

实验研究

文章编号: 1671- 251X(2011)03- 0022- 04

DOI: CNKI: 32- 1627/ TP. 20110226. 1616. 011

# 矿井巷道火灾烟流运动理论研究

王文才, 乔旺, 李刚, 王瑞智

(内蒙古科技大学矿业工程学院, 内蒙古 包头 014010)

**摘要:**煤矿井下发生火灾时会产生大量有毒有害的高温烟流,这些烟流沿着井下巷道流动,对井下工作人员及设备构成严重威胁。针对该问题,研究了倾斜巷道和水平巷道的火灾烟流的运动规律:当火灾发生在上行通风巷道中时,由于火风压和浮力效应的作用,火灾烟流将向火区的下游流动;当火灾发生在下行通风巷道中时,在火灾初期,火风压较小,火灾烟流沿着巷道风流的方向向下运动,随着火势的发展,火风压不断增大,当上游的风速低于临界风速时,火灾烟流向新鲜风流方向流动;在水平巷道火灾前期,节流效应作用不明显,火灾烟流向新鲜风流方向流动,随着火势的发展,节流效应作用增大,当节流效应值和巷道的通风阻力值一样大时,火灾烟流将逆流。该文对巷道火灾的救灾工作具有一定的指导作用。

**关键词:**矿井;巷道火灾;烟流;火风压;临界风速;节流效应

**中图分类号:** TD672   **文献标识码:**A   **网络出版时间:**2011- 02- 26 16: 16

**网络出版地址:**<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110226.1616.011.html>

Research of Movement Theory of Fire Smoke Flow of Mine Roadway

WANG Wen-cai, QIAO Wang, LI Gang, WANG Rui-zhi

(School of Mining Engineering of Inner Mongolia University of Science and Technology,  
Baotou 014010, China)

**Abstract:** A lot of poisonous and harmful smoke flow with high temperature will be produced when there is a fire in coal mine underground. The smoke flow will move along mine roadway and have serious danger for underground personnel and devices. So the paper researched movement rule of fire smoke flow of inclined roadway and horizontal roadway: when fire happens in upstream ventilating roadway, fire smoke flow will move downstream of fire area because of functions of fire pressure and buoyancy effect; when fire happens in downstream ventilating roadway, fire pressure is smaller at early stage of fire, so fire smoke flow will move downward along direction of air flow of roadway; with increasing of fire, fire pressure increases constantly, fire smoke flow will move along direction of fresh air flow when air speed of upstream is lower than critical air speed; function of throttling effect is not obvious at early stage of fire in horizontal roadway, fire smoke flow will move along direction of fresh air flow; with increasing of fire, function of throttling effect increases, fire smoke flow will make reverse movement when value of throttling effect is as big as value of ventilating resistance of roadway. The paper has certain guiding

收稿日期: 2010- 10- 25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51064018), 内蒙古自治区自然科学基金资助项目(2009MS0709), 内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJ10093)

作者简介: 王文才(1963- ), 男, 内蒙古伊金霍洛旗人, 教授, 硕士研究生导师, 博士, 现从事安全工程及矿业技术经济的教学与研究工作。E-mail: wencai88888@yahoo.com.cn

function for relief work of fire of roadway.

**Key words:** mine, fire of roadway, smoke flow, fire pressure, critical air speed, throttling effect

## 0 引言

煤矿井下开采环境差、空间狭小封闭,一旦发生火灾事故,火灾产生的有毒有害气体烟流和高温气体很难自然排除,这些浓烟和热气会很快在井下巷道蔓延,对井下工作人员及设备构成严重威胁。由于井下条件有限,火灾一般燃烧不充分,会产生大量有毒有害的高温烟流。这些烟流沿着井下巷道流动,充满烟流的巷道光线模糊不清,使井下受威胁人员很难在短时间内作出正确判断并选择出安全的逃生路线<sup>[1]</sup>。大部分火灾伤亡者多因烟气毒害所致,其中因一氧化碳中毒窒息死亡或被其它有毒烟气熏死者占火灾总死亡人数的 40% ~ 50%<sup>[2]</sup>。在井下火灾的救援与逃生时,充分掌握火灾烟流的流动方向能够帮助人员逃生与救灾工作安全、快速、有效地进行。本文主要研究矿井巷道火灾烟流的流动方向。

