

普通高等院校安全工程专业  
“十二五”规划教材

# 矿井火灾防治

主 编 余明高

副主编 贾海林 胡祖祥

武汉工业学院图书馆



01381122



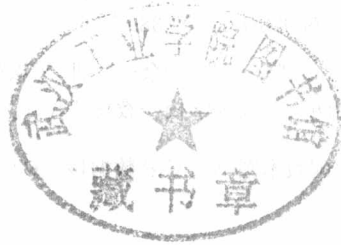
国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校安全工程专业“十二五”规划教材

# 矿井火灾防治

主 编 余明高  
副主编 贾海林 胡祖祥



国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书介绍了煤矿火灾的基本概念和基本知识,重点从煤矿火灾发生发展的规律和防治理论与技术角度出发,讲述煤矿自燃火灾的机理及常用的预测预报新方法和防灭火的新技术,并介绍矿井火灾时期的管理及火灾事故发生后的处理,同时对外因火灾的防治方法进行了系统的讲述。该教材整个框架流程为:煤矿火灾概述→煤的自燃→矿井内因火灾预测预报→矿井内因火灾防治→矿井外因火灾防治→矿井火灾时期的管理→矿井火灾事故处理。为了配合教学,每章后面还附有练习题,供学者练习使用。

在编写过程中,借鉴以往同类教材的优点,注重本教材的适应性、使用性、先进性和系统性。该教材在内容上既重视理论,又包含有工程应用;既介绍典型的防灭火技术,又囊括新近科技成果。力求重视理论的同时强化实践应用,增强教材的实用性和灵活性。

本书为安全技术工程及相关专业使用的教材,也可作为大型煤矿职工培训、科研及工程技术人员参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

矿井火灾防治/余明高主编. --北京:国防工业出版社,2013.1

普通高等院校安全工程专业“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-118-08389-7

I. ①矿… II. ①余… III. ①煤矿—矿井火灾—  
矿山防火—高等学校—教材 IV. ①TD75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 232173 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 14 字数 317 千字

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 普通高等院校安全工程专业“十二五”规划教材

## 编 委 会 名 单

(按姓氏笔画排序)

- |     |              |
|-----|--------------|
| 门玉明 | 长安大学         |
| 王 志 | 沈阳航空航天大学     |
| 王文科 | 重庆科技学院       |
| 王洪德 | 大连交通大学       |
| 尤 飞 | 南京工业大学       |
| 申世飞 | 清华大学         |
| 田 宏 | 沈阳航空航天大学     |
| 司 鹄 | 重庆大学         |
| 伍爱友 | 湖南科技大学       |
| 刘秀玉 | 安徽工业大学       |
| 刘敦文 | 中南大学         |
| 余明高 | 河南理工大学       |
| 陈阮江 | 中南大学         |
| 袁东升 | 河南理工大学       |
| 梁开武 | 重庆科技学院       |
| 景国勋 | 河南理工大学       |
| 蔡 芸 | 中国人民武装警察部队学院 |

## 前 言

我国 56% 的矿井开采易自燃煤层,煤矿火灾是矿井的重大灾害之一。目前,我国的煤矿火灾形势依然很严峻,百万吨发火率近年虽有所下降,但与世界几个主要产煤国家相比,差距仍很大。尤其是近几年,重大火灾事故还时有发生,不仅造成煤炭资源大量被烧毁或被冻结,而且造成人员伤亡和经济损失,给煤炭企业带来难以估量的负面影响,也严重制约着煤炭企业的经济效益。因此,火灾防治工作依然是煤炭企业领导的一项常抓不懈、重要而艰巨的任务。

“安全第一,预防为主”是我们在开采煤炭过程中同各种自然灾害事故作斗争的指导方针,也是防治煤矿火灾发生必须遵循的基本原则。因此,本书针对目前煤矿火灾防治的需要,在系统讲述煤自燃过程及机理的基础上,重点叙述煤矿火灾预测预报方法及防灭火技术的灭火机理、灭火过程和工艺,并融入了煤矿火灾事故处理的程序和事故案例的分析方法,使从事煤矿安全技术专业的学生及工程技术人员能够理解和掌握煤矿火灾发生、发展规律以及防灭火的方法和新技术,以及事故发生时果断的处理措施。希望本书对从事防灭火工作的工程技术人员及大、中专院校师生有所裨益,以提高从事煤矿安全行业人员的防灭火技能和水平,减少事故发生,促使煤炭企业的持续、和谐、快速发展。

