

煤炭教育协会  
教学与教材建设

中等职业教育“十二五”规划教材

教育协会职业教育教学与教材建设委员会审定

# 矿井火灾防治

◆ 主 编 庞国强



煤炭工业出版社

中等职业教育“十二五”规划教材  
中国煤炭教育协会职业教育教学与教材建设委员会审定

# 矿井火灾防治

主 编 庞国强

副主编 雒有成

参编人员 赵国英

煤炭工业出版社

·北 京·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

矿井火灾防治/庞国强主编. -- 北京: 煤炭工业出版社,  
2011

中等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5020-3830-4

I. ①矿… II. ①庞… III. ①井下火灾-矿山防火-中等  
专业教育-教材 IV. ①TD75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 049342 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](http://www.cciph.com.cn)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本 787mm × 1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 11<sup>1</sup>/<sub>4</sub>

字数 259 千字 印数 1—3 000

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

社内编号 6640 定价 23.00 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

# 煤炭中等专业教育分专业教学与教材建设委员会

(矿井通风与安全类专业)

主 任 郝玉柱

副主任 张红兵

委 员 张长喜 杨成章 苏 寿 任世英 周 虎

龚琴生 焦 健

# 前 言

为贯彻《教育部办公厅、国家安全生产监督管理总局办公厅、中国煤炭工业协会关于实施职业院校煤炭行业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》（教职成厅〔2008〕4号）精神，加快煤炭行业专业技能型人才培养培训工程建设，培养煤矿生产一线需要，具有与本专业岗位群相适应的文化水平和良好职业道德，了解矿山企业生产全过程，掌握本专业基本专业知识和技术的技能型人才，经教育部职成司教学与教材管理部门的同意，中国煤炭教育协会依据“矿井通风与安全”专业教学指导方案，组织煤炭职业学（院）校专家、学者编写了矿井通风与安全专业系列教材。

《矿井火灾防治》一书是中等职业教育规划教材矿井通风与安全专业中的一本，可作为中等职业学校矿井通风与安全专业基础课程教学用书，也可作为在职人员培养提高的培训教材。

本书由甘肃煤炭工业学校庞国强主编并统稿，其编写了第一章、第二章、第六章和第三章第一节至第六节的防灭火技术应用实例及第四章第二、三节的火灾事故案例部分；河南工程技术学校维有成编写了第三章、第四章；甘肃煤炭工业学校赵国英编写了第五章。

中国煤炭教育协会职业教育  
教学与教材建设委员会

2011年5月

# 目 次

第一章 矿井火灾的类型与危害	1
第一节 矿井火灾及其分类	1
第二节 矿井火灾的危害	3
第二章 煤炭自燃	6
第一节 煤炭自燃理论基础	6
第二节 煤炭自燃的识别与预报	10
第三章 内因火灾的预防	20
第一节 开采技术措施	20
第二节 预防性灌浆	24
第三节 阻化剂防火	35
第四节 凝胶防灭火	42
第五节 均压防灭火	53
第六节 氮气防灭火	64
第七节 漏风检测与堵漏	70
第八节 束管监测系统	77
第四章 外因火灾的预防	81
第一节 外因火灾预防综述	81
第二节 电气火灾预防	84
第三节 带式输送机火灾的防治	88
第五章 矿井火灾的处理	93
第一节 火灾处理的基本要求	93
第二节 火灾处理的安全技术措施	95
第三节 火灾时期风流的紊乱及控制	102
第四节 不同地点的火灾处理	119
第五节 矿井灭火方法	130
第六章 火区管理与启封	163
第一节 火区管理	163
第二节 火区启封	165
参考文献	170

# 第一章 矿井火灾的类型与危害

## 第一节 矿井火灾及其分类

矿井火灾是指发生在矿井地面或井下，威胁矿井生产，造成损失的一切非控制性燃烧。例如，矿井工业场地内的厂房、仓库、储煤场、井口房、通风机房、井巷、采掘工作面、采空区等处的火灾均属矿井火灾。

### 一、矿井火灾的构成要素

任何火灾的发生都必须同时具备3个条件：引火热源、可燃物和氧气，矿井火灾也是如此。

#### 1. 引火热源

一定温度和足够热量的热源是点燃可燃物的先决条件。能够引起矿井火灾的热源很多，井下煤的自燃、爆破作业、机械摩擦、电流短路、吸烟、电（气）焊以及其他明火等都可能成为引火热源。

