

矿井火灾 灭火救援技术与案例

主 编 谭 波

副主编 李 峰



 煤炭工业出版社

矿井火灾灭火救援技术与案例

主 编 谭 波
副主编 李 峰

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井火灾灭火救援技术与案例/谭波主编. --北京:
煤炭工业出版社, 2015

ISBN 978-7-5020-4858-7

I. ①矿… II. ①谭… III. ①矿井火灾—矿山灭火
IV. ①TD75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 081384 号

矿井火灾灭火救援技术与案例

主 编 谭 波
责任编辑 闫 非
编 辑 郝 岩 彭 竹
责任校对 姜惠萍
封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室)
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 煤炭工业出版社印刷厂

经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 12¹/₄ 字数 286 千字

版 次 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

社内编号 7378 定价 48.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书主要围绕案例介绍了矿井火灾基本概念、矿井火灾对风流影响、矿井火灾时期风流控制技术、矿井灭火方法与火区管理启封方法、井下不同地点火灾处置技术等。

本书既可供高等院校相关专业师生使用，也可供煤矿职工培训、科研及工程技术人员参考。

前 言

矿井火灾是煤矿重大灾害之一，矿井火灾释放出大量的有毒有害气体及烟流，由于空间受限，火灾气体的扩散区域较小且扩散通路集中，极易引起工作人员中毒、窒息；而且矿井火灾还能造成矿井通风系统紊乱，导致正常风流发生较难控制的逆转，严重威胁煤矿的安全生产、造成巨大的资源损失和环境污染；矿井火灾甚至有可能诱发瓦斯爆炸事故，酿成更大灾害。

本书通过大量案例讲解矿井火灾发生后如何分析风流运动规律、控制风流运动方向、选取合适灭火技术及救援技术等。

本书由中国矿业大学（北京）谭波担任主编、李峰担任副主编。书中引用了中国矿业大学（北京）同事及研究生的资料，参考了国内同行发表的相关论著，例如，李学诚等编著的《矿山救护培训教材》，在此向他们表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中可能存在缺点和疏漏，恳请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 2 月

目次

第一章 矿井火灾概述	1
第一节 矿井火灾发生条件及原因	1
第二节 矿井火灾分类及其特征	2
第三节 矿井火灾的危害	5
第二章 矿井火灾对风流流动状态影响	6
第一节 矿井火灾产生的风流紊乱现象	6
第二节 风流紊乱现象危害	7
第三节 不同巷道发生火灾对风流状态影响	8
第四节 节流效应和浮力效应近似计算方法	10
第五节 火灾时期风流紊乱案例	13
第三章 矿井火灾时期风流控制技术	19
第一节 主要通风机控制风流方法与案例	19
第二节 井下风流控制方法与案例	23
第三节 局部通风调压技术与案例	34
第四章 矿井灭火方法与火区管理启封方法	46
第一节 直接灭火方法	46
第二节 隔绝防灭火方法	50
第三节 封闭火区内燃烧和爆炸危险性判断	60
第四节 封闭火区管理与启封技术	72
第五章 井下不同地点火灾处置技术	77
第一节 矿井火灾定位技术	77
第二节 灭火方法选择技术	82
第三节 矿井火灾灾区侦察技术	84
第四节 选定救护基地技术	85
第五节 保护井下人员的安全措施	86
第六节 不同地点火灾处理技术与案例	87

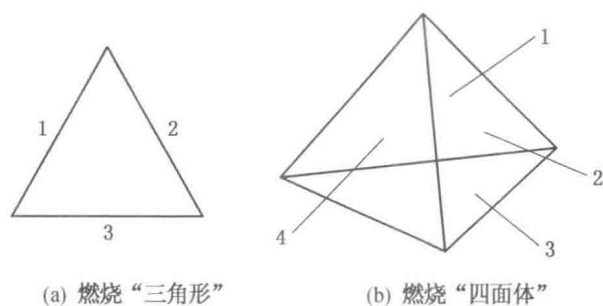
第六章 矿井火灾事故案例.....	109
第一节 煤炭自燃火灾案例.....	109
第二节 外因火灾事故案例.....	134
第三节 火灾与爆炸相互转化事故案例.....	165
第四节 近年我国矿井火灾事故案例统计.....	181
参考文献.....	188