本书主要讲述了煤自燃机理及过程,重点叙述内因火灾的防灭火技术,分别讲解不同防灭火技术的灭火机理、灭火过程和工艺,并融入了煤矿火灾事故处理的程序和事故案例的分析,使从事煤矿安全技术专业的学生和工程技术人员能够理解和掌握煤矿火灾发生、发展规律以及防灭火的新方法和新技术,以及事故发生时果断的处理措施,提高从事煤矿安全行业人员的防灭火技能和水平,减少事故发生,促使煤炭行业持续、和谐、快速发展。

全书共分为 7 章,第 1 章为矿井火灾概述,由河南理工大学余明高老师编写,主要讲解煤矿火灾发生条件、分类及危害;第 2 章为煤的自燃,由河南理工大学余明高老师编写,

主要讲解煤自燃的各种学说、煤自燃发生发展过程、影响煤自燃的因素及自然发火的鉴定方法;第3章为矿井内因火灾预测预报,由河南理工大学贾海林老师编写,主要讲解内因火灾预测的指标性气体、自燃火源的探测技术和漏风的检测技术;第4章为矿井内因火灾防治,由重庆工程职业技术学院骆大勇老师编写,主要讲解防灭火技术的灭火机理、方法和工艺;第5章为矿井外因火灾防治,由南京工业大学尤飞老师编写,主要讲解外因火灾的分类及典型外因火灾的防治措施;第6章为矿井火灾时期的管理,由安徽理工大学胡祖祥老师编写,主要讲解火灾时期风流紊乱形式及防治措施、灭火方法的选择、火区的管理、密闭和启封及火灾时期井下人员的安全保护措施;第7章为矿井火灾事故处理,由江苏建筑职业技术学院苗磊刚老师编写,主要讲解事故调查程序及事故案例调查和分析方法。全书由余明高、贾海林、胡祖祥老师负责编稿,余明高老师负责最终统稿。

在编写过程中广泛地收集和参阅了国内外有关资料和文献,在此特向参阅资料和文献的作者致以谢意。

由于编者水平有限,书中难免有不少缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编者  
2012年11月

# 目 录

第 1 章 矿井火灾概述	1
1.1 矿井火灾概况	1
1.2 矿井火灾发生三要素	2
1.3 矿井火灾分类	3
1.4 矿井火灾危害	6
习题	7
第 2 章 煤的自燃	8
2.1 煤的自燃学说	8
2.2 煤的自燃过程	11
2.3 煤自燃的特征温度分析	13
2.4 煤自燃的影响因素	16
2.4.1 影响煤自燃的内在因素	16
2.4.2 影响煤自燃的外在因素	19
2.5 煤的自燃倾向性鉴定	21
2.6 煤自然发火期	24
习题	26
第 3 章 矿井内因火灾预测预报	27
3.1 指标气体分析法的预测预报技术	27
3.1.1 预测内因火灾的指标气体种类	27
3.1.2 预测内因火灾的指标气体的特征分析	28
3.1.3 预测内因火灾的指标气体选取原则与气样可靠性	33
3.1.4 优选预测煤自然发火的指标气体的举例分析	34
3.1.5 基于指标气体的束管监测系统	39
3.2 温度探测法的预测预报技术	42

3.3	同位素测氦法的预测预报技术 .....	45
3.4	大地电场岩性探测法的火灾预测预报技术 .....	48
3.5	基于其他参量的火灾预测预报技术 .....	50
3.6	SF <sub>6</sub> 漏风检测技术 .....	52
3.6.1	漏风与自然的关系 .....	52
3.6.2	采空区漏风影响因素分析 .....	52
3.6.3	采空区漏风形式与漏风通道 .....	53
3.6.4	漏风的检测技术 .....	55
	习题 .....	62
<b>第4章</b>	<b>矿井内因火灾防治 .....</b>	<b>63</b>
4.1	概述 .....	63
4.2	开采技术防火技术 .....	64
4.2.1	开采技术防火要求 .....	64
4.2.2	开采技术防火措施 .....	64
4.3	灌浆防灭火技术 .....	66
4.3.1	灌浆防灭火的机理 .....	67
4.3.2	泥浆的输送 .....	68
4.3.3	灌浆防灭火工艺系统 .....	69
4.3.4	灌浆方法 .....	69
4.3.5	灌浆参数确定 .....	71
4.3.6	灌浆管理 .....	72
4.3.7	溃浆事故的预防 .....	73
4.4	阻化剂防灭火技术 .....	74
4.4.1	阻化剂防灭火机理 .....	74
4.4.2	国内外阻化剂发展概况 .....	74
4.4.3	阻化剂的基本概念 .....	75
4.4.4	阻化剂材料和浓度选择 .....	76
4.4.5	阻化剂防火工艺 .....	76
4.5	均压防灭火技术 .....	79
4.5.1	均压防灭火技术原理 .....	79
4.5.2	均压防灭火技术措施 .....	81



