

王刚 程卫民 主编 ■

KUANGJING HUOZAI FANGZHI SHIYONG CUOSHI

矿井火灾防治实用措施



 煤炭工业出版社

矿井火灾防治实用措施

主 编 王 刚 程卫民

副主编 陈连军 周 刚 谢 军

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井火灾防治实用措施 / 王刚, 程卫民主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2013

ISBN 978-7-5020-3896-0

I. ①矿… II. ①王… ②程… III. ①煤矿—矿井火灾—矿山防火 IV. ①TD75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 059556 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京房山宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 880mm × 1230mm^{1/32} 印张 11^{1/2} 插页 1
字数 292 千字 印数 1—2 000
2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷
社内编号 6706 定价 26.00 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

内 容 摘 要

本书主要包括矿井火灾预警技术、外因火灾的防治、内因火灾的防治、矿井火灾事故分析、矿井火灾防治工程应用实例等内容。

本书可作为全国煤矿火灾防治安全技术培训教材，也可供煤矿基层管理干部、工程技术人员及高等院校从事矿井火灾防治研究的师生参考使用。

前 言

我国煤矿地域分布广，煤层地质条件差异大，煤矿数量多，规模和技术装备水平参差不齐，煤矿火灾及因其导致的其他事故时有发生，煤矿火灾防治形势依然较为严峻。在国有重点煤矿中，每年因煤自燃形成的火灾约 360 次，煤炭氧化自热形成的火灾隐患约 4000 次。煤矿火灾作为煤矿生产中的主要灾害之一，严重威胁矿井的安全生产。我国现有残存火区近千个，封闭和冻结的煤量达 2 亿多吨。

随着开采技术的不断发展和完善，矿井开采强度不断加大，矿井开拓不断延深，通风系统越来越复杂，煤层自燃危险性有明显增大的趋势。为抑制、减少煤层自燃火灾事故的发生，世界各科研机构和生产部门对煤自燃火灾防治技术进行了大量的理论探讨、实验研究和现场应用，试图完善煤炭自燃火灾防治技术。为解决煤矿的煤炭自然发火问题，自 20 世纪 60 年代以来，我国历经 30 多年的研究，在煤炭自燃的相关理论、实验和综合防治技术等方面取得了较大的突破，如均压、注浆、阻化剂、凝胶、注氮技术等已成功地得到了应用，自燃火灾发生率也明显下降。

本书结合了我国在自燃火灾治理上的理论和实践经验，主要包括机理及理论分析、火灾预警技术、内外因火灾防治技术、典型火灾案例分析、工程实例等五部分内容，并对煤矿火灾防治技术进行了展望。机理及理论分析部分详细阐述了自燃火灾的过程和机理，分析了其特点及影响因素，从根本上对自然发火进行了解释；火灾预警技术部分包括预测技术、安全监控技术和预报及探测技术等，对国内外主要的预警技术进行了全面和详细的介绍；按照内外因火灾的分类方式，阐述了外因火灾和内因火灾防

治技术，既包括应用范围较广的常规技术，也包括处于科学研究前沿的先进技术；火灾案例分析部分囊括了输送带火灾、电气事故火灾、自燃火灾等较为典型的内外因火灾事故，详细分析了灾害发生的原因和经验教训；工程应用实例部分选取了不同开采时期、不同开采环境和不同开采方式条件下的防灭火工程实例，同时也介绍了一些先进的专项技术的应用；最后根据国内外火灾防治发展历程，结合现有的科学技术水平，对火灾防治技术的发展方向进行了展望。

在编写过程中，借鉴了同类文献和专著的优点，同时兼顾本书的实用性、先进性和系统性。本书内容上既有自燃机理、特点和影响因素等的理论分析，又有现有预测预报和预警技术的总结与概括；对国内近年来的典型火灾事故进行了分析，介绍了现有常规防灭火技术，列举了煤矿火灾防治工程应用实例，也阐述了前沿的科研成果。在编写过程中广泛收集和参考了国内外有关资料和文献，借本书出版之际，向参阅文献的作者和广大同仁致以谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和偏差，敬请读者不吝指正。

