

# 下分层采煤工作面回撤期间自然发火防治技术

文 虎<sup>1,2</sup> 程 斌<sup>1,2</sup> 翟小伟<sup>1,2</sup> 杨红革<sup>3</sup> 刘少南<sup>1,2</sup>

(1. 西安科技大学 能源学院 陕西 西安 710054; 2. 西部矿井开采及灾害防治教育部重点实验室 陕西 西安 710054;

3. 宝鸡北马坊煤业有限责任公司 陕西 麟游 721500)

**摘 要:** 为治理下分层采煤工作面回撤过程中由于遗煤二次氧化、漏风等问题导致的工作面自然发火,以北马坊煤矿2134下分层采煤工作面为研究对象,分析其回撤期间CO浓度异常的原因是2114上分层工作面采空区遗煤氧化升温,发生CO涌出。通过采取工作面正压通风、上分层采空区注浆、架后钻孔注高分子胶体防灭火材料等综合防灭火技术,抑制了自然氧化升温过程的发展,使CO体积分数下降至 $100 \times 10^{-6}$ 以下,并保持稳定。

**关键词:** 下分层; 采煤工作面; 回撤期间; 自然发火

**中图分类号:** TD75 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2014)04-0054-03

## Technology of Spontaneous Combustion Prevention and Control During Withdrawing Period in Lower Layered Coal Mining Face

WEN Hu<sup>1,2</sup>, CHENG Bin<sup>1,2</sup>, ZHAI Xiao-wei<sup>1,2</sup>, YANG Hong-ge<sup>3</sup>, LIU Shao-nan<sup>1,2</sup>

(1. School of Energy Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. Key Laboratory of Western Mine Exploitation and Hazard Prevention, Ministry of Education, Xi'an 710054, China; 3. Baoji Beimafang Coal Industry Group Co., Ltd., Linyou 721500, China)

**Abstract:** In order to control the hidden danger of spontaneous combustion caused by secondary oxidation of residual coal, air leakage and other issues during the withdrawing period in lower layered coal mining face, take No. 2134 lower layered coal mining face in Beimafang Coal Mine as a study object. The analysis results showed that the residual coal heating and oxidation, CO emissions in the goaf of No. 2114 higher layered coal mining face, which caused the CO concentration abnormal. Through taking comprehensive fire preventing and extinguishing technologies with positive pressure ventilation in the coal mining face, grouting in the goaf of higher layered coal mining face, grouting polymer gel fire prevention materials through boreholes behind the supports and others, the development of natural oxidation and heating was inhibited, the CO concentration was decreased to  $100 \times 10^{-6}$  and keep stable.

**Key words:** lower layered; coal mining face; withdrawing period; spontaneous combustion

## 0 引 言

在下分层采煤工作面回采过程中,经常出现煤炭自燃现象,表现为工作面尾部CO涌出,工作面巷道煤帮温度升高<sup>[1]</sup>。分层开采容易自然发火的位置为进风巷、回风巷周围、人工顶板中盲巷、小断层附近及采煤工作面终采线内侧10 m左右范围内<sup>[2]</sup>。在下分层开采时,工作面上部采空区的高温煤炭进入本层采空区,二次氧化速度更快,上、下分层的采

空区连通后,增加了采空区氧化带的体积,使浮煤更易氧化自燃。尤其是回撤阶段,由于停采时间较长,自然发火现象更加严重<sup>[3]</sup>。目前,下分层开采回撤阶段防灭火技术主要有以下5种<sup>[4-6]</sup>:局部调压技术、采空区堵漏技术、架后钻孔注浆技术、上分层采空区注浆技术和采空区注氮技术。笔者以宝鸡北马坊煤业有限责任公司(以下简称北马坊煤矿)2134工作面为例,在下分层回采工作面回撤阶段发生遗煤氧化升温后,以现场监测结果为判断依据,采取了

收稿日期:2013-12-19;责任编辑:王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.04.015

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(51134019);2010年度教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-10-0932);陕西省教育厅科研计划资助项目(12JK0784)

作者简介:文 虎(1972—),男,新疆石河子人,教授,博士生导师。Tel:15891759382 E-mail: chengbin12138@qq.com

引用格式:文 虎 程 斌 翟小伟,等.下分层采煤工作面回撤期间自然发火防治技术[J].煤炭科学技术,2014,42(4):54-56,87.

