

矿井

宋录生 主编

惰性气体

防火技术

DUO XING
GU TI
FANG MI HUO JI SHU



化学工业出版社



宋录生 主编

矿井 惰性气体 防灭火技术



化学工业出版社

突出事故 专项治理

· 北 京 ·

元 00.80 份 宝

[30] 周军民. 义马矿区防灭火技术的现状与展望. 中州煤炭, 1999, 02.

本书全面系统地介绍了矿井防灭火技术的基础知识和理论,总结了目前广泛应用的各種防灭火技术的特点。书中重点阐述了以氮气为主的惰性气体防灭火技术的原理和应用,通过矿井各类防灭火工程的成功实践论证了惰性气体防灭火技术在矿井防灭火工程的设计、工艺流程、施工过程中所具有的显著的防灭火效果和较高的推广应用价值。

本书可供矿井生产建设、设计、科研部门的工程技术人员和管理干部使用,也可供矿业院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿井惰性气体防灭火技术/宋录生主编. —北京:化学工业出版社, 2008.1

ISBN 978-7-122-01921-9

I. 矿… II. 宋… III. ①矿井-矿山防火②矿井-惰性气体防灭火 IV. TD75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 004824 号

责任编辑:戴燕红

文字编辑:冯国庆

责任校对:吴静

装帧设计: 风情画社

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张14¼ 字数276千字 2008年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:38.00元

版权所有 违者必究

《矿井惰性气体防灭火技术》编写人员

主 编：宋录生

编写人员：孙淑君 张守宝 武英刚

宫月华 高尚青

前言

防灭火在矿产开采中占有极其重要的地位。在煤层和其他矿产资源的开采过程中,我国大约有 50% 的煤矿存在自然发火的危险,另外还有外因火灾,如井下使用电气设备爆炸时的残火引发的火灾,机械摩擦引燃油脂火灾,输送机胶带摩擦引燃胶带和煤炭火灾,五金电器使用管理不当,线路短路引燃可燃物火灾,爆破孔堵塞不严爆矿引燃可燃物火灾,工作人员违章井下吸烟引发的火灾,以及瓦斯煤尘爆炸事故引发的火灾,每年造成的直接和间接经济损失上千亿元。尤其是到 20 世纪 80 年代末、90 年代初,矿井火灾已成为制约矿井高产高效技术发展的主要障碍之一,给井下工人生命安全造成极大威胁,严重影响了矿井的安全生产。因此,研究和总结煤层自燃机理和矿井外因引起的火灾预防治理技术显得十分重要。

本书正是在较全面总结我国煤矿生产建设中先进防灭火技术经验和科研成果的基础上编写而成的,它是我国矿井防灭火理论和实践的总结,具有科学性、先进性和实用性,它对于我国矿井加强防火管理,防止火灾事故发生,保障生命和安全生产将起到较大的作用。

本书力求反映目前我国矿井以惰性气体防灭火为主的技术状况,以指导矿井防灭火为宗旨,以矿山各级领导、防灭火工程技术人员、防灭火管理人员为主要服务对象。

本书在编写过程中,得到了义马煤业集团各矿防灭火工程技术人员的大力支持和帮助,并提供了许多技术资料。同时,煤炭科学研究总院有关技术人员在百忙之中给予了全面指导,并提出了许多宝贵意见。在此一并表示诚挚感谢。

由于水平有限,时间仓促,书中难免会出现不足之处,敬请各位读者批评指正。

编者
2008 年 1 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 矿井火灾	1
一、矿井火灾的种类	1
二、矿井火灾的特征	4
三、矿井火灾的危害	6
第二节 矿井火灾的基本规律	8
一、矿井火灾燃烧过程	8
二、火灾生成气体的规律	13
三、煤层自燃规律	14
第二章 矿井火灾的预报预测	19
第一节 煤的自燃倾向性	19
一、煤炭自燃机理分析	19
二、影响煤炭自燃的因素	20
三、煤自燃发火期的测定方法	21
第二节 标志性气体监测	22
一、指标气体的优选	23
二、指标气体的使用	24
三、指标气体的分类	25
第三节 火源位置的探测	27
一、外因火灾火源位置的推断	27
二、国内主要探测方法	29
三、火源精确位置探测实例	34
第三章 防灭火技术的组织管理和预防措施	38
第一节 管理措施	38
一、组织管理措施	38
二、生产管理措施	40
三、专业管理措施	43

