 工作面标高+901.4~962.5 m，地面标高 1144.0~1248.0 m，煤层埋深 181.5~346.6 m。地表为黄土层，植被稀少，水土流失严重，冲沟发育。工作面倾斜长 254.6 m 共布置 148 台液压支架。煤层属于 I 级易自燃煤层，发火期为 31 天。

F6209 工作面布置如图 1 所示。

2.2. 煤自燃问题分析及关键技术

- 工作面回采过程中始终伴有采空区漏风，漏风量为 100~200 m^3/min，工作面在 7 月 3 日至 7 月 24 日过陷落柱，推采速度慢，遗煤量大，且受地表漏风影响，考虑陷落柱附近顶板破碎，漏风通道复杂，氧化危险性高，采空区内一氧化碳浓度为 600 ppm，已并有急速升高趋势。

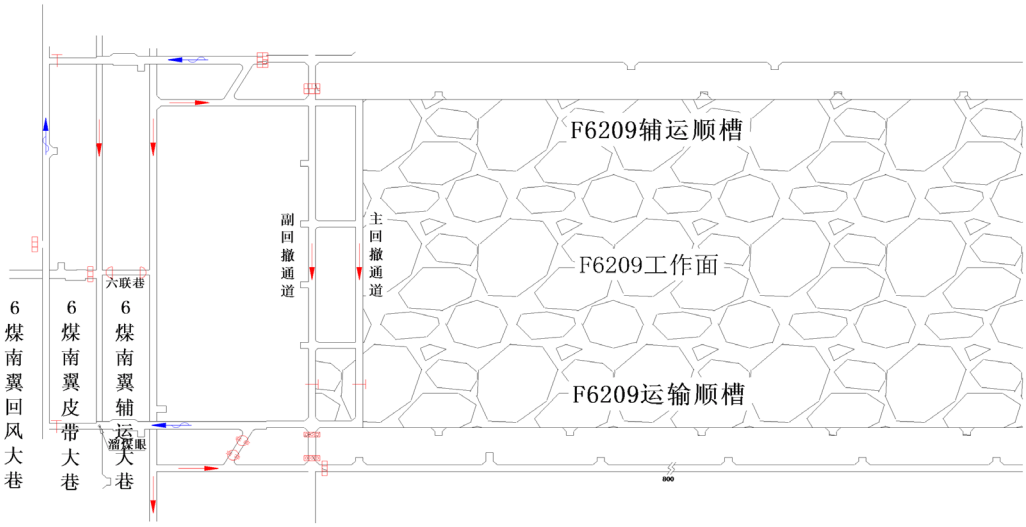


Figure 1. Plan of working face F6209
图 1. F6209 工作面平面布置图

针对漏风问题，应根据实际情况采取地表回填堵漏及工作面上下隅角及架后松散煤岩进行充填堵漏。

● F6209 工作面在剩余 150 米时，由于工作面遇断层，回采速度缓慢，工作面由于过构造带，回采速度较慢，遗煤量大，且设备老化，检修时间长，采空区遗煤持续氧化蓄热，出现自燃发火标志性气体，CO 不断升高至 1000 ppm 左右，且伴有 C_2H_4 产生。

根据本条问题，治理技术关键为破坏遗煤氧化蓄热的环境条件，可采取加快工作面推采速度，堵漏防止采空区氧气供给，或针对氧化区域注水浆材料进行降温、冷却。

● 工作面停采前 50 m 范围未放顶煤，造成工作面采空区内留有大量遗煤，同时工作面进风巷道、回风巷道在推采过程中不放或少放顶煤，致使工作面上、下部一定范围内顶煤未能充分垮落遗留在采空区，导致 F6209 工作面上、下部一定范围内采空区遗煤严重。

本条问题中，针对工作面架后遗煤关键应提高煤炭回采率，放煤完全；而两巷在推采中，由于工艺限制，遗煤不可避免，需通过堵漏及灌浆进行周期性的预防治理。

● 工作面的地面漏风明显，漏风通道复杂，且长期存在，导致采空区大范围供氧条件好，遗煤氧化时间长。工作面进风巷道、回风巷道顶板垮落沉积不实，形成“三角”隐患漏风通道，造成工作面上、下隅角处漏风较多，工作面采高较大，煤层顶板垮落后沉积压实效果不佳，造成采空区内存在复杂动态性漏风通道。

上下隅角采空区漏风为工作面的主要漏风通道，治理技术关键为推采过程中加强两巷的退锚，放顶，确保采空区垮落压实，或者在推采过程中持续施工袋子墙、快速密闭等封堵漏风通道。

目前，采空区 CO 不断升高至 1000 ppm 左右，同时出现乙烯、乙烷等气体，说明采空区已出现遗煤氧化自燃问题，同时，根据工作面的推采及过构造情况，分析遗煤氧化重点区域在构造带附近，应针对该区域遗煤进行遗煤氧化治理。