编 者

2013年4月

目 次

1 矿井火灾概况	1
1.1 矿井火灾	2
1.2 矿井火灾事故分类	6
1.3 矿井外因火灾	8
1.4 矿井内因火灾	12
2 矿井火灾预警技术	32
2.1 煤自然发火的预测技术	32
2.2 矿井火灾的安全监控技术	56
2.3 矿井火灾的预报及探测技术	58
3 外因火灾的防治	70
3.1 外因火灾的预防	70
3.2 直接灭火法	73
3.3 隔绝灭火法	78
3.4 综合灭火法	85
3.5 扑灭和控制不同地点火灾的方法	85
4 内因火灾的防治	89
4.1 开采技术措施	89
4.2 注浆防灭火技术	92
4.3 凝胶防灭火技术	97
4.4 均压防灭火技术	100

4.5	阻化剂防灭火技术	105
4.6	惰气防灭火技术	106
4.7	开放式综放采空区有害气体置换技术	115
4.8	泡沫防灭火	116
4.9	细水雾灭火系统	135
4.10	气溶胶灭火剂	137
4.11	MEA 防火隔离带技术	138
4.12	密闭工程技术	139
5	矿井火灾事故分析	141
5.1	肥城曹庄煤矿 19760319 火灾事故	141
5.2	枣庄朱子埠煤矿 19841114 火灾事故	143
5.3	枣庄山家林煤矿 19861124 火灾事故	144
5.4	鸡西小恒山煤矿 19900508 火灾事故	145
5.5	徐州姚桥煤矿 19951205 火灾事故	147
5.6	济宁南屯煤矿 20001130 火灾事故	149
5.7	南宁二塘煤矿 20021029 火灾事故	151
5.8	吉林万宝煤矿 20021206 火灾事故	153
5.9	湘潭正发煤矿 20031219 火灾事故	155
5.10	灵石南山煤矿 20061112 火灾事故	158
5.11	澠池兴安煤矿 20070202 火灾事故	161
5.12	澠池杨村煤矿 20070315 火灾事故	164
5.13	铅山螺丝坞煤矿 20080112 火灾事故	167
5.14	安阳主焦煤矿 20090504 火灾事故	168
6	矿井火灾防治工程应用实例	173
6.1	综采工作面防灭火技术的工程应用	173
6.2	综采“孤岛”工作面防灭火技术的工程应用	180
6.3	大倾角综采工作面防灭火技术的工程应用	185

6.4 综放工作面沿空掘进期间的防灭火技术工程应用	192
6.5 综放工作面开切眼防灭火技术的工程应用	202
6.6 综放工作面沿空重开切眼的防灭火技术工程应用	224
6.7 综放工作面近距离煤层防灭火技术工程应用	229
6.8 综放工作面推进缓慢时的防灭火技术工程应用	245
6.9 综放工作面封闭及启封期间的防灭火技术工程应用	249
6.10 综放工作面停采撤架期间防灭火技术的工程应用	269
6.11 综放工作面采空区自燃“三带”及危险区域判定工程应用	290
6.12 综放工作面一体化防灭火技术工程应用	319
6.13 隔离墙技术的工程应用	336
6.14 MEA 防火隔离带技术的工程应用	339
7 矿井火灾防治技术展望	343
7.1 矿井火灾的监测监控	343
7.2 矿井火灾的预测预报及预警	345
7.3 矿井火灾的防治技术	348
7.4 矿井火灾救援	350
参考文献	352

1 矿井火灾概况

中国煤矿地域分布广，煤层地质条件差异大，煤矿数量多，规模和技术装备水平参差不齐，煤矿百万吨死亡率与世界先进国家相比，差距很大。煤矿火灾特别是外因火灾是近年来造成中国煤矿重大人员伤亡事故的主要灾害之一，直接威胁到矿井安全生产，煤炭自燃也是影响中国煤矿安全生产的重要灾害。

