

教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材

矿井防灭火技术

主编 蔡永乐

Kuangjing Fangmiehuo Jishu



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

TD75
C-923

教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材

矿井防灭火技术

主 编 蔡永乐

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材之一。

全书共分九章,内容包括:燃烧及矿井火灾基础、煤炭自燃机理及预测预报技术、矿井内因火灾防灭火技术、矿井外因火灾预防及预警技术、矿井火灾救灾和风流控制技术、井下火区管理与启封、煤矿火灾事故现场勘察、矿井防灭火综合设计及典型矿井火灾事故案例分析。

本书是全国煤炭高职高专通风安全专业类通用教材,也可作为中专、技工学校采矿、通风、安全专业的教材和成人安全技术培训的教材,同时可供从事煤矿安全工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿井防灭火技术/蔡永乐主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2009.6

教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0345 - 8

I. 矿… II. 蔡… III. ①煤矿—井下火灾—矿山防火—高等学校:技术学校—教材②煤矿—井下火灾—矿山灭火—高等学校:技术学校—教材 IV. TD75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 075846 号

书 名 矿井防灭火技术

主 编 蔡永乐

责任编辑 孙建波 张 岩

责任校对 张海平

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 11.5 字数 284 千字

版次印次 2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

定 价 18.50 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

序

目前,我国各行各业的经济建设正在蓬勃发展,为国家和社会“培养有道德、有技能和有持续发展能力的高素质技能型人才”已经成为我国各高职高专院校培养人才和发展的努力方向。

为更好地适应整个社会对高职高专安全类专业人才的需求,满足高职高专院校“安全技术管理”及其相关安全工程专业的人才培养需要,高职高专安全类专业教学指导委员会于2008年4月在徐州召开了有关高职高专安全类专业教材编写会议,聘请来自全国30多所高职高专院校安全类专业的专家、学者参与教材编写,计划出版一套全国高职高专安全类专业院校较为适用的全国统编教材,以促进全国高职高专安全类专业院校的健康发展和教学水平的全面提高。

安全专业是一门知识面宽、涉及专业广、跨多学科的系统工程,各院校对此专业的基础课、专业基础课和专业课的设置均有自己的特色和办学经验。在尊重各院校办学的基础上,决定对所设的主要课程“安全管理”、“安全系统工程”、“安全人机工程”、“事故管理与应急处置”、“矿井通风与安全”、“安全管理文书写作”和“瓦斯防治与开采技术”等10多门课程的教材进行统一编写,以进一步提高教学水平,增强高职高专安全类专业学生的实际工作(竞争)能力。

在教材编写过程中,以重实践、重能力和重应用作为本套教材编写的宗旨。体现职业教育的理念、特点和要求,突出行业特点,突显理论联系实际和培养实际动手能力为主的职业教育特色;在不同章节体系上考虑不同教学方法的特点和要求,引用最新的典型事例;在知识结构上以传统与现代相结合,保持知识结构的稳定性、代表性、前沿性和前瞻性;将安全生产方针和法规融入到具体知识内容之中。增加具有职业教育特点的实训内容,并增加有关能力与素质培养的训练题。

本套教材有别于理论课程的教学设计和教学组织,强调学习过程和方法,从学生素质、兴趣和发展的角度出发,全面构建课程知识与技能,过程与方法等方面的协调一致。课程的学习应当是学生自主学习为主,教师引导为辅,把“过程和方法”的培养作为课程教学目标之一,将学习重心从知识的传承积累向知识的探究积累过程转化。

本套教材是目前高职高专安全类专业较为系统和实用的专用系列教材,可满足当前安全类高职高专院校的教学需要,可大大提高安全类高职高专院校的教学水平,为规范教学创造了条件。

教育部高等学校高职高专安全专业类教学指导委员会

2008年8月8日

前 言

本书是教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材之一。

为满足煤炭高等职业教育发展的需要,根据培养高等技术应用型专门人才的要求和煤炭行业特点,我们编写了《矿井防灭火技术》一书。本书在编写过程中,贯彻了“基础理论教学以应用为目的,以掌握概念、强化应用、培养技能为教学重点”的原则,吸收了以前教材的优点,汇集了近年来国内外煤矿防灭火技术最新科研成果,在满足高职高专通风与安全专业必需理论的前提下,尽量突出教材的科学性、系统性和实用性,力求体现以能力培养为主的现代职业教育观。

本书由蔡永乐任主编。具体编写分工如下:太原理工大学阳泉学院蔡永乐编写第一、第四、第五章,太原理工大学阳泉学院尹玉臣编写第二、第三章,太原理工大学阳泉学院范鹏宏编写第六、第七章,太原理工大学阳泉学院陈娟编写第八章,吕梁高专宋要斌编写第九章。