四、监督检查措施	46
第二节 矿井火灾事故及预防措施	47
一、重大灾害事故及其特征	47
二、重大灾害事故抢救技术及应用	48
三、重大灾害事故抢救的领导与指挥	51
四、抢险救灾步骤	54
五、井下救护基地	58
六、矿山救护队	58
七、安全岗哨	60
八、地面救护基地	60
第三节 矿井防灭火技术的应用	60
第四章 矿井防灭火技术	63
第一节 注水注浆防灭火技术	63
一、注水防灭火技术	63
二、注浆防灭火技术	65
三、注浆防灭火方式	68
四、综采工作面防灭火灌浆工艺	72
五、工作面注浆及漏浆远距离监控系统	74
六、黄土充填插管灌浆防灭火技术	77
七、风化石粉制浆防火技术	78
第二节 注砂防灭火系统	82
一、注砂系统	82
二、注砂技术参数和注意事项	82
三、注砂防灭火技术的应用	83
第三节 密闭工程技术	85
一、密闭种类与要求	86
二、通风密闭与防灭火密闭	87
三、临时密闭	91
四、调压气室	95
五、调节风窗与风门	97
六、封闭火区的灭火治理与缩封恢复	103
第四节 充填堵漏防火技术	105
一、固化泥浆防火技术	105
二、化学凝胶防火技术	107
三、胶体泥浆防火技术	109

四、复合凝土防火技术	112
五、阻化或固化粉煤灰浆防火技术	114
第五节 氮气防灭火技术	117
第六节 均压防灭火技术	123
第七节 凝胶防灭火技术	129
一、凝胶防灭火技术原理	129
二、材料选择	130
三、胶体防灭火材料的性能	131
四、胶体防灭火工艺	135
第八节 防灭火新技术的发展	136
一、建立一套完整的矿井防治煤层自然发火技术保障体系	136
二、提高矿井煤层自然发火预测预报能力	137
三、研究新型防灭火材料与装备	138
四、探索煤层自然发火机理与规律	138
第五章 惰性气体防灭火技术	139
第一节 氮气防灭火技术	139
一、氮气防灭火的必要性	139
二、氮气防灭火作用原理及参数的选取	142
三、氮气防灭火的优缺点	144
四、制氮设备	144
五、注氮灭火的方式及方法	145
六、应用实例及效果	155
七、综合利用氮气防灭火技术的突破	156
第二节 二氧化碳防灭火技术	164
一、液态 CO ₂ 的防灭火性能	164
二、液态 CO ₂ 防灭火系统及应用工艺	164
三、现场应用	166
第六章 惰性气体防灭火技术规范	168
第一节 煤矿氮气防灭火技术规范	168
第二节 煤矿燃气防灭火技术规范	173
第七章 河南矿区防灭火状况、设备技术展望等	180
一、新安区、宜洛区和陕浍区矿井防灭火技术装备	180
二、义马区矿井防灭火技术装备	181

三、惰性气体防灭火系统的实施	182
四、义马煤田易自燃煤层矿井实现高产高效的探索	184
附录 常用煤矿防灭火设备、灭火材料、规程等	187
一、火灾检测及防灭火装备	187
二、《矿井通风安全装备标准》(部分)	192
三、《煤矿安全规程》(部分)	193
四、矿井防灭火工作管理办法(某煤矿 2007 年 3 月 20 日)	210
五、《某煤矿防灭火工程标准》	218
参考文献	225

第一章

概述

矿井火灾是煤矿重大灾害之一，矿井火灾不仅烧掉大量的资源、材料和生产设备，而且由于封闭火区，将会冻结煤炭的可采贮量，严重破坏正常的生产秩序；燃烧消耗了风流中的氧气，使风流中的氧气浓度下降，同时产生大量的热能、有毒有害气体和粉尘，其后果是使井下污染区域内的人员被烧伤、中毒或窒息；火灾使人们产生恐惧心理，威胁矿工的身心健康和生命安全。矿井火灾危害之严重，损失之巨大，令人触目惊心。