第一章 矿井火灾概述

矿井火灾是指在矿井地面或井下发生的威胁矿井安全生产、形成灾害的一切非控制燃烧。矿井火灾是煤矿主要灾害之一，矿井火灾发生后，火势发展迅猛，产生大量有毒有害气体，变化复杂，影响范围广，往往影响正常生产。严重的火灾可能烧毁煤炭资源和矿井设备；更为严重的则可能引燃瓦斯煤尘爆炸或造成通风系统紊乱，酿成人员伤亡的重大恶性事故。另外，由于火灾的复杂性，致使制定救灾决策极为困难。尽管当前矿井防灭火技术已有很大发展，但是仍旧难以杜绝矿井火灾的发生。因此，必须做好矿井的防灭火工作，以保证生产的安全进行。

第一节 矿井火灾发生条件及原因

矿井火灾属于燃烧，燃烧必须满足燃烧“三要素”（也称燃烧“三角形”），即可燃物（还原剂）、引火源（热源）和助燃物（氧化剂），如图1-1a所示。



1—可燃物；2—引火源；3—助燃物；4—链反应

图1-1 燃烧“三角形”与燃烧“四面体”

1. 可燃物

在矿井中，煤炭本身就是一种大量且普遍存在的可燃物；另外，在进行生产的过程中产生的大量煤尘、瓦斯以及使用的坑木、机电设备、炸药、油料等物质都存在可燃性，它们的存在是火灾发生的基本元素。

2. 引火源

热源是煤矿井下火灾发生的必要因素，只有具备足够热量的热源才能引起可燃物质的燃烧。在矿井中，煤炭的自燃、瓦斯煤尘燃烧与爆炸、爆破、机械摩擦产生的热量，电流短路、电气设备运转不良产生的过热，吸烟、焊接及其他明火都可能引起火灾。

3. 助燃物

燃烧是一种发热、发光，同时伴有烟雾产生的剧烈氧化反应。任何可燃物尽管有足够热量的热源，如果缺乏足够浓度的氧气，燃烧是难以持续的，所以氧气的供给也是燃烧必不可少的基本条件。实验证明：在氧气浓度为3%的空气环境中，任何可燃物的燃烧都不能维持；在氧气浓度低于12%的空气环境中，瓦斯失去爆炸性；在氧气浓度低于14%的空气环境中，蜡烛也不能燃烧。所以，这里所说的供氧源为正常含氧量的空气，而不是贫氧的空气。

矿井防灭火措施的目的是除去燃烧的全部或部分条件。燃烧除要求上述“三要素”外，还要求可燃物、助燃物和热源应具备一定数量、浓度或能量。

燃烧不仅必须具备必要条件（“三要素”），而且以上条件必须相互结合、相互作用，燃烧才会发生和持续；否则，燃烧也不能发生。

近年来，提出燃烧“四面体”的概念（图1-1b），即除上述3个基本燃烧要素外，还存在链反应要素，它存在于某些燃烧过程中，尤其是火焰前沿的自由基连锁反应，由于其反应速度极快，从而控制着火的增长速度。

链引发需要具有一定能量的引燃能源，低于595℃的热源不能使瓦斯与空气的混合气体燃烧。一定数量或浓度的燃料（可燃物）、充足的供氧及具备一定能量的热源是燃烧的充分必要条件。