## 1 火灾烟流运动理论

矿井火灾中的烟气是由燃烧材料燃烧释放出的水蒸气、有毒气体、燃烧材料燃烧不充分产生的未燃物质以及混入到烟流中的空气等组成的。由于在不同环境中受到节流效应、浮力效应、火风压等不同作用的影响,火灾烟流的运动状态在不同的巷道、不同的风速、不同的环境下是有差异的。火灾过程中释放出大量的热量,使燃烧产生的烟流以及火源附近的空气受热,从而使这些气体体积增大,相对于周围未受热的空气来说,受热的空气密度低于未受热的空气密度,产生局部密度差别,进而引起重力差,产生浮力效应和局部压强梯度现象。这些作用使受热的烟流和空气上升,未受热的空气下降,形成局部空气对流。由于巷道具有一定的高度,在巷道的同一断面纵向通风的条件下,当巷道内风速达到某一数值时,巷道内会出现受热的烟流和空气上升、按逆向风流方向流动、新鲜风流沿巷道底部流向火源的现象,即火灾烟流的逆流分层现象<sup>[3]</sup>。

### 1.1 倾斜巷道火灾烟流运动规律

火风压是指当火灾发生在倾斜巷道中时,燃烧物释放出来的大量热能转换成对烟流和空气作功的机械能,对井巷风流产生的附加风压。火风压是一种自然风压,其作用原理犹如在巷道内安设一部

通风机,由于火风压的作功方向总是向上的,当火灾发生在倾斜的上行通风的巷道中时,火风压的作功方向和主要通风机作功方向是一致的;相反,当火灾发生在倾斜下行通风的巷道中时,火风压的作功方向与主要通风机作功方向相反<sup>[4]</sup>。

火风压可造成井下巷道风流的紊乱,当火灾较大时,火风压的能量也将增大,这时的火风压可能造成井下风流逆转现象(火风压对井下通风网络的作用非常明显)。因此,研究火风压对于研究井下巷道烟流运动状况非常重要。

#### 1.1.1 火风压的计算

火风压可以简单理解为密度变化引起的竖直向上的浮力和,是巷道中自然风压的增加部分。产生火风压必须同时具备 2 个条件:(1) 火灾必须发生在具有一定高差的巷道中;(2) 风流密度必须发生变化。取巷道内空气的平均密度为  $1.25 \text{ kg/m}^3$ ,由火风压的定义可得火风压的表达式为<sup>[5]</sup>

$$H_{\text{火}} = 1.25Z \frac{t_2 - t_1}{273 - t_2}$$

式中:  $H_{\text{火}}$  为火风压, Pa;  $Z$  为火灾烟流流经巷道的标高差, m;  $t_1$  为火灾前的巷道温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_2$  为火灾后的巷道温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

当巷道采用下行通风方式时,火灾烟流流经巷道的标高差  $Z$  为负值,这时火风压的作用与通风机的作用相反,火风压将阻碍矿井的通风;当巷道采用上行通风方式时,火灾烟流流经巷道的标高差  $Z$  为正值,这时火风压的作用与通风机的作用相同,火风压将有助于矿井的通风。

#### 1.1.2 上行通风烟流运动规律

当火灾发生在倾斜上行通风巷道中时,由于火风压和浮力效应的作用,火灾烟流将向火区的下游流动,如图 1 所示,火灾烟流将在火区下游的巷道中蔓延,并污染火区下游的巷道,威胁火区下游作业人员的生命安全。

#### 1.1.3 下行通风烟流运动规律

当火灾发生在倾斜下行通风巷道中时,由于火风压作用力向上,火风压阻碍巷道的通风,这时巷道内烟流运动规律将分为以下 2 种情况:在火势发展的初期,由于火势小,火区烟流的温度较低,火风压较小,这时通风压力作用大于火风压的反作用,巷道火灾烟流的运动依然是沿着巷道风流的方向向下运动,如图 2 所示;随着火区火势的不断发展,火区烟

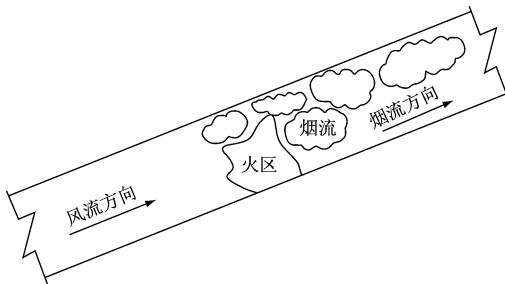


图 1 倾斜上行通风巷道火灾烟流流动示意图

流的温度不断升高, 火风压不断增大, 这时火区上游的风速慢慢降低, 当上游风速低于临界风速时, 通风压力的作用小于火风压的反作用, 这时巷道火灾烟流向新鲜风流方向流动, 如图 3 所示, 从而使烟流向火区上游未污染区弥漫, 直接危及上游作业人员的生命安全。