矿井火灾发生后，火势发展迅猛，变化复杂，影响范围广，往往造成人员伤亡和财产资源损失，可能诱发瓦斯爆炸，酿成更大灾害。救灾行动的成功取决于救灾人员能否迅速、正确地决策并实施。然而，现场救灾人员深感困难的是，在不能充分了解火情及其动态影响，不能正确估计即将实施的救灾措施的效果时，却必须迅速决策。要提高决策的可靠性和及时性，一是在事故发生前，作为决策人员，应了解和掌握矿井火灾治理的有关技术，了解本矿易发火区域着火时的应变措施及其正、负面影响，要使矿井火灾预防处理计划不是应付安全检查，而是救灾时的重要依据；二是通过安全技术教育，使矿工特别是班组长掌握灾变自救技术；三是火灾发生时，尽可能多地获取有关信息，并注意分析其可靠性，避免误导。安全生产方针中“预防为主”中的“防”，既包含防止火灾发生，也包含做好治理火灾的思想准备、技术物质准备和应变措施工作。

第一节 矿井火灾

一、矿井火灾的种类

火灾是由于失火造成的灾害，而地下工程火灾则是在矿井、巷道、隧道、储藏硐室、地铁及其车站、地下售货商厅等地下建筑物或构筑物中，因失火造成的灾害。足以引起燃烧的热源称为引火源。火灾过程中，与氧气发生氧化反应或其他化学反应的物质称为可燃物。可燃物、充足的氧气和引火源是发生燃烧的三个必要条件。地下工程火灾的可燃物因其用途不同而异，一般有木材、煤炭、纺织

品、纸张、塑料制品（如电缆、胶带等）及各种油类等。地下工程火灾与地面火灾不同，维持地下工程火灾长时间燃烧的氧气必须由自然通风或强制通风供给。引火源可以是电器事故引起的电火花、各种作业留下的残火、过失操作带来的火源等外界火源，也可以是可燃物本身自然发热过程中的高温热源，如煤炭自燃热源、纸张自燃热源、棉纺织品自燃热源等。

火灾的分类方法较多，可根据可燃物的种类、引起火灾的原因、发生火灾的地点、火焰燃烧的状态等进行分类。

（1）按可燃物的种类分类

美国国家防火协会（National Fire Protection Association）采用的是按可燃物的种类不同的火灾分类方法，该分类方法已经被很多国家或地区采用。按可燃物的种类不同将火灾分为四类。

① A类火灾 由木材、纸张、锯木屑、煤炭和垃圾等普通可燃物燃烧发生的火灾属于A类火灾，用水和含水量大的稀释溶液使燃烧物骤冷或冷却，即可有效地扑灭这类火灾。A类火灾燃烧生成的气体产物主要有二氧化碳和一氧化碳，同时烟流中还含有少量的水蒸气、甲烷、乙炔、氢气和重碳氢等。燃烧不完全的烟流具有可爆性或可燃性。该类可燃物燃烧后留下的是灰或残渣。

② B类火灾 在易燃液体表面或可燃性气体中发生的火灾属于B类火灾，如可燃液体（汽油、石油、溶剂等）与空气的接触面、可燃性气体与空气的混合物的燃烧都属于B类火灾。B类火灾不宜用水扑灭，否则燃烧过程中容易发生爆炸或爆燃。在火灾初期，限制流向火区的空气（氧气）量或阻止有效燃烧是扑灭火灾的关键。B类火灾的烟流组成与A类火灾的烟流组成基本相同，燃烧不完全的烟流有可爆性或可燃性。该类可燃物燃烧后留下的残渣较少。

③ C类火灾 在电气设备内部或其附近发生的火灾，如液压联轴节喷油引起的火灾，各类电气设备事故造成的火灾都属于C类火灾。扑灭C类火灾的关键是切断电源，在切断电源之前，必须使用非导电性的灭火剂，如化学干粉、干冰冷却剂、惰性气体、蒸发液体灭火剂等；切断电源后，可采用水或含水量大的稀释溶液灭火。

④ D类火灾 在可燃金属（如镁、钛、铝、锂、钠等）中发生的火灾属于D类火灾。控制和扑灭D类火灾，必须采用专门的技术和专用的灭火设备。

实际上，火灾过程中只有一种可燃物燃烧的情况是很少的，大部分火灾是几种可燃物同时燃烧。在地下建筑物或构筑物等地下工程中的可燃物有木材、煤炭、纸张、胶带、电缆、棉纺织品等，有时还有动力电缆、照明电缆和各类用电设备，因此，地下工程火灾一般为A类火灾和C类火灾。如在煤矿井下巷道中，有支架、背板和枕木等木材类，有运输过程中的煤炭、未开采的煤炭或开采后丢

