

· 主 · 要 · 灾 · 害 · 防 · 治 · 技 · 术 ·

矿井火灾防治技术

中国煤炭工业劳动保护科学技术学会 组织编著

煤炭工业出版社

煤矿主要灾害防治技术丛书

矿井火灾防治技术

中国煤炭工业劳动保护科学技术学会 组织编著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

编审委员会名单

主任 赵铁锤

委员 (按姓氏笔画排序)

王宏斌 王岐成 王树玉 刘伯 刘景华

朱锦文 李文俊 运宝珍 邱宝杓 赵益芳

窦永山

主编 窦永山

副主编 朱锦文 王树玉

《矿井火灾防治技术》

主编 刘景华

审稿人 方裕璋

《瓦斯灾害防治技术》

主编 运宝珍 刘洪

审稿人 马尚权

《矿井粉尘防治技术》

主编 赵益芳

编写人 赵益芳 赵森林 薄俊伟 赵树芬 赵光宇

《矿井水害防治技术》

主 编 王宏斌 刘 伯

编写人 王宏斌 刘 伯 才向军 张 林

审稿人 刘国林

《矿山压力与岩层控制技术》

主 编 王岐成

审稿人 刘过兵

前 言

煤炭是我国国民经济发展的主要能源支柱。我国煤炭生产和国外相比，最大的特点之一是以井工生产为主。井工生产除生产过程复杂、环节多、工作地点经常移动外，还要受到矿压、瓦斯、火灾、水害、煤尘等自然灾害的威胁。随着矿井机械化程度的不断提高，开采强度的不断加大，煤矿安全问题日趋突出。因此，认真做好煤矿安全工作，对于加强煤矿劳动保护、搞好安全文明生产、加速我国煤炭工业持续稳定地发展具有重要的现实意义。

新中国成立以来，我国在煤矿灾害防治方面积累了丰富的经验，特别是随着《矿山安全法》、《煤炭法》和《安全生产法》等一系列法律法规的颁布与实施，我国煤矿灾害防治工作在理论研究及技术应用方面都取得了显著的进展，这对煤矿安全状况的改善发挥了重要作用。

为了系统地总结目前国内外行之有效的煤矿灾害防治技术，推动煤矿安全技术水平和管理水平的提高，使煤矿安全技术更加系统和完善，中国煤炭工业劳动保护科学技术学会组织从事煤矿安全技术的科研单位、高等院校以及煤炭生产企业的专家学者编写了本套丛书。本套丛书共有《瓦斯灾害防治技术》、《矿井火灾防治技术》、《矿井水害防治技术》、《矿井粉尘防治技术》、《矿山压力与岩层控制技术》5个分册。

本套丛书立足于现场应用，在内容上以矿井灾害防治理论与技术实践为基础，汇集了近年来国内外矿井灾害防治最新科研成果，具有先进性、科学性和较强的实用性。

本套丛书适合从事煤矿安全工作的科研、设计、生产的工程技术人员和管理人员阅读，也可供煤炭高等院校采矿、通风安全专业师生参考。

由于编者水平所限，书中缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编审委员会

2007年6月

目 录

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	4
第二章 煤炭自燃及影响因素	6
第一节 煤炭自燃的原因及机理	6
第二节 煤炭自燃的影响因素	7
第三节 煤炭自燃的一般规律及自然发火期	9
第四节 矿井火灾预测预报	11
第三章 内因火灾预防	22
第一节 开采技术措施	22
第二节 预防性灌浆	26
第三节 阻化剂防火	33
第四节 凝胶防灭火	36
第五节 均压防灭火	44
第六节 氮气防灭火	52
第七节 漏风检测与堵漏	58
第八节 束管监测系统	66
第四章 外因火灾预防	70
第一节 外因火灾预防综述	70
第二节 电气火灾预防	72
第三节 带式输送机火灾防治	76
第五章 矿井火灾处理	83
第一节 火灾处理的基本要求	83
第二节 火灾处理的安全技术措施	84
第三节 火灾处理时的控风技术	89
第四节 不同地点的火灾处理	110
第五节 矿井灭火准备工作与灭火方法	127
第六节 直接灭火法	129