#### 2. 可燃物

可燃物是矿井火灾发生的基础。在矿井里，煤本身就是一种普遍存在的大量的可燃物。另外，坑木、瓦斯等可燃气体、各类机电设备、各种油料、炸药等都具有可燃性。

#### 3. 氧气

氧气供给是维持燃烧的必要条件。实验证明，空气中氧气浓度为3%时，燃烧不能维持；空气中氧气浓度在14%以下，蜡烛就要熄灭。《煤矿安全规程》规定，井下采掘工作面的进风流中，氧气浓度不得低于20%。因此，在井下空气中的氧气浓度自然会满足火灾发生的条件。

以上3个条件同时存在，相互结合，而且要达到足够的数量和能量，才能引起矿井火灾，缺少任何一个要素，矿井火灾都不可能发生。

### 二、矿井火灾的分类

#### 1. 按发生的地点分类

按发生的地点不同，可将矿井火灾分为地面火灾和井下火灾。

##### 1) 地面火灾

地面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、坑木场等处的火灾。地面火灾具有征兆明显、易于发现、空气供给充分、燃烧安全、有毒气体产生量少、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。

## 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口房、井筒、井底车场、机电硐室、爆破材料库、进回风大巷、采区变电硐室、采掘工作面以及采空区等地点。

### 2. 按热源分类

按热源不同,可将矿井火灾分为内因火灾和外因火灾。

#### 1) 内因火灾

内因火灾也叫自燃火灾,是指一些易燃物质(主要指煤炭)在一定条件和环境下(破碎堆积并有空气供给),自身发生物理化学变化聚集热量、温度升高而导致着火所形成的火灾。

内因火灾的主要特点如下:

(1) 一般都有预兆。如有烟、有味道,烟雾多呈云丝状,有煤油味、焦油味;作业场所温度升高;一氧化碳或二氧化碳浓度升高,作业人员感觉头痛、恶心、四肢无力等都是内因火灾的预兆。因此,发现早期自燃火灾并不困难。

(2) 多发生在隐蔽地点。内因火灾大多数发生在采空区、终采线、遗留的煤柱、破裂的煤壁、煤巷的高冒处、人工顶板下及巷道中任何有浮煤堆积的地方。

(3) 持续燃烧的时间较长。

(4) 发火率较高。开采一些容易自燃或自燃煤层时会经常发火。尽管内因火灾不具有突发性、猛烈性,但由于发火次数较多,且较隐蔽,因此,更具有危害性。

#### 2) 外因火灾

外因火灾也叫外源火灾,是指由于明火、爆破、电气、摩擦等外来热源引起的火灾。

外因火灾的主要特点如下:

(1) 发生突然、来势凶猛,如发现不及时,处理不当,往往会酿成重大事故。

(2) 往往在燃烧物的表面进行,因此容易发现,早期的外因火灾较易扑灭。要求井下作业人员发现外因火灾时,必须及时采取有效措施进行灭火,不要等到火势较大后再进行灭火,那样困难就大得多。

(3) 多数发生在井口房、井筒、机电硐室、爆破材料库、安装机电设备的巷道或采掘工作面等地点。

### 3. 按所选用的灭火剂分类

从所选用的灭火剂的角度出发,消防上根据物质及其燃烧特性对火灾进行如下分类:

A类火灾,指煤炭、木材、橡胶、棉、毛、麻等含碳的固体可燃物质燃烧所形成的火灾。

B类火灾,指汽油、煤油、柴油、甲醇、乙醇、丙酮等可燃液体燃烧所形成的火灾。

C类火灾,指煤气、天然气、甲烷、乙炔、氢气等可燃气体燃烧所形成的火灾。

D类火灾,指钠、钾、镁等可燃金属燃烧所形成的火灾。

### 4. 按燃烧物分类

按燃烧物不同,可将矿井火灾分为煤炭燃烧火灾、坑木燃烧火灾、炸药燃烧火灾、机



电设备（电缆、胶带、变压器、开关、风筒）火灾、油料火灾及瓦斯燃烧火灾等。

#### 5. 按发火性质分类

按发火性质不同，可将矿井火灾分为原生火灾和次生火灾。原生火灾即开始就形成的火灾。次生火灾是原生火灾发展过程中，含有可燃物的高温烟流在排烟过程中遇到新鲜空气后发生的燃烧。