基于中断燃烧中链增长反应原理而发明的新型灭火剂和阻燃剂具有更好的灭火效果，从而支持了链反应是燃烧过程的基本要素的新观点。

第二节 矿井火灾分类及其特征

为了正确地分析火灾发生的原因、发展的规律以及有针对性地制定防灭火的对策，进行矿井火灾分类很有必要。目前，一般可根据火灾发生地点、引火源、氧气富裕情况等，将矿井火灾归纳成以下若干类型。

一、地面火灾和井下火灾

根据火灾发生地点不同可分为地面火灾和井下火灾。

1. 地面火灾

地面火灾是指发生在矿井工业广场范围内地面上的火灾。地面火灾发生地点有行政办公楼、井口楼、选煤楼、贮煤场、矸石山等。

地面火灾的特点：外部征兆明显，易于发现，空气供给充分；燃烧完全，不完全燃烧产生的有毒气体发生源较少；地面空间宽阔，烟雾易于扩散，便于救灾。

2. 井下火灾

井下火灾是指发生在井下的火灾以及发生在井口附近而威胁到井下安全、影响安全生产的火灾。井下火灾发生地点有井口房、井筒、井底车场、机电硐室、爆炸材料库、进回风大巷、采区变电硐室等。

井下火灾的特点：因井下空气供给有限，难以完全燃烧，有毒有害烟雾大量产生，随

风流到处扩散,毒化矿井空气、威胁工人生命安全;有瓦斯和煤尘爆炸危险性矿井,还可能引起爆炸,酿成重大恶性事故。

二、上行风流火灾、下行风流火灾和进风流火灾

井下火灾按其发生地点及对矿井通风系统的影响又可分为上行风流火灾、下行风流火灾和进风流火灾三类。

1. 上行风流火灾

上行风流是指沿倾斜或垂直井巷、采煤工作面自下而上流动的风流,即风流由标高的低点向高点流动。发生在这种风流中的火灾,称为上行风流火灾。发生上行风流火灾时,因热力作用而产生的火风压,其作用方向与风流方向一致,亦即与矿井主要通风机风压作用方向一致。在这种情况下,它对矿井通风系统影响的主要特征是,主干风路(从进风井流经火源到回风井)的风流方向一般是稳定的,即具有与原风流相同的方向,烟随风流排出;而所有其他与主干风路并联或者在主干风路火源后部汇入的旁侧支路风流,其方向不稳定,甚至可能发生逆转,形成风流紊乱事故。因此,所采取的防火措施应力求避免发生旁侧支路风流逆转。

2. 下行风流火灾

下行风流是指沿倾斜或垂直井巷、采煤工作面自上而下流动的风流,即风流由标高的高点向低点流动。发生在这种风流中的火灾,称为下行风流火灾。发生下行风流火灾时,火风压的作用方向与矿井主要通风机风压的作用方向相反。因此,随火势的发展,主干风路中的风流很难保持其正常的原有流向。当火风压增大到一定程度,主干风路的风流将会反向,烟流随之倒退,造成风流紊乱。

发生下行风流火灾时,通风系统的风流由于火风压作用所造成的风流状态变化,要比发生上行风流火灾时复杂得多,因此,其危害性更大,且防治技术难度大。

3. 进风流火灾

进风流火灾是指发生在进风井、进风大巷或采区进风风路内的火灾。之所以要区别出此类别的火灾,主要是由于其特征、对井下职工的危害以及需要采取的灭火技术措施更大程度上不同于上、下行风流火灾。发生在进风风流内的煤自燃火灾,一般不易早期发现,而发生后又因供氧充足,发展迅猛,不易控制。井下采掘人员又大都处于下风流中,极易遭受高温火烟的危害,造成伤亡事故。对于这种火灾,除根据发火风路的结构特性(上行或下行)使用相应的控制技术措施外,更应根据进风流的特点,使用适应这种火灾防治的技术措施,如全矿、区域性或局部反风等。

