

# 综合防灭火技术在 15101 综放工作面的应用

温衍强

(太原东山五龙煤业有限公司, 太原 030043)

**摘要:** 矿井火灾为煤矿“五大”灾害之一, 通过描述 15101 综放首采工作面采空区的瓦斯综合治理现状, 制定了综合防灭火方案, 加强采空区顶板管理, 采取了在上下隅角悬顶时砌筑袋墙, 在回风上隅角增设风水射流器, 工作面埋设干冰降温等相应的防灭火措施, 为类似煤矿采空区的瓦斯综合治理提供了借鉴。

**关键词:** 煤矿采空区; 瓦斯; 煤层自燃

中图分类号: TD75

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Application of Comprehensive Fire Control Technology in 15101 Fully Mechnized Working Face

WEN Yanqiang

(Dongshan Wulong Coal Industry Co., Ltd., Taiyuan 030043, China)

**Abstract:** Fire is one of the “Big Disasters” in coal mines. Based on the current comprehensive gas control in the goaf of the first mining face of the No. 15101 fully mechanized working face, the paper proposed a comprehensive fire prevention plan, including strengthening roof management in the goaf, building walls when suspending roofs at upper and lower corners, adding water and air jet in the upper corners, and burying dry ice to cool, which could provide a reference for the comprehensive fire control in the goaf in other coal mines.

**Key words:** goaf in mine; gas; spontaneous combustion of coal seam

矿井火灾为煤矿“五大”灾害之一, 煤层自燃引起的矿井火灾占矿井火灾总数的 85%~90%。近年来, 综采放顶煤开采技术因其生产效率高、经济实用而在厚煤层中被广泛推广应用, 但也存在许多缺点, 如果管理不善, 会出现采空区遗煤较多、回采率较低、漏风严重等问题, 使得煤层自燃火灾频发, 从而导致人身安全受伤害, 煤炭资源浪费, 设备损失, 造成巨大的经济浪费。如 2013 年 3 月 29 日, 吉林八宝煤矿 4146 工作面采空区煤层自燃造成瓦斯爆炸事故, 死亡 17 人, 8 人受伤, 直接经济损失 1 986.5 万元; 太原东山煤矿有限责任公司在 2016 年 71504 工作面开采过程中, 因煤层自燃发火将全部综采设备封闭于工作面, 造成了巨大的经济损失和资源浪费<sup>[1-3]</sup>。

太原东山五龙煤业有限公司(以下简称五龙煤业)15101 综放工作面采取综合防灭火技术, 保证了工作面正常开采, 特别是工作面停产一个月, CO 含量稳定, 无明显增高, 确保了工作面正常接续开采, 对易自燃煤层综放开采防灭火工作提供了借鉴。

### 1 15101 综放工作面项目概况

五龙煤业为兼并重组矿井, 井田位于沁水煤田西北隅, 太原东山矿区西南, 矿井设计生产能力 90 万 t/a, 现处于正常生产矿井。公司首采面为 15101 工作面, 布置在 15 号煤层, 采用综采放顶煤工艺开采。

五龙煤业 15101 综采工作面埋深约 370 m~430 m, 煤层倾角 6°~20°, 变化幅度较大, 通风采用“一进一回”U 型方式。工作面倾斜长度(切眼)为

\* 收稿日期: 2019-11-31

作者简介: 温衍强(1969—), 男, 山西清徐人, 本科, 工程师, 从事煤矿瓦斯综合治理研究工作。

150 m,走向长度(顺槽)610 m,开采区域煤层厚度为6.5 m~7.5 m,平均厚度为7.02 m,工作面采用综采放顶煤开采,全部垮落法管理顶板。

根据山西省煤炭工业厅综合测试中心《山西省煤矿矿井瓦斯等级鉴定报告(2019年度)》太原东山五龙煤业有限公司矿井绝对瓦斯涌出量为 $1.43 \text{ m}^3/\text{min}$ ,相对瓦斯涌出量为 $0.81 \text{ m}^3/\text{t}$ ;井下回采工作面绝对瓦斯涌出量最大为 $0.58 \text{ m}^3/\text{min}$ ;矿井属低瓦斯矿井。15号煤层自燃倾向性等级为II级,自燃倾向性性质为自燃,最短发火期为81 d<sup>[4-5]</sup>。

