

# Practice of Fire Prevention Technology of Easy Spontaneous Combustion Thick Coal Seam

Xuejun Li

National Energy Group Ningxia Coal Industry Co., Ltd. Jinfeng Coal Mine, Wuzhong, Ningxia, 751504, China

## Abstract

The mining of thick coal seams that are prone to spontaneous combustion has a high risk of spontaneous combustion, which is an important factor restricting the safety production of mines. The paper mainly focuses on the key control of fire prevention and extinguishing during the backfilling process of the 011814 fully mechanized mining face in Jinfeng Coal Mine. Measures such as air tunnel grouting, machine tunnel nitrogen injection, and spraying of chemical inhibitors at the floating coal area are taken to completely isolate and inertize the goaf; By adopting comprehensive measures such as blocking the air leakage channel along the goaf, constructing temporary enclosed walls, and backfilling the goaf surface, the oxidation progress of residual coal in the goaf has been greatly reduced. The  $O_2$  concentration in the goaf oxidation zone has been effectively controlled below 7%, and the CO concentration has been controlled within the specified range, achieving safe mining of the working face.

## Keywords

thick coal seam; fire prevention; spontaneous combustion; oxidation

## 浅析易自燃厚煤层防灭火技术实践

李学军

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司金凤煤矿, 中国·宁夏 吴忠 751504

## 摘要

易自燃厚煤层工作面开采具有较高的自然发火风险, 是制约矿井安全生产的重要因素。论文主要针对金凤煤矿011814综采工作面回采过程中防灭火进行重点管控, 通过在工作面采取风巷注浆, 机巷注氮, 浮煤部位喷洒阻化剂等措施将采空区彻底隔绝惰化; 配合采取沿空留巷漏风通道封堵、构筑临时封闭墙体、采空区地表回填等综合堵漏风措施, 很大程度上降低了采空区遗煤的氧化进度, 有效控制了采空区氧化带 $O_2$ 浓度在7%以下, CO浓度控制在规定范围, 实现了工作面的安全回采。

## 关键词

厚煤层; 防灭火; 自燃; 氧化

## 1 引言

中国煤炭资源丰富, 成煤时期较多, 煤层地质特征多样化, 开采容易自燃、自燃煤层的矿区分布广。目前全国共有煤矿 4476 处, 开采容易自燃、自燃煤层的井工煤矿占比为 58.2%, 生产能力占 73.7%, 就数量占比和产量贡献来讲, 防灭火工作在矿井安全生产中是一项非常重要的工作。

## 2 矿井概况

宁夏煤业公司金凤煤矿地处宁夏吴忠市盐池县境内, 属马家滩矿区, 主采煤层为 18 煤, 属 I 类易自燃煤层, 最短自然发火期为 41 天。自 2012 年开采以来, 先后已采 17 个工作面, 采空区 CO 浓度最高达到 200ppm 左右。在 011814 工作面氧化尤为明显, 受地质构造、地温影响等因素,

采空区遗煤氧化 CO 高至 400ppm 左右, 给矿井生产带来一定的威胁。

## 3 氧化原因分析

在矿井开采初期, 北翼煤层较稳定, 倾角在 8 度左右, 南翼布置工作面倾角普遍较大。011814 工作面平均煤厚 3.45m, 属厚煤层。该工作面东为 011816 工作面采空区, 因采用沿空留巷技术, 将 011816 机巷留作 011814 工作面机巷, 两采空区间仅留设 1m 宽混凝土柔模墙; 西与 011808 工作面采空区临近, 水平间隔 25m 煤柱, 属“孤岛”工作面。发生氧化主要有以下几个影响因素:

①南翼工作面温度较高, 为 18.09℃~30.69℃, 平均 24.39℃, 北翼采区工作面温度 15.52℃~17.79℃, 平均 16.66℃, 南翼温度较北翼温度高 8℃左右, 为浮煤氧化创造了热源条件。

