

中文引用格式: 尚国银. 煤矿外因火灾防治与应急处置技术研究[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(增1): 274-279.

英文引用格式: SHANG Guoyin. Research on prevention and emergency response technologies for external factors causing fire in coal mines[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(S1): 274-279.

# 煤矿外因火灾防治与应急处置技术研究\*

尚国银 高级工程师

(国能神东煤炭集团有限责任公司, 陕西 神木 719315)

中图分类号: X936

文献标志码: A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.S1.0015

**【摘要】** 为预防煤矿外因火灾事故的发生,并在风险失控后实现高效快速的处置,最大程度降低人员伤亡和财产损失,以神东煤炭集团大柳塔煤矿为例,分析大型特大型煤矿外因火灾关键致灾因素,总结灾前防治措施,探索研究应急处置技术。结果表明:长距离带式输送机摩擦起火、高压电缆及设备过热、辅助运输车辆自燃等是大型煤炭企业外因火灾关键致灾因素;可采取风流短路、局部反风、新型风门控风、火区封闭、压风自救等应急处置技术应对煤矿外因火灾;煤矿外因火灾具有普遍多发性、损失严重性和处置困难性,需采取灾前防治与应急处置相结合的综合治理技术方能保障矿井安全生产。

**【关键词】** 煤矿; 外因火灾; 致灾因素; 防治措施; 应急处置

## Research on prevention and emergency response technologies for external factors causing fire in coal mines

SHANG Guoyin

(Guoneng Shendong Coal Group Co., Ltd., Shenmu Shaanxi 719315, China)

**Abstract:** In order to prevent the occurrence of fire accidents caused by external factors in coal mines, achieve efficient and rapid response after the risk is out of control, and minimize casualties and property losses, the Daliuta coal mine of Shendong Coal Group was used as an example. The key external factors causing fire accidents in large and super-large coal mines were analyzed, and pre-disaster prevention and control measures were summarized. In addition, emergency response technologies were explored. The results show that long-distance tape machine friction ignition, overheating of high-voltage cables and equipment, and spontaneous combustion of auxiliary transportation vehicles are key external factors causing fires in large coal enterprises. Emergency response technologies such as airflow short circuits, local backflow, new air door control, fire zone closure, and compressed air self-rescue can be adopted to deal with fire accidents caused by external factors in coal mines. Fire accidents caused by external factors in coal mines feature common occurrences, serious losses, and difficult responses. Therefore, a comprehensive management technology combining pre-disaster prevention and emergency response is needed to ensure the safety of mine production.

**Keywords:** coal mine; fire accidents caused by external factors; factors causing fires; prevention and control measures; emergency response

## 0 引言

外因火灾是煤矿各类灾害中预防和应急处置难度较大的一种灾害,也是容易造成人员群死群伤和引发重、特大事故的一种灾害<sup>[1]</sup>。随着大型煤矿企业多种类、高频次、强电压、大功率设备的投入使用,外因火灾的致灾因素逐渐增多。

矿井生产系统的复杂化、高强度开采的持续化以及系统设备的陈旧化,致使外因火灾防治和应急处置难度进一步加大。李文峰等<sup>[2]</sup>认为矿井外因火灾兼有时间的突发性、地点的不确定性和地形的复杂性等特点。刘小杰<sup>[3]</sup>提出由于煤自燃特点及矿井的实际条件,往往需要多种防灭火技术综合应用。王媛彬等<sup>[4]</sup>提出用图像处理方法提取温度变化率、面积增长率、火焰闪烁频率和整体稳定性等特征值,并将其作为输入信号,利用支持向量机进行数据融合后可以探测外因火灾。郭喜伏等<sup>[5]</sup>认为可以通过调整通风系统来治理矿井火灾。上述研究成果在新形势、新条件下理论观点需进一步升华,实践应用方面需进一步论证和完善。