五龙煤业井下采用采空区灌浆、喷洒阻化剂、采空区注氮等综合防灭火措施。在回风立井工业场地新建一座黄泥灌浆站,站内安设MYZ-30/60型灌浆注胶防灭火系统,灌浆管路采用 $\Phi 108 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 的无缝钢管,铺设至距离上隅角15 m处,然后对接 $\Phi 108 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 的高压胶管,埋入采空区6 m处,为全矿灌浆服务,灌浆方法随采随灌。在采煤工作面回风顺槽放置阻化剂喷洒设备,选用WJ-24型喷射泵,管材为 $\Phi 50.8 \text{ mm}$ 的普通钢管及 $\Phi 38.1 \text{ mm}$ 的胶管,对工作面进行阻化剂喷洒作业。地面工业场地建设注氮车间,安装DM-1000/10L型煤矿用移动式膜分离制氮装置,从主井铺设 $\Phi 108 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 的无缝钢管至采煤工作面,对井下采煤工作面进行注氮作业。矿井采用JSG8井下自燃火灾束管监测系统,对井下综采工作面进行采样监测分析,主管路采用 $8 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 芯束管,自束管实验室沿主斜井至回风下山进行铺设,支管路采用 $8 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 芯束管,通过井下分路箱与主管路连接,沿综采工作面回风顺槽铺设至工作面。束管均使用 $\Phi 50 \text{ mm}$ 无缝钢管进行保护,在综采工作面布置5个测点,抽出的气体通过气体采样控制柜进入气象色谱仪进行分析,分析数据由数据工作站进行处理。

矿井设有KJ160N安全监控系统,地面有中心控制站(设在调度监控中心),系统采用双电源供电。现设有12台监控分站,地面主要通风机风机房安设1台监控分站;该系统可对矿井瓦斯、风速、CO、负压、温度、主通风机、局部通风机开停、风门开关状态等井下环境参数及设备开关状态进行监测<sup>[6]</sup>。

15101综采面在正常开采时,初期配风 $1\ 220 \text{ m}^3/\text{min}$ ,推进260 m后,检测到工作面回风上隅角CO体积分数升到 $(16 \sim 22) \times 10^{-6}$ ,上隅角往下5架支架后尾部CO体积分数为 $(10 \sim 18) \times 10^{-6}$ ,在上级检查时,要求工作面停产整顿一个月。

## 2 CO浓度增高的原因

1)15101工作面回采后采空区、上下隅角遗留的浮煤较多,这些遗煤在长时间漏风条件下低温氧化,产生大量CO。

2)15101工作面在瓦斯治理上采取了加大供风量方式,工作面配风为 $1\ 220 \text{ m}^3/\text{min}$ ,造成采空区漏风严重,从而扩大了采空区氧化带范围,导致采空区浮煤氧化产生CO。

3)15101工作面在联合试运转及初采期间,主要以设备调试为主,工作面推进为辅,生产速度相对缓慢,延长了采空区氧化带存在的时间,造成了氧化带热量聚集,导致采空区浮煤达到自燃发火温度而氧化产生CO。

## 3 综放工作面瓦斯治理与防灭火之间的关系

综放工作面所采煤层有自燃发火性且瓦斯涌出量增大时,治理瓦斯与防灭火之间存在矛与盾的关系,在治理瓦斯超限时通常手段是采取加大工作面风量。但是增加工作面风量的同时,采空区漏风也会相应增加,从而会增加采空区自燃发火的概率。因此在治理工作面瓦斯与防灭火工作时要找到两者之间的平衡关系<sup>[7]</sup>。

1)采空区漏风是煤层自燃放火的重要因素,因此在减少采空区漏风的同时也要保证工作面风量充足,以此来排出工作面瓦斯。在实际生产中调整风量时,也要注重束管系统正常使用,加强束管监测,查看CO数据变化情况,在综放面供风量与CO涌出浓度之间寻找平衡点,使风量达到最大时,CO浓度不会升高。

2)在瓦斯治理与防灭火之间寻找侧重点。假如综放工作面CO浓度升高有自燃放火迹象时,首先要考虑的是如何加强工作面防灭火。如瓦斯治理技术手段与防灭火治理相互冲突,则可以相应减少一些技术手段,保证工作面瓦斯不超限。

3)治理瓦斯与防灭火可以同时使用的措施<sup>[6-7]</sup>:

①在治理瓦斯超限时,增加工作面风量,但是需将工作面上下隅角进行封闭,以此减少采空区漏风。

②在轨道顺槽超前综放面40 m打钻瓦斯释放孔,成孔后利用压缩空气对孔内进行冲刷,以此来排出煤层赋存的游离状态的瓦斯。

③利用风水喷雾装置排出上隅角积存的瓦斯。且用风水喷雾装置喷出的水雾也有利于上隅角降

温,从而降低煤层自燃发火的可能性。

④在采用注氮防灭火技术时,会对上隅角瓦斯治理产生一定的影响。在氮气注入采空区时,采空区瓦斯会相应的由上隅角涌出,从而造成上隅角瓦斯超限,因此在利用注氮防灭火的同时要考虑风排瓦斯能力。

⑤如果工作面防灭火情况较为严重,且工作面瓦斯涌出量较大时,可以采用井下移动瓦斯抽放泵站,利用上隅角埋管的方法抽采上隅角积存的瓦斯,以此来保证综放面防灭火措施顺利实施,也保证了工作面瓦斯不发生超限现象。

⑥采用注浆与喷洒阻化剂防灭火。在利用其他方法进行防灭火工作对瓦斯治理造成一定影响时,采取该方法对工作面瓦斯治理不会造成任何影响。

⑦在煤层有自燃发火性时,必须加强瓦斯治理工作。如瓦斯超限会导致瓦斯爆炸或者瓦斯燃烧现象,也可能引燃煤层,导致煤层自燃,因此要将瓦斯治理与防灭火同时进行且要相辅相成。

## 4 15101 综放工作面综合防灭火技术的应用

### 4.1 第一阶段

1)15101 综采面防灭火管理作为全矿井安全工作重点,成立以总工程师为组长的防灭火管理机构,调度中心和通风部设专人负责,出现异常情况及时向矿调度中心和总工程师汇报。

在 15101 综采面回采期间,严格执行瓦斯检查制度,每日 3 班,每班需认真记录综采面的 CO 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度、CH<sub>4</sub> 浓度、空气温度等,且要作为当班领导检查的重点,同时要将 15101 综采面自燃发火束管监测预测预报表报通风部领导和总工程师审阅<sup>[8]</sup>。

2)优化通风系统,合理调配工作面风量。当检测到工作面 CO 浓度升高后,为了及时控制采空区浮煤的进一步氧化,减少采空区漏风量,需根据工作面瓦斯的涌出浓度、风速大小、温度及最大工作面人数等综合因素,将工作面风量调整到 860 m<sup>3</sup>/min<sup>[9]</sup>。

3)加强束管监测系统使用,每日进行束管监测数据分析,安排瓦斯员每日巡查束管管路是否漏气,加强人工采样化验上隅角气体浓度,每天早班、夜班进行采样,化验结果报通风调度留存。对于正在回采的活动工作面,通常情况下工作面布置 5 处束管测点,主要测点布置见图 1。

采空区的气体成份采用埋管测定法。在采空区设置 3 个等距回顺侧监测点,采用  $\Phi 50.8$  mm 镀锌

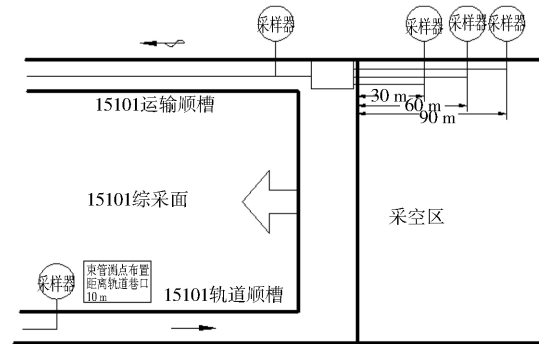


图 1 15101 综采面束管监测点布置示意图

Fig. 1 Layout of tube bundle monitoring points in the No. 15101 fully mechanized working face

管作为预埋管,在镀锌水管中穿入 3 根  $\Phi 8$  mm 不同标记的束管。采样点分别分布在 90 m、60 m 及 30 m 处(可根据实际情况更改距离),每根束管负责一个测点的气样。为了防止积水堵塞束管,可将每个测气点抬高 1.5 m 同时用束管连接,每个测气点的头部采用带孔花管加滤尘器或滤尘材料填充,在立管最上方,加工制作防水帽,避免采空区顶部的水淌下从滤尘器进入束管管路<sup>[9]</sup>。采空区束管测点随着工作面回采而推进,每 90 m 需要更新一次保护管路和采气点,已经使用的监测管路不回收<sup>[10]</sup>。