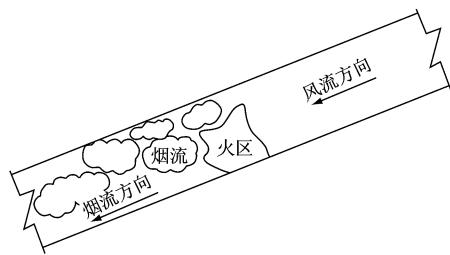


图 2 倾斜下行通风巷道火灾初期烟流运动示意图

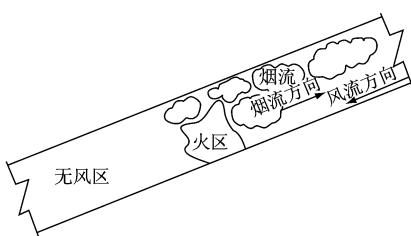


图 3 倾斜下行通风巷道火灾火势最大时烟流运动示意图

为了能够有效控制火灾烟流的运动, 定义一个临界风速, 当巷道风速高于这个风速时, 巷道内逆流的火灾烟流消失, 火灾烟流沿巷道向火区下游蔓延; 当巷道风速低于这个风速时, 火灾烟流运动将会发生逆转, 火灾烟流沿火区上游的巷道蔓延。在井下发生火灾时, 根据需要来调节巷道风速, 能够有效地增加火区上、下游作业人员的逃生时间, 避免临界烟流在井下巷道内大面积扩散。因此, 研究抑制临界烟气逆流的临界纵向风速具有重要的工程意义。

结合水力直径的概念, 总结出临界风速的预测公式为<sup>[6]</sup>

$$\left\{ \begin{array}{l} v''_c = 0.40 \times (0.20)^{-1/3} (Q'')^{1/3} \quad Q'' \leq 0.20 \\ v''_c = 0.40 \quad Q'' > 0.20 \end{array} \right.$$

式中:  $v''_c$ 、 $Q''$  分别为无量纲的临界风速和无量纲的热释放速率。

$$Q'' = \frac{Q}{\rho_a T_a C_p g^{1/2} H}$$

$$v''_c = \frac{v_c}{\sqrt{gH}}$$

式中:  $Q$  为燃烧物的热释放速率, kW;  $\rho_a$  为巷道空气的平均密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $T_a$  为火区周围的空气温度, K;  $C_p$  为空气比热,  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;  $g$  为重力加速度,  $\text{m/s}^2$ ;  $H$  为巷道水力直径, m;  $v_c$  为临界风速, m/s。

### 1.2 水平巷道火灾烟流运动规律

当火灾发生在水平或者近似水平的巷道中时, 由于火灾烟流流经巷道的标高差为零或者几乎为零, 因此, 火风压不会发生在水平巷道火灾中。影响水平巷道火灾烟流运动的主要原因是发生火灾时的节流效应。

在水平巷道火灾过程中, 由于火区的燃烧物和火焰占有一定的空间, 风流流过巷道的有效过流断面面积减小, 加之火区附近空气受热膨胀, 火区附近的阻力比火区上游巷道的阻力明显增大, 火区形成了一个局部阻力, 这个局部阻力就像在巷道内安装一部局部调节风窗, 增大了该段巷道的阻力, 影响巷道内的烟流流动。这种由于风流受热体积增大以及燃烧物和火焰减小烟流在巷道内的流动空间而产生的阻碍烟流流动的局部阻力, 称之为火灾烟流的节流效应。

巷道火灾产生的节流效应烟流阻力  $H_t$  的计算公式为<sup>[7]</sup>

$$H_t = 0.5 \rho [v_1^2 (M_K - 1) + gH \cos \beta (1 - M_K)]$$

式中:  $\rho$  为火灾前的风流密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $v_1$  为火灾前的风流速度,  $\text{m/s}$ ;  $M_K$  为火灾燃烧生成物的相对变化量,  $M_K = T_1/T_0$ ,  $T_0$ 、 $T_1$  分别为火灾前与火灾时的巷道内温度;  $H$  为巷道高度, m;  $\beta$  为巷道坡度。

