



全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

矿井 火灾防治

主编 吕智海 王占元

煤炭工业出版社

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

矿井火灾防治

主 编 吕智海 王占元
副主编 张长喜 戴仁竹

煤炭工业出版社

·北 京·

内 容 提 要

本书是全国煤炭高职高专矿井通风与安全类“十一五”规划教材之一。

全书共分六章,内容包括:矿山火灾概述、煤炭自然发火、矿井内因火灾的预防、矿井外因火灾及其防治、矿井火灾时期的通风、矿井灭火技术,并附有实验与课程设计指导。

本书是高职高专院校矿井通风与安全专业、采矿工程、安全工程专业的通用教材,也可作为中等专业学校、技工学校矿井通风与安全专业、采矿工程类专业、成人安全技术培训的教材,同时可供从事矿井安全工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿井火灾防治/吕智海,王占元主编. —北京:煤炭工业出版社,2007.6

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5020-3082-7

I. 矿… II. ①吕…②王… III. 井下火灾-矿山防火-高等学校:技术学校-教材 IV. TD75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 059767 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

环球印刷(北京)有限公司 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 8¹/₄

字数 200 千字 印数 1—6,000

2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

社内编号 5883 定价 15.50 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

全国煤炭高职高专矿井通风与安全类“十一五”规划教材

编审委员会

主任：辛大学 王永安

副主任：刘殿武 李永怀

秘书长：刘其志

委员（以姓氏笔画为序）：

王永祥 王占元 王延飞 朱云辉

刘子龙 刘学鲁 孙玉峰 孙和应

吕智海 任世英 李洪 沈杰

何林 苏寿 张长喜 张钦祥

陈雄 陈光海 高专 姚向荣

常海虎 郭林祥 彭奏平

前 言

本书是由中国煤炭教育协会和中国矿业大学(北京)教材编审室共同组织编写的,是全国煤炭高职高专矿井通风与安全类“十一五”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性专门人才的要求和煤炭行业的特点,我们编写了《矿井火灾防治》教材。本书在编写过程中,注重介绍我国煤矿矿井火灾防治新技术、新成果,在满足高职高专矿井通风与安全专业必需的理论知识前提下,尽量突出实践性教学环节,力求体现以能力培养为主的现代高等职业教育观。为此,书中编入了典型的案例、实验和课程设计指导,以培养学生实践能力和分析问题的能力。

本书由吕智海、王占元任主编,张长喜、戴仁竹任副主编。具体编写分工如下:陕西能源职业技术学院吕智海编写绪论、第三章、第四章第七节、第七章,山东科技大学戴仁竹编写第一、二章,河南理工大学高等职业学院张长喜编写第四章第一、二、三、四节,云南能源职业技术学院王绍留编写第四章第五、六节和第五章,山西长治职业技术学院王占元编写第六章。

长治职业技术学院新建伟副教授对本书的大纲和初稿提出了许多宝贵的建议,中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院陈鹏博士对全书进行了认真审阅并提出了许多宝贵意见,在此表示诚挚的感谢!

在本书编写过程中,吸收和借鉴了同类教材和相关书籍的精华,在此谨向各位原作者表示衷心感谢!

由于编者的水平有限,书中难免有疏漏之处,恳请有关专家和读者批评指正。

编 者
2007年4月

目 录

绪 论	(1)
第一章 矿井火灾概述	(3)
第一节 矿井火灾的概念及危害	(3)
第二节 矿井火灾分类及其特征	(7)
复习思考题	(8)
第二章 煤炭自然发火	(9)
第一节 煤炭自然发火的条件及过程	(9)
第二节 煤的自然倾向性	(15)
第三节 煤的自然发火期及煤层自燃危险划分	(16)
第四节 自然发火的早期预报	(19)
复习思考题	(26)
第三章 矿井内因火灾及其预防	(27)
第一节 防止煤炭自然发火的开采技术措施	(27)
第二节 预防性灌浆	(30)
第三节 阻化剂防火技术	(42)
第四节 凝胶防灭火技术	(46)
第五节 氮气防灭火技术	(49)
第六节 均压防灭火技术	(53)
第七节 其他防灭火技术简介	(61)
复习思考题	(63)
第四章 矿井外因火灾及其防治	(64)
第一节 矿井外因火灾的成因	(64)
第二节 矿井外因火灾的预防	(65)
复习思考题	(74)
第五章 矿井火灾时期的通风	(76)
第一节 火风压	(76)
第二节 矿井火灾时期风流紊乱及其防治	(78)
第三节 矿井火灾时期风流的控制	(80)
复习思考题	(85)
第六章 矿井灭火技术	(86)
第一节 直接灭火技术	(86)
第二节 隔绝灭火技术	(96)