第七节 隔绝灭火法.....	140
第八节 综合灭火法.....	147
第六章 火区管理与启封.....	150
第一节 火区管理.....	150
第二节 火区启封.....	153
第七章 煤矿火灾事故典型案例分析.....	158
参考文献.....	168

第一章 矿井火灾的类型与危害

第一节 矿井火灾及其分类

火给人类带来了文明，但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，一旦出现火灾，会给煤矿造成很大损失。特别是煤矿井下发生的火灾，常常与煤尘爆炸、瓦斯爆炸互为因果、密切联系、相互影响，因此，矿井火灾是煤矿主要灾害之一。

我们研究矿井火灾的目的，一方面要了解、掌握矿井火灾发生、发展的规律，以能及时准确地预测、预报火灾的发生；另一方面就是一旦出现矿井火灾，能根据火灾发生的性质、规律、地点等采取有针对性的措施及时扑灭火灾。

矿井火灾有两方面的含义：一是发生在煤矿井下的火灾，如井筒、车场、大巷、硐室、采掘工作面等地点的火灾；二是发生在地面但威胁到井下安全或发生在煤矿企业生产范围内的火灾，如井口附近、绞车房内、主要通风机房内的火灾。这些火灾的共性表现就是燃烧的非控制性，同时会造成人员中毒伤亡、引发瓦斯煤尘爆炸、资源损失、环境破坏、设备设施毁坏，或影响生产的正常进行。

一、矿井火灾的构成因素

任何火灾的发生都有3个方面的因素，即热源、可燃物和氧气，矿井火灾也是如此。

(一) 热源

热源是指具有一定温度和足够热量的存在体。能够引起矿井火灾的热源很多，如煤炭氧化生热本身就是一种热源，由它引起的矿井火灾通常称为内因火灾或煤炭自燃。这是一种矿井中最为常见的、发生频率最高的矿井火灾。除此之外的其他热源，如爆破火焰、摩擦生热、电火花、吸烟火、施焊火等，也是矿井中多见的热源，由这些热源引起的矿井火灾通常称为外因火灾。

(二) 可燃物

可燃物就是能够燃烧放热的物质。在煤矿井下，可燃物很多，如煤、坑木、瓦斯等可燃气体、各种油料、炸药等。

(三) 氧气

矿井火灾的实质就是氧化反应的高级阶段，即剧烈的氧化过程。足够的氧气是维系这种氧化过程的基础。没有足够的氧气供给，燃烧就不能进行，或即使有燃烧也不能持续长久。根据实验证明：在氧浓度低于3%时，燃烧就不能维持；在氧浓度为14%以下的空气中，蜡烛就不能点燃。煤矿井下的氧气大都来自于井下空气中。《煤矿安全规程》规定，井下采掘工作面进风流中氧浓度不得低于20%，因此，在井下空气中的氧浓度自然会满

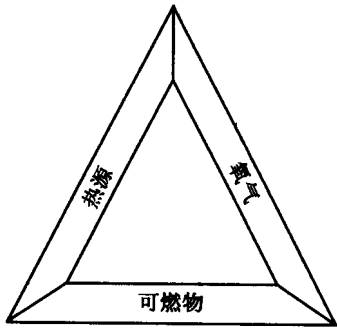


图 1-1 矿井火灾三要素示意图

足火灾发生的条件。

对矿井火灾有关情况的分析和研究，都是从以上三个要素进行的。正确掌握、运用矿井火灾的三要素，对正确认识矿井火灾，预防、治理矿井火灾是十分有意义的。应该说明的是，矿井火灾的发生，必须三个要素同时存在，相互结合，而且要达到足够的数量和能量。在理论上，为了完整地表述矿井火灾的三要素，常用三角形来形象地进行比喻。即把矿井火灾看做一个完整的三角形，如图 1-1 所示。则矿井火灾的三要素就是组成三角形的三条边，其条件是相互依存，缺一不可的。