4.5.3	改风均压技术措施与原理	86
4.6	惰性气体防灭火技术	87
4.6.1	氮气防灭火技术	87
4.6.2	燃气灭火	95
4.6.3	二氧化碳(CO <sub>2</sub> )	95
4.6.4	注惰灭火的优缺点	96
4.7	泡沫防灭火技术	97
4.8	胶体防灭火技术	99
4.9	其他防灭火技术	103
4.9.1	罗克休泡沫防灭火	103
4.9.2	艾格劳尼泡沫防灭火	104
习题		104
<b>第5章</b>	<b>矿井外因火灾防治</b>	<b>105</b>
5.1	矿井外因火灾概述	105
5.2	矿井外因火灾引火源	106
5.3	矿井电气火灾防治措施	108
5.4	胶带输送机火灾防治技术	114
5.4.1	胶带输送机火灾特性及危害	114
5.4.2	胶带输送机火灾原因分析	114
5.4.3	胶带输送机火灾的防控措施	115
5.5	其他外因火灾的防治措施	120
5.5.1	其他外因火灾的管理措施	120
5.5.2	其他外因火灾的技术措施	120
5.5.3	矿井外因火灾的应急响应及紧急处置措施	130
5.5.4	不同地点火灾的防治措施	131
习题		132
<b>第6章</b>	<b>矿井火灾时期的管理</b>	<b>133</b>
6.1	火灾燃烧生成热的计算	133
6.1.1	燃烧生成热	133
6.1.2	由燃料消耗速率计算生成热	133

6.1.3 由燃烧生成产物推算燃烧生成热 .....	136
6.2 火风压的概念和特性 .....	136
6.3 火灾时期风流紊乱形式及防治 .....	140
6.4 矿井火灾时期风流的控制 .....	153
6.5 火灾时期灭火方法的选择 .....	160
6.5.1 直接灭火技术 .....	160
6.5.2 隔绝灭火技术 .....	169
6.5.3 综合灭火法 .....	176
6.6 火区的管理与启封 .....	183
6.6.1 火区管理 .....	183
6.6.2 火区检查 .....	184
6.6.3 火区启封 .....	184
6.7 火灾时期井下人员保护的安全措施 .....	187
<b>第7章 矿井火灾事故处理</b> .....	<b>189</b>
7.1 事故调查的准备工作 .....	189
7.2 成立事故调查组 .....	190
7.3 工作组的任务 .....	190
7.4 事故调查结果的通报、批复、结案和落实 .....	197
7.5 事故调查的科学分析方法 .....	197
7.6 矿井火灾事故的现场勘察任务 .....	200
7.7 矿井火灾事故现场勘察的要点 .....	201
7.8 矿井火灾现场痕迹分析及物证采集 .....	202
7.9 矿井火灾事故案例分析及教训 .....	207
习题 .....	212
<b>参考文献</b> .....	<b>213</b>

# 第 1 章 矿井火灾概述

## 1.1 矿井火灾概况

煤炭是我国重要的基础能源和化工原料,我国富煤贫油少气的状况决定了国家的能源发展必须以煤炭为基础。煤炭工业为中国经济腾飞提供了 2/3 以上的一次能源,据预测 2050 年还将占 50% 以上,因此煤炭在相当长的时期内仍将是我国的主要能源,可是作为世界上最大的煤炭生产国和消费国,我国也是世界上煤矿灾害事故最为严重的国家之一。