在本书编写过程中,中国矿业大学北京校区吴兵教授、朱洪青教授在资料收集、大纲初审等方面提出了许多宝贵建议,在此表示衷心感谢。同时,在本书编写过程中,汇集、吸收、借鉴了同类教材和相关书籍的精华,在此向各位原作者表示诚挚感谢。

物之初出,其形必丑。由于编者水平有限,加上时间紧迫,书中不妥之处在所难免,恳请同仁批评指正。

编 者

2008年12月

目 录

第一章 燃烧及矿井火灾基础.....	1
第一节 燃烧的基本概念.....	1
第二节 火灾及矿井火灾基本概念.....	5
第三节 矿井火灾危害.....	9
第二章 煤炭自燃机理及预测预报技术	11
第一节 煤炭自燃机理	11
第二节 煤炭自燃一般规律	13
第三节 影响煤炭自燃因素	15
第四节 自然发火预测预报技术	17
第三章 矿井内因火灾防灭火技术	23
第一节 开采技术措施	23
第二节 预防性灌浆	26
第三节 阻化剂防灭火	32
第四节 凝胶防灭火	34
第五节 均压防灭火	38
第六节 氮气防灭火	48
第四章 矿井外因火灾预防及预警技术	53
第一节 矿井外因火灾成因	53
第二节 矿井外因火灾预防	55
第三节 矿井外因火灾预测与预警技术	65
第五章 矿井火灾救灾和风流控制技术	69
第一节 矿井火灾初期救灾基本要求	69
第二节 灭火救灾组织与安全保障	71
第三节 矿井火灾救灾技术	75
第四节 矿井火灾时期风流控制技术	96
第六章 井下火区管理与启封.....	106
第一节 火区管理.....	106
第二节 火区可疑火源燃烧状态分析.....	110
第三节 火区启封技术.....	117
第七章 煤矿火灾事故现场勘察.....	124
第一节 火灾事故现场勘察任务.....	124
第二节 火灾事故现场勘察要点.....	125

第三节	矿井火灾现场痕迹分析与物证采集·····	126
第八章	矿井防灭火综合设计·····	132
第一节	矿井防灭火综合设计的组成·····	132
第二节	灌浆防灭火系统设计·····	133
第三节	均压防灭火系统设计·····	140
第四节	矿井漏风通道查找·····	145
第五节	注氮防灭火系统设计·····	149
第九章	典型矿井火灾事故案例分析·····	154
第一节	矿井内因火灾事故案例分析·····	154
第二节	矿井外因火灾事故案例分析·····	163
参考文献 ·····		174

第一章 燃烧及矿井火灾基础

火给人类带来了文明,同时也给人类带来了灾难。尤其是在煤矿,由于受生产条件及作业环境的限制,一旦发生火灾,将给煤矿造成极大损失。特别是井下火灾,常常与煤尘爆炸、瓦斯爆炸密切联系、互为因果、相互影响,因此,矿井火灾是煤矿主要灾害之一。

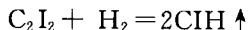
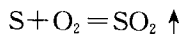
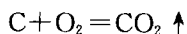
研究矿井火灾的目的,一方面是要了解、掌握矿井火灾发生和发展的规律,以便及时准确地预测、预报火灾的发生;另一方面是一旦发生火灾,能根据火灾发生的性质、规律及地点等采取有针对性的措施并及时扑灭火灾。

第一节 燃烧的基本概念

可燃物质的燃烧一般并不是物质本身在燃烧,而是可燃物质受热分解出的可燃气体或蒸气在氧化剂中(如空气中的氧气)燃烧。在可燃物质的燃烧过程中也有些物质不能成为气态燃烧,如焦炭燃烧时呈灼热状态,而不显现火焰。一般地说,气体物质燃烧比固体和液体物质燃烧要容易得多。因为气体物质燃烧不需要像固体和液体那样经过熔化、蒸发等准备过程,而在常温下就准备好了燃烧条件。气体燃烧所需的热量仅用于氧化和分解气体并将气体加热到燃点,所以容易燃烧。任何物质的燃烧都需要温度和氧化剂。

一、燃烧的本质

可燃物和氧化剂两种成分在空间发生激烈化学反应的过程称为燃烧。一般地说,可燃物质燃烧时常常伴随放热、发光过程和新物质的生成。如:



近代燃烧理论认为,燃烧是一种游离基的链锁反应。链锁反应也称链式反应,即在瞬间进行的循环连续反应。游离基是一种瞬间的不稳定的化学物,可能是原子、分子碎片或其他中间物,它们的活性非常强,当设法使反应物产生少量的活性中心——游离基时,即发生链锁反应。反应一经开始就可经过许多链锁步骤自动发展下去,直至反应物全部耗尽为止。当活性中心由于某种原因消失时,链锁反应就会中断,燃烧也就停止。链锁反应机理大致可以分为三步:① 链引发:即生成游离基,使链式反应开始。生成的方法有热解法、光化法、放射线照射法、氧化还原法、催化及机械法等;② 链传递:游离基作用于其他参与反应的化合物时,产生新的游离基;③ 链终止:即游离基的消失,使链锁反应终止。