第三节 综合灭火法	(99)
第四节 火区的管理与启封	(107)
复习思考题	(111)
第七章 实验与课程设计指导	(112)
第一节 实验	(112)
第二节 课程设计指导	(116)
主要参考文献	(123)

绪 论

一、矿井火灾特点

矿井火灾不同于地面火灾,供氧不充分,能生成大量一氧化碳等有毒气体;烟气只能沿着井巷排向地面,而井巷又是井下人员和新鲜风流的通道,高温烟流形成的火风压易引起井下风流紊乱;火灾还能引起瓦斯爆炸,使受灾的范围扩大,灾情加重。因此,矿井火灾会造成大量人员的伤亡。由于井下空间狭小,灭火工作难以施展,灭火技术难度大,灭火时间很长,花费的代价也很高。矿井火灾对安全生产危害甚大。

二、我国矿井火灾状况

矿井火灾主要是煤层自然发火,我国目前约 50% 的煤矿存在自然发火的危险,发火期最短的只有 20 天,每年由于自燃造成的直接和间接经济损失近百亿元。据 2000 年全国 425 对国有煤矿的不完全资料统计,共发生火灾 168 次,其中内因火灾 154 次,占 91.67%。另据 1997 年 593 个国有重点煤矿的资料统计,发生了近 4 000 次自然发火征兆,形成火灾 360 起。我国煤层露头火灾也很严重,据统计 2004 年我国北方地区煤田火区共有 56 个,火区总面积达 720 km²,每年损失煤炭近 1 300 万 t。其中新疆有 7 个重点火区和 26 个一般火区,在燃火区总面积达 645 万 m²,每年损失煤炭高达 800 万 t。内蒙古煤田火灾每年约烧掉 400 万 t 煤炭,造成直接经济损失 5 亿元左右。在大同、神府等煤田留有大量先燃过的火烧区。因此,我国是世界上煤层自然发火最严重的国家之一。

煤矿自燃火灾发生的重点部位是采空区,随煤层开采厚度不同,自然发火的频率不同。据 1985 年统计,易燃厚煤层和特厚煤层的采空区内自然发火次数占采空区发火总次数的 84%,占矿井总火灾次数的 51%。20 世纪 90 年代以前,我国对厚煤层的开采主要采用分层开采的方法。由于采煤方法落后,工作面推进速度慢,防灭火技术不发达,下分层开采时向上分层采空区漏风引起采空区自然发火相当严重。常因发火而封闭工作面,甚至封闭矿井,冻结大量的煤炭,造成严重的采掘失调,从而制约矿井产量。一些开采发火严重的厚煤层矿井,只开采第一分层,以下的分层放弃。90 年代初随着特厚煤层放顶煤开采技术的推广,使得以往不发火的矿井也频繁地出现自然发火,尤其是高瓦斯矿井,煤层自燃往往引发瓦斯燃烧和爆炸。煤炭自燃现象是世界各国学者关注和探索的问题,我国学者和煤炭工程技术人员也对煤炭自燃的理论与矿井火灾的防治做了大量的研究。20 世纪 80 年代后期,自行设计和建造了国内第一个大型煤自然发火实验台,解决了煤自然发火过程的实验模拟问题。90 年代以后建立了煤层自然发火环境条件下的数学模型,提出了煤自燃危险区域判定理论,完善了预防性灌浆、均压、氮气、阻化剂等传统防灭火技术。研发了胶体防灭火技术、三相泡沫防灭火技术,以及火区封闭、煤壁喷涂堵漏的新技术和新材料;研制了地面固定、地面移动以及井下移动式系列的制氮设备,降低了氮气防灭火成本。目前易燃厚煤层综采放顶煤工作面全部采用了氮气防灭火技术。研制了带式输送机火灾自动监测报警和防灭火装