4)加强工作面瓦斯监控管理。在 15101 综采面上隅角、回风顺槽距工作面 5 m~10 m 范围内及回采面靠近回风大巷 10 m~15 m 范围内应另行设置 CH<sub>4</sub> 传感器;在距 15101 综采面靠近回风大巷 10 m~15 m 范围内需另行设置 CO、O<sub>2</sub>、温度、风速等传感器,监测设备布置见图 2。

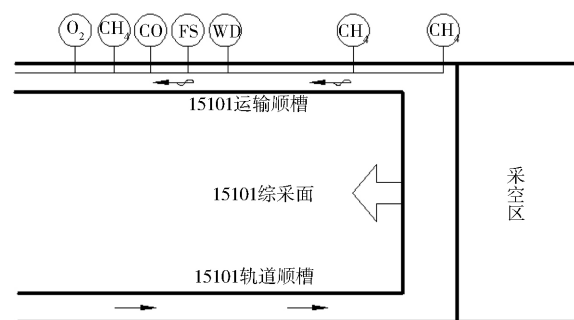


图 2 15101 综采面监测设备布置示意图

Fig. 2 Monitoring equipment layout in the No. 15101 fully mechanized mining face

采用专用吊架将传感器吊挂在顶板上,一般距帮  $< 200$  mm,距顶  $\leq 300$  mm 范围内,不影响行人和行车,且应安装维护方便。CO 传感器报警体积分数  $\geq 24 \times 10^{-6}$ ,温度传感器报警温度  $\geq 26^\circ\text{C}$ ,O<sub>2</sub> 传感器报警浓度  $< 18\%$ <sup>[11]</sup>。

5)严格回收率考核。综采队放顶煤时要将顶煤

放干净,以放出 1/3 矸石为准,每班回采结束时要对工作面、支架间进行浮煤清理。

6) 每班安排喷洒阻化剂(阻化剂用氯化镁或氯化钙水配比成饱和溶液),喷洒地点为上下隅角、工作面支架之间、后溜槽、支架与运输机之间。上隅角要多喷多洒;对回风巷巷帮及前、后溜子机尾向机头方向 50 m 范围进行喷洒,以降低巷帮煤体温度,并对巷帮浮煤进行浸温处理<sup>[12]</sup>。阻化剂的使用量按照下式计算:

$$\rho = \frac{T}{C} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\rho$  为阻化剂溶液浓度,%; $C$  为阻化剂溶液量,kg; $T$  为阻化剂用量,kg。

设计确定本矿阻化剂溶液的浓度为 10%,经统计,15101 综放工作面顺槽巷道喷洒阻化剂溶液量为 2 160 kg,则顺槽巷道喷洒所需阻化剂用量为 216 kg。

7) 上下两隅角顶板未完全垮落存在悬顶时,在上下隅角每隔 6 m 砌筑一道袋墙,袋墙必须进行双层砌筑,上下隅角封堵前用高压水枪对采空区遗煤进行洒水降温处理;每班回柱,必须将上下隅角处锚索、锚杆退出,以确保顶板垮落,减少悬顶存在,减少采空区漏风<sup>[13]</sup>。工作面端头封堵示意图见图 3。

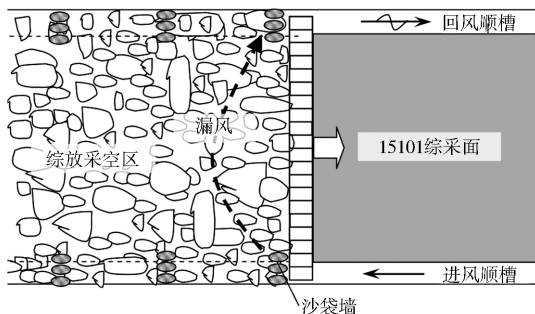


图 3 工作面端头封堵示意图

Fig. 3 Plugging of endings on the working face

8) 综采工作面上、下隅角设置导风帘标准。上隅角导风帘沿 15101 综采面倾斜向上挂设,尺寸为 1.8 m × 8 m,距切顶线与煤柱各留设 0.5 m 的距离。为了减少采空区漏风,下隅角导风帘的一端紧贴巷帮,另一端紧贴液压支架后侧,尺寸为 1.8 m × 14 m<sup>[14]</sup>。

