

文章编号:1671-251X(2019)03-0052-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018060049

煤矿硐室电缆火灾数值模拟

张小翌¹, 王德明¹, 杨雪花²

(1. 中国矿业大学 安全工程学院, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学 信息与控制工程学院, 江苏 徐州 221116)



扫码移动阅读

摘要:为掌握煤矿硐室电缆火灾的发展演化规律,利用FDS软件对煤矿硐室电缆火灾发展过程中烟流、一氧化碳浓度、氧气浓度、温度进行了数值模拟。结果表明:①随着煤矿硐室电缆火灾发生时间的推移,烟流会加速蔓延至整个硐室,硐室内一氧化碳浓度先升高后降低并最终趋于稳定,氧气浓度先降低后升高并最终趋于稳定,温度先上升后降低并最终趋于初始温度。②回风巷中一氧化碳浓度、氧气浓度波动剧烈,温度波动相对较小,而进风巷中一氧化碳浓度、氧气浓度、温度均未受火灾影响,因此进风巷可作为安全逃生通道。③火灾发生后60 s内,硐室中烟流蔓延范围较小且集中在硐室中上部,一氧化碳浓度、氧气浓度、温度均处于安全范围内,此时为最佳逃生时间。

关键词:煤矿火灾;硐室火灾;电缆火灾;烟流;气体浓度;温度;人员逃生

中图分类号:TD752 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20190304.1549.001.html>

Numerical simulation of cable fire in coal mine chamber

ZHANG Xiaoyi¹, WANG Deming¹, YANG Xuehua²

(1. School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: In order to master development and evolution law of cable fire in coal mine chamber, FDS software was used to simulate smoke flow, carbon monoxide concentration, oxygen concentration and temperature during development process of cable fire in coal mine chamber. The results show that: ① With increase of time of cable fire in coal mine chamber, smoke flow will accelerate to spread the whole chamber; carbon monoxide concentration increases firstly, then decreases and finally tends to be stable; oxygen concentration decreases firstly, then increases and finally tends to be stable; temperature increases firstly, then decreases and finally approaches initial temperature. ② Concentration of carbon monoxide and oxygen in return airway fluctuates violently, and temperature fluctuation is relatively small, while carbon monoxide concentration, oxygen concentration and temperature in air inlet roadway are not affected by fire, so the air inlet roadway can be used as a safe escape route. ③ Within 60 s after the fire occurs, smoke flow has a small spreading range and concentrates in middle-upper part of chamber, and carbon monoxide concentration, oxygen concentration and temperature are all within safe range. The best time to escape is within 60 s after the fire occurs.

Key words: coal mine fire; chamber fire; cable fire; smoke flow; gas concentration; temperature;

收稿日期:2018-06-25;修回日期:2019-02-25;责任编辑:盛男。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801800)。

作者简介:张小翌(1993—),男,河南舞钢人,硕士研究生,研究方向为煤矿热动力灾害,E-mail:1145708338@qq.com。

引用格式: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]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(3): 52-55.

personnel escape

0 引言

煤矿硐室电缆火灾是近年来频发的煤矿事故类型^[1-2],火灾发生后会产生大量烟雾、有毒有害气体,氧气浓度急剧下降,温度迅速升高,严重时甚至会引发瓦斯爆炸,威胁井下人员生命安全^[3-5]。因此,研究煤矿硐室电缆火灾的发展演化规律具有重要意义。煤矿硐室电缆起火发生迅速,蔓延较快,普通的破坏性试验很难真实还原煤矿硐室电缆火灾的发展过程^[6-8]。数值模拟技术的发展,为煤矿火灾研究提供了有效的技术手段^[9-12]。本文应用 FDS 软件^[13]对某矿硐室电缆火灾发生过程中烟流、一氧化碳浓度、氧气浓度、温度进行数值模拟,可为人员逃生方案制定提供理论依据。

1 三维模型建立

某矿硐室位于进风巷和回风巷之间,距离井口 260 m。为减小模拟误差,采用现场实际尺寸进行模拟^[14-15]。设置硐室长 70 m,断面尺寸为 4 m×3.5 m,进风巷、回风巷各取 100 m,建立三维模型,如图 1 所示。按照 0.25 m×0.25 m×0.25 m 网格大小划分为 332 520 个网格。在硐室中安装防火门和风门。设置火源尺寸为 1 m×1 m,火源位于距离硐室右侧风门 10 m 处,该处电缆分布密集,极易发生火灾。电缆密度为 1 380 kg/m³,比热容为 1.289 kJ/(kg·K),热导率为 0.192 W/(m·K),电缆着火时的热释放速率为 3 000 kW/m²。模型中布置一氧化碳传感器、氧气传感器和温度传感器各 20 个,分别均匀分布在进风巷、回风巷和硐室内。模型边界条件:进风巷入口处风速为 5 m/s,回风巷入口处风速为 4 m/s;硐室中防火门和风门上端均留有 1 个 1 m×1 m 的风窗,以便新鲜风流能够流入硐室;环境温度和墙体边界为默认设置。在火灾模拟前进行矿井通风模拟,结果表明,通风机启动后