3. 采空区火灾治理

3.1. 氧化治理区域划分

首先，由于存在地面持续漏风问题，采空区大范围内氧气浓度在 10%以上，综合以下因素划分大致氧化范围：1) 工作面过陷落柱期间，顶板破碎，采空区留煤量大；2) 工作面过陷落柱期间，支架老化，

该区域氧化时间充足；3) 结合该煤层最短自燃发火期及推采速度的分析，陷落柱附近的遗煤已满足氧化自燃条件。根据以上因素分析，初步判断该区域为氧化危险区域。

其次，在初步划定区域内通过 F6210 辅运巷穿煤柱向采空区打设检测钻孔，通过检测钻孔测得采空区 CO 气体高达 1000 ppm 以上，故最终确定陷落柱附近为煤自燃治理区域。通过进一步检测，划定治理区域为陷落柱前 20 m 左右的范围内。

3.2. 治理施工方案

针对采空区遗煤自燃问题，为保证工作面的顺利推进及安全回撤，需要对氧化区域注浆隔氧冷却，有效处理采空区遗煤氧化自燃问题，同时最大程度减少 CO 等有害气体涌出。

针对陷落柱前 20 m 左右范围内，从回风侧至 50#架的范围内的氧化遗煤灌注普瑞特防灭火材料进行覆盖，隔氧、冷却降温。在不影响工作面作业，且便于施工的前提下，选择相邻 F6210 工作面的辅运巷为打钻注浆施工场所，如图 2 所示，钻孔参数如表 1 所示。

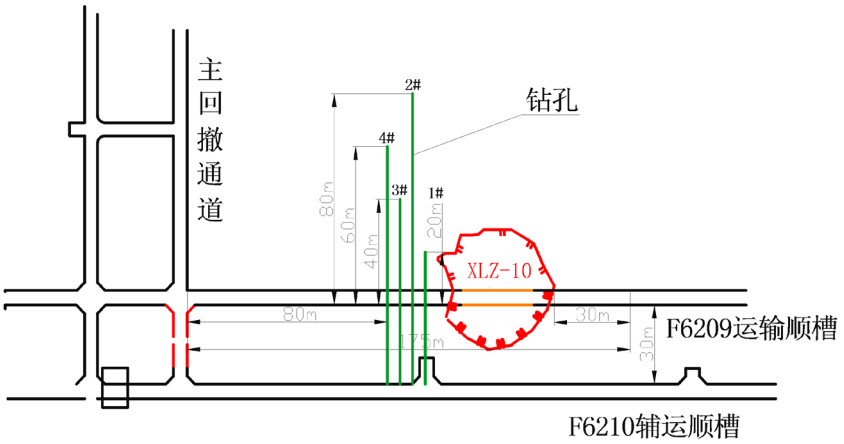


Figure 2. Working face drilling diagram
图 2. 工作面打钻示意图

Table 1. Borehole parameter list
表 1. 钻孔参数表

孔号	开孔高度/m	角度/°	终孔位置	终孔/m
1#	2	15	煤层顶板	50
2#	2	7	煤层顶板	110
3#	2	10	煤层顶板	70
4#	2	10	煤层顶板	90

3.3. 普瑞特防灭火技术

为满足防灭火材料在采空区的全方位扩散、覆盖，封堵漏风通道，同时又要具有很好的保水性能，能很好治理遗煤氧化高温区域，故提出并采用普瑞特防灭火技术及装备，通过注浆钻孔向采空区遗煤氧化区域大量灌注。

普瑞特防灭火材料是一种新型泡沫凝胶，具有三维网状结构的聚合物，由胶凝剂，交联剂和发泡剂组成。普瑞特防灭火材料糅合了三相泡沫的扩散性及凝胶的保水性，发泡倍数在 20 倍以上，保水性在

95%以上，极大减少水分流失；同时采用惰性气体常温发泡，既不产生热量，又能在泡沫破裂的同时，不断释放氮气，持续惰化采空区[6]-[10]。该材料覆盖煤体后，其能在泡沫表面形成一层致密薄膜，达到持续永久地隔绝氧气，覆盖高温火源，高含水量使其能够保持浮煤表面湿润，防止煤自燃。普瑞特泡沫凝胶形成示意图如图 3 所示。