本文以神东煤炭集团大柳塔煤矿为研究对象,结合大型特大型煤矿企业生产模式新特点,以系统性防治外因火灾和科学化应急处置为主要思路,探索分析和总结综合性煤矿外因火灾防治措施和应急处置技术,以期有效预防煤矿外因火灾事故发生,确保灾后能够迅速采取应急措施,最大程度减少人员伤亡和财产损失。

## 1 外因火灾关键致灾因素分析

大柳塔煤矿隶属于神东煤炭集团公司,由大柳塔井和活鸡兔井组成,井田面积约 189.9 km<sup>2</sup>,核定生产能力 33 Mt/a。矿井配备了先进的大功率重型采煤设备和掘进设备,以及高可靠性供电、供液、供风和运输设备,全面实现主运输系统胶带化、辅助运输系统无轨胶轮化,以及生产系统和安全监测监控系统自动化,是典型的现代化高产高效矿井。

### 1.1 长距离带式输送机摩擦起火

大柳塔煤矿提升、主运输均采用带式输送机运输,其中大巷共有 18 部固定带式输送机,总运输距离达 28 947.9 m,另有采掘工作面带式输送机若干。主运皮带宽度 1.2~2 m,带速 3.15~5 m/s,运量 2 500~5 000 t/h。带式输送机均安设在进风巷道中,其布置呈现点多面广、超长距离、大功率、超大运输能力等特点,一旦着火容易产生 HCl、CO 等有毒

有害气体,对人员生命和健康构成威胁,还可能引发煤炭燃烧,造成灾害事故扩大。带式输送机火灾原因多为输送带摩擦起火<sup>[6]</sup>,主要表现为:①带式输送机跑偏,其侧边与机架或托辊摩擦起火;②滚筒因包胶磨损打滑,与带面摩擦起火;③带式输送机因张紧力不足,带面摩擦起火;④损坏或不转动的托辊与带面摩擦起火;⑤带面与巷道堆煤长时间摩擦导致着火;⑥动火作业时输送带防护不到位引发火灾。

### 1.2 高压电缆及设备过热或击穿

大柳塔煤矿井下供电采用 10 kV 高压通过 MYJV 型矿用交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电缆经专用钻孔或井筒直接入井,再经盘区变电所和移动变电站变压后给采煤机、掘进机、刮板输送机、带式输送机、局部通风机、水泵房等提供动力电源。电缆电压等级高、线路长、供电系统复杂和机电设备分布多、功率大,增加了供电安全管理的难度,引发外因火灾的可能性日趋增大<sup>[7]</sup>。

综合分析表明,可能引发煤矿电器外因火灾的主要因素有:机电设备故障发热,电缆及设备超负荷运行,电缆受高温、潮湿、腐蚀、老化等作用的影响而失去绝缘能力,电缆过电压使绝缘被击穿,电缆连接故障导致接头电阻变大,设备故障导致电缆电流骤增,以及外力撞击损伤电缆等。

### 1.3 辅助运输车辆自燃

大柳塔煤矿辅助运输全面实现无轨胶轮化,但也增加了车辆外因火灾风险。目前配置有防爆柴油工程车、防爆柴油人车、防爆电动工程车、防爆电动人车、指挥巡逻车、支架搬运车、混凝土搅拌运输车等近 260 辆,辅助运输压力较大。由于井下车辆数量众多、种类繁多且使用频繁,长时间的运行导致磨损较为严重。如果保养和维护措施不全面,可能造成车辆着火,进而诱发其他火灾。车辆外因火灾致灾因素主要有:①电路漏电、短路、接触不良、点火顺序错乱等;②部件过度疲劳和过热;③燃油泄漏;④车辆碰撞;⑤新能源车电池自燃。

### 1.4 其他外因火灾致灾因素

井下高分子充填材料使用不当、违章使用电气焊、违规存放火工品、违规放炮、空压机使用维护不到位、未按要求存放燃油、携带烟火入井、风筒管理不善以及可燃物清理不及时等,进一步增加发生外因火灾的可能性和危害值。