置,利用烟雾、温度、速差等传感器,监测胶带输送机巷、输送机传动部分表面温度、驱动滚筒与胶带的速差预报带式输送机火灾,并自动启动灭火装置灭火。“八五”期间,研制的KHJ—1型矿井火灾监测系统及自动灭火装置,不仅对煤矿井下环境中的带式输送机火灾能进行监测、报警、停机和自动喷雾灭火,也可用于扑灭其他外引火灾。同时,研制了矿井多参数束管色谱火灾监测系统,扩展了分析气体的种类,不仅提高了预报火灾的准确性,而且可以预测自然发火的氧化进程。除此之外,我国还研制成功了测温电缆式矿井火灾温度在线实时监测系统,这种监测系统可根据监测点温度的变化情况确定自然发火的态势。

近年来,我国开展了以气味检测法为中心的煤矿自然发火综合防治技术的研究。此项研究是以气味传感器来捕捉煤低温氧化初期释放气味的微弱变化,比用一氧化碳监测提前 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这一技术目前还有待于深入研究。

新的防灭火技术和新型火灾监测系统的应用,使我国矿井火灾得到了有效地控制,同时也具备扑灭大型矿井火灾的技术和能力,尤其是综采放顶煤防灭火技术处于世界领先的地位。矿井火灾死亡事故起数也逐年下降,火灾死亡人数整体上呈现下降态势。

三、《矿井火灾防治》课程的主要内容

《矿井火灾防治》是矿井通风与安全专业的专业课之一。主要内容是:矿井火灾概述、煤炭自然发火、内因火灾的预防技术、外因火灾的防治技术、矿井火灾时期的通风和矿井灭火技术。其中内因火灾的预防技术是本门课程教学的重点。

矿井火灾的发生和发展与风流有密切的关联,因此,本课程的学习必须具备《矿井通风》、《煤矿开拓与掘进》的知识。本课程的教学分为课堂教学、实验、实习、课程设计四个环节,各环节都是紧密相连的。

第一章 矿井火灾概述

矿井火灾是煤矿重大灾害之一。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、煤尘爆炸,酿成更大灾害。矿井火灾的类型、发生的地点不同,灭火救灾所采用的方法也不同。为此,本章将主要阐述矿井火灾的概念、分类及其特征。

第一节 矿井火灾的概念及危害

在不同矿井灾害中,矿井火灾救灾难度和危险性最大、技术性最强,这是由矿井火灾的特点决定的。

一、矿井火灾概念

(一) 燃烧

1. 燃烧的特征

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。

化学上所说的燃烧是指可燃物与氧化剂作用发生的放热反应,通常伴有火焰、发光和发烟现象。由概念可知,燃烧本质上是一种剧烈的氧化还原反应,同时强调必须伴有发光放热现象。人们通常所说的燃烧是指可燃物与空气里的氧气发生的一种发光、发热的剧烈的氧化反应。由此可见,化学意义上的燃烧具有更广泛的涵义,凡是发光、发热的剧烈化学反应都叫做燃烧,不只限于可燃物跟氧气的反应。例如,金属钠、氢气既能在空气里燃烧,也能在氯气里燃烧,金属镁甚至能在二氧化碳里燃烧。

2. 燃烧的条件

燃烧必须同时满足三个条件:燃料(可燃物)、助燃物(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。

1) 燃料(可燃物)

凡是能与空气中的氧或其他氧化剂起剧烈反应的物质都称为可燃物质。如木材、纸张、

棉花、布匹、草类、酒精、煤炭等,有些塑料制品也是可燃物质,且燃烧时会产生有害的烟雾。在煤矿矿井,煤本身就是一个大量而且普遍存在的可燃物。另外,坑木、各种油料、炸药等都具有可燃性。可燃物的存在是火灾发生的基础。

2) 助燃物(氧化剂)

凡能够帮助和支持燃烧的物质都叫做助燃物质。如空气、氧气、氯气以及氯化钾、高锰酸钾等氧化剂。空气是最常见、最广泛的助燃物质。可燃物尽管有热源点燃,但如缺乏足够的助燃剂,燃烧就不能持续。例如,在氧浓度为3%的空气环境里,燃烧不能维持;氧浓度在12%以下,瓦斯失去爆炸性,而在14%以下,点燃的蜡烛就会熄灭。

3) 热源

凡能够引起可燃物质燃烧的热能源都叫做点火源。如明火、电(气)焊的火花、烟囱冒出的火星、电火花、化学反应热、高热物体等。不同可燃物所需的点火能量是不同的,可燃气体所需的点火能量最低,撞击产生的火星即可将其点燃,而可燃液体和固体物质着火则需更大的点火能量。在矿井井下煤的自燃、瓦斯煤尘爆炸、放炮作业、机械摩擦、电流短路、吸烟、烧焊以及其他明火等都可能成为引火的热源。