综采队上、下隅角工作人员按标准要求挂设导风帘,由当班安检员、瓦检员进行监督和指导。当割煤、移架接近导风帘时需取掉导风帘,移动刮板机时还需随同移设导风帘,而其他工序均要保持导风帘挂设使用,以冲淡和稀释上隅角 CO 浓度。15101 综采面上、下隅角挂设的导风帘用胶质阻燃风筒制作。15101 综采面导风风障挂设示意图见图 4。

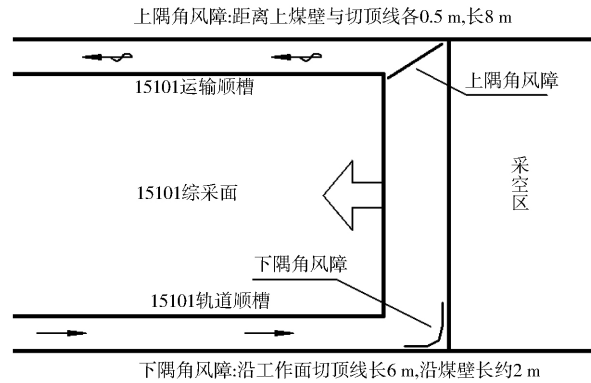


图 4 15101 综采面导风风障挂设示意图

Fig. 4 Setting-up of wind barrier on the No. 15101 fully mechanized mining face

9) 为减少采空区漏风,增加严密性,在检修班上需对工作面采空区进行一次黄泥灌浆。这样黄泥可以充填浮煤和顶板冒落矸石之间的缝隙,将浮煤与采空区氧气隔绝,同时,黄泥灌浆还可以冷却氧化发热的煤炭,起到散热作用。15101 工作面采用上隅角埋管灌浆方法,当注浆管埋入采空区约 10 m 后开始注浆,当注浆管埋入采空区 60 m 后停止注浆,并在工作面回风隅角处截断注浆管,依次循环。管路埋入采空区不回收,重点对采空区集中灌注。

根据泥浆的输送距离,煤层倾角,灌浆方式及灌浆材料和季节等因素通过试验确定灌浆泥水配比,参照阳煤集团经验,一般情况下为 1:5,冬季时为 1:6<sup>[15]</sup>。

灌浆材料的颗粒一般小于 2 mm,且细小颗粒(粘土 ≤ 0.005 mm 者应占 60% ~ 70%)要占大部分,其密度为 2.4 t/m<sup>3</sup> ~ 2.8 t/m<sup>3</sup>,容易脱水并具有一定的稳定性,不含有可燃物。灌浆工作与回采工作紧密配合进行。设计灌浆为三班灌浆,每天纯灌浆时间为 10 h,若矿井自燃发火严重,所需灌浆的工作面较多,宜采用四班灌浆,每天灌浆时间为 15 h。经测算,15101 工作面采用上隅角埋管灌浆方法,每日三班灌浆,则灌浆量为 597.5 m<sup>3</sup>/d。

10) 在检修班上对工作面采空区进行注氮一次。注氮防火技术是防治采空区矿井自燃火灾行之有效的技术措施。注入氮气可排除采空区氧气,从而使浮煤缺氧惰化,且注入氮气后采空区处于正压状态,阻止了新鲜空气的进入,可以保持采空区的情化度。此外,氮气在管路中带压输送,在注氮口氮气膨胀吸热,可以吸收部分煤炭氧化产生的热量。15101 工作面采空区采用两顺槽上下隅角埋管方式进行注氮,在工作面胶带顺槽和轨道顺槽各埋设注氮管 1 套。

当释放口埋入采空区 10 m 后开始注氮,当注氮口埋入采空区 60 m 后停止注氮<sup>[16]</sup>。

## 4.2 第二阶段

工作面正常推进260 m后,在检查过程中发现一些不满足要求的情况,工作面需停产整顿一个月。为保证15101工作面回采停采期安全,防治煤层自燃发火事故,五龙煤业采取以下技术措施完善了综合防灭火措施,保证了工作面的正常生产。

1)在工作面前10 m内埋设了10 t干冰,利用干冰吸收采空区内热量,降低采空区内温度,延缓煤炭氧化聚热。

2)将上下隅角闭墙改为密集布置,不留间距,杜绝上下隅角出现空区,并用阻燃帆布覆盖袋墙,帆布边角向袋墙内压实,减少向采空区漏风。

3)加大阻化剂喷洒次数和喷洒量。每班全工作面喷洒两次,喷洒量翻倍。

4)降低工作面配风量。工作面停产,调整工作面风量为 $660 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