## 2 外因火灾防治措施

在矿用产品不能全面使用不燃、难燃材料的情况下,煤矿外因火灾防治措施主要从控制热源产生和强化应急准备等方面着手。

### 2.1 完善带式输送机保护

带式输送机可以通过装设完善的防打滑、防跑偏、防堆煤、防纵撕、张紧力下降、超温、沿线急停、烟雾监测和自动洒水保护装置及信号系统,实时检测并有效避免外因火灾发生。强化带式输送机保护的定期检查和日常巡查,是保障安全生产的前提,也是杜绝带式输送机外因火灾的关键<sup>[8]</sup>。

防打滑保护一般安装在机头卸载滚筒与驱动滚筒之间,当两驱动滚筒距离较远时,可安在两驱动滚筒之间。防跑偏保护成对使用,距机头、机尾 10~15 m 处各安装 1 组;当有坡度变化时,在变坡位置安装 1 组;带式输送机长度超过 300 m 时,中间段至少设置 1 组。防堆煤保护原理为 2 s 内连续检测到煤位超过预定位置时报警并中止带式输送机运行,安装方式有顺直搭接、倾斜或垂直搭接、输送带与煤仓直接搭接和其他转载 4 种。用于温度保护的红外传感器发射孔应正对主传动滚筒,距离 300~500 mm。烟雾监测保护安装在带式输送机头驱动滚筒下风侧 10~15 m、带式输送机正上方距顶板不大于 300 mm 位置,当带式输送机为多级滚筒驱动时,应以靠近机头处滚筒为准。纵撕保护安装在主运带式输送机落煤点下方,向机头方向 10~15 m 位置。主运带式输送机必须装设张力下降保护装置,并上传至保护控制系统。

### 2.2 加强供电安全管理

矿井供电线路必须符合《煤矿安全规程》规定,这是供电安全基本要求和前提。井下配电网通过正确计算和选择短路、过负荷和断相保护等相关整定参数,确保控制系统灵敏可靠。加强日常维护和巡回检查,定期进行预防性电气试验,保障供电系统安全稳定。严格按章操作及检修机电设备,确保设备的完好性。井下水泵房、中央变电所、机头配电点等机电硐室,应采取以下火灾防治措施:①硐室必须装设向外开的防火铁门,铁门全部敞开时不妨碍运输;②严禁存放无关的设备和物件,并采用防爆型的照明设备;③从硐室出口防火铁门起 5 m 内的巷道,应砌碛或用其他不燃性材料支护;④硐室内必须设置足够数量的扑灭电气火灾的灭火器材;⑤硐室

不应有滴水,带油的电气设备溢油或漏油时,必须立即处理。

### 2.3 强化入井车辆管控

煤矿井下环境恶劣、空间狭小、视野受限,对行车安全提出了更高要求。预防车辆外因火灾及其他事故主要从检修维护和规范驾驶 2 方面采取措施。

辅助运输车辆必须配备 4 kg 及以上的灭火器,出现缺失、失效或不完好,车辆不得入井。车辆启动前检查底盘、地面有无渗油漏油现象,发现漏油及时处理。在井口设置检车点,每次入井前对车辆进行点检,内容包括刹车、灯光、喇叭、档位、雨刷等装置,车辆不完好不允许入井。行驶过程中经常观察仪表盘中的水温表、机油压力表、气压表、变矩器温度表、刹车压力表及发电机发电情况。

运行中注意各运转部件,如发动机、变速箱、变矩器、驱动桥等,如有异常响动应立即停车熄火,汇报专业人员进行检查处理。临时停车时也要仔细观察各管路、接头有无渗漏现象,运转部件温度是否正常,如有异常应及时处理。