弃的煤炭，有各类用电设备，有动力电缆、柔性风筒、运输机胶带等聚氯乙烯材料，所以发生在煤矿井巷中的火灾为 A 类火灾或 C 类火灾。在纺织品地下仓库中存放的可燃物以纺织品为主，同时有照明设备或其他用电设备，所以在纺织品仓库中的火灾也是 A 类火灾或 C 类火灾。

(2) 按引起火灾的原因分类

按引起火灾的原因不同，可将火灾分为内因火灾和外因火灾两类。

由于可燃物经长时间氧化，蓄积热量，发展到自燃引起的火灾，称为内因火灾。可燃物由蓄积热量发展成为火灾要经过三个阶段，即潜伏期、自热期和燃烧期。潜伏期和自热期的时间较长，如果在潜伏期和自热期，破坏了外部的供氧条件或热量蓄积条件，自燃过程终止，便不能发展成为火灾。所以，内因火灾往往是由于发现不及时或处理不当造成的。由外部热源引燃可燃物而发生的火灾，称为外因火灾。外因火灾是偶然事件，当通风条件适宜且有大量的可燃物时，可在很短的时间内形成大范围的火区，燃烧生成大量的有毒有害气体，使风流氧气浓度下降；同时，燃烧产生的大量热量，使风流温度升高。

因此根据引火的热源不同，通常将矿井火灾分成两大类。

① 外源火灾（或称外因火灾） 外源火灾是指由于外来热源如明火、放炮、瓦斯煤尘爆炸、机电设备运转不灵、摩擦、电流短路等原因造成的火灾。外源火灾可以发生在矿井的任何地点，但多发生在井口楼、井筒、机电硐室、火药库以及安有机电设备的巷道或工作面内。

外源火灾的特点是：突然，来势凶猛，如果不及及时发现，往往可能酿成重大恶性的事故。据统计，国内外有记载的每次数十甚至上百人的煤矿重大恶性火灾事故中 90% 属于外源火灾。但外源火灾的燃烧往往在表面，如果发现及时，还是容易扑救的。

② 自燃火灾（或称内因火灾） 在煤矿里自燃火灾主要是指煤炭在一定条件和环境下（如煤柱破裂、浮煤集中堆积又有一定风流供给）自身发生物理化学变化（吸氧、氧化、发热），聚积热量导致着火而形成的火灾。自燃火灾大多发生在采空区、遗留的煤柱、破裂的煤壁、煤巷的高冒以及浮煤堆积的地点。

自燃火灾的特点是：它的发生有一个或长或短的过程，而且有预兆，易于早期发现。但火源隐蔽，往往发生在人们难以或不能进入的采空区或煤柱内，要想找到真正的火源确非易事，因此不能及时扑灭，以致有的自燃火灾可以持续数月、数年、数十年而不灭。燃烧的范围逐渐蔓延扩大，烧毁大量煤炭资源，冻结大量开拓煤量。

矿井火灾对人的危害主要是在发展期间产生大量的有毒有害气体。煤炭燃烧会产生一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、烟尘以及附着在烟尘之上的碳氢化合物。另外，坑木、橡胶、聚氯乙烯制品燃烧也会产生大量的一氧化碳、醇类、醛

类以及其他复杂的有机化合物。这些有毒有害气体和物质随风扩散,有时可能波及相当大的区域甚至全矿,从而伤害井下人员。据统计,在矿井火灾事故中遇难的人员 95% 以上是烟雾中毒所致。

煤矿火灾曾给矿井造成了巨大的经济损失和人员伤亡,对矿井安全生产造成了严重的威胁,是煤矿中危害最大的灾害之一。在矿井火灾事故中,外源火灾发生的次数占总数量不到 10%,煤层自燃火灾达 90% 以上。开采具有自燃倾向性煤层的矿井占矿井总数约 50%。