从燃烧的本质可知:凡是发光、发热的剧烈化学反应都叫做燃烧,其燃烧不只局限于可燃物和氧气的剧烈反应。如金属钠、氢气既能在空气里燃烧,也能在氯气里燃烧。一般情况下,人们所说的燃烧是指可燃物与空气里的氧气发生的一种伴有发光、发热现象的剧烈氧化反应。

二、燃烧的特征

如上所述,放热、发光和有新物质生成是燃烧反应的三个特征,也是区别燃烧和非燃烧现象的依据。如点亮的灯泡中钨丝有放热、发光现象,但无新物质生成,属于物理过程,并非燃烧现象;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。

三、燃烧的条件

1. 燃烧的必要条件

可燃物质燃烧过程的发生和发展,必须具备以下三个必要条件,即:可燃物、氧化剂和温度(引火源)。只有这三个条件同时具备,才可能发生燃烧现象,无论缺少哪一个条件,燃烧都不能发生。但是,并不是上述三个条件同时存在,就一定会发生燃烧现象,必须是这三个因素相互作用才能发生燃烧。

① 可燃物:能与空气中的氧或其他氧化剂起燃烧化学反应的物质称为可燃物。可燃物按其物理状态分为气体可燃物、液体可燃物和固体可燃物三类。可燃烧物质大多是含碳和氢的化合物,某些金属如镁、铝、钙等在某些条件下也可以燃烧,还有许多物质如肼、臭氧等在高温下可以通过自己的分解而放出光和热。

② 氧化剂:帮助和支持可燃物燃烧的物质,即能与可燃物发生氧化反应的物质称为氧化剂。燃烧过程中的氧化剂主要是空气中游离的氧,另外如氟、氯等也可以作为燃烧反应的氧化剂。

③ 温度(引火源):是指可燃物与氧或助燃剂发生燃烧反应的能量来源。常见的是热能,其他还有化学能、电能、机械能等转变的热能。

④ 链式反应:有焰燃烧都存在链式反应。当某种可燃物受热时,它不仅会汽化,而且该可燃物的分子会发生热裂解作用从而产生自由基。自由基是一种高度活泼的化学形态,能与其他自由基和分子反应,而使燃烧持续进行下去,这就是燃烧的链式反应。

2. 燃烧的充分条件

一定数量或浓度的可燃物、充足的氧气含量、一定能量的热源及未受抑制的链式反应是燃烧的充分必要条件。对于无焰燃烧,前三个条件同时存在,相互作用,燃烧即会发生。而对于有焰燃烧,除以上三个条件外,燃烧过程中存在未受抑制的游离基(自由基),形成链式反应,使燃烧能够持续下去,也是燃烧的充分条件之一。例如,瓦斯浓度低于4%或空气中氧气浓度低于12%或火源温度低于595℃的瓦斯与空气混合气体便不能燃烧。汽油的最小点火能量为0.2 mJ,乙醚为0.19 mJ,甲醇为0.215 mJ。

四、燃烧的形式

燃烧中可燃物可分为固态(如煤、木材、橡胶、合成高分子化合物等)、气态(如瓦斯、热解产生的各种挥发性气体、一氧化碳等)、液态(如燃油、润滑油等)三大类,它们燃烧的形式有以下几种:

1. 扩散燃烧

扩散燃烧也叫气体燃料燃烧。如甲烷(CH_4)、一氧化碳(CO)等可燃气体从管道孔口流

出(如图 1-1),与新鲜空气汇合时,可燃气与空气分子间扩散而形成混合气体,当其浓度达到燃烧界限后,遇火源则在一定范围内燃烧。当可燃气体和氧气不断补给、混合时,燃烧则持续进行。

2. 分解燃烧

分解燃烧出现于固体和部分液体燃料的燃烧中。在燃烧过程中,可燃物首先遇热分解,热分解产物和氧化反应产生燃烧火焰。如木材、煤炭、橡胶、合成高分子化合物等固体燃料及柴油、煤油、润滑油等高沸点油脂以及蜡、沥青等固体烃类物质燃烧。