WEN Hu, CHENG Bin, ZHAI Xiao-wei, et al. Technology of Spontaneous Combustion Prevention and Control During Withdrawing Period in Lower Layered Coal Mining Face[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(4): 54-56, 87.

有效的技术措施。

## 1 工作面概况及防灭火技术

1) 工作面概况。北马坊煤矿 2134 工作面为综采工作面,煤层平均厚度 2.4 m,最短自然发火期 40 d。由于煤层倾角较小,工作面沿倾向开采,倾向长 623 m,走向长 147 m,由下端头向上端头共安装 99 个液压支架。工作面采用 U 型负压上行通风,回撤期间风量为  $276 \text{ m}^3/\text{min}$ 。2134 工作面开采 4 号煤下分层,为下分层开采;2114 工作面开采 4 号煤上分层,为上分层开采。

2) 回撤期间防灭火技术。在 2134 工作面回撤期间,已采取了以下技术措施:①注浆防火。工作面采至距终采线 20、40 m 时,在运输、回风巷预埋 2 趟注浆管路,工作面每推进 20 m 进行一次注浆。②封堵漏风防火。工作面采至终采线 40、20、10 m 时分别在工作面上、下隅角施工 1 道渣袋墙,墙面用喷涂材料密封,墙体上预留注胶管孔,向渣袋墙后注高分子胶体。③上下端头构筑密闭。停采后,使用防火材料混渣袋装构筑渣袋墙,并用喷涂材料进行喷涂,防止漏风。

## 2 CO 浓度超限原因分析及治理技术

2134 工作面于 2013 年 7 月 15 日到达终采线,由于矿压较大,底鼓现象严重,支架未能及时回撤。2013 年 7 月 30 日的日常监测记录显示,在上隅角、回风流、液压支架架间发现 CO 浓度异常且呈上升趋势。为此,安排人工每天对 CO 浓度较高的 20—30 号、90—99 号支架架间进行重点监测,结果如图

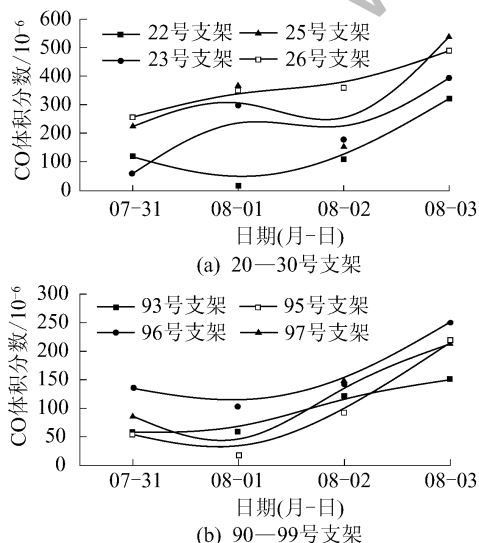


图 1 2013 年监测的支架架间 CO 浓度变化

1 所示。由图 1 可知,监测期间 20—29 号支架架间 CO 浓度上升趋势最为明显,最高处 CO 体积分数由  $256 \times 10^{-6}$  上升至  $538 \times 10^{-6}$ ,90—99 号支架架间 CO 浓度略有上升。经过对 CO 浓度超限过程中数据的研究,并分析该矿 2134 工作面所处煤层的地质条件,对 CO 浓度异常原因进行了分析。

1) 2134 工作面煤层最短自然发火期为 40 d,由停采至发现 CO 浓度异常共经历 15 d,远短于自然发火期。由于采煤工作面煤层较薄,一次采全高后遗煤量较少,且采空区漏风较小,发生自然氧化升温的可能性较小。由日常监测数据可知,除 20—30 号、90—99 号支架 CO 浓度异常外,工作面其余支架架间 CO 体积分数均在  $10 \times 10^{-6}$  以下,故可知 2134 工作面没有自然升温迹象。