#### 6. 按发火地点和对矿井通风的影响分类

按发火地点和对矿井通风的影响大小不同，可将矿井火灾分为上行风流火灾、下行风流火灾和进风流火灾。

##### 1) 上行风流火灾

发生在上行风流中的火灾称为上行风流火灾。火灾发生后，从矿井进风井流向火源，经过火源流向回风井的一条风路称为主干风路，除主干风路以外的其他风路称为旁侧支路。上行风流中发生火灾时，由火灾产生的火风压（发生火灾时，高温烟流流经有高差的井巷所产生的附加风压）方向与风流方向一致，也就是与矿井主要通风机风压方向一致。此火风压对矿井通风的影响是使主干风路风流保持原方向，而与此主干风路相并联的一些旁侧支路的风流方向将不稳定，甚至可能发生风流逆转，造成风流紊乱事故。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

发生在下行风流中的火灾称为下行风流火灾。下行风流中发生火灾时，火风压的方向与矿井主要通风机风压作用方向相反，发生风流逆转的风路与上行风流发生火灾时正好相反，主干风路中风流方向将是不稳定的，当火风压增大到一定值时，主干风路内的风流将发生逆转。

在下行风流中发生火灾时，通风系统的风流由于火风压作用发生的再分配和流动状态的变化，要比在上行风流中发生火灾时复杂得多，因此，需要采用特殊的灭火救灾措施。

##### 3) 进风流火灾

发生在进风井、进风大巷或采（盘）区等进风路内的火灾称为进风流火灾。这种火灾由于发生在新鲜风流中，氧气供给充分，发展速度较快，早期不易发现。另外，火灾产生的高温烟流和有害气体，随风流流入采掘工作面易造成人员伤亡。多数情况下，即使矿井有防火措施（如工人配备有自救器），在这种火灾中仍有可能会发生大量人员伤亡事故。对于这种火灾，除了根据发火风路的结构特性，使用各自的控制措施外，更应根据进风流的特点，使用适应这种火灾的防治技术措施，如全矿或局部反风措施。

## 第二节 矿井火灾的危害

### 一、产生大量的有毒有害气体

矿井发生火灾后，可燃物会产生大量的有毒有害气体。如煤炭燃烧，会产生二氧化碳、一氧化碳、氢气、二氧化硫和碳氢化合物；坑木、橡胶、聚氯乙烯等燃烧，会产生一氧化碳、氯化氢、醇类、醛类以及其他复杂的有机化合物。其中一氧化碳中毒是矿井发生火灾或瓦斯、煤尘爆炸后人员大量伤亡的主要原因。因为人体血液中的血红素与一氧化碳

的亲合力比它与氧气的亲合力大 250 ~ 300 倍, 当人体吸入含有一氧化碳的空气时, 一氧化碳首先与血红素相结合, 阻碍了血红素与氧气的正常结合, 从而造成人体血液缺氧引起窒息和中毒。

## 二、引发瓦斯、煤尘爆炸

矿井火灾不但为瓦斯、煤尘爆炸提供了热源, 而且火的干馏作用可使煤炭、坑木等放出一氧化碳、氢气和其他多种碳氢化合物等爆炸性气体。同时井下空气温度的升高也会使瓦斯的爆炸界限扩大, 从而增加了矿井瓦斯爆炸的危险性。火灾还可使已沉降的煤尘重新悬浮, 增加煤尘爆炸的可能性。

## 三、毁坏设备设施

一旦出现矿井火灾, 现场的各种仪器、仪表、设备和设施会遭到严重破坏。火灾还会破坏支护, 摧毁巷道和采掘工作面。有些没有被烧毁的设备和器材, 会由于长时间被封闭在火区而被腐蚀损坏。