中国不仅是世界第一产煤大国，同时也是矿井火灾较严重的国家之一。全国仅国有重点矿井每年发生上百次矿井火灾，而且有自燃危险的矿井占矿井总量的比例也很高。据统计，全国 657 处重点煤矿中，开采容易自燃和自燃煤层的矿井数量占 54.9%，现场统计最短自然发火期在 3 个月以内的矿井占 50% 以上，在国有重点煤矿中，每年由煤的自燃形成的火灾约为 360 次，煤炭氧化自热形成的火灾隐患约 4000 次。中国煤矿至今残存火区近 800 个，封闭和冻结的煤量达 2 亿多吨。中国煤矿百万吨发火率 7.47，与中国开采条件类似的波兰，同期的百万吨发火率仅为 0.22，差距非常明显。

国有重点煤矿发生的矿井火灾中，内因火灾占 94%。其中采空区的火灾占总发火数量的 60%，约占内因火灾数量的 64%。统计资料表明，2000 年国有煤矿有 425 个矿井发生火灾，内因火灾 154 次，封闭采区 59 个，冻结煤量 42.17 Mt，百万吨发火率 0.318；2001 年国有煤矿有 430 个矿井发生火灾，内因火灾 190 次，封闭采区 58 个，冻结煤量 17.46 Mt，百万吨发火率 0.725；2002 年国有煤矿共发生一次死亡 10 人以上事故 16 起，死亡 144 人，重伤 47 人，其中一次死亡 30 人以上特别重大事故 4 起，共死亡 228 人，特别重大事故中火灾事故占 2 起，死亡 60

人。16起死亡10人以上的事故中，瓦斯事故12起，其中8起是由于采空区的煤炭自燃火源、电器短路失火引起的。

中国煤田火灾也非常严重。煤田火灾主要分布在西北地区，特别是新疆、宁夏尤为突出。据勘查表明，新疆煤炭储量极其丰富，预测储量约占全国预测储量的30%，居全国首位，但煤田火灾非常严重。煤田火灾具有如下显著的特点：一是火区面积大，如新疆五大火区的面积为102 km²。二是燃烧时间长，如宁夏汝箕沟矿区的火区从明朝同治年间因小煤窑开采煤层露头留下的火种一直燃烧到现在。三是资源损失大，如新疆奇台北山煤田一年就被烧掉煤炭0.4 Mt。类似奇台北山火区的还有铁厂沟、小黄山、小龙口和白杨河等五大火区。据测算，仅新疆煤田因露头火而损失的煤炭资源就达210 Mt以上。

1.1 矿井火灾

1.1.1 概述

火对于人类从来都是既有利也有害的。火促进了人类文明的发展，推进了社会的进化，但若失去控制，就会给人类造成灾害。由于火失去控制后造成蔓延性的燃烧现象，称之为火灾。火灾往往造成巨大的经济损失和众多的人员伤亡，造成不良的社会影响。

在矿井或煤田范围内发生威胁安全生产、造成一定资源和经济损失或者人员伤亡的燃烧事故，称之为矿井或煤田火灾。能够波及和威胁井下安全的地面火灾，也属矿井火灾。矿井火灾一旦发生，轻则影响安全生产，重则烧毁煤炭资源和物资设备，造成人员伤亡，甚至引发瓦斯、煤尘爆炸。发生在矿井井下或地面、威胁到井下安全生产、造成损失的非控制性燃烧均为矿井火灾。如地面井口房、通风机房失火或井下输送带着火、煤炭自燃等都是非控制性燃烧。

1.1.2 矿井火灾的危害

1. 矿井火灾造成人员伤亡和财产损失

(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的蔓延造成下风侧人员中毒伤亡，也增大了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，甚至使有毒有害气流进入进风区，扩大受灾范围，造成人员进一步伤亡和财产的更大损失。

2. 矿井火灾可能诱发瓦斯爆炸，酿成更大的灾害

火源产生高温未燃尽的气体挥发物，与瓦斯混合，在流动过程中可能与相连进风道新鲜风流混合，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。

3. 矿井火灾带来安全隐患

矿井火灾产生的高温致使巷道支护破坏，巷道垮塌，机电设备设施烧损，烧毁大量煤炭，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。