(3) 按燃烧状态分类

按火灾的燃烧状态不同,可将火灾分为阴燃火灾和明火灾。

燃烧处于阴燃状态,无明显火焰的火灾,称为阴燃火灾。当燃烧地点通风不良,严重缺氧时,发生阴燃;可燃物即将燃尽,挥发物含量很低时,火灾也往往处于阴燃状态。阴燃火灾的烟流中一氧化碳气体含量高,烟流具有可爆性或可燃性,对人的危害很大。燃烧时有较长火焰的火灾,称为明火灾。明火灾有富氧燃烧和缺氧燃烧两种状态。在富氧燃烧状态下,可燃物燃烧充分,烟流中的一氧化碳等可燃性气体含量较低;在缺氧燃烧状态下,烟流中的一氧化碳等可燃性气体含量较高,烟流有可爆性或可燃性。此外,火灾还可以按燃烧现象发生瞬间的不同特点进行分类,分为着火、自燃、闪燃和爆燃等。

地下工程火灾可以是内因火灾,也可以是外因火灾。统计结果表明,外因火灾比内因火灾的直接损失大。当地下建筑物或构筑物中存放的可燃物较多时,火灾初期一般为富氧燃烧状态的明火灾,随着火势的增大或通风(供氧)条件的恶化,逐渐发展成为缺氧燃烧状态的明火灾。当采取了控制向火区的通风量或封闭火区的灭火措施后,或者火焰即将熄灭时,明火灾便发展成为阴燃火灾。

二、矿井火灾的特征

在不同矿井灾害中,矿井火灾救灾难度最大、技术性最强、危险性最大。这是由矿井各类灾害事故的不同特征决定的。

(1) 不同矿井灾害的特征

矿井重大灾害性事故有瓦斯(煤尘)爆炸、瓦斯突出、火灾、水灾、顶板灾害等。不同灾害具有不同特性,致灾条件,发生、发展规律,对环境和人员产生不同的破坏和影响,因此,对应的防治措施也有所不同。

矿井火灾时期,火源燃烧生成的高温烟流向下风侧蔓延,并可能因风流逆转,进入进风区,致使烟流蔓延范围扩大。由于火灾燃烧时间远大于瓦斯爆炸与突出、水灾和顶板灾害时间,因此,矿井火灾作用时间长、范围大。

瓦斯爆炸产生高温高压冲击波,如果爆炸不引起火灾,具有瞬间、大范围影

响特性；煤与瓦斯突出时高压气体和固体突然冲出的动力现象，往往对矿井造成瞬时、局部范围影响；矿井水灾是较高压力的水突然涌出的动力现象，也具有瞬时、局部范围的影响特征；顶板灾害是地压作用下顶板不同程度地垮塌造成的灾害，其作用特征也是瞬时、局部范围的。

纯瓦斯爆炸（不诱发火灾）的高温高压和突出灾害的高压冲击波作用是瞬时变化而且是非常复杂的，但是，其发生后对通风设施和通风系统的破坏及其影响一般是稳定的，即不随时间而变化。其复杂性和瞬时性决定了不可能在灾变发生的极短时间内作出控风决策及付诸实施。其破坏后的稳定性决定了救灾时期的控风和救护工作相对容易。所以对于这类灾变事故，必须以预防为主，预先分析不同强度的灾害对通风设施和通风系统的可能影响。当然，适当的抑爆减灾措施是必要的。在制定灾变措施同时，应考虑灾害破坏的稳定特性，其稳定性决定了灾后事故处理的难度。

（2）矿井火灾的致灾特征和对策

矿井火灾的长期性和动态变化性决定了救灾的难度、危险性和技术性，即高科技成果应用的可行性和重要性。矿井火灾持续时间长，对矿井通风系统的影响是长期的。由于火源燃烧强度的变化，高温烟流与巷壁热交换强度的变化，风流紊乱现象发生和烟流蔓延区域的变化，致使风流状态相关参数（风量、风压、风阻、有害气体组分和浓度等）发生动态变化。正是矿井火灾延续的长期性和动态特征，造成了灾变通风的独有的特性。其长期性，提供了风流控制救灾决策和实施可能有足够的时间，为分析和控制高温烟流流动状态的高新技术应用提供可能。而这一时间又非常紧张，对救灾指挥又是一个严峻的考验。因此，如果没有能应付各类事故的周密灾害预防处理计划和措施的预先演习和实施，没有对井下人员的安全教育，使他们熟悉救灾和自救的措施，单靠发生灾变时仓促决策和处理事故，往往不能成功救灾。其长期性和动态变化特性的结合，又对人员撤退和救灾工作连续造成威胁，增加了救灾决策和现场抢险的难度和危险。现场救灾实践证实，矿井火灾救灾是当前技术条件下各灾种救灾中难度最大、最危险、技术要求最强、任务最艰巨的一项工作。