火源首先加热木材,使其失去水分而干燥,然后木材发生热分解,释放出挥发性气体,产生燃烧火焰,放出热量,释放的热量继续加热木材,使木材不断分解,从而使燃烧延续。

3. 表面燃烧

表面燃烧发生于固体燃料燃烧的后期。固体可燃物燃烧时,不断分解出挥发性气体,而挥发性气体燃烧放出的热量继续维持新的固体燃料热分解和燃烧。当原来燃烧的燃料所含挥发性气体、煤焦油分解完后,剩下固体碳(焦炭)。这时,燃烧在焦炭与空气的接触表面进行,称为表面燃烧。固体燃料呈红热表面,但没有火焰。

4. 预混燃烧

可燃气体与空气预先充分混合的燃烧称为预混燃烧。在一定环境条件下,可燃气体与空气在着火前预先充分混合,其浓度处于燃烧(或爆炸)界限之内,遇火源即会发生燃烧。预混燃烧在混合气体分布空间快速蔓延,在一定条件下会转变为爆炸。

5. 爆炸

爆炸是燃烧的特殊形式,是可燃物质急剧氧化或分解反应,使温度、压力急剧增加或使两者同时急剧增加并伴有巨大声响的现象。

燃烧和爆炸的共同点都是一种放热发光的化学反应,两者最本质的区别在于燃烧蔓延的速度比较低,一般为每秒几厘米至几米,而爆炸的传播速度为每秒几百至数千米。另外,燃烧过程的蔓延容易受外界条件(如温度、压力、风向)影响,而爆炸几乎不受外界环境的影响。

由于可燃物质的化学组成不同,所以燃烧过程和燃烧速度也不同。影响物质燃烧速度的原因有以下几点:

① 同一可燃固体物质的燃烧速度,取决于燃烧表面积的比例。如果燃烧表面积对体积的比例越大,那么它的燃烧速度就越大,反之燃烧速度越小。

② 物质的燃烧速度还取决于物质的组成成分、物质中含碳、氢、硫、磷等可燃性元素越多,燃烧的速度越快,反之则慢,如苯是由 92.3% 的碳和 7.7% 的氢组成,而乙醇是由 52.2% 的碳、13% 的氢和 34.8% 的氧组成,所以乙醇的燃烧速度比苯慢。

③ 物质的燃烧速度由其氧化功能加以区别,氧化功能越大,燃烧速度越快,反之则慢。

燃烧速度一般在 $0.1 \sim 10 \text{ m/s}$ 的范围内。例如,甲烷与空气混合气体的最大燃烧速度(甲烷约 10%)为 0.35 m/s ,氢与空气混合气体(氢约 43%)为 2.7 m/s 。

燃烧按氧化速度不同,一般分为闪燃、着火、自燃、化学爆炸,各特点如图 1-2 所示。

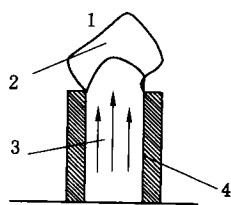


图 1-1 扩散燃烧火焰结构图

1——空气;2——扩散混合区;
3——气态燃料;4——管口

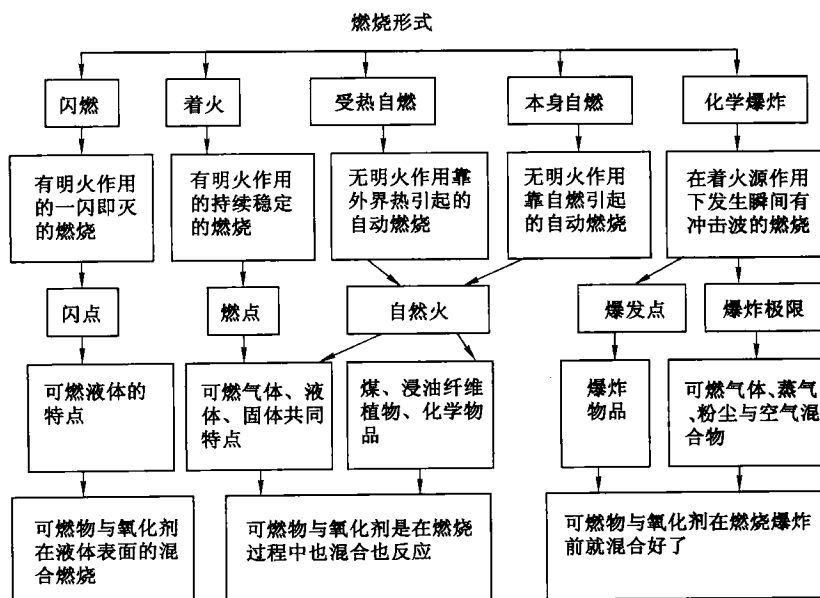


图 1-2 可燃物质的燃烧类型与特点

五、关于燃烧常用的几个概念

1. 闪燃与闪点

任何一种液体的表面上都有一定数量的蒸气，而蒸气浓度则决定该液体所处的温度。在一定温度下，易燃、可燃液体（也包括能蒸发出蒸气的少量可燃固体，如石蜡、樟脑等）表面附近可产生足够浓度的蒸气，一旦遇到火源就会发生一闪即灭的燃烧，这种现象叫做闪燃。易燃、可燃液体表面上挥发出的蒸气与空气形成混合物后，遇火源能发生闪燃的最低温度叫闪点。不同的可燃液体有不同的闪点，闪点越低，火灾危险性越高。所以，闪燃是火警的先兆，闪点则是评价可燃液体火灾危险的主要根据。表 1-1 是几种燃油的闪点。