需要 856 s 风流才能趋于稳定,因此在火灾模拟过程中,设定模拟时间为 1 000 s。

2 数值模拟结果及分析

2.1 烟流

硐室电缆火灾发生后,烟流在热浮力作用下向上运动,撞击顶板并形成顶板射流,然后向火源两侧蔓延,烟流蔓延过程如图 2 所示。从图 2 可看出,火灾发生 20 s 时由于火势较小,烟流仅在火源上方出现,且未向左右两侧蔓延;火灾发生 40 s 时,烟流向火源左右两侧蔓延;火灾发生 60 s 时,由于火源右侧不断有新鲜风流涌入,此时烟流明显向火源左侧蔓延;火灾发生 80 s 时,烟流蔓延范围进一步扩大,且集中在硐室右侧;火灾发生 100 s 时,烟流蔓延至硐室左侧防火门附近;火灾发生 120 s 时,烟流充满整个硐室。通过烟流分布分析可知,火灾发生后 60 s 内,硐室中烟流蔓延范围较小且集中分布在硐室中上部,因此人员应尽量在火灾发生后 60 s 内弯腰向硐室右侧逃生。

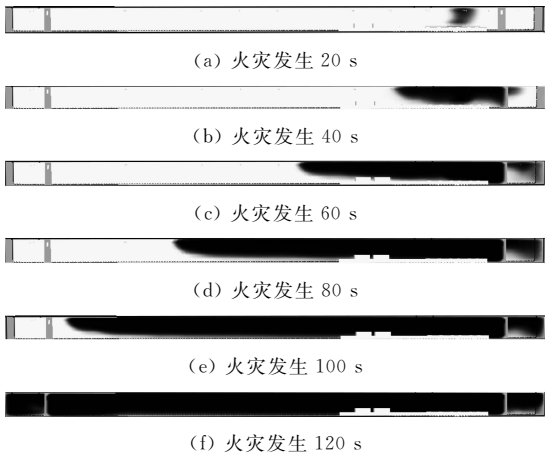


图 2 烟流蔓延过程

Fig. 2 Spread process of smoke flow

2.2 一氧化碳浓度

硐室电缆火灾发生后,一氧化碳体积分数变化曲线如图 3 所示,其中一氧化碳传感器 T2,T6,T8 分别位于火源左上方 2,5,15 m 处,T12 位于回风巷,T18 位于进风巷。从图 3 可看出,随着火灾燃烧时间的增加,T2,T6,T8 处一氧化碳体积分数均先持续升高,分别在发生火灾后 330,360,660 s 时达到最大值(分别为 0.33%,0.30%,0.28%),之后略有降低,最终分别稳定在 0.18%,0.20%,0.23%,这是由于距离火源较近处最先引燃且火灾前期燃料充足,所以距离火源较近处一氧化碳体积分数先达到最大值且数值较高,但在火灾后期,距离火源越近处燃料减少越多,导致一氧化碳体积分数较低;T12

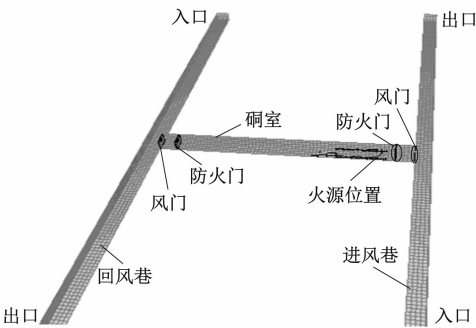


图 1 三维模型

Fig. 1 Three-dimensional model

处一氧化碳体积分数总体呈上升趋势,但有较大波动,这是由于回风巷风流相对不稳定;T18 处一氧化碳体积分数保持为 0,这是由于进风巷内有新鲜风流不断涌入,表明进风巷内没有出现反风现象,所以进风巷可作为安全逃生通道,发生火灾时硐室内人员应该立即撤离至进风巷;火灾发生后 60 s 内,硐室内各处一氧化碳体积分数均维持在 0.05% 以下,有利于人员逃生。