5)加大煤层注水。加大对工作面两巷喷雾洒水,降低煤体表面温度,在回风上隅角加设风水射流器,喷射出的风雾稀释带走气体,同时降低上隅角温度。

6)每日24 h连续向采空区进行黄泥灌浆工作。

7)每班连续对采空区注氮。

## 5 结束语

太原东山五龙煤业有限公司15101综放工作面在联合试运转及初采期间,由于生产管理不善,长时间停工,导致综放工作面采空区CO浓度升高,公司通风部及调度中心根据实际情况,制定了专项综合防灭火方案,采取了合理调整工作面配风、黄泥灌浆、注氮及埋设干冰、砌筑袋墙等专项安全技术措施,同时配合束管和瓦斯连续监控,加强管理,严格考核。15101综放工作面在第1阶段采取治理措施后保持了CO含量的稳定,保证了工作面正常生产。在第2阶段采取了24 h连续黄泥灌浆以及注氮等综合措施后,保证了停产一个月后工作面CO含量稳定,CO体积分数为 $(8\sim 15)\times 10^{-6}$ ,没有发现明显升高现象,现工作面恢复生产正常推进,实现了15101综放工作面安全生产。

采取第一、二阶段综合防灭火措施后,确保了15101综放工作面正常生产,特别是停产一个月安全无事故,实现了矿井联合试运转的安全运营,为五龙煤业今后正式投产及其他类似矿井提供了借鉴。

### 参考文献:

- [1] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国矿山安全法[M]. 北京:法律出版社,2009.
- [2] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国安全生产法[M]. 北京:法律出版社,2014.
- [3] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国煤炭法[M]. 北京:法律出版社,2016.
- [4] 煤炭工业太原设计研究院. 太原东山五龙煤业有限公司矿井兼并重组整合项目初步设计及相关变更说明书[M]. 太原:煤炭工业太原设计研究院,2019.
- [5] 煤炭工业太原设计研究院. 太原东山五龙煤业有限公司矿井兼并重组整合项目初步设计[M]. 太原:煤炭工业太原设计研究院,2019.
- [6] 国家安全生产监督管理总局. 煤矿安全规程[M]. 北京:煤炭工业出版社,2016.
- [7] 关欣杰. 采空区开放式注液态CO<sub>2</sub>防灭火技术研究[D]. 西安:西安科技大学,2016.
- [8] 戎浩. 综采工作面防灭火技术研究与应用[J]. 江西化工,2019(4):290-291.  
RONG H. Research and Application of Fire Prevention and Extinguishing Technology in Fully Mechanized Mining Face[J]. Jiangxi Chemical Industry,2019(4):290-291.
- [9] 杨燕. 某煤矿主采煤层自燃监测与防灭火技术研究[J]. 采矿技术,2019,19(4):68-70.  
YANG Y. Study on Spontaneous Combustion Monitoring and Fire Prevention and Extinguishing Technology of Main Coal Seam in a Coal Mine[J]. Mining Technology,2019,19(4):68-70.
- [10] 国家安全生产监督管理总局,国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程执行说明[M]. 北京:煤炭工业出版社,2016.
- [11] 陕西西矿工程勘察设计有限公司. 太原东山五龙煤业有限公司矿井防灭火专项设计[M]. 西安:陕西西矿工程勘察设计有限公司,2018.
- [12] 中华人民共和国煤炭工业部. 煤矿防火用阻化剂通用技术条件:MT/T 700-1997[S]. 北京:煤炭工业出版社,1998.
- [13] 国家安全生产监督管理总局. 矿井密闭防灭火技术规范:AQ 1044-2007[S]. 北京:煤炭工业出版社,2007.
- [14] 中华人民共和国煤炭工业部. 煤矿注浆防灭火技术规范:MT/T 702-1997[S]. 北京:煤炭工业出版社,1998.
- [15] 中华人民共和国煤炭工业部. 煤矿用氮气防灭火技术规范:MT/T 701-1997[S]. 北京:煤炭工业出版社,1997.
- [16] 孙多润. 综采工作面收作期间防灭火技术[J]. 山东煤炭科技,2019(6):106-108.  
SUN D R. Fire Prevention and Extinguishing Technology During the Working Period of Fully Mechanized Mining Face[J]. Shandong Coal Technology,2019(6):106-108.

(编辑:樊 敏)