表 1-1 几种燃油的闪点

种类	轻质汽油	重质汽油	煤油	柴油	润滑油
闪点/℃	-50~8.5	-45~10	28~45	50~90	100~320

2. 自燃与自燃点

凡是没有明火作用而发生自行燃烧的现象，统称为自燃。能使可燃物质持续燃烧（不少于 5 s）的最低温度叫自燃点，对于固体燃料的燃点也叫着火点。

由于热源不同，可燃物质自燃又分为受热自燃和本身自燃。受热自燃是指由于外界加热达到自燃点而引起的自行燃烧现象。如可燃物质在加热、烘烤、熬炼和热处理中或者受摩擦热、辐射热、化学反应热和压缩热的作用所引起的燃烧都属于受热自燃。本身自燃也称自热自燃，是可燃物质由于生物、物理化学的作用发热达到自燃点而引起的燃烧。如煤的自燃、稻草的自燃、硫化铁的自燃等，都属于自热自燃。

3. 火焰燃烧与阴燃现象

火焰燃烧是一种伴随可燃性挥发气体析出并燃烧的迅速氧化过程,通常出现放热、发光现象。在氧浓度低于 10% 时火焰燃烧难以维持。

阴燃又称闷燃或冒烟燃烧。氧化过程发生在固体可燃物表面,也能维持自我持续燃烧,但因氧气不足或热分解挥发性气体不足而不能产生火焰燃烧。一般地,空气中氧浓度低于 2% 时阴燃终止。

4. 最小点燃能与火焰传播速度

点燃可燃性气体需要一定的能量,若只能瞬间产生高温,但热能不大,则会很快冷却下来,不能维持燃烧,能够维持燃烧的最小能量称为最小点燃能。如甲烷在空气中体积浓度为 8.5% 时最小点燃能为 0.28 mJ。火焰传播速度是火焰在燃烧表面垂直方向向静止混合气体传播的速度。如甲烷在空气中燃烧时的火焰传播速度是 35 cm/s。

第二节 火灾与矿井火灾基本概念

一、火灾与矿井火灾

火灾是指在时间或空间上失去控制的燃烧所造成的灾害。在各种灾害中,火灾是最经常、最普遍的威胁公众安全和社会发展的主要灾害之一。人类能够对火进行利用和控制,是文明进步的一个重要标志。火,给人类带来文明进步、光明和温暖。但是,失去控制的火,就会给人类造成灾难。随着社会的不断发展,社会财富的日益增多,导致发生火灾的危险性也在增大,火灾的危害性也越来越大。据统计,我国 20 世纪 70 年代火灾年平均损失不到 2.5 亿元,80 年代火灾年平均损失不到 3.2 亿元,进入 90 年代,火灾造成的直接财产损失上升到年均十几亿元,年均死亡 2 000 多人。

矿井火灾是指发生在煤矿井下或地面井口附近,威胁到矿井安全生产,造成损失的非控制燃烧。如地面井口房、通风机房失火或井下胶带着火、煤炭自燃等都是非控制燃烧,均属矿井火灾。矿井火灾是煤矿五大灾害之一,由于受生产条件及作业环境的限制,一旦出现火灾,往往会给煤矿造成巨大损失,并且常常与煤尘爆炸、瓦斯爆炸互为因果、密切联系、相互影响,往往会造成大量的人员伤亡。例如,抚顺矿务局某矿 1961 年 3 月 16 日死亡 110 人的电气火灾;1977 年 4 月 14 日,抚顺矿务局某矿在处理 507 采区 5 道斜管子道顶部浮煤自然发火时,从上午 10 时 50 分至 19 时 07 分,连续发生 5 次瓦斯爆炸,致使 83 人遇难。