二、矿井火灾的分类

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，将矿井火灾予以分类是必要的。

（一）按火灾发生的地点分类

按火灾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

发生在矿井工业广场范围内地面上的火灾称为地面火灾。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口楼、井筒、井底车场、机电硐室、爆炸材料库、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。

（二）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（指吸氧、氧化、发热）聚积热量而导致着火形成的火灾。

内因火灾的主要特点：①一般都有预兆。如有烟、有味。烟雾多呈云丝状，有煤油味、焦油味。井下如发现上述现象，就应该引起注意看现场是否有自燃火灾存在；作业现场温度升高；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难。②由于内因火灾多发生在人员难以进入的采空区或煤柱内，要想真正找到内因火灾的发火点并不容易。③持续燃烧的时间较长，有的内因火灾范围较大，难于扑灭，可以持续燃烧数月、数年、数十年甚至上百年。④内因火灾频率较高。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。

内因火灾大多数发生在采空区停采线、遗留的煤柱、破裂的煤壁、煤巷的高冒处、假顶下及巷道中任何有浮煤堆积的地方。

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、摩擦等外来热源造成的火灾。

外因火灾的主要特点:①发生突然、来势凶猛。据统计,国内外有记载的煤矿重大恶性火灾事故(指每次死亡几十人至上百人以上)90%都属于外因火灾。因此外因火灾如发现不及时,处理不当,往往会酿成重大事故。②外因火灾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。

外因火灾多数发生在井口房、井筒、机电硐室、爆炸材料库、安装机电设备的巷道或采掘工作面等地点。

(三) 按燃烧物分类

按燃烧物不同,矿井火灾可分为煤炭燃烧火灾、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。

(四) 按发火性质分类

按发火性质不同,矿井火灾可分为原生火灾和次生火灾。原生火灾即开始就形成的火灾。次生火灾是由原生火灾引发的火灾,即原生火灾发展过程中,含有可燃物的高温烟流,由于缺氧而未能完全燃烧,在排烟的过程中,一旦遇到新鲜空气就会发生新的燃烧,形成次生火灾。

(五) 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可分为上行风流火灾,下行风流火灾和进风流火灾三类。

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,亦即与矿井主要通风机风压作用方向一致。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,即风流由标高的低点向高点流动。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要通风机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,烟流随之后退,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,主要是由于其发展的特征、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,造成中毒伤亡事故。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,在这种火灾中还是会发生大量的人员伤亡事故。如1956年,比利时包斯·德·卡赛尔(Bois-de-Cazier)煤矿,进风井筒火灾造成262人死亡,矿井被关闭。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,使用适应这种火灾防治的技术措施,如全矿或局部反风等。

第二节 矿井火灾的危害

我国是一个矿井火灾事故多发的国家。仅2000年对全国国有煤矿的425对矿井统计,就共发生各种火灾事故168起,其中外因火灾14起,内因火灾154起,冻结煤量4217Mt,封闭采区或工作面59个,发火率为0.318次/Mt。

矿井火灾对煤矿生产及职工安全的危害主要有以下几个方面。

一、产生大量的有毒有害气体

矿井火灾发生后,不同的可燃物会产生不同的气体,这些气体大都是有害的,有些气体毒性较大,这是矿井火灾造成人员伤亡的主要原因。

煤炭燃烧会产生二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫等。坑木、橡胶、聚氯乙烯等燃烧会产生一氧化碳、醇类、醛类以及其他复杂的有机化合物。