矿井火灾是指发生在矿井井口附近或井下、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,与矿井瓦斯、矿尘、矿井水灾和顶板冒落一起被称为煤矿五大自然灾害。国家煤矿安全生产监督管理局统计资料显示:2000 年国有煤矿共发生严重井下火灾 168 起,其中内因火灾 154 次,外因火灾 14 次,封闭采区或工作面 59 个,影响煤量 3080Mt,冻结煤量 4217Mt,发火率为 0.318 次/Mt。2001 年国有煤矿共发生严重井下火灾 204 起,其中内因火灾 190 次,外因火灾 14 次,封闭采区或工作面 58 个,影响煤量 1189Mt,冻结煤量 1746Mt,发火率为 0.725 次/Mt。根据 2006 年 9 月《中国地质灾害基本规律与发展态势》的统计数据:“全国有自燃危险的煤矿矿井近 300 个,几十年来,矿井自然发火 1 万多次,平均百万吨发火 15 次。目前仍在燃烧的火区 56 处,累计燃烧面积 720km<sup>2</sup>,每年烧掉煤炭 200 多万 t,经济损失约 200 亿元,破坏资源约 2 亿 t。”

煤自燃严重污染了大气环境,中国北方煤田每年向大气排放一氧化碳 49.02 万 t,二氧化硫 15.47 万 t,二氧化氮 30 万 t,粉尘 11.2 万 t,放出热量  $3.1 \times 10^{10}$  J。另外还排放二氧化碳和硫化氢等有害气体,造成低空空气有害物质严重超标,形成大范围的酸雨,助长地球的温室效应。火区附近有的树木、庄稼被熏死,杨树叶片苯丙比含量比清洁区高 130 倍,火区附近的人、畜患多种疾病。煤层自燃带来的其他后遗症也非常严重。它可引起周围围岩变质(简称“烧变岩”或“烧变层”),裂隙纵横,成为地下水畅行的通道,因而经常造成煤矿突水、淹井以至报废,烧变岩裂隙水也是煤矿最危险的充水水源;煤层自燃还烧毁了通过矿区的铁路、公路,阻断交通;煤田火灾使碧绿的森林牧场变成千古不毛之地,破坏土壤结构,导致水资源严重流失,引起泥石流,诱发新的地质灾害,恶化人类生存空间。

煤自然发火,95% 以上在采空区并为人们不能直视或到达的地点。采空区自然发火初期,一般温度为 300℃~400℃,范围仅几平方米。由于井下地质条件及采空区等特殊条件的限制,迄今,各种探测原理的仪器均难以准确、快速地确定这种隐蔽火源的位置和范围,也就难以采取有针对性的灭火措施,只能用大包围的办法灭火,消耗大量人力、物

力,还难以奏效。所以井下煤炭自燃火源定位问题,是防治煤炭自燃火灾急待解决的重大技术难题之一。国内外许多学者为攻克此难题进行了长期的基础理论研究和科学试验。由于问题复杂、影响因素多,虽然研究都取得一定的进展,但至今尚未得到圆满的解决。2005年11月29日—12月1日,国际煤火研究会议诸多专家根据国内外煤火研究动态认为:“煤层自燃火灾目前依然是煤矿安全生产的重大灾害之一,研究的重点关键技术是如何快速、准确地确定燃烧点的精确位置及范围。”

## 1.2 矿井火灾发生三要素

矿井火灾是煤矿主要灾害之一,矿井火灾一旦发生,轻则影响生产,烧毁煤炭资源和矿井设备,重者可能引起瓦斯煤尘爆炸,酿成人员伤亡等。矿井火灾必须同时具备可燃物、热源、空气3个方面的条件才能够发生,以上3个条件也就是人们通常所说的火三角。因此如果将矿井火灾的发生比作一个整体的环形,则三要素就是组成其环形的三分环,如图1-1所示,缺少上述任一个条件,矿井火灾都不可能发生。