②工作面分布在地质构造带内。工作面分布区域为向

【作者简介】李学军(1987-), 男, 中国宁夏吴忠人, 本科, 工程师, 从事井工煤矿矿井通风研究。

斜构造轴部, 煤体比较破碎, 且工作面周围均为采空区, 工作面风巷、机巷柔膜墙及煤柱不能有效支撑顶板压力, 使顶板破碎下沉, 工作面煤壁片帮严重, 支架顶部遗煤未进入采空区内已处于氧化状态, 破碎煤有较大的比表面积可使氧气分子大量吸附氧化。

③工作面倾角较大底板高低起伏, 刮板机及支架调整存在困难, 必须破底部岩石开采, 导致不同部位留顶煤至采空区, 其中 1#-30# 支架处尤为严重, 留 2m 顶煤开采, 大量遗煤落入采空区为氧化创造了根本的条件。

④工作面顶板压力大, 风巷、机巷底鼓严重需要花费大量人力和时间起底, 工作面推进缓慢, 每班推进 1.6~2.4m, 大量落煤在氧化带内长时间持续氧化。

⑤工作面进风巷采用沿空留巷技术, 柔膜墙顶部肩窝位置 1m 宽的范围内顶板破碎松散, 柔膜袋间空隙均为漏风通道, 可源源不断向工作面采空区供氧, 使氧化带范围扩大。

#### 4 011814 工作面自然发火标志性气体及临界值

2018年, 由中国矿业大学安全生产检测检验中心测定, 011814 工作面所采 18 煤 CO、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 可作为煤层自然发火指标气体。CO 出现并浓度逐渐升高表明煤层已经开始氧化; C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 出现表明煤层局部温度达到 110℃以上, 进入加速氧化阶段; C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 出现标志着煤层局部温度已超过 217℃, 进入剧烈反应阶段。

在实际生产中通过人工取样分析, 气样中并未检测到 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 气体, 且采空区温度观测难以实现, 论文主要通过监测采空区 CO 气体来分析浮煤氧化状态。

##### 4.1 采空区“三带”区域内 CO 气体浓度计算值

散热带内:

$$C_{CO} = \frac{(\beta W_2) S (1-\eta) V_{CO}(T)}{\mu Q^2}$$

氧化带内:

$$C_{CO} = \frac{(\alpha W_1) S (1-\eta) V_{CO}(T)}{\mu Q^2}$$

其中,  $\alpha$  为自燃带的校正系数, 取值 0.4;  $\beta$  为散热带校正系数, 取值 0.7;  $S$  为回采截面面积;  $W_1$ 、 $W_2$  分别为自燃带和散热带范围的宽度, 分别取值 12.8m、44.8m;  $\eta$  为工作面回采率, 取值 95%;  $V_{CO}(T)$  是温度为 T 时, CO 释放速率, 参考上述公式中取值;  $Q$  为工作面供风量, 取值 1231m<sup>3</sup>/min。

经计算, 011814 采空区内不同自燃程度时散热带和氧化带 CO 浓度。

##### 4.2 011814 工作面采空区自燃“三带”划分

以现场实测为基础, 通过数据分析, 划分了采空区“自燃”三带的范围, 如表 1、表 2 所示。

表 1 011814 采空区不同自燃程度时散热带、氧化带 CO 指标值

特征状态	特征温度 (°C)	散热带 CO 预测值 (ppm)	氧化带 CO 预测值 (ppm)
常规状态	30~40	42.11~60.87	117.92~170.45
临界状态	70~80	191.5~207.23	383.01~580.25
异常状态	110~120	803.44~1364.76	2249.64~3821.33

表 2 18# 煤层所采工作面 (011814) 自燃“三带”范围划分

位置	散热带 (距工作面)	自燃带 (距工作面)	窒息带 (距工作面)
进风侧采空区	0~26.3	26.3~84.5	> 84.5
回风侧采空区	0~12.8	12.8~57.6	> 57.6