矿井火灾防治在坚持“预防为主”方针的同时，必须强调在矿井火灾发生时，应用有效的救灾、控风技术。矿井火灾时期，通风机与风温变化引起的火风压共同作用提供了风流流动的动力，从而破坏了正常状态下原有通风动力（机械风压和正常通风的自然风压）与风流状态的平衡，导致矿井各巷道风流状态剧烈变化甚至部分巷道风流方向突然逆转。逆转风流携带大量火灾生成的高温、有毒、有害气体，污染进风区的新鲜风流，致使火灾影响范围扩大、井下人员遇难危险增加以及抢险救灾难度增大。矿井火灾风流状态控制就是应用风流调节设施（主要是风门启闭），使火风压造成的危及撤人救灾的风流状态转变为一定区域的

安全风流状态。很明显,风流状态控制的前提是已知火风压所引起的风流紊乱状态,而风流动态模拟技术就是用来解决此问题的。

三、矿井火灾的危害

在地下矿井、巷道、隧道、硐室、仓库、工作面等狭小空间发生的火灾,燃烧产生的烟流在狭小空间内运动,运动过程受通风系统强制通风或自然通风的作用,这类火灾称为井巷火灾。井巷火灾时期,火区下风侧的人员都处于被烟流污染或可能被烟流污染的危险区,因此烟流、热能和有毒有害气体的危害更大。归纳起来,地下工程火灾的危害有烧伤和热病、破坏正常的通风状态、中毒或窒息、阻碍视线、爆燃或爆炸、破坏正常的生产和生活秩序六个方面。

(1) 烧伤和热病

由于烟流流动空间狭小,燃烧生成的热能不能向周围扩散,烟流温度可达数百摄氏度甚至一千摄氏度以上。表 1-1 是几次井巷火灾实验中火区下风侧烟流的最高温度。在火灾时期,火区下风侧几十米甚至几百米的范围内,烟流温度仍可达 300K 以上。人员进入高温烟流区容易烧伤,长时间在高于体温的烟流中滞留容易患热病。

表 1-1 井巷火灾实验中火区下风侧烟流的最高温度

序号	可燃物的种类及用量	井巷长度/m	烟流最高温度/K
1	木材 800kg	400	933
2	木材 1600kg	400	1213
3	木材 3200kg	400	1223
4	木材 4800kg	400	1183
5	木材 500kg	85	567
6	木材 1800kg	85	1058
7	木材 1750kg 和煤炭 2000kg	85	662
8	焦炭 1000kg	85	487

(2) 破坏正常的通风状态

火灾产生的热能转换成火风压,给原通风系统以附加通风动力,并且改变原有通风系统的结构。因此,井巷火灾不仅可以使井巷内的风流状态紊乱,而且会造成通风系统中各分支风量的重新分配。

(3) 中毒或窒息

火灾时期,可燃物燃烧生成大量的二氧化碳、一氧化碳、氢气等有毒有害气体。在模拟实验巷道进行火灾实验时,测得木材燃烧过程中的烟流气体组分(表 1-2)。

表 1-2 木材燃烧过程中的烟流气体组分

气体种类	体积分数/%	气体种类	体积分数/%
氧气	0~20	氢气	0~5
二氧化碳	0~18	甲烷	0~4
一氧化碳	0~12	乙炔	0~1

由于燃烧强度不同,烟流中有毒有害气体的浓度则不同。表 1-2 所列的 6 种气体中,一氧化碳和氢气为有毒气体,甲烷和乙炔为有害气体,一氧化碳、氢气、甲烷、乙炔都是易燃易爆气体。燃烧使风流中有毒有害气体的浓度升高,氧气的浓度下降。烟流中的一氧化碳对人体的危害极大,能使人在短时间内中毒死亡。当烟流中氧气的浓度小于 12% (体积分数) 时,会使人在短时间内窒息。