4. 矿井火灾严重影响生产

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，劳动效率下降，产量下降，甚至停产。同时，矿井火灾因可能的工作面封闭影响采掘工作的正常接替。

1.1.3 火灾三要素

和所有的物质燃烧一样，导致矿井火灾发生的3个基本要素为热源、可燃物和助燃物，简称火灾三要素。

1. 热源

凡是能够引起可燃物质燃烧的热能源，如明火、灼热物体、金属撞击火花、电火花、静电放电、雷电等。

2. 可燃物

凡是能与空气中的氧气或者氧化剂发生反应燃烧的物质，如可燃固体、可燃气体以及可燃液体。

3. 助燃物

所谓助燃物，通俗地说是指帮助可燃物燃烧的物质，确切地说是指能与可燃物质发生燃烧反应的物质。氧气是最常见的助燃物质，除此之外，助燃物还包括其他各类氧化剂类物质。

氧化剂是指具有强烈氧化性能且易引起燃烧或爆炸的一类物质，这类物质按其不同性质，在不同条件下，遇酸、碱或受潮湿、强热、摩擦、撞击或与易燃的有机物、还原剂等接触，即能分解引起燃烧或爆炸。

氧化剂按其氧化性的强弱和化学组成的不同分为4类，即一级无机氧化剂（此类氧化剂不稳定，有强烈氧化性）、二级无机氧化剂（二级无机氧化剂比一级无机氧化剂稍稳定，氧化性稍弱）、一级有机氧化剂（一级有机氧化剂很不稳定，容易分解，有很强的氧化性，而且其本身是可燃的，易于着火燃烧；分解时的生成物为气体，容易引起爆炸。因此，有机氧化剂比无机氧化剂具有更大的火灾爆炸危险性）、二级有机氧化剂（二级有机氧化剂比一级有机氧化剂稍稳定，氧化性稍弱）。

火灾和爆炸事故中最常见的助燃物是空气。因此，在研究某种可燃物的火灾爆炸特性时，如果未指明助燃物，则均指助燃物为空气。

1.1.4 矿井火灾发生的基本条件

1. 具有一定能量的引火源

引火源是发生火灾的必要因素，只有具备足够热量和温度的引火源才能引燃可燃物。在矿井中，煤的自燃，瓦斯、煤尘燃烧与爆炸，爆破作业，机械摩擦生热，电流短路火花，电气设备运

转不良产生的过热，吸烟、烧焊以及其他明火都可能是引火源。

2. 可供火灾继续的可燃物

在煤矿里，煤炭本身就是一个大量而且普遍存在的可燃物。另外，在生产过程中产生的煤尘、涌出的瓦斯以及所用的坑木、机电设备、油料、炸药等都具有可燃性，它们的存在是发生火灾的基本因素。

3. 可供火灾继续的助燃剂

燃烧就是剧烈的氧化，任何可燃物尽管由热源点燃，如果缺乏足够的氧气，燃烧是难以持续的，所以空气的供给是维持燃烧形成火灾必不可少的条件。实验证明，在氧浓度为 3% 的空气环境里，任何可燃物的燃烧都不能维持；在氧浓度为 12% 的空气中瓦斯会失去爆炸性；在氧浓度为 14% 以下的空气中，蜡烛也要熄灭。所以，这里所说的空气是正常含氧量的空气，而不是贫氧的空气。

以上 3 种条件组成了火灾发生的燃烧三角形，如图 1-1 所示。

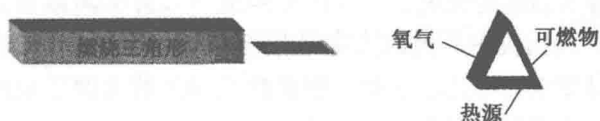


图 1-1 火灾发生的燃烧三角形

4. 要有一定量的要求，同时在适当的环境或场所条件下

燃烧四面体的概念如图 1-2 所示，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。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另一条件的新观点。