三、外因火灾和内因火灾

在煤矿中,通常根据引火热源不同将矿井火灾分成外因火灾和内因火灾两类。

1. 外因火灾

外因火灾是指由于外来热源(如瓦斯煤尘爆炸、爆破作业、机械摩擦、电气设备运转不良、电源短路以及其他明火、吸烟、烧焊等)引起的火灾。

外因火灾的特点:突然发生、来势迅猛,如果不能及时发现和控制,往往酿成重大事

故。在矿井火灾的总数中,外因火灾所占比重虽然较小(4%~10%),但不容忽视。据统计,国内有记载的重大恶性火灾事故,90%以上属于外因火灾。外因火灾多发生在井口房、井筒、机电硐室、爆破材料库以及安装有机电设备的巷道或工作面内。火灾的火焰一般是在燃烧物的表面,如果及时发现和扑救,还是容易熄灭的。

2. 内因火灾

内因火灾或称煤的自燃火灾(自燃)是指煤炭在一定条件下,如破碎的煤柱和煤壁、集中堆积的浮煤、采空区遗煤等,在有适度风量的供给条件下,自身发生物理化学变化、吸氧、氧化、发热、热量聚集导致着火而形成的火灾。

内因火灾的发生往往伴有一个蓄热过程,根据预兆能够早期予以发现。但火源隐蔽,经常发生在人们难以进入的采空区或煤柱内,要想准确地找到火源确非易事,以致火灾可以持续数月、数年,甚至数十年之久。有时燃烧的范围逐渐蔓延扩大,烧毁大量煤炭资源。

四、富氧燃烧火灾和富燃料燃烧火灾

矿井火灾根据燃烧环境(氧气与燃料)、燃烧生成物组分和浓度进行分类,分为富氧燃烧火灾和富燃料燃烧火灾。

1. 富氧燃烧火灾

富氧燃烧火灾是供氧充分的燃烧,具有与地面火灾相似的燃烧和蔓延机理,又称为非受限燃烧或燃料控制型燃烧。

2. 富燃料燃烧火灾

富燃料燃烧火灾是供氧不足的燃烧,又称受限火灾或通风控制型火灾。在地面火灾中,由于此类火灾仅发生在一些空间受限或通道断面较小的情况下,故也称为受限火灾。基于其下风侧烟气氧浓度接近零的特征,一般称之为富燃料类火灾或贫氧类火灾。其下风侧烟流常为高温预混可燃气体,与旁侧新鲜风流交汇后,易形成新的火源点,这种形成多个再生火源的现象称为火源发展的“跳蛙”现象,即多个间断火源点就像青蛙跳跃落脚点一样。再生火源的出现增大了预混气体进入火源引起爆炸的概率并加快了火灾蔓延的速度。

富氧燃烧火灾和富燃料燃烧火灾的基本特性见表1-1。

表1-1 富氧燃烧火灾和富燃料燃烧火灾的基本特性

分 类	富氧燃烧(非受限火灾)	富燃料燃烧(受限火灾)
基本特征	燃料不足、供氧多	燃料多、供氧不足
特 点	火源范围小,火势小,蔓延慢	火源范围大,火势大,蔓延快
	耗氧少,剩余氧多(15%左右)	耗氧多,剩余氧少(2%左右)
	可燃挥发物基本耗尽	剩余大量可燃挥发物
	不易引起再生火源和爆炸	易引起再生火源和爆炸
	危险性稍小	危险性大

五、矿井火灾其他分类方法

根据火灾发生具体地点不同,可将矿井火灾分为井筒火灾、巷道火灾、煤柱火灾、采

面火灾、采空区火灾和硐室火灾等。

根据燃烧物不同,可将矿井火灾分为机电设备(输送带、电缆、变压器、开关、风筒等)火灾、火药燃烧火灾、油料火灾、坑木火灾、瓦斯燃烧火灾、煤尘燃烧火灾以及煤的自燃火灾(自燃)。