## 四、引起矿井风流状态紊乱

矿井发生火灾时会产生火风压, 造成矿井风流状态紊乱。

(1) 风流逆转。指在火风压作用下, 反抗机械风压的影响, 矿井某些巷道风流方向发生变化。

(2) 烟流倒退。指在着火巷火源上风侧新鲜风流继续沿巷道底部按原风向流入火源的同时, 烟流沿巷道顶部逆向流出。

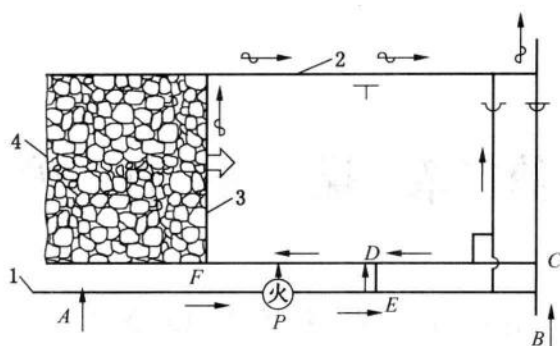
(3) 烟流滚退。指在新鲜风流沿巷道底部按原风向流入火源的同时, 火源产生的烟流沿上风侧巷道顶部逆向回退并翻卷流向火源。在一定条件下, 这种现象也可能发生在下风侧。

## 五、烧毁资源, 冻结煤量, 影响生产, 造成重大经济损失

矿井火灾会使煤炭发热量大大降低, 甚至完全被烧毁。火区封闭会冻结大量的可采煤量, 导致开采接续紧张, 严重影响煤矿生产。同时, 扑灭火灾需耗费大量人力、物力、财力, 而且火灾扑灭后, 恢复生产仍需付出很大代价。

## 六、矿井发生火灾因中毒和缺氧窒息导致人员伤亡的案例

捷克斯洛伐克某矿进风流火灾示意图如图 1-1 所示。由于采区进风巷带式输送机的胶带摩擦着火引起这场火灾 (图中 P 点处), 为了控制火势, 在火源进风侧 A 处用风帘断风。灾区内有 111 名工人作业, 且都佩有过滤式自救器, 该区域有两个安全出口, 这些都符合该国煤矿安全规程的规定。火灾发生后, 一部分职工沿回风巷道向外撤退 (即顺着烟流方向撤退), 但是他们中的绝大多数人都没能脱险, 只有一个人因火灾气体缺氧失去知觉后摔倒在带式输送机上, 被带式输送机运到装卸点的新鲜风流处而得救, 其余 110 名工人全部遇难。事故发生后经采集气体分析, 造成 110 名工人死亡的主要原因是中毒和缺氧窒息 (当时空气中的氧气浓度只有 8%)。



1—进风巷道；2—回风巷道；3—采煤工作面；4—采空区

图 1-1 捷克斯洛伐克某矿进风流火灾示意图



### 复习思考题

1. 什么叫矿井火灾？
2. 按发火地点和对矿井通风的影响，可将矿井火灾分为哪几类？
3. 什么叫内因火灾？它有什么特点？
4. 矿井火灾的危害是什么？

## 第二章 煤炭自燃

### 第一节 煤炭自燃理论基础

#### 一、煤炭自燃的原因

关于煤炭自燃的原因,有多种学说解释。其中主要的有黄铁矿作用学说、细菌作用学说、酚基作用学说以及煤氧复合作用学说等。煤氧复合作用学说已经得到了科学的证实,受到人们的普遍认可。该学说的主要观点是:煤在常温下吸收了空气中的氧气,产生低温氧化,释放微量的热量和初级氧化产物;由于散热不良,热量聚积温度上升,更加促进了低温氧化作用的进程,最终导致自然发火。

#### 二、自然发火的定义与自然发火期

##### 1. 自然发火的定义

在理论上,自然发火是指有自燃倾向性的煤层被开采破碎后在常温下与空气接触,发生氧化,产生热量使其温度升高,出现发火和冒烟的现象。凡井下出现下列现象之一者,即定为煤炭自然发火:

- (1) 由于煤炭氧化自燃而出现明火、烟雾、煤油味等现象。
- (2) 由于煤炭氧化自燃而导致环境空气、煤炭、围岩及其他介质的温度升高,并超过 $70^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 由于煤炭氧化自燃而在采空区或风流中一氧化碳浓度超过自然发火临界指标,并呈上升趋势。
- (4) 采空区、高冒顶或巷道风流中出现乙烯、乙炔。