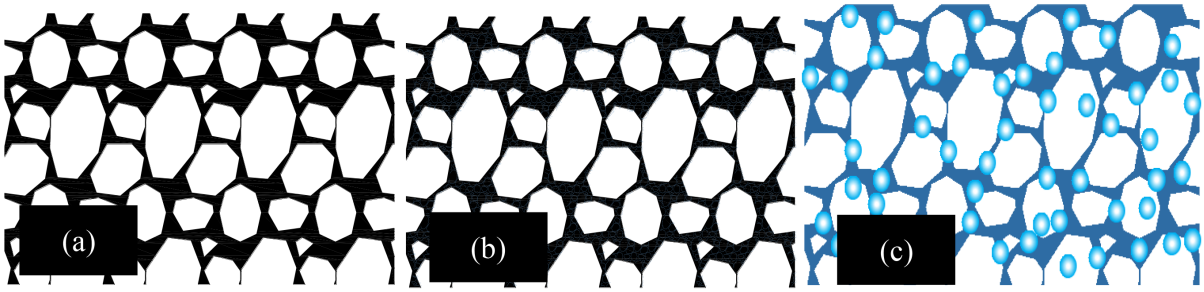
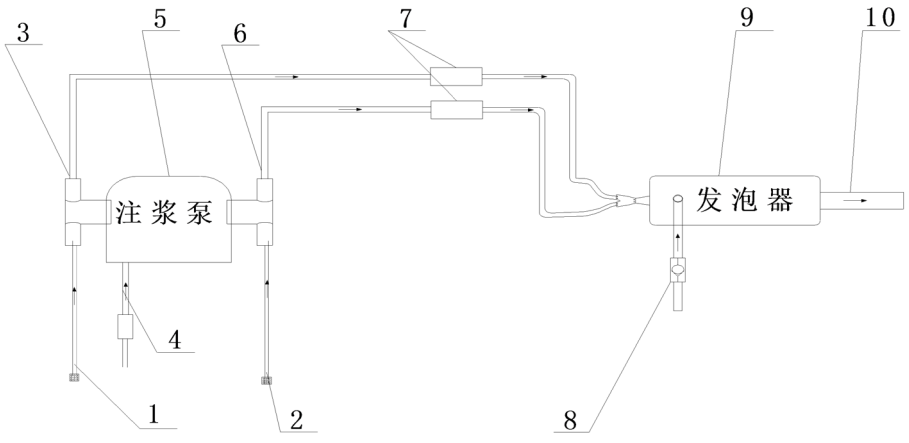


Figure 3. The forming process of pratt foam gel: (a) Gob; (b) Foamed gel in gob; (c) Gel particles after foam broking
图 3. 普瑞特泡沫凝胶形成过程：(a) 泡沫；(b) 泡沫凝胶；(c) 泡沫破裂后的凝胶颗粒

普瑞特防灭火材料为 A、B 两组份料，分别与水按体积比为 4%和 2%混合，通过专用双液气动泵抽吸并输送，材料在发泡成胶装置通过矿用氮气或压风而成胶发泡，最终制备出的泡沫状胶体通过钻孔注入目标区域。普瑞特材料及注浆设备技术参数如表 2 所示，应用工艺如图 4 所示。

Table 2. Technical parameters of pratt fire prevention material
表 2. 普瑞特防灭火材料技术参数

名称	技术参数
发泡倍数	≥20
泡沫稳定时间(h)	≥10
保水性	6 个月内失水 20%
A 料添加量(%)	2
B 料添加量(%)	1



1) 普瑞特 A 料与水混合液吸料管；2) 普瑞特 B 料与水混合液吸料管；3) 普瑞特 A 料输出管路；4) 矿用压风管路；5) 气动双液注浆泵；6) 普瑞特 B 料输出管路；7) 稳压器；8) 氮气管路；9) 普瑞特发泡成胶装置；10) 普瑞特输出管路

Figure 4. Pratt application process
图 4. 普瑞特应用工艺

3.4. 普瑞特技术适用条件及应用效果

普瑞特防灭火技术适用于采空区大面积隐蔽火源或高位火源的防治；适用于巷道、支架顶部等局部区域的煤炭自燃防治，同时也适用于煤田大面积火灾的防治，该技术的实施在现场需具备打钻施工的条件，或提前预留有注浆管路，以达到治理区域，同时该技术的实施在火区需满足供风(风压≥0.4 MPa)及供水的技术要求，

通过采空区灌注普瑞特采空区、回风隅角、以及回流内一氧化碳浓度回落明显，20 天后，采空区、回风隅角、以及回流内一氧化碳浓度分别为 30 ppm、23 ppm 和 18 ppm。采空区内已无发火迹象，F6209 工作面安全顺利回采完毕。气体变化图表如图 5 和图 6 所示。