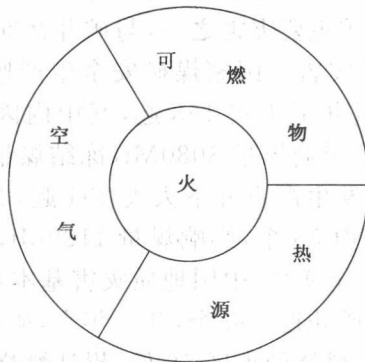


图1-1 火灾环形构成示意图

(1) 可燃物。在煤矿井下,煤炭本身就是一种大量而且普遍存在的可燃物,另外在生产的过程中产生的大量煤尘,涌出的瓦斯等可燃性气体以及使用的坑木、炸药、机电设备,柴油、液压油、润滑油、变压器油、油漆及其他油脂等各种油料,皮带、胶质风筒、橡胶电缆等橡胶制品,易燃的浸油棉纱、布头等擦拭材料都是可燃性物质。

(2) 热源。它是煤矿井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。在煤矿井下,煤炭的自燃、瓦斯、煤尘燃烧与爆炸、放炮、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) 空气。燃烧的定义是一种发热、发光,同时伴有烟雾产生的剧烈的氧化反应。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,氧气的供给是燃烧形成必不可少的基本条件。实验证明:在氧气浓度为3%的空气环境里,任何可燃物的燃烧都不能维持,在氧气浓度低于12%的空气中瓦斯失去爆炸性,所以这里所说的空气是指正常含氧量的空气,而不是贫氧的空气。

## 1.3 矿井火灾分类

为了正确地分析火灾发生的原因、发生的规律和有针对性地制定防灭火的对策,将井下火灾予以分类是必要的。矿井火灾由于它发生、发展演变过程所处的特殊和复杂环境,很难根据一条既定的原则进行分类。现在,一般的是根据它的某些主要特征和防灭火技术的需要,把它归纳成若干类型。

### 1. 根据火灾发生地点的不同

(1) 地面火灾。发生在矿井工业广场范围内地面上的火灾称之为地面火灾。地面火灾可以发生在行政办公楼、福利楼、井口楼、选煤楼以及坑木场、贮煤场、矸石山等地点。地面火灾外部征兆明显,易于发现,空气供给充分。燃烧完全,有毒气体发生量较少,地面空间宽阔,烟雾易于扩散,与火灾斗争回旋余地大。

(2) 井下火灾。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,影响生产的火灾统称为井下火灾。井下火灾可以发生在井筒、井底车场、机电硐室、火药库、进回风大巷、采区变电硐室、掘进和回采工作面以及采空区、煤柱等地点。井下火灾一般很难及时发现,井下空气供给有限,难以完全燃烧,有毒有害烟雾大量发生,随风流到处扩散,毒化矿井空气,威胁工人的生命安全,在瓦斯和煤尘爆炸危险矿井中,还可能引起爆炸,酿成重大恶性事故。

### 2. 根据引火源的不同

(1) 外因火灾。它是指出于外来热源如瓦斯煤尘爆炸、放炮作业、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。外因火灾大多容易发生在井底车场、机电硐室、运输及回采巷道等机械、电气设备比较集中,而且风流比较畅通的地点。这类火灾一般发生得比较突然,发展速度快,火势可能蔓延扩大到很大的范围。如果发现不及时,处理方法不当,或是行动措施不果断,会给矿井带来严重损失以至发生惨痛的人身伤亡事故。

一般来说,在电气化程度较低的中、小型煤矿,大多数外因火灾是由于使用明火或违章爆破等引起的。在机械化、电气化程度较高的矿井,则大多是由于机电设备管理维护不善,操作使用不当,设备运转故障等原因所引起的。而且随着矿井电气化程度的不断提高,机电设备引起的外因火灾的比重也有增长的趋势。在井下吸烟、取暖、违章放炮、电焊及其他原因,引起的外因火灾,也时有发生。近年来,由于矿井电气化、机械化的发展,因电源和油类造成的火灾比例有所增加。因比,外因火灾的比例有所上升,约占矿井火灾总数的25%~30%。

(2) 内因火灾。它是指煤在一定的条件下,如破裂的煤柱、煤壁、集中堆积的浮煤在一定外部(适量通风供氧)条件下,自身发生物理化学变化、吸氧、氧化、发热、热量积聚,使其温度升高,达到自燃点而形成的火灾称之为内因火灾。内因火灾主要发生在采空区、冒顶处和压碎的煤柱中。采空区中,尤其采用回采率低的采煤方法时,采空区中遗留的煤炭多,最容易引起煤的自燃。采空区中的自然发火占全矿井自燃火灾总数的80%左右,所以对于有自然发火危险的矿井,应及时封闭采空区,防止漏风,并采取黄泥灌浆或洒阻化剂等方法来防止采空区中煤的自燃。