##### 2. 煤层的自然发火期

从煤层(火源处的)被开采破碎、接触空气之日起,至出现自燃现象或温度上升到自燃点为止,所经历的时间称为煤层自然发火期,以月或天为单位。巷道中煤层的自然发火期以自然发火地点在揭露煤之日起至发生自然发火时为止的时间计算;采煤工作面中煤层的自然发火期应以工作面掘开切眼之日起至发生自然发火时为止的时间计算。每一煤层的所有采煤工作面和巷道,都应进行自然发火期的统计,确定煤层最短发火期。

目前,我国规定采用统计比较和类比的方法确定煤层的自然发火期。其方法如下:

(1) 统计比较法。矿井开工建设揭煤后,对已发生自然发火的自然发火期进行推算,并分煤层统计和比较,以最短者作为煤层的自然发火期。计算自然发火期的关键是首先确定火源的位置。此法适用于生产矿井。

(2) 类比法。对于新建的开采有自燃倾向性的煤层的矿井,可根据地质勘探时采集

的煤样所作的自燃倾向性鉴定资料,并参考与之条件相似的矿区或矿井,进行类比确定,以供设计参考。此法适用于新建矿井。

### 三、煤炭自燃倾向性鉴定

煤炭自燃倾向性鉴定的方法有很多,我国目前采用“双气路气相色谱吸氧法”。它是用ZRJ-1型煤自燃性检测仪来测定常压下每克干煤在30℃时的吸氧量,根据此吸氧量来划分煤的自燃倾向性等级。

#### 1. 鉴定的目的

鉴定煤自燃倾向性的目的是划分煤层自然发火等级,区分煤的自燃危险程度,从而采取相应的防火措施。

#### 2. 自燃倾向性的划分

我国对煤炭自燃倾向性的划分见表2-1。

新建矿井的所有煤层的自燃倾向性由地质勘探部门提供煤样和资料,送国家授权单位作出鉴定,鉴定结果报省级煤矿安全监察机构及省(自治区、直辖市)负责煤炭行业管理的部门备案。

生产矿井延伸新水平时,必须对所有煤层的自燃倾向性,由矿井提供煤样和资料,送国家授权单位作出鉴定,鉴定结果报省级煤矿安全监察机构及省(自治区、直辖市)负责煤炭行业管理的部门备案。

煤的自燃倾向性指标仅能说明煤层在开采时有无自燃的危险性,不能确切地指出自燃的时间。所以,生产矿井常把煤层的自然发火期作为衡量煤层自燃难易程度的指标。

表2-1 煤炭自燃倾向性分类

自燃等级	自燃倾向性	30℃常压干煤的吸氧量/( $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ )		备注
		褐煤、烟煤	高硫煤、无烟煤	
I	容易自燃	$\geq 0.80$	$\geq 1.00$	全硫( $S_t/\%$ ) $> 2.00$
II	自燃	0.41~0.79	$\leq 1.00$	全硫( $S_t/\%$ ) $> 2.00$
III	不易自燃	$\leq 0.40$	$\geq 0.80$	全硫( $S_t/\%$ ) $< 2.00$

### 四、煤炭自燃的条件

煤炭自燃的必要充分条件:

- (1) 有自燃倾向性的煤被开采后呈破碎状态,堆积厚度一般要大于0.4 m。
- (2) 有较好的蓄热条件。
- (3) 有适量的通风供氧。通风是维持较高氧气浓度的必要条件,是保证氧化反应自动加速的前提。实验表明,氧气浓度大于15%时,煤炭氧化方可较快进行。

(4) 上述3个条件共存的时间大于煤的自然发火期。

上述4个条件缺一不可,前3个条件是煤炭自燃的必要条件,最后1个条件是充分条件。

### 五、影响煤炭自然发火的因素

#### 1. 影响煤炭自燃倾向性的因素

- (1) 煤的分子结构。研究表明,煤的氧化能力主要取决于含氧官能团多少和分子结

构的疏密程度。随煤化程度增高,煤中含氧官能团减少,孔隙度减小,分子结构变得紧密。

(2) 煤化程度。煤化程度是影响煤炭自燃倾向性的决定性因素。就整体而言,煤炭自燃倾向性随煤化程度增高而降低,即自燃倾向性从褐煤、长焰煤、烟煤、焦煤至无烟煤逐渐减小;就局部而言,煤炭自燃倾向性与煤化程度之间表现出复杂的关系,即同一煤化程度的煤在不同的地区和不同的矿井,其自燃倾向性可能有较大的差异。