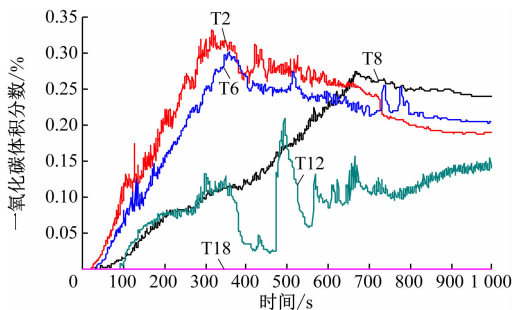


图 3 一氧化碳体积分数变化曲线

Fig. 3 Changing curve of carbon monoxide volume fraction

2.3 氧气浓度

硐室电缆火灾发生后,氧气体积分数变化曲线如图 4 所示,其中氧气传感器 T28, T30, T32 分别位于火源左上方 2, 5, 15 m 处, T33 位于回风巷, T34 位于进风巷。从图 4 可看出,随着火灾燃烧时间的增加, T28, T30, T32 处氧气体积分数先迅速下降, 分别在发生火灾后 255, 360, 670 s 时达到最小值(分别为 4%, 9.3%, 10.4%), 之后稍有回升, 最终分别稳定在 6.8%, 9.7%, 9.8%, 这是由于距离火源较近处最先引燃且火灾前期燃料充足, 导致耗氧量较大, 所以距离火源较近处氧气体积分数先达到最小值且数值较小, 但在火灾后期燃料减少, 耗氧量随之减少, 氧气体积分数有所回升; T33 处氧气体积分数变化较剧烈, 这与回风巷风流不稳定有关; T34 处氧气体积分数没有发生变化, 为 20.8%, 表明进风巷可作为安全逃生通道; 火灾发生后 60 s 内, 氧气体积分数下降较慢, 且不低于 18%, 有利于

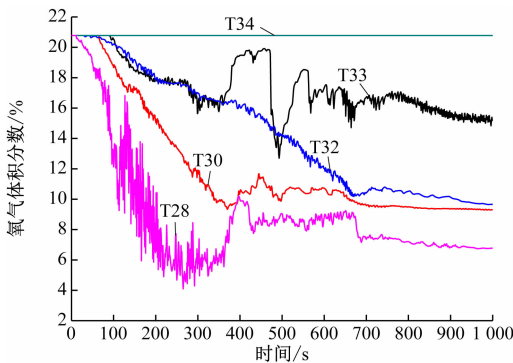


图 4 氧气体积分数变化曲线

Fig. 4 Changing curve of oxygen volume fraction

人员逃生。

2.4 温度

硐室电缆火灾发生后,温度变化曲线如图 5 所示,其中温度传感器 T35, T38, T40 分别位于火源左上方 2, 5, 15 m 处, T42 位于回风巷, T45 位于进风巷。从图 5 可看出,随着火灾燃烧时间的增加, T35, T38, T40 处温度在火灾发生约 300 s 时先达到最大值(分别为 385, 243, 185 °C), 之后逐渐下降并最终趋于初始温度 23 °C, 这是由于火灾后期氧气浓度不足以支撑持续剧烈燃烧; T42 处温度变化相对较小, 这与回风巷风速较大从而带走热量有关; T45 处温度没有发生变化, 为 23 °C, 表明进风巷可作为安全逃生通道; 火灾发生后 60 s 内, 温度上升较慢, 基本在 50 °C 以下, 有利于人员逃生。

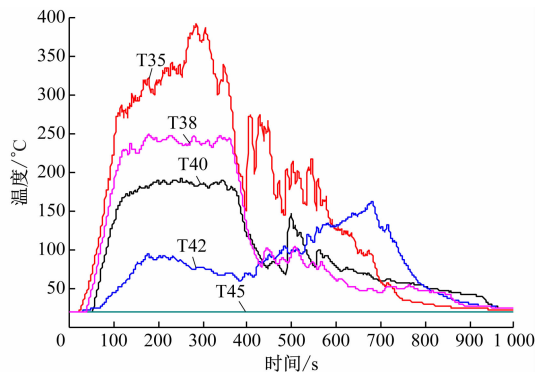


图 5 温度变化曲线

Fig. 5 Changing curve of temperature

3 结论

(1) 随着煤矿硐室电缆火灾发生时间的推移, 烟流会加速蔓延至整个硐室; 硐室内一氧化碳体积分数迅速升高后略有降低, 并最终趋于稳定; 硐室内氧气体积分数迅速降低后稍有升高, 并最终趋于稳定; 硐室内温度急剧上升后逐渐降低, 并最终回到初始温度。

(2) 随着煤矿硐室电缆火灾发生时间的推移, 回风巷中一氧化碳体积分数、氧气体积分数变化剧烈, 而温度变化相对较小; 进风巷中一氧化碳体积分数、氧气体积分数、温度均没有发生变化, 因此进风巷可作为安全逃生通道。

(3) 火灾发生后 60 s 内, 烟流蔓延范围较小且集中在硐室中上部, 一氧化碳体积分数小于 0.05%, 氧气体积分数大于 18%, 温度小于 50 °C, 此时为最佳逃生时间, 硐室内人员应弯腰迅速逃生。

参考文献 (References):

[1] 于敏影. 煤矿井下电缆火灾事故及预防措施[J]. 中国科技博览, 2013(16): 175.