3. 燃烧的形式

绝大多数火灾事故是在大气条件下发生的,因此,可燃物在空气中的燃烧状况是矿井火灾的主要研究内容之一。矿井火灾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。它们在井下火灾中的燃烧形式有以下几种:

1) 扩散燃烧

扩散燃烧也称气体燃料燃烧。甲烷(CH_4)、一氧化碳(CO)、乙炔(C_2H_4)等可燃气体从管道孔口流出,与空气汇合时,可燃气体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。由于可燃气体和氧气(O_2)的不断补给、混合,使燃烧得以继续。如气割、液化气炉中的燃烧都属于扩散燃烧。

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,柴油、煤油、润滑油等高沸点油脂类流体以及蜡、沥青等固体烃类物质的燃烧。木材在空气中燃烧时,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。矿井火灾时期,着火带中的燃烧带燃烧即属于这一类型。

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。原来燃烧的燃料所含挥发分气体,煤焦油分解完后,变成固体炭(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。在矿井火灾中,着火带中的焦化带燃烧就属于这一类型。

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。在井下一定环境条件下,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。矿井火灾引起的爆炸事故往往是由预混燃烧引起的。因为扩散燃烧仅在很小的扩散区内进行,分解燃烧也仅在小范围的空气与挥发物混合界面进行,作用范围小。在一定通风条件下,煤层涌出的瓦斯与矿井火灾分解的高温挥发性气体混合,形成较大范围可燃性气体,一经点燃,就会出现预混燃烧,并可能在半封闭空间内迅速地自我加速发展成为爆炸。

4. 富氧燃烧和富燃料燃烧

1) 富氧燃烧

富氧燃烧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。

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。基于其下风侧烟气流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,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。表1-1列出了富氧燃烧和富燃料燃烧两类火灾的基本特性。

表 1-1 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

(二) 矿井火灾

火灾是指在时间和空间上失去控制的燃烧所造成的灾害。

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皮带着火、煤炭自燃等都是非控制燃烧,均属

矿井火灾。

矿井火灾是煤矿主要灾害之一,往往会造成大量的人员伤亡。抚顺矿务局某矿 1961 年 3 月 16 日死亡 110 人的电器火灾;河南新密矿务局某矿 1976 年 8 月 13 日死亡 93 人的电缆明接头火灾;鸡西矿务局某矿 1990 年 5 月 8 日死亡 80 人的烧焊火灾;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。

二、矿井火灾危害

1. 产生大量的高温烟流,造成人员伤亡

矿井火灾发生后,随着火灾的发展,烟气将越来越浓,同时温度也越来越高。火源附近温度往往超过 1 000 ℃,在离火源很远的地点烟流温度也可达 100 ℃ 以上。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。另外,坑木、橡胶、聚氯乙烯制品的燃烧还能生成大量的醇类、醛类以及其他复杂的有机化合物等。这些有毒有害气体和烟尘随风扩散,在流经的沿途不仅毒化矿内空气,还可引起再生火灾,使火区范围进一步扩大,有时可能波及相当大的区域甚至全矿,从而伤及井下工作人员。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。

2. 引起瓦斯、煤尘爆炸,使灾情扩大

矿井火灾提供了瓦斯、煤尘爆炸的引火热源。矿井火灾往往造成瓦斯、煤尘爆炸事故,而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,进一步扩大受灾范围。在有瓦斯、煤尘爆炸危险的矿井内发生火灾,其危害性更大。

另外,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,发生火灾时也有发生瓦斯爆炸的危险。

3. 引起矿井风流状态紊乱

高温烟流经过不同标高巷道而产生火风压,造成井下风流紊乱。

(1) 风流逆转。火灾能使矿井某些巷道风流方向发生变化。风流逆转主要发生在其反向火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。在浮力与节流效应作用下,加上巷道纵、横断面方向温度、压力梯度的影响,在着火巷道火源上风侧,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。烟流倒退可能发生在着火巷道及其相连的主干风路上。

(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的同时,火源产生的烟流沿上风侧巷道顶部逆向回退并流向火源。在一定条件下,这种现象也可能发生在下风侧。

逆转是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风和烟流的异向流动,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。