在水平巷道火灾前期, 由于火势较小, 烟流温度较小, 节流效应作用不明显, 火灾产生的烟流依然按照原风流路线运动, 火灾烟流将逐渐蔓延火灾下流的空间, 如图 4 所示; 随着火势的发展, 火区温度升高, 节流效应作用增大, 这时的火区犹如一个在巷道中敷设的柔性风障, 加大了巷道的通风阻力; 随着节流效应的逐渐增大, 火灾巷道的通风阻力也随着逐渐增大, 火灾巷道风速逐渐减小, 当节流效应值和巷道的通风阻力值一样大时, 火灾巷道的风速几乎为零, 这时的火灾烟流将逆流, 如图 5 所示, 火灾烟流将污染火区上游的巷道, 威胁火区上游作业人员的生命安全。

文章编号: 1671- 251X(2011)03- 0025- 04

DOI: CNKI: 32- 1627/ TP. 20110226. 1619. 012

# 一种改进的光伏阵列最大功率点跟踪方法

徐瑞东, 胡义华, 陈昊, 左兰

(中国矿业大学信电学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:** 针对光伏阵列最大功率点跟踪常用的控制方法即恒压法、扰动观察法、增加电导法存在的问题, 提出了一种将恒压法和扰动观察法相结合的快速最大功率点跟踪控制方法。该方法采用恒压法获取光伏阵列最大功率点处的近似电压, 然后根据光伏阵列的输出电压与该近似电压的差值确定扰动步长: 如果差值较大, 则表明光伏阵列工作点离最大功率点比较远, 应采用较大的步长; 如果差值较小, 应采用较小的步长, 从而减小功率振荡。仿真和实验结果表明, 该方法不仅可快速跟踪光伏阵列的最大功率点, 而且可有效减小功率振荡。

**关键词:** 光伏阵列; 最大功率点跟踪; 恒压法; 扰动观察法; 增加电导法; 功率振荡; MPPT

**中图分类号:** TM914.4      **文献标识码:** A      **网络出版时间:** 2011- 02- 26 16:19

**网络出版地址:** <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110226.1619.012.html>

## An Improved Method of MPPT of Photovoltaic Array

XU Ruidong, HU Yihua, CHEN Hao, ZUO Lan

(School of Information and Electrical Engineering of CUMT., Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** In view of problems existed in common control methods of constant voltage method,

收稿日期: 2010- 11- 25

基金项目: 中国矿业大学青年基金资助项目(OC080249)

作者简介: 徐瑞东(1979-), 男, 江苏启东人, 讲师, 博士研究生,

主要研究方向为电力电子技术。E-mail: ruidongxu@163.com



图4 水平巷道火灾初期烟流运动示意图

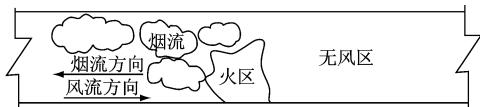


图5 水平巷道火灾火势最大时烟流运动示意图

## 2 结语

结合火风压、节流效应、临界风速对巷道火灾的影响, 总结了倾斜巷道和水平巷道的火灾烟流的运动方向, 可用于指导巷道火灾的救灾工作。另外, 当巷道发生火灾时, 井下工作人员应保持冷静, 根据火势的发展状况, 避开烟流和高温区, 规划出正确的逃生路线。

## 参考文献:

- [1] 卢平, 丛北华, 廖光煊. 纵向通风水平隧道火灾烟气流动特性研究[J]. 中国工程科学, 2004, 6(10): 59-64.
- [2] 陈伟红, 张磊. 地下建筑火灾中的烟气控制及烟气流动模拟研究进展[J]. 消防技术与产品信息, 2004(10): 6.
- [3] 闫治国, 朱合华, 杨其新. 火灾时隧道火风压及其对通风影响的试验研究[J]. 同济大学学报, 2006, 34(12): 1592-1596.
- [4] 郭江炜, 宋双林, 于玥. 倾斜隧道火区阻力构成特性的研究[J]. 消防科学与技术, 2008, 27(3): 170-172.
- [5] 褚燕燕, 蒋仲安. 矿井巷道火灾烟气运动模拟研究[J]. 矿业安全与环保, 2007, 34(5): 13-26.
- [6] 袁建平, 方正, 黄海峰, 等. 水平隧道火灾通风纵向临界风速模型[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(6): 66-70.
- [7] 郭春, 王明年, 周仁强. 公路隧道火灾中火区节流效应理论及试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2009, 35(2): 258-261.