根据燃烧状态不同,可将矿井火灾分为阴燃火灾和明火火灾。阴燃火灾指的是无明显火焰的火灾。明火火灾指的是有较长火焰的火灾。

根据引火性质不同,可将矿井火灾分为原生火灾与次生(再生)火灾。次生火灾是指由原生火灾引起的火灾。在原生火灾的燃烧过程中,含有尚未燃尽可燃物的高温烟流,在排烟的通道上,一旦与风流汇合,获得氧气的供给有可能再次燃烧,特别是汇合点位于干燥的木支护区,更易发生次生火灾而扩大火区范围。

第三节 矿井火灾的危害

一、造成人员伤亡

(1) 火源产生的高温直接造成人员伤亡。其人员伤亡主要发生在火源附近及紧邻区域。

(2) 火源产生的高温有毒有害气体蔓延,造成下风侧人员中毒伤亡,也增大人员撤退和救灾的难度并对安全造成威胁。统计资料表明,无论矿井或建筑火灾大部分遇难人员均非高温致死,而是中毒身亡。因此在火灾时期,对含有有毒有害烟流的控制即风流流动的控制是矿井火灾救灾的主要措施之一。

(3) 火源及火灾高温气流的蔓延产生的火风压,引起矿井风流紊乱,甚至使有毒有害气体进入进风区,扩大受灾范围,造成人员和财产的进一步损失。

二、诱发瓦斯爆炸

火源产生且未燃尽的高温气体挥发物与瓦斯混合,在流动过程中可能与相连进风巷新鲜风流混合,形成混合气体,并因风流紊乱流经火源或次生火源引起瓦斯爆炸。

三、破坏井下设备设施

矿井火灾产生的高温致使巷道支护破坏、巷道垮塌、机电设备设施等烧损,而封闭火区致使部分区域煤炭不能开采,封闭火区的管理工作和开启难度较大,且成为安全生产的隐患。

四、严重影响生产

矿井火灾严重干扰了正常生产秩序,在一定时期内,造成生产环境恶化,职工心理压力加重,劳动效率和产量下降,甚至停产,同时矿井火灾因工作面的封闭影响采掘工作的正常接替。

第二章 矿井火灾对风流流动状态影响

火灾还能造成矿井通风系统紊乱,导致正常风流发生较难控制的逆转,严重威胁煤矿的安全生产、破坏自然环境,造成巨大的资源损失和环境污染。了解矿井火灾造成风流状态的变化及危害,对矿井火灾时期风流控制及扑灭火灾具有重要的指导作用。

第一节 矿井火灾产生的风流紊乱现象

矿井火灾发生时,风流状态的影响即火风压的影响表现为“节流效应”和“浮力效应”。由于火灾生成的燃烧产物和水蒸气加入引起的风流质量和体积流量的增加,以及气流温度变化的影响引起的风流体积流量的进一步增加,而出现的风流流动、阻力增加的现象,称为节流效应。节流阻力即热阻力,由于其方向始终与风流方向相反,所以增大了风流流动阻力。火灾引起风流温度的增加,空气密度减小,使风流自行上浮流动的现象,称为浮力效应。浮力效应作用于有高差的巷道中。

矿井火灾产生的浮力和节流效应,引起矿井风流状态的紊乱变化。该变化可分为风流(烟流)逆转、烟流倒退和烟流滚退。

1. 风流(烟流)逆转

在浮力和节流效应共同作用下,反抗机械风压的影响,致使矿井某些巷道风流方向发生变化,称为风流逆转。逆转主要发生在其反向热风压大于正向机械风压的旁侧支路(主干风路是指从入风井经火源到回风井的通路,旁侧支路是指除主干风路外的其余支路)。

2. 烟流倒退

在浮力或节流效应分别作用下(取决于巷道倾角),加上巷道纵、横断面方向温度、压力梯度的影响,在着火巷火源上风侧,新鲜风流继续沿巷道底部供风的同时,烟流沿巷道顶部逆向流出。风流倒退可能发生在着火巷及其相连接的主干风路上。