一般地说,火灾往往是由一种可燃物质引起另一种或多种可燃物质的非控制性燃烧。因此,其火烟成分往往是各种有毒有害气体的混合物,从而加大了火烟气体的毒性和爆炸性。

二、矿井火灾分类

为了便于分析矿井火灾发生的原因和规律,有针对性地制定防灭火措施,对矿井火灾进行分类是很有必要的。矿井火灾的分类方法很多,概括起来主要有以下几种分类方法。

1. 按引火热源分类

① 外因火灾

外因火灾是由外部高温热源(如爆破、烧焊、电流短路、明火等)引起可燃物质燃烧造成

的火灾。这种火灾多发生在井口房、井筒、井底车场、石门及机电硐室和有机电设备的巷道等地点。外因火灾具有火源明显、发生突然、来势凶猛等特点,若发现不及时,可能酿成恶性事故。由于外因火灾往往是由表及里进行的,若发现及时,还是容易扑灭的。据统计,矿井外因火灾所占的比重一般都比较小(10%),尤其在开采易燃煤层的矿井里更为明显。实践证明,外因火灾给矿井带来的物质损失和造成的人身事故都比内因火灾多,所以,绝不能由于外因火灾所占比重小而不予重视。

② 内因火灾

内因火灾是煤炭或其他可燃物在一定的条件和环境下,本身发生物理化学变化,产生并聚集热量导致着火而形成的火灾,也称自然发火。内因火灾大多发生在采空区、遗留的煤柱、破裂的煤壁、煤巷的高冒处以及浮煤堆积的地点。它具有发生和发展缓慢、需经历一段时间、有预兆和火源比较隐蔽等特点。由于火源比较隐蔽,致使人们不能及时扑灭火灾,导致有的自然发火可以持续数日、数月、数年,甚至几十年、几百年不灭,燃烧的范围逐渐蔓延扩大,烧毁煤炭资源,冻结大量煤炭。

2. 按火源下风侧氧气浓度大小分

① 富燃料燃烧火灾

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干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邻近可燃物使其温度升至燃点。由于保持燃烧的两种因素的持续存在和发展,此类燃烧在更大范围进行,并以更快速度蔓延,致使主干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、供氧受限的情况下,故也称为受限火灾。基于其下风侧烟气氧浓度接近于零的特征,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,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。

如图 1-3 所示,富燃料燃烧火灾火源沿风流方向可分为四个带。各带烟流的平均温度 t 、氧气浓度 $O_2(\%)$ 和碳化物组分 $\sum C(\%)$ 的变化对应显示在图的上半部分。

a. 冷却带。火源燃烧已掠过该带,火焰已熄灭,仅存在受迫对流传热,无氧化反应发生,巷道壁温下降但仍高于风流温度,使流经该带的风流温度缓慢上升,风流的氧浓度不变且不含碳化物。

b. 焦化带。可燃物的高温焦化残余物——焦炭,与风流中的氧发生氧化反应,继续燃烧,属于表面燃烧形式。流经该带的风温上升,碳化物浓度增长,氧浓度开始减少。

c. 高温热解带。高温热解带又分为燃烧和剩余燃料两个分带。在燃烧分带,可燃物热解生成的挥发性可燃气体在风流中燃烧,烟流浓度达到最高值,碳化物浓度继续增高,烟流中氧浓度几乎降到零。因氧气缺乏,燃烧停止,剩余部分炽热挥发性气体流向下风侧,该分带燃烧属于热解燃烧。在剩余燃料分带,高温挥发性气体与燃烧产生的热共同作用加热该分带可燃物,使其热解生成大量挥发性气体,并混合于烟流中顺风流动。在该分带,热解过程吸热,氧化放热反应停止,温度开始下降,氧浓度接近零。

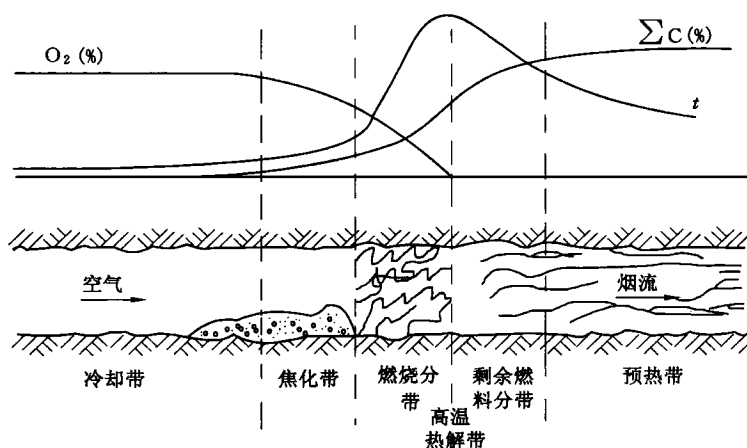


图 1-3 富燃料燃烧火灾火源分带示意图

d. 预热带。含有挥发性气体的高温烟流向巷壁传热,温度继续下降,同时烘干、预热下风侧巷道壁,为火源蔓延创造条件。该带的传热过程以受迫对流传热为主,在接近高温热解带的区域也存在热辐射现象。