参照同煤层 011805 采空区“三带”划分结果, 结合相邻 011816 工作面开采以来每日束管分析及人工取样结果, 011814 综采工作面“三带”暂以回风侧测定结果判定, 即散热带为 0~12.8m、自燃带为 12.8~57.6m、窒息带为大于 57.6m。

#### 5 综合防灭火措施

在实际生产中采空区防火管控的重点部位在氧化带内 (即自燃带), 所以所有采取的防火措施均主要有效作用于 12.8~57.6m 范围内, 根据监测结果来看, 30~60m 是氧化最明显部位, 即注浆注氮等介质作用主要针对此区域。

##### 5.1 注氮防火技术

011814 综采工作面采空区煤自燃“三带”划分报告, 采空区机巷氧化带 26.3~84.5m。根据实际生产情况沿工作面机巷向采空区埋入 2 根  $\phi 108$ mm 钢管, 埋深分别为 30m、60m, 随工作面推进交替向前埋设注氮效果最优, 一根埋管深度达到 30m 时开始注氮, 深度达到 60m 时停止该埋管注氮, 采用另一根埋管注氮 (已埋深 30m), 如此循环, 确保氮气释放口在氧化带内。

采空区预防性注氮流量按下式计算:

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

其中,  $Q_0$  为采空区氧化带内漏风量, 以工作面配风量 1% 计算,  $Q_0$  取值为 13m<sup>3</sup>/min;  $C_1$  为采空区内氧化带平均氧含量, 根据煤自然发火临界氧浓度指标划分, 采空区氧化带氧含量为 5%~18%, 取值 11.5%;  $C_2$  为采空区氧化带防火惰化指标, 取为 7%;  $C_n$  为注氮防火时氮气纯度, 取为 97%。经计算, 工作面防火所需注氮流量  $Q_N=878$ m<sup>3</sup>/h, 正常注氮时, 每班次注氮量  $\geq 5268$ m<sup>3</sup>/d。

##### 5.2 注浆防火技术

011814 综采工作面采空区煤自燃“三带”划分报告, 采空区风巷氧化带 12.8~57.6m, 考虑到和注氮效果的叠加

作用,故将注浆管路埋深与注氮管确定为一致。在正常回采期间沿工作面风巷向采空区埋入2根 $\phi 108\text{mm}$ 钢管,埋深分别为30m、60m,随工作面推进交替向前埋设,如此循环,确保浆液释放后能有效作用于氧化带内。因工作面走向存在高低起伏现象,在工作面俯采时浆液容易从采空区流出,故此时管路适当埋至40m、70m浆液流出时经过氧化带达到降温隔绝的作用,此时注浆需做好工作面排水工作,防止溃浆。

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

其中, $Q_w$ 为回采工作面灌浆量, $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $G$ 为工作面日产量,结合矿井产量计划及劳动组织,工作面平均每天推进4刀,即工作面日产量取值 $2917\text{t}/\text{d}$ ;  $W$ 为工作面灌浆宽度,取值60m(综合考虑采场影响);  $h$ 为灌浆材料覆盖厚度,取0.1m;  $\delta$ 为水土比倒数,根据相关规范要求,结合矿井实际条件确定浆液水土比为1:4~1:10,即水土比倒数取值4~10;  $M$ 为浆液制成率,取值0.9;  $\rho$ 为煤的密度,取值 $1.35\text{t}/\text{m}^3$ ;  $H$ 为工作面回采高度,取3.6m;  $L$ 为工作面长度,取值180m;  $N$ 为灌浆添加剂防火效率因子;  $t$ 为灌注时间,取值6h/d。

经计算,工作面防火所需灌浆量 $Q_w \approx 15\sim 33\text{m}^3/\text{h}$ 。011814工作面日灌浆6h,灌浆量 $90\text{m}^3/\text{d}\sim 198\text{m}^3/\text{d}$ ,水土比1:4~1:10。

### 5.3 喷洒阻化剂防火

工作面回采期间,对遗煤较多的地点喷洒阻化剂。将阻化剂固体粉末配置成3%~20%溶液,每天安排人员对工作面上、下隅角范围、1#~30#支架后浮煤进行喷洒,阻化剂溶液在煤表面形成隔绝膜,阻止煤氧化。