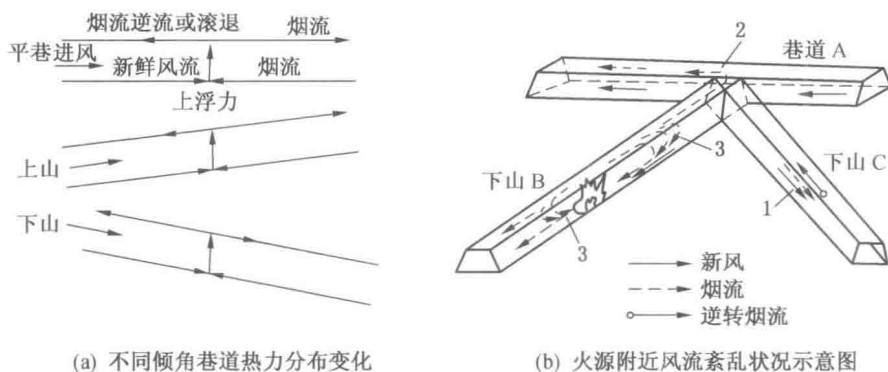
3. 烟流滚退

在火源下风侧节流效应和巷道断面温度、压力梯度影响下,在新鲜风流沿巷道底部按原风向流入火源的同时,火源产生的烟流沿上风侧巷道顶部逆向回退并翻卷流向火源。在一定条件下,这种现象也可能发生在下风侧。

逆转以同种流体单向流动为主;倒退是不同流体(烟流与新鲜风流)异向流动;滚退是在同一断面上,既有新鲜风流和烟流的异向流动,又有烟流翻卷引起的同种流体异向流动。滚退是倒退和逆转发生的先兆。

图2-1a所示为在平巷、上山和下山通风中,热效应作用力分布的变化。火源生成的高温烟流在浮力效应作用下升至巷道顶部,并向上、下风侧分别流动。其中,顺风向下风侧流动容易,逆风向上风侧回流较困难。在烟流上升并向主要下风侧消散时,在火源下部

形成低压区，上风侧新鲜风沿巷道底部流入火源补充，在一定条件下，下风侧烟流也可能滚退流入火源。



1—风流逆转；2—烟流逆退；3—烟流滚退

图 2-1 矿井火灾引起的风流紊乱

图 2-1b 中，风流经巷道 A 进入下山 B 和下山 C。下山 B 着火，在火源上风侧出现烟流滚退，并随火势增强而出现烟流逆退，致使烟流进入巷道 A 和下山 C。在一定条件下，下山 C 风流也出现逆转。矿井火灾时期风流紊乱现象特征见表 2-1。

表 2-1 矿井火灾时期风流紊乱现象特征

紊乱形式	发生地点	发生原因	现象
风流逆转	主要在旁侧支路	旁侧支路中反向热风压大于其正向机械风压	烟流反原风流方向流动，一般全断面逆转
烟流逆退	着火巷（主干风路）、上行、平巷通风，下行通风	火源下风侧节流效应、反向热风压 + 巷道横断面温度、压力、梯度影响	火源上风侧同一巷道断面出现不同流体异向流动
烟流滚退	着火巷火源上风侧，少数可发生在下风侧	下风侧节流效应 + 巷道横断面温度、压力梯度影响	火源上风侧（有时在下风侧）巷道断面既出现流体异向流动，又出现烟流反卷异向流动