每月检修车辆制动系统,发现隐患及时处理。定期系统检测检验车辆,杜绝超期服役和带病运行。加强井下行车调度,合理控制单班入井车辆数量。实行辅助运输在线监测,实时监督司机超速、闯红灯、疲劳驾驶、接打电话等不规范行为。

### 2.4 完善消防洒水系统

矿井消防洒水系统一般由清洁水源、供水管网、阀门、三通、过滤装置及监测传输设备等组成。消防蓄水池蓄水量不少于 200 m<sup>3</sup>,井下管网覆盖全部采掘工作面 and 作业地点。井下消防管路每隔 100 m 设置支管和阀门,其中带式输送机巷道中每隔 50 m 设置支管和阀门。矿井每季度对井上下消防管路系统、防火门、消防材料库和消防器材的设置情况至少进行 1 次检查,发现问题及时处理。具备条件的井下变电所应安设自动灭火装置,当变电所发生火灾时,可利用自动灭火装置灭火。

### 2.5 合理配置消防器材

为便于煤矿外因火灾先期及时处置,避免灾害扩大和次生事故发生,在机电设备硐室、材料库、采掘工作面等重点场所配置消防器材。井下变电所、材料库应在硐室口设置消防水管,并在各出口处至少配置一个灭火砂箱及 2 具 8 kg 灭火器,变电所还应该配置一套消防器材,采掘工作面灭火器材配备见表 1。当工作面或巷道内发生非电气火灾时可以

就近取用灭火器和砂箱内的砂子进行灭火,也可同时配合消防水管进行灭火。当发生电气火灾时,首先要切断电源,同时就近取用灭火器材进行灭火。

表 1 采掘工作面灭火器材配备

Table 1 Fire extinguishing equipment for coal mining face

区域	存放地点	MF-8 干粉灭火器/具	0.2 m <sup>3</sup> 砂箱/个
综采工作面	移变列车(油脂存放)	6	3
	输送机机头	2	—
	输送机机尾	2	—
掘进工作面	变电硐室	4	1
	输送机头	2	1
	破碎转载点	2	1
	油脂存放点	2	1
	掘锚机	2	—
	梭车	2	—
	交接班地点	4	—

### 2.6 实时监测监控

监测监控技术主要是通过通过在井下各要点布置烟雾、CO、温度传感器等监测监控设备来实时准确监测环境气体浓度和温度情况,进而分析研判监测区域是否发生火灾。监测监控设备布置点为采掘工作面、转载点及带式输送机机头、中部、机尾等易发生火灾的地点,综采工作面监测监控布置如图 1 所示。监测监控技术的主要优点是可以 24 小时连续监测各区域的气体 and 温度情况,弥补了人工巡查漏检的不足。

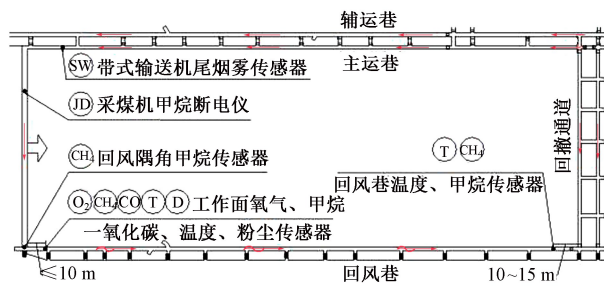


图 1 综采工作面监测监控布置

Fig.1 Layout for monitoring of fully mechanized coal mining face

### 3 外因火灾应急处置技术

处理矿井外因火灾首要任务是控制烟雾蔓延,防止事故扩大<sup>[9]</sup>。对于高瓦斯和煤与瓦斯突出矿井要采取措施防止引起瓦斯或煤尘爆炸<sup>[10]</sup>。处理上、下山火灾时,必须采取措施防止因火风压造成风流逆转和巷道垮塌造成风流受阻。处理掘进工作面火灾时,应当保持原有的通风状态,进行侦察后再采