4. 破坏矿井正常生产秩序

井下火灾一旦发生,生产设备和煤炭资源就会遭到严重破坏和损失,造成矿井局部区域甚至全矿性停产,使得大量煤炭资源被烧毁,缩短矿井服务年限。同时大量的可采煤量封闭

在隔绝区中不能开采(冻结煤量),有的火灾可能延续几个月、几年,甚至几十年之久,从而使矿井正常生产秩序遭到破坏,造成采掘衔接紧张。另外,扑灭火灾需消耗大量人力、物力、财力,而且火灾扑灭后,恢复生产仍需付出很大的代价。

第二节 矿井火灾分类及其特征

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。

一、按引火热源分类

1. 外因火灾

外因火灾是外部高温热源(如放炮、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。

矿井外因火灾所占的比重一般都比较小,尤其在开采易燃煤层的矿井里更为明显。如抚顺矿区在1949~1992年间,外因火灾占同期矿井火灾总数的3.57%。实践证明,外因火灾因发生突然、发展迅猛,它给矿井带来的物质损失和造成的人身事故都比内因火灾大,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、须经历一段时间、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,甚至数十年不灭,燃烧的范围逐渐蔓延扩大,烧毁煤炭资源,冻结大量煤炭。

由于煤层的地质赋存条件、煤炭本身的物理化学特性、采掘因素和管理水平不同,各个国家和矿区内因火灾所占的比重也不相同。如抚顺矿区开采特厚易燃煤层,1949~1992年期间,共发生了1349次内因火灾,占同期火灾总次数的96.25%;阳泉矿区开采无烟煤,很少发生内因火灾。

二、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。如皮带着火、煤炭自燃等。井下火灾一般是在空气极其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,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。

三、按可燃物的性质分类

按可燃物的性质又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。

四、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) 按火源下风侧氧气浓度大小分为富氧燃烧和富燃料燃烧。

(5) 根据发火地点不同、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。

复习思考题

- 1-1 什么是燃烧? 燃烧的条件有哪些?
- 1-2 燃烧的形式有哪些? 各有哪些特点?
- 1-3 什么是富氧燃烧和富燃料燃烧? 其基本特征和特点有哪些?
- 1-4 什么是矿井火灾? 矿井火灾对煤矿生产及职工安全的危害主要有哪些?
- 1-5 矿井火灾是如何分类的? 各分为哪几类?

第二章 煤炭自然发火

煤炭自燃是一种自然现象。早在数百万年之前就已发生,例如,大同和陕北的侏罗纪煤层中有早前(距今大约 200 万年)自燃形成的火烧区,现今新疆的煤田仍有煤层在自燃。

我国是煤炭自然发火比较严重的国家,据 2002 年的统计,我国国有重点煤矿中有自然发火危险的矿井占 51.3%,自然发火占矿井总火灾的 90% 以上。自然发火危险矿井几乎在所有矿区都存在,因自燃破坏的煤炭资源,每年造成的经济损失达数十亿元。仅 1999 年全国共有 87 个大中型矿井,因自然发火封闭火区 315 处,不但造成了严重的煤炭资源浪费,而且威胁着井下作业人员的人身安全。

自 20 世纪 60 年代以来,煤炭自燃的相关理论研究、实验和综合防治技术取得了显著成就,诸如均压、注浆、阻化剂、凝胶、注氮等防灭火技术已成功地得到了应用,自燃火灾发生率明显下降。研究和掌握煤炭自然发火的条件、过程和规律,对防治自然发火有着重要的意义。

第一节 煤炭自然发火的条件及过程

矿井火灾事故,特别是自然发火事故,对煤矿安全生产的危害在某种意义上说并不亚于瓦斯、煤尘爆炸事故。煤炭自然发火与外因火灾相比,具有发生、发展缓慢并有规律的演变过程,可在它形成的初期发现。

一、煤炭自燃的条件

实践证明,煤炭自燃必须具备以下四个条件:

- (1) 煤有自燃倾向性并呈破碎堆积状态存在;
- (2) 适量通风供氧;
- (3) 良好的蓄热环境;
- (4) 维持煤的氧化过程不断发展的时间。

上述四个条件缺一不可。

煤的自燃倾向性取决于煤的物理化学性质,它表示煤与氧相互作用的能力。煤破碎以后,大大地增加了单位体积内的外在表面积,与氧气的接触面增大,氧化能力增强;堆积的破碎煤炭(一般认为堆积厚度大于 0.4 m)氧化产生的热量不容易散失,使煤温逐渐升高,自燃进程加快。