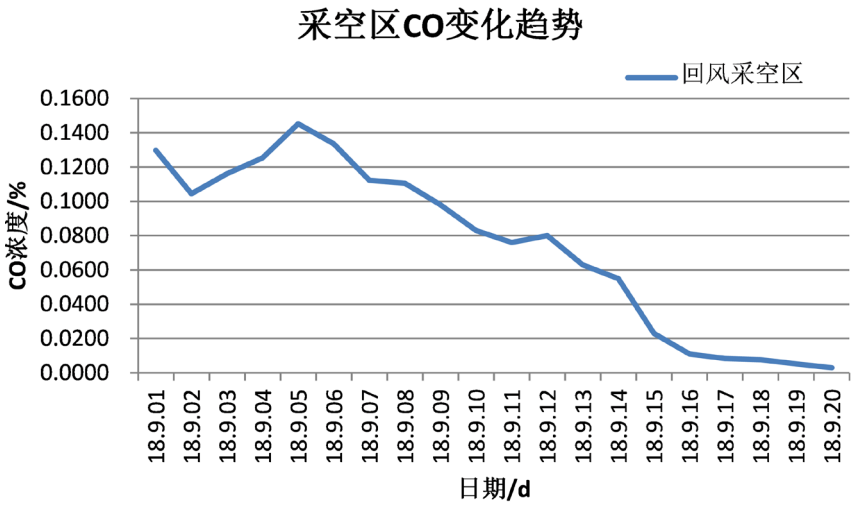


Figure 5. Change trend of CO in goaf
图 5. 采空区 CO 变化趋势

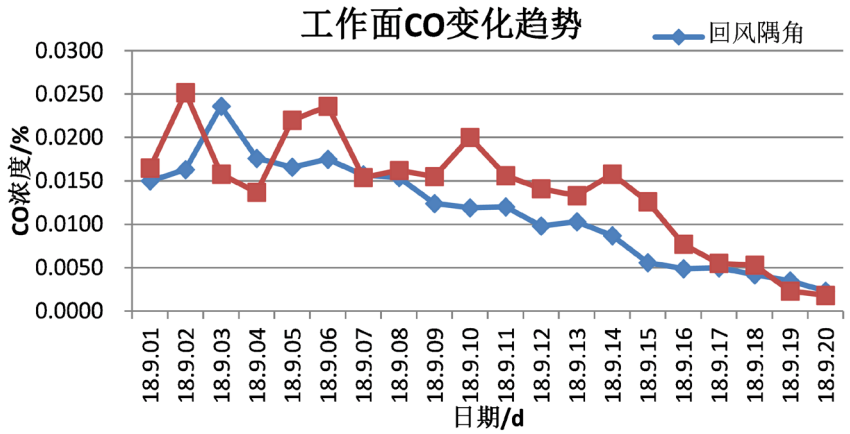


Figure 6. Change trend of CO in working face
图 6. 工作面 CO 变化趋势

4. 结论

- F6209 工作面埋深浅，地表裂隙发育，回采期间地表向工作面持续漏风，加之采空区遗煤量大，自燃煤层发火期短，采空区煤自燃隐患高。
- 工作面设备老化，过构造时推采缓慢，且构造带附近遗煤多，煤岩松散，漏风突出。

● 通过对 F6209 工作面采空区遗煤发火区域的分析和判定，在常规防灭火措施无法实现有效治理效果的情况下，采用深部注浆钻孔压注普瑞特防灭火材料的措施后，采空区遗煤氧化区域得到控制，工作面 CO 浓度明显降低，保证了工作面安全回撤。

● 普瑞特防灭火材料兼具三相泡沫、高分子凝胶等多种技术的优点，在无法准确定位火源的情况下，通过其良好的扩散性、堆积性和高保水性，可有效控制和治理火灾。普瑞特防灭火技术在 F6209 工作面回撤期间的良好应用效果为矿区防灭火技术提供了新的技术力量和治理经验。

参考文献

[1] 王德明. 矿井火灾学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.

[2] 余陶. 采空区瓦斯与煤自燃复合灾害防治机理与技术研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.

[3] 秦波涛, 王德明. 矿井防灭火技术现状及研究进展[J]. 中国安全科学学报, 2007(12): 80-85+193.

[4] 鲜学福, 王宏图, 姜德义, 等. 我国煤矿矿井防灭火技术研究综述[J]. 中国工程科学, 2001(12): 28-32.

[5] 肖旸, 文虎, 马砺. 矿井综合防灭火技术在煤自燃火灾中的应用[J]. 煤矿安全, 2008(4): 49-52.

[6] 田兆君. 矿用防灭火凝胶的研究[J]. 中国矿业大学学报, 2010(2): 169-172+189.

[7] 任万兴, 巫斌伟. 高瓦斯易自燃超大俯采工作面的防灭火技术研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2009(2): 198-202.

[8] 任万兴, 周福宝, 别小飞. 松软巨厚煤层高冒区自然发火原因及防治技术[J]. 煤炭科学技术, 2007(5): 24-28.

[9] 雷雄飞. 大佛寺矿易自燃特厚煤层防灭火技术研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2018.

[10] 昝军才, 任万兴, 房树起, 郭庆. 高瓦斯易自燃煤层特殊条件下综合防灭火技术[J]. 煤矿安全, 2015, 46(1): 51-53.