取措施。灭火过程中必须有充足的风量和畅通的回风巷,防止水煤气爆炸。应急处置措施的采取要有利于人员撤退和保护救援人员安全<sup>[11]</sup>。

#### 3.1 风流短路技术

当井下进风巷道发生火灾,为避免和减少对下风侧人员和设备造成威胁和损失,可沿风流方向将巷道内着火点以后的就近风门或密闭墙打开,把烟雾及有毒有害气体直接引入回风巷道,以控制有害气体蔓延避免灾害事故扩大<sup>[12]</sup>。

以带式输送机火灾为例,正常情况下巷道通风系统如图 2 所示,主运巷和回风巷之间联络巷的风门处于关闭状态,将 2 条巷道的风流隔断。当监测系统发现主运巷烟雾传感器和 CO 传感器同时发出报警时,判定带式输送机巷发生火灾,于是通过操作监测监控系统,给相对应的监测分站发出指令,监测分站接到指令后给控制执行器发出信号,控制执行器收到监测分站发出的信号后控制风门开启,将主运巷风流引入回风巷中,此时通风系统如图 3 所示。通过远程调整带式输送机巷风流技术,将火灾的影响范围控制到最小,确保下风侧人员的安全。

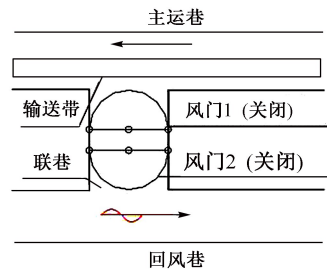


图 2 风门关闭时风流流向

Fig.2 Airflow direction when damper is closed

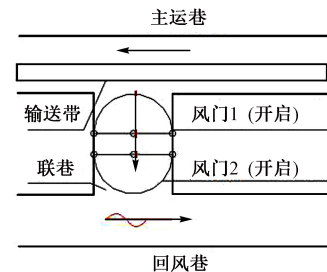


图 3 风门开启后风流流向

Fig.3 Airflow direction when damper is open

#### 3.2 矿井反风技术

处理进风井井口、井筒、井底车场、主要进风巷和硐室火灾时,应全矿井反风,将有毒有害气体直接排至地面,然后采取措施灭火<sup>[13]</sup>。反风前,必须将火源进风侧的人员全部撤出,并采取阻止火灾蔓延

的措施。多台主要通风机联合通风的矿井反风时,要保证非事故区域的主要通风机先反风,事故区域的主要通风机后反风。

当采区内发生火灾时,矿井主要通风机保持正常运行,通过调整采区内预设风门的开关状态,实现采区内巷道风流的局部反向,把火灾烟流直接引向回风巷道。以综采工作面为例,在进、回风巷与采区大巷相连的辅运绕道和风桥处分别安设风门和调节风窗。正常情况下,进风巷辅运绕道风门处于常开状态,回风巷辅运绕道风门处于常闭状态,风流由进风巷辅运绕道经工作面然后由回风巷风桥风窗回到采区回风大巷当中。当综采工作面发生外因火灾需要反风时,通过矿井监测监控系统远程将进风巷辅运绕道风门关闭并将回风巷辅运绕道风门打开,同时通过控制调节风窗通风断面实现反风。综采工作面局部反风控制系统的特点主要有:操作方便,反风时间短,反风率高,克服了采用其他方法处理进风侧火灾在时间上的延迟,可以有效地处理灾变事故,且反风前后对矿井其他区域几乎没有任何影响。

### 3.3 新型风门控风技术

上行通风巷道发生火灾时,应防止相邻的并联巷道风流发生逆转。为保持旁路风流的稳定,可在发火巷的进风侧加大风阻,以减少着火带的供氧量并控制火势。下行通风巷道发生火灾时,应防止发火风流逆转。为保持发火巷道的风流稳定,可在旁路巷道增阻<sup>[14]</sup>。图4为安设于矿井进回风巷各个关键地点的新型风门,此类风门与矿井监测监控系统关联,可实现风流远程控制。