### 5.4 机巷沿空留巷漏风通道封堵

为减少采空区氧化带范围不断扩大延伸,在机巷进风巷沿空留巷使用高分子堵漏剂进行喷涂,将顶板肩窝处两侧1m范围内进行喷涂堵漏,对预埋排水管及袋间空隙封堵,极大减少了采空区进风侧的漏风。

### 5.5 构筑临时墙体

011814工作面顶部较破碎,风巷机巷顶板支护强度大,移架后,若风、机巷顶板不能及时垮落,必须在工作面上隅角和下隅角构筑沙袋墙。在上隅角和下隅角巷道、下帮与支架之间的空间内构筑一道沙袋墙,墙体厚度大于800mm。根据工作面实际推进情况看,包含在散热带风流稀释带走部分氮气,在每天保证 $5268\text{m}^3$ 注氮量的基础上必须注够 $10000\text{m}^3$ ,能起到良好作用,且每周在上隅角和下隅

角构筑沙袋墙,才能保证堵漏效果,施工完毕后回采移架时保证沙袋墙仍然可以隔绝采空区漏风的作用。

### 5.6 采空区地表裂隙堵漏

工作面地表裂缝充填也是一项重要的防火措施,因18#煤埋深300m,在回采过程中采空区地表往往出现较大裂缝,宽度在0.02~0.8m不等,沿工作面倾向延伸约50~150m,通过长期观察,开放性裂隙均能够与采空区连通,导致地面空气源源不断的输入采空区内,使氧化带范围不断扩大,给现有的防火措施带来一定的难度,所以该矿安排专人使用机械车辆每天对生产工作面采空区地表裂隙进行充填堵漏,隔绝供氧通道。

## 6 011814 综采工作面防火技术成果

为了更好地观测采空区“三带” $\text{O}_2$ 和 $\text{CO}$ 情况,该矿使用激光束管监测系统对工作面采空区气体进行动态连续监测。主要在工作面风巷采空区埋设3趟束管,埋深分别为30m、60m、90m,随采时管路进行倒替,确保三趟管路分别在“三带”内。通过采取综合防火措施,对011814采空区气体进行观测分析, $\text{O}_2$ 和 $\text{CO}$ 指标均控制在防火指标内。

通过采取20多天的综合防火措施,对采空区“三带”气体进行人工取样分析,采取多种措施前,氧化带 $\text{O}_2$ 浓度最高在16.3%,远高于防火浓度7%的指标,散热带和氧化带 $\text{CO}$ 呈上升趋势,最高达到440ppm;采取多种措施后“三带” $\text{O}_2$ 和 $\text{CO}$ 浓度逐步下降。散热带 $\text{O}_2$ 浓度下降至5.4%,氧化带下降至3.7%, $\text{CO}$ 浓度下降至18ppm。

## 7 结语

011814工作面回采期间,通过采取注氮、注浆、喷洒阻化剂、构筑临时墙体,堵漏风等多种防火措施,经过不断地实践总结形成了该工作面的防火技术要求,使采空区氧化带 $\text{O}_2$ 浓度始终保持在7%以下, $\text{CO}$ 浓度在可控范围之内,有效抑制了氧化带的浮煤氧化,确保了矿井的安全生产。

### 参考文献

- [1] 李大政.小井火区下自燃厚煤层回采综合防火技术实践[J].神华科技,2019,17(3):29-33.
- [2] 马怀加.易自燃厚煤层复杂条件下综采面自然发火防治实践[J].内蒙古煤炭经济,2019(3):104-105.
- [3] 刘彦臣.极易自燃特厚煤层综放工作面防火技术实践[J].中州煤炭,2005(3):60-62.
- [4] 赵云峰,田翰,杨秉权,等.易自燃倾斜厚煤层防火综合治理技术实践[J].煤矿开采,2002(3):62-63.