内因火灾的发生,往往伴有一个孕育的过程,根据预兆能够早期予以发现。但自燃火

灾多发生在煤柱或采空区中,没有明显火焰,燃烧过程缓慢,不易被人们发现,也不容易找到火源的准确位置,一经察觉,已成火灾,只好进行封闭。所以这种火灾延续时间长,可达几个月、几年甚至几十年,有时燃烧的范围逐渐蔓延扩本,烧毁大量煤炭,冻结大量资源。

### 3. 根据发火地点对矿井通风的影响

(1) 上行风流火灾。上行风流是指沿倾斜或垂直井巷、回采工作面自下而上流动的风流,即风流从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。当上行风流中发生火灾时,因热力作用而产生的火风压,其作用方向与风流方向一致,亦即与矿井主扇风压作用方向一致。在这种情况下,它对矿井通风的影响的主要特征是,主干风路(从进风井流经火源,到回风井)的风流方向一般将是稳定的,即具有与原风流相同的方向,烟流将随之排出,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,其方向将是不稳定的,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。下行风流是指沿着倾斜或垂直井巷、回采工作面(如进风井、进风下山以及下行通风的工作面)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。在下行风流中发生火灾时,火风压的作用方向与矿井主扇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发生反向,烟流随之倒退,从而酿成又一种形式的风流紊乱事故。在下行风流内发生火灾时,通风系统的风流由于火风压作用所发生的再分配和流动状态的变化,要比上行风流火灾时复杂得多,因此,需要采用特殊的救灾灭火技术措施。

(3) 进风流火灾。发生在进风井、进风大巷或采区进风风路内的火灾,称为进风流火灾。之所以要区别出这种类别的火灾,主要是由于其特征,对井下职工的危害以及可能采取的灭火技术措施,在更大程度上又有别于上、下行风流火灾。发生在进风风流内的煤的自燃火灾,一般不容易早期发现,发生后又因供氧充分,发展迅猛,不易控制。而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,造成毒伤亡事故。在很多情况下,即使是矿井有所准备,如给工人配备自救器等,在这种火灾中还是不时发生大量的人员伤亡事故。对于这种火灾,除了根据发火风路的结构特性——上行还是下行,使用相应的控制技术措施外,更应根据风流是进风流的特点,使用适宜这种火灾防治的技术措施,如全矿、区域性或局部反风等。

### 4. 根据燃烧时燃料的相对富裕程度

英国学者 A·罗伯特在 20 世纪 60 年代根据大量燃烧实验和一些矿井火灾实例分析,提出了矿井火灾根据燃烧过程中燃料的相对富裕程度,可分为富氧燃烧和富燃料燃烧,并分析了两类燃烧的特性、转化条件和富燃料燃烧的危险性。介绍这种分类以及富燃料、富氧燃烧的特性,相互转化的条件,富燃料燃烧的危害,以及防止火灾转变为富燃料燃烧的方法和手段,旨在为矿井火灾防治和救灾提供参考。

(1) 富氧燃烧。与地面火灾相似的燃烧和蔓延机理,称为非受限燃烧。火源燃烧产生的挥发性气体在燃烧中已基本耗尽,无多余炽热挥发性气体与主风流汇合并预热下风侧更大范围内的可燃物。燃烧产生的火焰以热对流和热辐射的形式加热邻近可燃物至燃点,保持燃烧的持续和发展。其火源范围小,火势强度小,蔓延速度较



低,耗氧量少,致使相当数量的氧剩余。下风侧氧浓度一般保持在 15%(体积浓度)以上,故称为富氧燃烧。

(2) 富燃料燃烧。火源燃烧时,火势大、温度高,火源产生大量炽热挥发性气体,不仅供给燃烧带消耗,还能与被高温火源加热的主风流汇合形成炽热烟流预热火源下风侧较大范围的可燃物,使其继续生成大量挥发性气体;另一方面,燃烧位置的火焰通过热对流和热辐射加热紧邻可燃物使其温升至燃点。由于保持燃烧的两种因素的持续存在和发展,此类火灾使燃烧在更大范围内进行,并以更大速度蔓延致使主风流中氧气几乎全部耗尽,剩余氧浓度低于 2%。所以,此类火灾蔓延受限于主风流供氧量。在地面火灾中,由于此类火灾仅发生在一些空间受限制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。这种燃烧的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。