(a) 平角风门

(b) 钝角风门

图4 新型气动风门实物

Fig.4 Physical image of a new pneumatic damper

当矿井发生外因火灾时,地面可随时通过监测监控系统远程控制新型风门的开启与关闭,精准改变巷道风流的方向、风量的大小,从而控制火灾蔓延,将损失降低到最低。该新型风门的优点在于:无需挖掘硐室,减少人力劳动,节约生产成本,减少安全事故发生;以气动代替电动,降低生产成本,保证行人车辆可以安全通过,不会因为断电原因无法通

行;无需电机、配重等部件,减少风门故障率;具有自动、手动2种启闭方式,防止停电停风时风门无法启闭的问题发生;配有门板限位装置,可以在人工开启后使门扇保持开启状态;配有防挤伤装置,防止风门开启时发生挤伤事故;配有关门缓冲器,防止风门关闭速度过快而损坏风门和门框;风压较大时将风门沿风压方向设计成钝角,能有效解决风速过大导致的风门关闭不严的问题,减低风压对风门的损坏,确保通风系统稳定可靠的运行。

### 3.4 火区封闭技术

当井下火灾范围较大,无法直接灭火或直接灭火无效时,必须采取封闭火区措施。先采取注入惰性气体等抑爆措施,然后在安全位置构筑进、回风密闭。在建造有瓦斯爆炸危险的防火墙时,应采取控风手段,尽量保持风量不变。封闭具有多条进、回风通道的火区,应当同时封闭各条通道;不能实现同时封闭的,应当先封闭次要进回风通道,后封闭主要进回风通道。加强火区封闭的施工组织管理。封闭过程中,密闭墙预留通风孔,封孔时进、回风巷同时封闭;不具备同时封闭条件时,也可采取先封闭进风侧,后封闭回风侧。检查或者加固密闭墙等工作,应当在火区封闭24 h后实施。发现已封闭火区发生爆炸造成密闭墙破坏时,应采取安全措施,实施远距离封闭。

### 3.5 压风自救技术

压风自救系统是由地面空压机、井下压风管路及工作面压风自救装置组成。在矿井主要大巷、采区大巷及各采掘工作面进回风巷实现压风自救管网全覆盖,并确保矿井压风自救装置及系统风量能够同时满足井下交接班所有人员使用。当井下发生火灾事故,造成有毒有害气体超限或人员供氧不足时,事故现场人员打开附近气压阀启动压风自救系统有效避灾。

## 4 结论

1) 煤矿多种类、高频次、强电压、大功率设备的投入使用,外因火灾致灾因素增多。长距离带式输送机摩擦起火、高压电缆及设备过热、辅助运输车辆自燃等是大型煤炭企业外因火灾关键致灾因素。

2) 煤矿外因火灾应坚持预防为主,通过完善各类保护、规范用电安全管理、保障入井车辆完好等措施提升设备安全性;通过实时监测监控、完善消防系统以强化先期处置和应急保障。

3) 煤矿外因火灾发生后,可采取风流短路、局部反风、新型风门控风、火区封闭、压风自救等应急处置技术,以灾害影响最小、高效精准处置、安全可靠为原则。

4) 煤矿外因火灾具有普遍性、多发性、严重性和处置困难性,尽管笔者提出了一些防治措施和应急处置技术,但并不全面,建议各煤矿企业结合自身实际情况,进一步研究和总结先进的适用技术。