氧是煤自燃的重要因素,连续地供氧才能使氧化继续下去。当空气中氧含量低于 10% 时具有窒息性;当空气中氧含量低于 15% 时,可以预防自然发火。正是这个原因,采空区内并不是每个地方都会形成自然发火的。

良好的蓄热环境才能使氧化生热不断积聚。空气流动速度的大小是氧化热量能否积聚

的重要条件。在采空区内如果风流速度太大,热量则不能积聚,不易形成煤炭自燃。如果风流速度过低,则会供氧不足,氧化非常缓慢,也不能形成自燃。煤炭自燃都是在风速比较适中的情况下发生的。

维持煤的氧化过程不断发展的时间也是形成煤炭自燃的重要条件,这个时间应大于煤的自然发火期。

大量事实说明,只要同时具备上述四个条件,煤炭自然发火即可发生。但实际中很难找出某两次煤炭自然发火的发生条件是完全相同的。这样,对煤炭自然发火的条件就很难做出定量分析。

煤炭自燃经常发生的地点有:有大量遗煤而未及时封闭或封闭不严的采空区(特别是采空区内的联络眼附近和停采线处);巷道两侧和遗留在采空区内受压的煤柱;巷道内堆积的浮煤或煤巷的冒顶、垮帮处。

二、煤炭自燃的过程

从17世纪开始,人们就开始探索煤炭自燃机理,这是世界各主要产煤国共同关注的问题。不少学者对此做了不懈的努力和探索,并提出了许多假说。主要有黄铁矿作用学说、细菌作用学说、酚基作用学说、煤氧复合作用学说等。目前,煤氧复合作用学说已被较多的人们所接受,该学说认为:煤在常温下即已吸收了空气中的氧而发生氧化作用,开始时是在煤的表面生成不稳定的初级氧化物。先是氢气氧化生成羟基(OH),其次是碳氢氧化生成羧基(COOH),然后再生成一氧化碳CO。在此过程中同时放出少量的热。随着热量的积聚,煤与氧之间的相互作用也加速。当氧原子浸入煤分子的深部后即生成较为复杂的碳氢化合物。先前生成的不稳定化合物即行分解,产生水蒸气、一氧化碳CO、二氧化碳CO₂等。在这一过程中,随同生成大量的热(占氧化作用中全部热量60%~70%)。热量的积聚使煤的自燃作用加速,当温度升到煤的着火点时,便由自热作用进入自燃。

煤的破碎增加了单位体积内煤的外在表面积,从而直接提高了氧化程度;随着渗透速度的提高,积聚在煤内的氧浓度也开始较快增加,氧化产生的热量也随着成正比增加,并且比空气带出的热量大,加速了自燃进程;同时煤体的温度也影响煤的自燃进程,其影响过程遵循不同的规律,它可能因为产生的热量大于散失的热量,使升温较快而着火,也可能因为散失的热量大于产生的热量而停止升温。

按照煤氧复合作用学说,煤的自燃发展过程一般分为三个阶段,即潜伏阶段、自热阶段和自燃阶段。图2-1是烟煤的自然发火过程(图中虚线为风化进程线)。

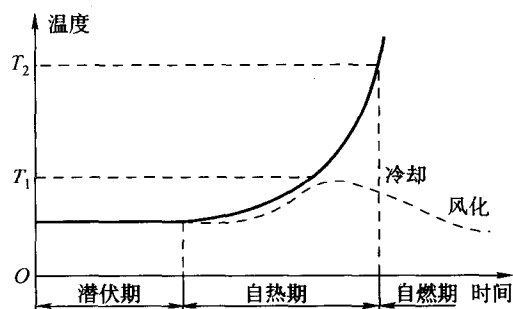


图2-1 烟煤的自然发火过程

1. 潜伏期

自煤层被开采、接触空气起至煤温开始升高为止的时间区间称为潜伏期。此阶段也称为潜伏阶段。该阶段是煤自燃的准备阶段(煤的低温氧化过程)。在潜伏期,煤与氧的作用是以物理吸附为主,放热很小,无宏观效应。潜伏期的长短取决于煤的分子结构、物化性质、煤的变质程度和外部条件。另外,煤的破碎和堆积状态、散热和通风供氧条件等,对潜伏期