(3) 煤岩成分。煤岩成分对煤炭自燃倾向性表现出一定的影响,但不是决定性的因素。各种单一的煤岩成分具有不同的氧化活性,其氧化能力按镜煤>亮煤>暗煤>丝煤的顺序递减。镜煤受力后易成碎屑,含氢、氧和挥发成分高,其易氧化自燃;丝煤虽然本身氧化活性弱,自燃点高,但丝炭组分中的细胞空腔能增大煤的裂隙和反应面,为氧向深部扩散提供通路,促进烟煤氧化自燃。

(4) 煤中的瓦斯含量。煤中瓦斯存在和放散影响吸氧和氧化过程的进行,它类似于用惰气稀释空气对氧化产生的影响。

(5) 水分。煤的外在和内在水分以及空气中的水蒸气对褐煤和烟煤在低温氧化阶段起一定的影响,既有加速氧化的一面,又有阻滞氧化的因素。煤在自燃的过程中,只有其水分降低到一定值后,氧化速度才会加快,煤温才会急剧升高;煤湿水后再干燥与未湿水的干煤相比,化学活性增加;在低温时煤对水蒸气的亲和性比氧大,水蒸气凝结成水时生热量比氧化时生热量大。因此,稳定地保持采空区内空气具有较高的湿度,增加并保持煤本身的湿度,都可以抑制煤的低温氧化。

(6) 煤中硫和其他矿物质。煤中含有的硫和其他催化剂会加速煤的氧化过程。统计资料表明,含硫量大于3%的煤层均为自然发火的煤层,其中包括无烟煤。

## 2. 影响煤炭自燃的地质、开采因素

(1) 煤层厚度。煤层厚度越大,自燃危险性越大。其原因是在厚煤层的开采中,煤炭采出率低,煤柱易遭到破坏,采空区不易封闭严密,漏风较大等。厚煤层的开采有分层开采和一次采全高两种方法。分层开采时,下分层的回采巷道的掘进和回采作业均在人工顶板下进行,采煤和掘进过程都会与上分层的采空区发生漏风联系,自然发火严重。一次采全高时,采空区范围大,遗煤多,工作面推进速度慢,发火较严重,但小于分层开采。

(2) 煤层倾角。煤层倾角越大,自然发火越严重。这是由于倾角大的煤层开采时顶板控制较困难,采空区不易充实,尤其是急倾斜煤层煤柱也难留住,漏风大。

(3) 顶板岩石性质。坚硬难垮落型顶板,煤层和煤柱上所受的矿山压力集中,易被破坏,采空区充填不实,漏风大,且封闭不严,有利于自燃的发生。松软易冒落型顶板,采空区充填充分,漏风小,自燃危险性较小。

(4) 地质构造。受地质构造破坏的煤层,松软、破碎、裂隙发育,氧化性增强,漏风供氧条件良好,因此,自然发火比煤层赋存稳定的区域频繁得多,尤其有岩浆侵入的区域自然发火更严重。

(5) 开采技术因素。开采技术因素是影响煤层自燃的重要因素,不同开拓系统与采煤方法,使煤层自然发火的危险性不同。因此,选择合理的开拓系统和采煤方法对防止自然发火是十分重要的。合理的开拓系统应保证对煤层切割少,留设的煤柱少,采空区能及时封闭;合理的采煤方法应是巷道布置简单,煤炭采出率高,推进速度快,采空区漏风

小。

(6) 漏风强度。漏风给煤的自然提供了必要的氧气,漏风强度的大小直接影响着煤体的散热。

## 六、矿井自然发火危险程度的划分

### 1. I级自然发火危险程度矿井

凡符合下列条件之一者,定为I级自然发火危险程度矿井:

(1) 近10年内百万吨自然发火率(每产 $100 \times 10^4$  t煤发生自燃火灾的次数)超过3次。

(2) 自然发火期小于3个月。

(3) 百万吨自然发火率超过2次,且自然发火期小于6个月的下列矿井:

①高、突矿井。

②采用分层陷落或放顶煤采煤法开采厚及特厚煤层的矿井。

③采用水平分层或斜切分层开采急倾斜中厚及厚煤层的矿井。

④煤的自然倾向性为I级(易燃),煤尘爆炸指数在30%以上的矿井。

### 2. II级自然发火危险程度矿井

凡符合下列条件之一者,定为II级自然发火危险程度矿井:

(1) 近10年内百万吨自然发火率超过2次,但不超过3次。

(2) 自然发火期小于6个月,但不小于3个月。

(3) 百万吨自然发火率超过1次,且自然发火期小于12个月的下列矿井:

①高、突矿井。

②采用分层陷落或放顶煤采煤法开采厚煤层的矿井。

③采用水平分层或斜切分层开采急倾斜中厚及厚煤层的矿井。

④煤的自然倾向性为II级(自燃),煤尘爆炸指数在20%~30%的矿井。

### 3. III级自然发火危险程度矿井

凡符合下列条件之一者,定为III级自然发火危险程度矿井:

(1) 近10年内百万吨自然发火率为1~2次。

(2) 自然发火期小于12个月,但不小于6个月。

(3) 百万吨自然发火率超过0.5次,且自然发火期小于12个月的下列矿井:

①高、突矿井。

②采用分层陷落或放顶煤采煤法开采厚及特厚煤层的矿井。

③采用水平分层或斜切分层开采急倾斜中厚及厚煤层的矿井。

④煤的自然倾向性为III级(不易自燃),煤尘爆炸指数在10%~20%的矿井。

### 4. IV级自然发火危险程度矿井

凡有自然发火史,但不符合I、II、III级自然发火危险程度条件者,定为IV级自然发火危险程度矿井。

## 七、煤炭自燃的发展过程

煤炭自燃的发展过程按其温度和物理化学变化特征,分为潜伏期、自热期和燃烧期3

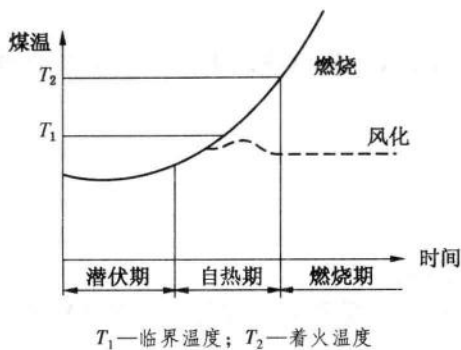


图 2-1 煤炭自燃的发展过程

个阶段,如图 2-1 所示。图中虚线为风化进程线。潜伏期与自热期之和为煤的自然发火期。

### 1. 潜伏期

自煤层被开采、接触空气起至煤温开始升高止的时间区间称为潜伏期。在潜伏期,煤与氧的作用以物理吸附为主,放热很小,无宏观效应;经过潜伏期后煤的燃点降低,表面颜色变暗。

潜伏期的长短取决于煤的分子结构、物

理化学性质。煤的破碎和堆积状态、散热和通风供氧条件等对潜伏期的长短也有一定影响,改善这些条件可以延长潜伏期。

### 2. 自热期

煤的温度开始升高起至温度达到燃点的过程叫自热期。自热期是煤氧化反应自动加速、氧化生成热量逐渐积累、温度自动升高的过程。其特点是:

(1) 氧化放热强度较大,煤温及其环境(风、水、煤壁)温度升高。

(2) 产生一氧化碳、二氧化碳和碳氢类气体产物,并散发出煤油味和其他芳香气味。

(3) 有水蒸气生成,火源附近出现雾气,遇冷会在巷道壁面上凝结成水珠,即出现所谓“挂汗”现象。

(4) 微观结构发生变化。

在自热期,若改变了散热条件,使散热大于生热,或限制供风,使氧气浓度降低至不能满足氧化需要,则自热的煤温度降低到常温,称之为风化。风化后煤的物理化学性质发生变化,失去活性,不会再发生自燃。

### 3. 燃烧期

煤温达到自燃点后,若能得到充分的供氧(风),则发生燃烧,出现明火。这时会生成大量的高温烟雾,其中含有一氧化碳、二氧化碳以及碳氢类化合物。若煤温达到自燃点,但供风不足,则只有烟雾而无明火,此即为干馏或阴燃。煤炭干馏或阴燃与明火燃烧稍有不同,产生的一氧化碳多于二氧化碳,温度也较明火燃烧要低。