第二节 风流紊乱现象危害

一、风量减少

巷道风量的减少，对于无瓦斯或瓦斯涌出量小的矿井，或许不至于构成威胁。但在瓦

斯涌出量大的矿井,则可能形成爆炸性混合气体而存在爆炸隐患。特别是当爆炸性混合气体通过着火带时,很容易引起瓦斯爆炸。

二、风流逆转

风流逆转引起风流流动状态的紊乱,可能给人员撤退和救灾工作造成更大的困难,带来更大的危险。

(1) 逆转风流携带大量有毒有害气体,蔓延至更大区域,甚至污染进风区域,扩大受灾范围,威胁整个矿井。

(2) 风流逆转经历减风—停风—反风的过程。在减风和停风阶段,因风量剧减,风流中瓦斯浓度相对升高,并因风速减小,为瓦斯形成局部聚集创造了条件。

(3) 风流逆转使火源下风侧富含挥发物的风流或局部瓦斯聚集带的污风再次进入着火带的可能性增大,从而增加了爆炸的可能性,这就是在金属、非金属矿井火灾中,也会发生可燃气体爆炸的原因。

三、烟流逆退

烟流逆退对火源上风侧直接灭火人员造成直接威胁。由于烟流与进风混合再次进入火源,在一定条件下,可能诱发瓦斯爆炸。烟流逆退致使烟流进入其他巷道,可能造成与风流逆转相似的结果。

四、烟流滚退

滚退现象导致火源上风侧烟流与新鲜风流掺混后,再逆流回火源,在一定条件下,可能诱发瓦斯爆炸。烟流滚退对火源上风侧的灭火人员也构成直接威胁。

因此,在矿井火灾时期,维持风流流动状态特别是风向的稳定性,是救灾工作最重要的任务之一。

第三节 不同巷道发生火灾对风流状态影响

为简化分析,使读者容易理解,这里仅作定性分析,研究浮力、节流力和机械动力在平巷、上山和下山对风流流向的作用后果。

一、水平巷道火灾

发生在水平巷道的火灾,若忽略相邻倾斜巷道的温度变化影响,一般认为,只存在节流作用,无浮力效应的影响,节流作用增大风流流动的阻力,其结果导致着火巷风量减少(风量减少量可达30%)。节流效应与燃烧规模和风速大小有关。当燃烧规模小于250 kg(木材)或风速小于1 m/s时,节流效应不明显;当燃烧规模超过4500 kg(木材)时,将出现明显的节流效应。在平巷火灾情况下,着火巷及与之串联的巷道不会发生风流逆转,但在两条并联平巷间的角联巷风向可能逆转。

二、上行通风巷道火灾

发生在上行通风巷道的火灾产生浮力和节流两种效应。如图 2-2a 所示, 由于浮力效应的增风作用大于节流效应的减风影响, 使上山风量增加。若燃料足够, 风量增加将提高供氧量, 增强火势, 使热风压的作用更强。因此, 上山火灾风向一般不会发生逆转, 伴随着上山风量的增加, 相邻并联巷风量减小。若相邻并联巷原有风压小, 则可能出现相邻上山风流停滞或逆转现象。若需保持相邻并联巷风流稳定, 需在发火巷的进风侧加大风阻, 用以减少着火带的供氧量和控制火势; 或者增大并联巷通风压力, 如增大通风机风压或减小与并联巷串联的进回风巷压力, 从而增加通风机风压分配到并联巷的数量。