② 富氧燃烧火灾

富氧燃烧火灾具有与地面火灾相似的燃烧和蔓延机理,也称为非受限燃烧火灾。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。这种燃烧火源范围小,火势强度小,蔓延速度较低,耗氧量少,氧的剩余量大,下风侧氧浓度一般保持在 15%(体积浓度)以上,故称为富氧燃烧火灾。

富氧类火灾火源分带如图 1-4 所示。此类火灾在冷却带和焦化带与富燃料类火灾相似,只是因火势较小,焦化带中氧浓度降低较少。在燃烧带,由于富氧燃烧时温度较低,分解的挥发性气体量较少,故全部在该带燃烧中耗尽,无显著的高温热解带,也不存在剩余燃料

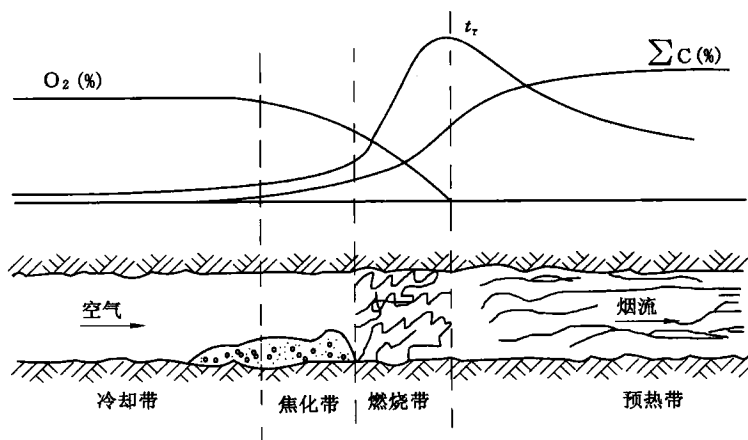


图 1-4 富氧燃料燃烧火灾火源分带示意图

分带。在燃烧带中风流氧浓度的减少远小于富燃料类火灾,风流温度和碳化物浓度也低于富燃料类火灾。

综上所述,富氧燃烧和富燃料燃烧两类火灾的基本特性可用表 1-2 表述。

表 1-2 两类火灾的特性

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

3. 按发火地点分类

矿井火灾按发火地点分为井上火灾和井下火灾。井上火灾是指发生在矿井工业场地内的厂房、仓库、储煤场、矸石场、坑木厂等处的火灾。地面火灾具有征兆明显、易于发现、空气供应充分、燃烧完全、有毒气体产生量小、空间宽阔、烟雾易于扩散、灭火工作回旋余地大、易扑灭等特点。

井下火灾是指发生在煤矿井下或发生在地面但能波及井下的火灾。如胶带着火、煤炭自燃等。井下火灾一般是在空气供给有限的情况下发生的,特别是采空区火灾和煤柱内火灾,即使发生在风流畅通的地点,其空间和供氧条件也是有限的。因此,井下火灾发生发展过程比较缓慢。另外,井下人员视野受到限制,且大多数火灾发生在隐蔽的地方,一般情况下是不易发现的。初期阶段,其发火特征不明显,只能通过空气成分的微小变化,即矿井空气温度、湿度的逐渐增加来判断,只有燃烧过程发展到明火阶段,产生大量热、烟气和气味时,才能被人们觉察到,火灾发展到此阶段,可能引起通风系统紊乱,瓦斯、煤尘爆炸等恶果,给灭火救灾工作带来预想不到的困难。

4. 按可燃物的性质分类

按可燃物的性质可将火灾划分为五个类别:

A 类火灾:指含碳固体可燃物,如木材、棉、毛、麻、纸张等物质的火灾。

B 类火灾:指甲、乙、丙类液体,如汽油、柴油、甲醇、乙醚、丙酮等物质的火灾。

C 类火灾:可燃气体,如煤气、天然气、甲烷、丙烷、乙炔、氢气等物质的火灾。

D 类火灾:指可燃金属,如钾、钠、镁、钛、锆、锂、铝合金等物质的火灾。

E 类火灾:指带电物质和精密仪器物质的火灾。

5. 其他分类

① 根据井下发火位置不同分为井筒火灾、巷道火灾、采面火灾、煤柱火灾、采空区火灾和硐室火灾等。

② 根据燃烧物不同分为机电设备(胶带、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、瓦斯燃烧火灾和煤炭火灾等。

③ 根据发火性质不同分为原生(初生)火灾与次生(再生)火灾。次生火灾是指由原生

火灾而引起的火灾。在原生火灾的发展过程中,含有可燃物的高温烟流由于缺氧而未能完全燃烧,在排烟道路上一旦与新鲜风流汇合,很可能再次燃烧。特别是正处于干燥的木支架支护区,由于高温烟流的烘烤,木材已达到燃点,只是因缺氧而不能燃烧,一旦有新风供给极易形成次生火灾(也称为火灾的“跳蛙”现象)而扩大受灾范围。