(4) 阻碍视线

燃烧产生大量的粉尘和水蒸气,它们与流过火区的风流混合,形成火灾烟流。烟流的能见度比风流的能见度低得多,因而人在烟流中的视野范围缩小。烟流中的粉尘和有毒有害气体一般显酸性,对人的眼睛、鼻子、呼吸系统和皮肤等有强烈的刺激作用。

(5) 爆燃或爆炸

爆燃是火灾燃烧的一种现象,对周围设施有很大的破坏作用。爆燃波的传播速度很快,可使火灾范围在短时间内扩大。火灾燃烧产生的热能容易引起瓦斯或粉尘(如煤尘、纺织品粉尘、面粉生产过程中的粉尘等)爆炸。可燃物燃烧不完全的烟流中含有多种易燃易爆气体和可燃性粉尘,遇到适当条件,也容易发生爆炸。

(6) 破坏正常的生产和生活秩序

火灾的直接危害是烧掉资源、材料、设施和设备,破坏地下工程建筑,造成人们生产和生活秩序的混乱。火灾的惨状造成了人们心理上对火灾的恐惧,降低了工作效率。

如图 1-1 所示说明了地下工程火灾的要素、产物、危害和后果。地下工程、可燃物、适当的通风(供氧)条件和足以引起燃烧的引火源构成了地下工程火灾的要素。火灾的直接产物是热能、粉尘和有毒有害气体。热能传递过程和烟流温度分布,烟流运移规律和粉尘运动过程,有毒有害气体扩散行为过程和烟流组分等是火灾的表现形式。火灾的直接危害是破坏工程中的风流结构和通风系统的风流状态,烧毁资源、材料、设施、设备和工程建筑,引起瓦斯和粉尘爆炸,刺激人的感官,阻碍人的视线,使污染区域的人员被烧伤、患热病、中毒和窒息,破坏正常的生产、生活秩序。火灾的间接危害是造成人们的恐惧心理,降低人们的工作效率。危害的后果是造成人员伤亡和财产损失。

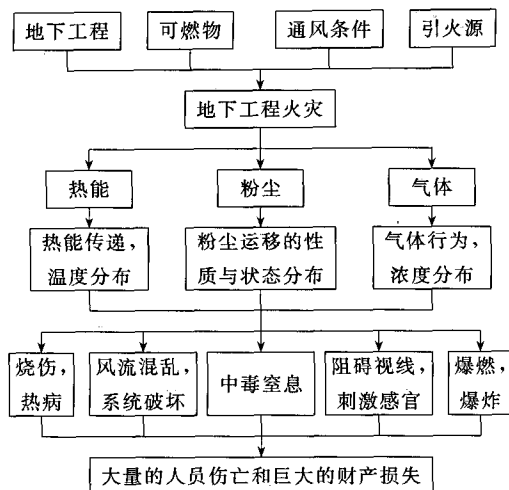


图 1-1 地下工程火灾及其危害

第二节 矿井火灾的基本规律

一、矿井火灾燃烧过程

1. 燃烧特征

(1) 燃烧的特点

可燃物和氧化剂在空间发生激烈化学反应的过程称为燃烧。它常常伴随放热、发光过程，会生成新物质。反应物中化学性质活泼的氧原子组分称为氧化剂（助燃剂），被氧化剂所氧化的物质称为燃料或可燃物，反应生成物称为燃烧产物。放热、发光和生成新物质是燃烧反应的三个特征，是区别燃烧和非燃烧现象的依据。点亮的灯泡中钨丝放热、发光，但未生成新物质，属于物理过程，而非燃烧现象。金属生锈、动物呼吸会放热，并产生新物质，但因反应速度低，放热速度慢，无发光现象，所以也不是燃烧反应。

(2) 燃烧的条件

燃烧必须同时具备三个条件 [图 1-2(a)]：燃料（可燃物）、供氧（氧化剂）和热源，通常称为燃烧的三要素。缺少任一条件，燃烧都不可能发生。若燃烧发生后缺少任一条件，则会熄灭，这是矿井防灭火工作的根本依据。矿井防灭火的措施，其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、氧化剂和热源应具备一定的数量、浓度或能量。例如，在空气中氧浓度小于 12% 时，瓦斯便不能燃烧。燃烧以链式反应方式进行，反应可分为三步。第一，链引发：因高温热解产生一定数量的反应活性中心游离基。第二，链传递：