### 参 考 文 献

- [1] 申林.煤矿外因火灾险兆事件成因及防控对策研究[D].西安:西安科技大学,2015.  
SHEN Lin. The study on causes of external fire near-miss in coal mine and its control measures[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2015.
- [2] 李文峰,郑学召.一种矿山救援应急多媒体通信技术[J].现代电子技术,2005,28(22):43-45.  
LI Wenfeng, ZHENG Xuezhao. An emergency communication technology of multimedia used in mine rescue[J]. Modern Electronics Technique, 2005, 28(22): 43-45.
- [3] 刘小杰.矿井火灾发生原因与防治技术[J].煤炭技术,2009,28(2):83-86.  
LIU Xiaojie. Reason and control technology of mine fire[J]. Coal Technology, 2009, 28(2): 83-86.
- [4] 王媛彬,马宪民.煤矿外因火灾早期探测方法研究[J].工矿自动化,2015,41(9):63-66.  
WANG Yuanbin, MA Xianmin. Research of early prediction method for exogenous fire in coal mine[J]. Journal of Mine Automation, 2015, 41(9): 63-66.
- [5] 郭喜伏,徐超.浅议通风理论与防灭火[J].煤炭技术,2001,20(2):37-39.  
GUO Xifu, XU Chao. Talking about the economic and reasonable support space of blast mining face[J]. Coal Technology, 2001, 20(2): 37-39.
- [6] 张广文.一起井下胶带输送机火灾事故的剖析与经验教训[J].煤矿安全,2001(10):46-47.
- [7] 张小翌,王德明,杨雪花.煤矿硐室电缆火灾数值模拟[J].工矿自动化,2019,45(3):52-55.  
ZHANG Xiaoyi, WANG Deming, YANG Xuehua. Numerical simulation of cable fire in coal mine chamber[J]. Journal of Mine Automation, 2019, 45(3): 52-55.
- [8] 张宇栋.基于 PLC 的胶带机运行状态监测与综合保护系统开发[J].矿业装备,2021(3):222-223.
- [9] 钟红良,郑少杰.井工煤矿火灾事故的处理[J].内蒙古煤炭经济,2023(11):94-96.
- [10] 汪腾蛟,周西华,白刚,等.煤矿火灾诱发瓦斯爆炸危险性预测[J].煤炭学报,2020,45(12):4 104-4 110.  
WANG Tengjiao, ZHOU Xihua, BAI Gang, et al. Hazard prediction of gas explosion induced by coal mine fire[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(12): 4 104-4 110.
- [11] 江成玉,李春辉,苏恒瑜.基于 GIS 的煤矿火灾救援管理系统设计[J].中国煤炭,2010,36(4):99-102.  
JIANG Chengyu, LI Chunhui, SU Hengyu. A GIS based coal mine fire control management system design[J]. China Coal, 2010, 36(4): 99-102.
- [12] 王天明.火灾时期矿井通风系统灾害演变及控灾反风对策研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2018.  
WANG Tianming. Study on the disaster evolution of ventilation system and countermeasures of mine reverse-wind for disaster control in the mine fire period[D]. Fuxin: Liaoning University of Engineering and Technology, 2018.
- [13] 李丽,陈志平,刘新,等.复杂通风网络矿井反风技术分析及其火灾应急对策[J].煤矿安全,2019,50(10):177-180.  
LI Li, CHEN Zhiping, LIU Xin, et al. Analysis of anti-wind technology with complex ventilation network mine and fire emergency countermeasures[J]. Safety in Coal Mines, 2019, 50(10): 177-180.
- [14] 王海燕,徐祚卉,徐良伟,等.矿井火灾时期火源分支巷道风阻变化趋势试验研究[J].安全与环境学报,2023,23(8):2 661-2 668.  
WANG Haiyan, XU Zuohui, XU Liangwei, et al. Experimental study on the variation law of wind resistance in branch roadway of fire source during mine fire[J]. Journal of Safety and Environment, 2023, 23(8): 2 661-2 668.

**作者简介:** 尚国银 (1985—),男,贵州毕节人,本科,高级工程师,主要从事煤矿生产技术、安全管理、灾害防治、应急管理等方面的工作。E-mail:silvershang@126.com。