### 5. 矿井火灾的其他分类方法

为了更深入地作好矿井火灾的调查统计工作,有时也根据火灾发生地点,燃烧物及引火性质进行分类。根据火灾发火的地点不同,可以将矿井火灾分为:井筒火灾、巷道火灾、煤柱火灾、采面火灾、采空区火灾、硐室火灾等,详细如图 1-2 所示。

根据燃烧物不同也可以将矿井火灾分为:机电设备火灾、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。详细如图 1-3 所示。

同时根据引火性质不同可分为:原生火灾与次生(再生)火灾。次生火灾系指由原生火灾而引起的火灾。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,获得氧气的供给很可能再次燃烧。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。

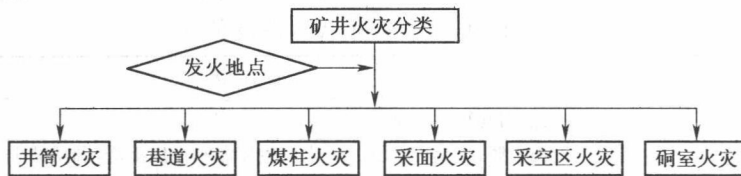


图 1-2 矿井火灾按发火地点分类示意图

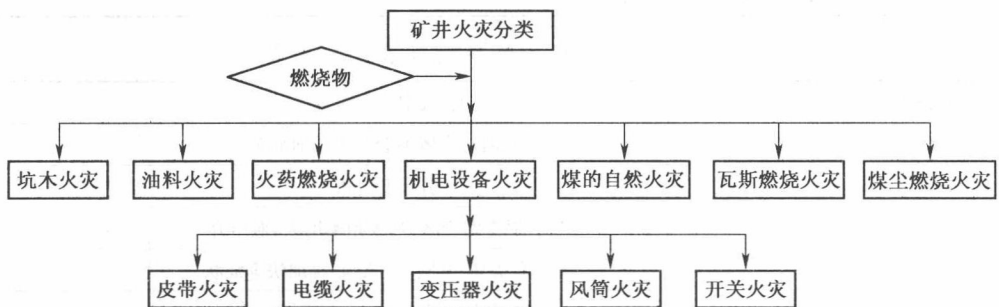


图 1-3 矿井火灾按燃烧物不同分类示意图

## 1.4 矿井火灾危害

矿井火灾事故,特别是矿井自然发火事故,是煤矿的重大灾害事故之一。它对煤矿安全生产的危害,从某种意义上来说不亚于瓦斯、煤尘爆炸事故。在煤矿矿井内的自然发火事故和外因火灾事故的不同点,一是火源点隐蔽,多发生在采空区、煤柱的受压破裂区,其次是发火初期并不产生大量的烟与明显的火焰,但都能生成大量的有毒有害气体,如一氧化碳、二氧化碳及煤的干馏气等气体;另外,其发展过程是比较缓慢的,而且多数都发生在矿内通风不良的地点。发生在采空区或远离现用巷道的自然发火,有时凭感官很难觉察到,即使有时发现了自然发火征兆,也不容易找到真正的火源点,加之在自然发火的初期,矿内空气温度、气体成分和湿度的变化都比较小,就更难以发现。由于自然发火不像外因火灾那样容易从外部表征觉察,所以,它对煤矿安全生产和矿工的生命有更大的危险性。

矿井火灾的危害主要有以下几个方面。

(1)产生有毒有害气体。矿井煤层自燃在发生过程中,会产生大量的有毒有害气体。煤炭的氧化、燃烧会生成 CO、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 等气体;坑木、橡胶、聚氯乙烯制品的燃烧,也会生成大量的 CO、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井,直接威胁矿工的身体健康和生命安全,矿井空气中 CO 气体、CO<sub>2</sub> 气体和 SO<sub>2</sub> 气体的危害主要取决于其在矿井空气中的浓度和人体的接触时间,具体如表 1-1、表 1-2 和表 1-3 所列。据统计,矿井火灾事故中直接引火烧死者是少数,大多数是因为有毒有害气体窒息而死亡的。相关资料表明,矿井火灾事故中遇难者 95%以上死于烟雾中毒;在瓦斯、煤尘爆炸中遇难者 80%~90%也是死于烟雾中