2) 上分层采空区曾经发生过自然发火事故,且未经彻底治理。目前在回风巷顶板裸露处使用红外线测温仪进行测温,最高温度为  $38.2^\circ\text{C}$ ,与  $26^\circ\text{C}$  的回风流温度对比可知,上分层仍存在高温区域。

3) 2114 采空区两巷水平距离分别距 2134 工作面运输巷 30 m,距 2134 回风巷 27 m,位于 25 号支架与 90 号支架上方,这与 CO 浓度较高地点吻合(图 2)。在工作面架间 CO 浓度最高处分别取样做气相色谱分析,2013 年 8 月 1 日 25 号支架  $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$  体积分数分别为 16.4%、71.56%、0.020 4%、0.103 5%、0.923 2%、0.000 084%、0.000 032%、0;90 号支架气体体积分数分别为 16.12%、79.08%、0.046 1%、0.033 4%、0.839 4%、0.000 105%、0.000 055%、0。由气相色谱分析结果可知,2 处气样中,  $\text{O}_2$  浓度较低,  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  浓度较高,故判定是 2114 采空区氧化升温造成气体涌出。

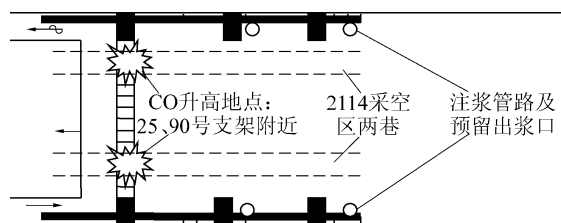


图 2 2134 工作面 CO 浓度高点示意

## 3 防灭火措施及效果分析

### 3.1 防灭火措施实施过程

回撤期间的 CO 浓度异常区域主要为 1—30 号、90—99 号支架 2 处,根据对发火原因的分析,制定以下防治措施。

1) 重点区域监测。除执行原有监测措施外,对重点区域,即1—30号、90—99号支架所有架间进行CO浓度监测,并人工每天对上隅角、回风流、支架架间CO浓度最高点的气体采样进行色谱分析一次,为制定方案提供依据。

2) 上分层钻孔注高分子胶体防灭火材料。由分析可知,高温点位于上分层工作面两巷附近,由于受下分层开采扰动,导致顶板形成漏风通道,高温点接触氧气后温度急剧升高甚至形成着火点。高分子胶体防灭火材料在设定时间和范围内发生胶凝作用,有效钝化了煤表面活性基团,隔绝氧气、吸热降温、终止氧化,并能降低水煤气爆炸伤人危险<sup>[7-11]</sup>。使用高分子胶体防灭火材料直接作用于高温区域,是治理高温点最直接的方法。地质资料显示,2134工作面与上分层层间距为2~3m,故使用KHY-50/38防灭火钻孔快速施工技术及工艺装备,由架间向斜上方30°钻孔,钻孔长度为4m,终孔位置位于支架末端上方3m处,刚好穿透顶板,到达上分层。用水调和质量分数为2%的高分子胶体防灭火材料,使用ZHJ-5/1.8G矿用移动式防灭火注浆装置注胶至架底直到出现渗胶。分别于2013年8月4日、5日通过钻孔向上分层注高分子胶体防灭火材料,取得明显效果。

3) 工作面正压通风。2114采空区遗煤升温后,工作面相对采空区处于负压状态,CO容易由架间涌出,导致工作面CO浓度升高。针对该情况,须对工作面正压通风,抑制CO涌出。封闭运输巷后,在联络巷巷口架设局部通风机,由风筒向运输巷正压供风,使工作面处于正压状态。

4) 上分层采空区注浆。由于高温点位于上分层采空区,故决定利用原先封闭时预留的注浆管路对上分层采空区进行注浆处理,降低采空区煤温,防止遗煤进一步升温。利用地面制浆站制浆,井下将移动式注浆机与输浆管路相连,向上分层采空区注浆至下分层淋水。

### 3.2 治理效果分析

于2013年8月4日对2134工作面20—30号架间注高分子胶体防灭火材料,并对上分层采空区注浆,于2013年8月5日对90—99号架间注高分子胶体防灭火材料。由图3可知,在注高分子胶体防灭火材料后,2处CO浓度异常地点的CO浓度显著下降,可知高分子胶体防灭火材料直接作用高温区域,效果明显。