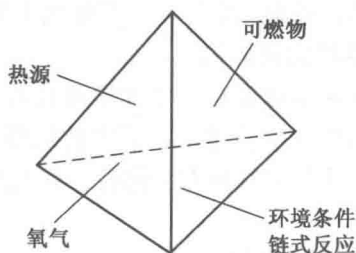


图 1-2 燃烧四面体

1.2 矿井火灾事故分类

出发点和根据不同，矿井火灾的分类方法也不同，目前常用的分类方法有以下几种。

1. 按发火原因

(1) 外因火灾。所谓外因火灾又称为外源火灾，是由外部火源所引起的，比如明火、爆破、瓦斯煤尘爆炸、摩擦火花、电流短路等所引起的火灾。

(2) 内因火灾。内因火灾是指由于煤炭在一定的条件和环境下自身发生物理化学变化，积聚热量导致着火而形成的火灾，可以简单地理解为煤炭自燃所引起的火灾。由于它不存在外部引燃的问题，因此，又称自燃火灾。

2. 按火灾发生的地点

(1) 地面火灾。凡是发生在矿井工业场地的厂房、仓库、井架、露天矿场、矿仓、储矿堆等处的火灾，叫地面火灾。

(2) 井下火灾。凡是发生在井下硐室、巷道、井筒、采场、井底车场以及采空区等地点的火灾叫井下火灾。地面火灾的火焰或由它所产生的火灾气体、烟雾随同风流进入井下，威胁矿井生产和工人安全的，也叫井下火灾。

3. 按可燃物的性质

(1) A类火灾。含碳固体可燃物的火灾，如木材、纸张、煤炭等一些普通可燃物燃烧发生的火灾都属于A类火灾。A类火灾燃烧不完全的烟流具有爆炸性，该类火灾可燃物燃烧后留下的产物是灰或灰渣。

(2) B类火灾。在易燃液体表面发生的火灾，如汽油、石油、溶剂与空气的接触面燃烧的火灾属于B类火灾。B类火灾燃烧不完全的烟流具有爆炸性，燃烧后留下残渣很少。

(3) C类火灾。可燃气体发生的火灾。C类火灾不宜直接用水灭火，在扑灭C类火灾时，应该特别注意扑灭火灾与切断可燃物供给的途径，如果在没有切断可燃物时就使燃烧终止，是十分危险的。

(4) D类火灾。在可燃金属中或其表面发生的火灾。控制和扑灭D类火灾必须采用专门的技术和专用的灭火剂或灭火设备。

4. 按燃烧状态分类

(1) 阴燃火灾。燃烧处于阴燃状态，无明显火焰的火灾。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。对于A类阴燃火灾，烟流中一氧化碳气体含量高，烟流具有可爆性或可燃性，对人体危害极大。

(2) 明火火灾。燃烧时有较长火焰的火灾。明火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，烟流具有可燃性或可爆性。

5. 按其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、采煤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。

(2) 下行风流火灾。下行风流是指沿着倾斜或垂直井巷、采煤工作面（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。

(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。

6. 其他分类方法

除上述分类方法外，还有其他分类方法。例如，按发火的具体地点，可分为井筒火灾、巷道火灾、煤柱火灾、工作面火灾、采空区火灾、硐室火灾等；按燃烧物，可分为机电设备火灾（输送带、电缆、变压器、开关、风筒等）、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然火灾；按引火性质，可分为原生火灾、次生火灾。

1.3 矿井外因火灾

1.3.1 矿井外因火灾概述

外因火灾可以发生在矿井的任何地点，我国煤矿外因火灾多发生于带式输送机 and 机电硐室。一般来说，在机械化、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。

从国内外煤矿外因火灾的总结分析可以看出，重大火灾隐患及引火源主要来自以下几个方面。

1. 明火引起火灾

明火是造成外因火灾的主要火源。它包括携带易燃品下井，井下吸烟，安全灯或火焰灯使用不当，用大灯泡烘烤或取暖，爆破或炸药燃烧引起明火，井下使用电焊、气焊、喷灯焊，瓦斯爆炸或瓦斯燃烧，矿尘或煤尘爆炸以及地面井口火灾的火焰顺风流