- [2] 李荣胜. 煤矿井下电缆火灾事故的原因及预防[J]. 中国科技纵横, 2012(16):129.
- [3] 吴钰晶, 袁庆国, 宋占松. 浅析煤矿井下电缆着火事故原因及其防范措施[J]. 煤炭工程, 2010, 42(12): 53-54.
WU Yujing, YUAN Qingguo, SONG Zhansong. Analysis on power cable firing accident cause and prevention measures in underground mine[J]. Coal Engineering, 2010, 42(12): 53-54.
- [4] 陈杰. 对煤矿用电缆火灾事故的思考[J]. 煤矿安全, 2011, 42(2): 133-134.
CHEN Jie. Reflection on mine electric cable fire accident[J]. Safety in Coal Mines, 2011, 42(2): 133-134.
- [5] 孙继平. 煤矿事故特点与煤矿通信、人员定位及监视新技术[J]. 工矿自动化, 2015, 41(2): 1-5.
SUN Jiping. Characteristics of coal mine accidents and new technologies of coal mine communication, personnel positioning and monitoring[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(2): 1-5.
- [6] 邓建忠, 杨旭彬, 侯旭斌. 煤矿电缆常见故障查找实践[J]. 煤, 2015, 24(12): 41-42.
- [7] 肖国清, 温丽敏, 张培红, 等. 煤矿火灾后果动态模拟研究[J]. 煤炭学报, 2001, 26(5): 512-515.
XIAO Guoqing, WEN Limin, ZHANG Peihong, et al. Dynamic imitation study on fire effect in coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(5): 512-515.
- [8] 李政琦. 电线电缆火灾及阻燃处理[J]. 电子技术与软件工程, 2018(4): 234.
- [9] 王凯, 蒋曙光, 张卫青, 等. 矿井火灾应急救援系统的数值模拟及应用研究[J]. 煤炭学报, 2012, 37(5): 857-862.
WANG Kai, JIANG Shuguang, ZHANG Weiqing, et al. Numerical simulation and application research of mine fire emergency rescue system[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(5): 857-862.
- [10] 李宛鸿, 胡洋, 朱锴, 等. 矿井火灾和冲击波传播特性数值模拟及实验研究[J]. 煤炭技术, 2017, 36(11): 211-213.
LI Wanhong, HU Yang, ZHU Kai, et al. Numerical simulation and experimental study on characteristics of fire and shock wave propagation in coal mine[J]. Coal Technology, 2017, 36(11): 211-213.
- [11] 王伟峰, 马砺, 王刘兵, 等. 矿井带式输送机火灾蔓延规律数值模拟研究[J]. 煤矿安全, 2017, 48(4): 40-43.
WANG Weifeng, MA Li, WANG Liubing, et al. Numerical simulation of spreading laws of coal mine belt conveyor fire[J]. Safety in Coal Mines, 2017, 48(4): 40-43.
- [12] 张圣柱, 程卫民, 张如明, 等. 矿井胶带巷火灾风流稳定性模拟与控制技术研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(5): 812-817.
ZHANG Shengzhu, CHENG Weimin, ZHANG Ruming, et al. Stability simulation and control technology of airflow during fire in mine belt roadway[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(5): 812-817.
- [13] 赵云龙, 王飞, 刘红威, 等. 矿井机电硐室火灾的 FDS 模拟与分析[J]. 煤矿安全, 2018, 49(12): 181-184.
ZHAO Yunlong, WANG Fei, LIU Hongwei, et al. FDS simulation and analysis of mine electromechanical chamber fire[J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(12): 181-184.
- [14] 文虎, 张铎, 郑学召. 煤矿平巷火灾数值模拟及其特征参数研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(4): 62-67.
WEN Hu, ZHANG Duo, ZHENG Xuezhaohao. Study on numerical simulation and feature parameters of fire disasters occurred in mine roadway[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(4): 62-67.
- [15] 席健, 吴宗之, 梅国栋. 基于 ABM 的矿井火灾应急疏散数值模拟[J]. 煤炭学报, 2017, 42(12): 3189-3195.
XI Jian, WU Zongzhi, MEI Guodong. Numerical simulation of emergency evacuation during mine fire based on ABM[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(12): 3189-3195.