2013年8月6日对运输巷进行封闭,改变通风方式为局部正压通风。工作面局部提压后,工作面相对采空区处于正压状态,上分层CO处于负压状态,不易涌出。故在工作面实行正压通风后,CO浓度较低并保持稳定。

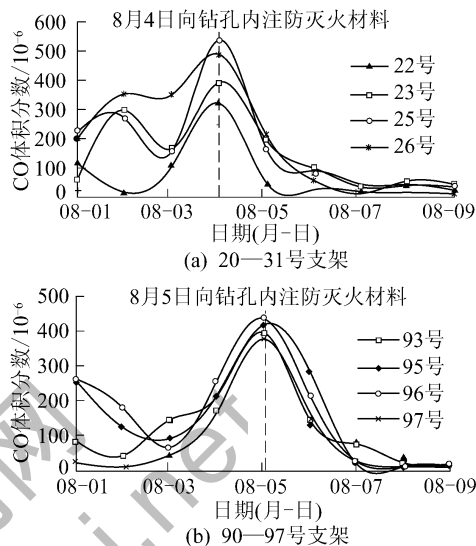


图3 注防灭火材料后监测的支架间CO浓度变化

## 4 结 语

下分层采煤工作面开采过程中,由于上分层遗煤经过一次氧化,具有较大的自然发火危险,回撤期间,由于停留时间较长,漏风严重,导致遗煤二次氧化,容易造成工作面CO浓度升高,影响回撤工作。停采后,应尽快回撤,并对工作面CO浓度进行监测,采取相应措施进行提前预防,如架后钻孔注胶、上分层采空区注浆等。2134下分层开采工作面因上分层遗煤氧化升温导致工作面架间CO浓度升高,采取局部升压、架后钻孔注防灭火材料、上分层采空区注浆等措施,效果明显,抑制了遗煤自然升温过程,保证了工作面的安全回撤。

### 参考文献:

- [1] 张勇. 煤峪口矿综合防治煤炭自然发火的有效措施[J]. 中国煤炭, 2006, 32(12): 28-30.
- [2] 张留玉. 中厚煤层开采自然发火防治[J]. 中州煤炭, 2010(3): 88-89.
- [3] 曹逢春. 下分层放顶煤工作面防火技术[J]. 矿业安全与环保, 2004, 31(5): 53-55.
- [4] 郑忠亚, 马超, 王大尉. 易自燃煤层下分层孤岛综放面尾采撤架防灭火技术[J]. 煤矿安全, 2013, 44(7): 79-81.
- [5] 俞小林, 崔向兴. 综采下分层工作面综合防灭火技术[J]. 煤炭科技, 2009(4): 80-81.

(下转第87页)

表 1 温度校正试验结果

天气	表面温度/℃	校正前温度/℃	校正前温差/℃	校正后温度/℃	校正后温差/℃
晴	34.81	32.06	2.75	34.58	0.23
雨	18.87	14.75	4.12	18.56	0.31
雾	22.67	18.89	3.78	22.52	0.15
霾	28.77	25.63	3.14	28.56	0.21

表 2 内热源计算试验结果

测量次数	温度真实值/℃	温度计算值/℃	计算误差/℃
1	198.9	219.5	-20.6
2	198.5	179.0	19.5
3	198.2	180.4	17.8
4	198.5	214.5	-16.0
5	198.4	172.9	25.5

## 5 结 语

笔者基于红外成像技术设计的非接触式露天煤垛在线温度监测系统可应用于大型储煤基地对多煤垛进行同步监测;一旦需测量煤垛相关参数设置完毕,无需人工操作即可进行全天候煤垛在线温度监测;能显著减小不同天气条件下红外成像仪的测温误差;能计算内热源的温度及深度;能综合掌握各煤垛的温度变化情况,进行处理优先级分析,并对超过温度阈值的隐患煤垛进行报警。当然,笔者的研究尚有待完善,如需进行粒度、孔隙大小、含水量、导热率等煤体内部参数的不均匀性,以及外界天气环境等与内热源计算模型的相关性及对误差的影响等研究,以完善内热源计算模型,减小计算误差。最终笔者所设计的系统,可便于现场人员及时全面掌握煤垛的温度变化情况,及早发现隐患煤垛,以采取有效措施防止煤垛自燃事故的发生,为实现堆储管理的现代化和智能化服务。