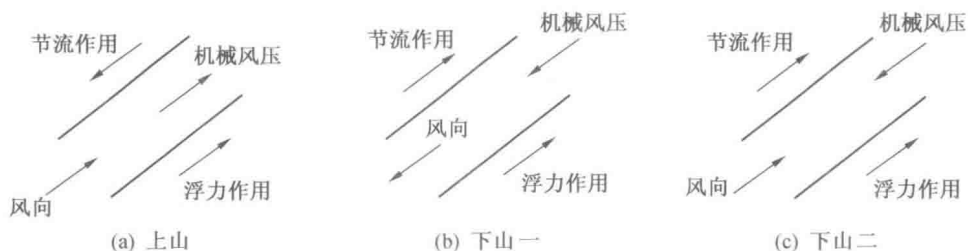


图 2-2 在浮力、节流力作用下巷道风向的变化

三、下行通风巷道火灾

如图 2-2b 所示, 下行通风巷道火灾产生的节流和浮力效应与原有通风压力作用风向相反, 趋于减小该巷风量, 甚至出现风流反向、烟流倒退现象。在风量减少情况下, 供氧量减少, 火势减弱, 从而削弱火灾产生的节流和上浮效应, 又出现增加风量的趋势。如图 2-2c 所示, 在风流反向情况下, 下行风流变为上行。反向时期, 风量一般远小于正常下行风量, 因为这时的上行风流与正常的上行风巷情况不同, 其浮力效应须克服通风机在该巷作用的风压和节流效应的影响。反向风量小, 导致火势减小, 使其产生的浮力效应不足以克服通风机风压和节流效应的影响, 而引起风流再次反向下行。这种风流流量和流向的频繁变化, 在下行通风的巷道着火时时有发生, 除非下行通风巷道标高差小, 或燃料不足, 或该巷道风压很大, 否则, 这种现象是很显著的, 常造成风流流量甚至流向的剧烈波动。因此, 下山发生火灾, 风向很可能逆转, 而且可能出现风向频繁变化的情况, 这是救灾时需特别注意的。是否能保持持续的风流逆转后的方向, 取决于以下几种因素。

1. 火源在下山位置的影响

在火源两侧应具有足够的标高差, 在竖井或斜巷底部发生火灾, 因生成热烟流直接导入底部平巷, 往往不足以在该下行风巷产生足够自然风压 (火风压), 引起风流逆转。在顶部发生火灾则因下山充满炽热烟流, 易使风流逆转上行, 但往往不能产生足够的自然风

压维持风流逆转。因为风流逆转后,新鲜风上行,生成热烟流直接导入顶部平巷,在该下行风巷也不能产生足够的自然风压(火风压)克服通风压力,风流可能又反向恢复向下流动的原方向。

2. 烟流中氧浓度的影响

烟流中,特别是在火势很大的火源下风侧烟流中的氧浓度远低于新鲜空气。在火势大的火灾引起风向逆转的情况下,火源的进风为氧浓度低的回流烟流所替代,必然使火势减弱。若向火源回流的氧浓度低的烟流段足够长,将在较长期间减小火源产生的火风压,使之不足以克服通风压力,因而不可能保持这种风流逆转状态。

3. 原有通风风压的影响

若下行通风巷道风压较低,火势发展迅速,使下行风速减小、停滞和反转,则可能保持持续的风流逆转状态。

4. 火势大小的影响

发生在下行通风巷道的火源火势大,致使浮力作用大于机械动力和节流力的共同作用,所以风向逆转后不易发生再反向。

5. 掺入新鲜风流的影响

当火灾持续时间较长时,从被破坏的压风管道渗出的压风或来自其他巷道的风流在火源下风侧与逆转风流混合,增加逆流进入火源风流的氧浓度,产生较大的火风压,则可能维持风流逆转状态。

由于下行通风巷道着火产生的上浮和节流效应均反抗通风压力的作用减少了风量和供氧量,所以下行通风巷道的火势一般不如上行通风巷道发展得强劲。

第四节 节流效应和浮力效应近似计算方法

矿井火灾时期由于节流效应和浮力效应共同作用,形成火风压。火风压是由于火灾所造成的热力风压,它可以产生强大的附加风压,也叫火负压或热负压。下面分别通过近似计算节流效应和浮力效应获得火灾对巷道风压的综合影响。

一、节流效应计算

风流流经某巷道因节流效应产生的压力降 Δh_L 计算式为

$$\Delta h_L = h_{La} \left(F^2 \frac{T_m}{T_a} - 1 \right) \quad (2-1)$$

式中 h_{La} ——火灾发生前风流流动产生的压力降, Pa;
 T_m ——火灾发生后巷道风流的平均绝对温度, K;
 T_a ——火灾发生前巷道风流的平均绝对温度, K;
 F ——火灾发生后风流质量的增加系数。

二、浮力效应计算

风流流经巷道因浮力效应产生的压力降 h_N 计算式为