## 第二节 煤炭自燃的识别与预报

煤炭自然发火的早期识别与预报的方法主要有人体感觉识别法、气体分析法、测温法、磁力预测法等。近年来,随着气味传感器的问世,又逐步形成了气味检测法。我国煤矿矿井预测预报主要采用气体分析法和测温法,并以气体分析法为主。

### 一、人体感觉识别法

#### 1. 视力感觉

巷道中出现雾气或巷道壁出现水珠(俗称“挂汗”),这是火灾初期最早的外部征兆,但并不是每次都可靠。当井下两股温度不同的风流交汇时,也会出现雾气;采掘工作面透



水前也有“挂汗”出现。因此,在发现这种现象时,要根据具体情况认真鉴别,作出正确的判断。

浅部开采时,冬季在地面钻孔口或塌陷区有时发现冒出水蒸气或冰雪融化现象,表明该地区井下采空区的遗煤已经开始燃烧。

#### 2. 气味感觉

如果在巷道或采煤工作面闻到煤油、汽油、松节油或焦油味,表明此处风流上方某地点煤炭自燃已经发展到自热后期。

#### 3. 温度感觉

当人员行入某些地区,感觉空气温度高,闷热,触摸煤壁或巷道壁时感觉发热或烫手,触摸从煤壁内流出的水感觉较热,说明煤壁内已经发生自热或自燃。

#### 4. 身体不适的感觉

当人接近火源附近时,有头痛、闷热、精神疲乏、裸露皮肤微痛等不舒适的感觉。这与空气中氧气浓度减少,有害气体(一氧化碳、二氧化碳等)浓度增加有关。

由于人的感觉总是带有相当大的主观性,并与人的健康状况和精神状态有关,而且人的感官又较迟钝,往往要在各种征兆达到较为明显的程度才能觉察到。因此,凭人的直接感觉不能作为识别早期煤炭自燃的可靠方法。

## 二、气体分析法

气体分析法是以煤自然发火过程中的气体产物规律来预测预报煤自然发火的过程。通过煤自燃氧化模拟试验得知,煤自燃氧化生成的气体是煤中的碳氧化所分解出来的产物,其成分主要有一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、乙烷(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、丙烷(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)、丁烷(C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)、乙烯(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)、丙烯(C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)、乙炔(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)和二氧化硫(SO<sub>2</sub>)等。烯烃、炔烃及一氧化碳这几种气体组分在煤吸附气体中不存在,它们是标志煤自燃氧化进程的特征气体组分。

#### 1. 煤炭自然发火过程中的气体生成规律

(1) 一氧化碳是煤氧化过程中出现的氧化气体产物,并且贯穿于整个氧化过程。一氧化碳的发生浓度与煤温之间表现为单一递增的变化关系,并基本符合指数关系,但当煤温超过180℃以后,这种指数关系就不复存在,而呈现出一种更快速增长速率。一氧化碳发生的临界温度,褐煤为40℃左右,烟煤在65~95℃之间变化,无烟煤为80℃左右,其总的趋势是随煤炭变质程度的增高而增大。

(2) 自燃氧化气体中烯烃组分有乙烯和丙烯,其总的变化趋势是随煤温的升高而逐渐增大。乙烯发生的临界温度(0.1×10<sup>-6</sup>浓度时的煤温度),褐煤在90℃,烟煤在100~150℃之间;丙烯发生的临界温度要高于乙烯发生的临界温度20~30℃,并且各煤种烯烃气体发生的临界温度值随煤炭变质程度的增加而上升。分析单位温升下烯烃气体组分发生的浓度变化可知,褐煤和变质程度较低的烟煤,在150℃以前烯烃发生浓度随煤温增加比较缓慢,而超过180℃以后,增加的速度变得很快,可以认为,180℃是这些煤种氧化结构发生剧烈变化的分界点。

(3) 烷烃气体(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>、C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)的发生浓度亦是随煤温的升高而逐渐增大,其出现的临界温度稍高于一氧化碳。烷烃气体产生的绝对量值对不同的煤种和不同的成煤环