### 参考文献:

- [1] 崔洪义. 煤炭自燃早期预测预报与火源探测技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002: 1-18.
- [2] 目洪清. 运用红外热像技术探测采掘面周围小煤窑火源的技术研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2011: 3-6.
- [3] 王长安, 王 勃, 李夏青, 等. 松散煤体表面温度与热源温度对应关系的热红外实验研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(8): 38-41.
- [4] 文 虎, 马 民, 费金彪. 基于红外成像技术的煤矿火灾治理[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(1): 28-30.
- [5] 程卫民, 王振平, 辛 嵩, 等. 煤巷煤自燃火源红外探测的影响

因素及判别方法[J]. 煤炭科学技术, 2003, 31(8): 37-40.

- [6] 马 民. 煤层隐蔽火源红外成像探测技术的应用研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2009: 2-7.
- [7] 孙继平. 基于图像识别的煤岩界面识别方法研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(2): 77-79.
- [8] 尹中会, 李 春. CCD 传感器技术在煤炭工业中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(5): 99-101.
- [9] 曾凡宇, 田云福, 芦根玲, 等. 西曲煤矿矸石山自燃火区探测及治理技术[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(6): 41-44.
- [10] 吴海军, 曾凡宇, 姚海飞, 等. 矸石山自燃危险性评价及治理[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(4): 119-124.
- [11] 李云红. 基于红外成像仪的温度测量技术及其应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010: 35-38.
- [12] 文 虎. 煤自燃全过程实验模拟及高温区域动态变化规律的研究[J]. 煤炭学报, 2004, 29(6): 689-693.
- [13] 肖 畅, 徐精彩, 李树刚, 等. 近距离煤层采空区自然发火预测模型研究[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2006, 21(2): 5-8.
- [14] 周国辉, 刘湘伟, 徐记伟. 一种计算红外辐射大气透过率的数学模型[J]. 红外技术, 2008, 30(6): 331-334.
- [15] 顾吉林. 典型天气大气辐射传输特性研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2012: 45-73.
- [16] 陈清华. 松散煤体热物性测试及其温度场分布规律研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2009: 82-91.
- [17] 路 远, 吴 丹, 金 伟, 等. 地表红外辐射建模研究[J]. 红外技术, 2008, 30(2): 75-78.
- [18] 柳 茜, 朱 枫, 郝颖明, 等. 土壤-植被混合地表红外辐射温度场的耦合建模方法[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(12): 4589-4592.

(上接第 56 页)

- [6] 张江成. 极近距离煤层开采下分层防灭火方案的建立和应用[J]. 科技信息, 2011(32): 373.
- [7] 白振龙, 常兴武, 宋立民, 等. 局部调风调压技术在下分层综采面防灭火中的应用[J]. 煤矿开采, 2006, 11(4): 83-85.
- [8] 肖 畅, 王振平, 马 砾, 等. 煤自燃指标气体与特征温度的对应关系研究[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(6): 47-51.
- [9] 许波波, 张人伟, 杜高举, 等. 煤层氧化自燃指标气体分析[J]. 煤矿安全, 2009, 40(2): 33-34.
- [10] 徐精彩. 煤自燃危险区域判定理论[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [11] 徐精彩, 张辛亥, 文 虎, 等. 煤层自燃胶体防灭火理论与技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.
- [12] 张迎弟, 徐精彩. 胶体泥浆快速灭火技术[J]. 西安矿业学院学报, 1997, 23(3): 25-28.
- [13] 徐精彩, 张辛亥, 文 虎. 粉煤灰胶体在高瓦斯易燃煤层防灭火中的应用[J]. 煤炭安全, 1999, 30(6): 12-14.
- [14] 窦林名, 何学秋. 采矿地球物理学[M]. 北京: 中国科学文化出版社, 2002.
- [15] 窦林名, 何学秋. 冲击矿压防治理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.