④ 根据发火地点不同和火灾对矿井通风系统的影响以及与此相关的灭火救灾的难易程度,矿井火灾又分为上行风流火灾、下行风流火灾和进风流火灾。

上行风流火灾:发生在自井巷标高最低点向最高点流动的风流中的火灾。

下行风流火灾:发生在自井巷标高最高点向最低点流动的风流中的火灾。

进风流火灾:发生在矿井进风巷或采区进风巷道内的火灾。

⑤ 按火灾燃烧状态不同,可将火灾分为阴燃火灾和明火火灾,明火火灾又可分为富氧燃烧火灾和贫氧燃烧火灾(如前所述)。

第三节 矿井火灾危害

我国是一个矿井火灾灾害较为严重的国家。据 2000 年对全国 425 个国有煤矿资料统计,发生火灾 168 次,其中内因火灾 154 次,外因火灾 14 次,封闭采区或工作面火灾 59 个,冻结煤量 4 217 Mt,发火率为 0.318 次/Mt。矿井火灾的发生对煤矿正常生产及职工安全具有严重的危害性,主要表现在以下几个方面。

一、产生大量的高温烟流,造成人员伤亡

矿井火灾发生后,不同的可燃物会释放出大量的高温烟流。由于井下工作空间狭窄,火灾所产生的大量烟气和热量在井下不易散失,在主通风机负压作用下高温烟流将随风迅速波及很大的范围,使这些区域的人员受到高温烟流的伤害。此外,高温烟流沿途烘烤下风侧一切可燃物(支架、煤层等),还可引起再生火灾,使火区范围进一步扩大。在这些高温烟流中含有大量的有毒有害气体,如一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、烟尘等,这是井下工作人员中毒、窒息的主要原因。据统计,在矿井火灾事故中的遇难者 95% 以上是死于烟气中毒、窒息。

二、引起瓦斯、煤尘爆炸,使灾情扩大

矿井火灾给瓦斯、煤尘爆炸提供了引火热源。因此,矿井火灾发生时,在有瓦斯和煤尘爆炸危险的矿井,往往伴随有瓦斯、煤尘爆炸事故,且爆炸又会造成已经沉落的煤尘再次飞扬,导致出现连续爆炸,使受灾范围和程度扩大。此外,火灾发生后,由于火区温度升高,使接近火区的煤层干馏,产生一些可燃易爆气体,如甲烷、乙烯、乙炔和氢气等。因此,在无瓦斯矿井或低瓦斯矿井发生火灾时,也有发生可燃性气体爆炸的危险。

三、引起矿井风流状态紊乱

当矿井火灾发展到一定强度后,高温烟流经过不同标高巷道会产生附加的自然风压——火风压,矿井出现火风压时,可能会造成矿井通风网路风流方向的紊乱(风流逆转、倒退和滚退),从而使烟气的流动失去控制,进一步扩大灾区范围,使更多的井下人员受到火灾

烟气的毒害。同时给井下的安全撤退也带来极大的困难和危险。

四、造成巨大经济损失

矿井火灾发生时,往往会烧毁大量的采掘运输设备和器材,暂时没被烧毁的设备和器材,由于火区长时间封闭和灭火材料的腐蚀,也可能使部分或全部设备报废,造成巨大的经济损失。

五、破坏矿井正常生产秩序

井下火灾一旦发生,往往会造成矿井局部区域甚至全矿性停产,尤其是发生在采空区或煤柱里的内因火灾,往往在短期内难以消灭。在这种情况下,一般都要采取封闭火区的处理方法,从而造成大量煤炭冻结,矿井生产接续紧张,对一矿一井一面的集约化生产矿井,这种封闭会造成全矿停产,从而使矿井正常生产秩序遭到破坏,造成采掘衔接紧张。

六、严重污染环境

煤层露头火灾由于火源面积大、燃烧深度深、火区温度高以及缺乏足够资金和先进的灭火技术,使得火灾长时间不能熄灭,在烧毁大量煤炭资源的同时,会释放出大量有毒有害气体,造成大气中有害气体严重超标,形成大范围的酸雨和温室效应,煤田火区的高温也会使绿洲变为寸草不生的塌陷区,使土地荒漠化。此外,火区燃烧生成酸碱化合物对火区附近的地表水和浅层地下水会造成严重的污染。

复习思考题

- (1) 什么是燃烧? 燃烧的本质、特征和条件有哪些?
- (2) 燃烧的形式有哪些? 各有哪些特点?
- (3) 什么是富氧燃烧和富燃料燃烧? 其基本特征和特点有哪些?
- (4) 什么是矿井火灾? 矿井火灾的危害主要有哪些?
- (5) 矿井火灾是如何分类的? 各分为哪几类?