表 1-1 CO 中毒症状与浓度的关系

CO 浓度 / %	主要症状
0.02	2h~3h 内可能引起轻微头痛
0.08	40min 内出现头痛、眩晕和恶心。2h 内发生体温和血压下降,脉搏微弱,出冷汗,可能出现昏迷
0.32	5min~10min 内出现头痛,眩晕。0.5h 内可能出现昏迷并有死亡危险
1.28	几分钟内出现昏迷和死亡

表 1-2 CO<sub>2</sub> 中毒症状与浓度的关系

CO <sub>2</sub> 浓度 / %	对人体的影响
0.55	6h 内对人体不会产生任何痛苦
1~2	引起不适感
3	呼吸中枢受到刺激,呼吸频率增大、血压升高
4	感觉有头痛、耳鸣、目眩、心跳加快等症状
5	感觉喘不过气来,30min 内引起中毒
6	呼吸急促,感到非常难受
7~10	数分钟内失去知觉,以致死亡



表 1-3 SO<sub>2</sub> 中毒症状与浓度的关系

SO <sub>2</sub> 浓度/%	对人体的影响
0.0005	长时间作用无危险
0.001~0.002	气管感到刺激、咳嗽
0.005~0.01	1h 内无直接的危险
0.05	短时间内生命有危险

毒。有学者从理论上计算了矿井火灾所产生的 CO 量。一架体积为 0.17m<sup>3</sup> 的木支架全部燃烧,可生成 97m<sup>3</sup> 的 CO,它可使 1940m 长,断面为 5m<sup>2</sup> 的巷道中 CO 的浓度达到 1%,在此环境中,人只要吸上几口气就会失去知觉,经过 1min~2min 就会中毒死亡,《煤矿安全规程》规定 CO 最高容许浓度为 0.0024 %。(2)引起瓦斯、煤尘爆炸。矿井煤层自燃不仅直接为矿井的瓦斯、煤尘爆炸提供了热源,而且煤和矿井的木支护材料在干馏作用下,产生氢气、再生瓦斯和其他碳氢化合物等爆炸性气体。因此矿井煤层自燃往往会造成瓦斯、煤尘爆炸。

(3)烧毁和冻结煤炭资源。煤矿井下发生煤层自燃火灾后,使大量的煤炭资源被烧毁和冻结。据不完全统计,我国每年由于火灾而封闭工作面或采区被冻结的煤炭资源大约有 6000 万吨,同时也严重地影响矿井的寿命和造成采(盘)区、工作面以至矿井的接替紧张。例如:1996 年,某矿 8802 综放面,因回风落山角瓦斯积聚,回柱时又未认真检查瓦斯,摩擦火花引燃瓦斯,后又引起煤层燃烧,虽采取各种直接灭火措施,但终因火势较大,无法扑灭而被迫封闭工作面,造成矿井接替紧张。

(4)使设备和财产遭受损失。煤矿井下煤层自燃使昂贵的机电设备被封闭在火区内,在灭火时还要耗费大量的人力、物力和财力,同时造成的停产或减产损失也是巨大的。例如:1998 年 8 月 29 日,三矿竖井 81009 综放工作面,因受地质构造影响,改造的综采放顶煤支架适应性差,造成推进速度很慢,平均月进度只有 15m,以致造成自然发火事故,而被迫封闭工作面,工作面所有设备全部被封闭在火区内。

(5)破坏了井下作业环境。煤层自燃使下部煤层工作面作业环境受高温烘烤,造成工作人员从事体力劳动困难,直至无法工作被迫放弃对下部煤层开采。

## 习 题

1. 什么叫矿井火灾? 矿井火灾发生的三要素是什么?
2. 什么叫内因火灾? 什么叫外因火灾? 试比较两种不同火灾的特点,并从中总结处理两类火灾的指导思想与方法。
3. 井下火灾按其发火地点相对矿井通风的影响可将矿井火灾分为哪几类?
4. 根据燃烧物不同可以将矿井火灾分为哪几类?
5. 根据燃烧时燃料的相对富裕程度将矿井火灾分为哪几类?
6. 矿井火灾有哪些危害性?