这些有毒有害气体中,一氧化碳对矿工的危害最为严重。其主要原因是一氧化碳同人体中血红素的亲和力比氧同人体中血红素的亲和力高250~300倍,因此,当空气中有一氧化碳时,人在呼吸这样的空气后,极有可能因吸收不了氧气而出现伤亡。当空气中一氧化碳按体积百分比计算,浓度达0.4%时,人们呼吸这样的空气就可立即死亡。根据国内外的统计资料表明,在矿井火灾中的遇难者有80%~90%都是死于以一氧化碳为主的烟雾中毒。同样,煤矿发生瓦斯、煤尘爆炸后,造成人员大量伤亡的主要原因也是以一氧化碳为主的有毒有害气体中毒。

《煤矿安全规程》规定,入井人员必须随身携带自救器,其主要目的是一旦出现矿井火灾、爆炸等事故后,能利用自救器保护自己,降低有毒有害气体对自己的伤害程度。

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、坑木等放出氢气、沼气和其他多种碳氢化合物等爆炸性气体,从而增加了瓦斯、煤尘爆炸的可能性。同时火灾还可使沉降的煤尘重新悬浮,增加了煤尘爆炸的几率。根据国内资料统计,

新中国成立后的所有煤尘爆炸事故，因矿井火灾引起的占6%。因此，矿井火灾的危害并不仅仅是燃烧放热。

三、毁坏设备设施

一旦出现矿井火灾，现场的各种仪器、仪表、设备将会遭到严重破坏。摧毁巷道，破坏支护。有些暂时没被烧毁的设备和器材，由于火区长时间封闭，都可能因长期腐蚀全部或部分报废。

四、影响开采接续

矿井火灾发生后，特别是大范围的矿井火灾发生后，直接灭火无效，必须对火区进行封闭，而被封闭的火区必须待里边的火完全熄灭后才能打开密闭，重新开采，有些火区因裂隙较多或密闭不严，火区内的火很长时间不能熄灭，有时达几个月甚至几年，严重影响生产，影响煤层开采的连续性。不但如此，被封闭的火区永远是煤矿井下的一种安全隐患，使人们不能放心地进行各种采掘活动。

五、烧毁大量的煤炭资源

矿井火灾会使煤的发热量大大减少，甚至完全被烧毁，使国家宝贵的资源白白浪费掉。据1997年新疆煤田火区普查结果表明，新疆5大火区的火灾面积总计达3794ha，其中明火面积达826ha，烧毁煤量3113.37Mt。

六、严重污染环境

有些煤田的露天煤由于火源面积较大、内因火较深、火区温度较高，同时煤的燃烧所放出的各种有毒有害气体，严重破坏了周围的环境，甚至形成大范围的酸雨和温室效应。使绿洲变为荒漠。此外，火区燃烧生成的酸碱化合物对火区附近的地表水和浅层地下水也会造成严重污染。

第二章 煤炭自燃及影响因素

第一节 煤炭自燃的原因及机理

煤炭自燃是指处于特定环境及条件下的煤吸附氧、自热、热量积聚自燃而形成的一种频发性灾害。说到底,煤炭自燃实质上是一种煤氧之间极其复杂的物理化学变化过程。

虽然不同的煤种自燃的状态不尽相同,但所有煤炭自燃的共性是必须同时具备三个条件的,即①易于低温氧化的粉煤或碎煤呈堆积状态存在;②存在适宜的通风供氧条件;③存在蓄热的环境条件并持续一定时间。

一、煤炭自燃的机理

对于煤炭自燃的机理,人们提出了一系列的学说,其中主要有细菌作用学说、黄铁矿作用学说、酚基作用学说以及煤氧复合作用学说。

(一) 细菌作用学说

细菌作用学说由英国人 Potter. M. L 于 1927 年提出的,其中心内容是:煤在细菌作用下的发酵过程中放出一定的热量,对煤在 70℃ 以前的自热起决定性作用。当微生物极度增长时,一般都有生化放热过程,当煤自热温度升到 70℃ 以上时,所有的生化过程都将消亡,同时引发煤炭自燃。

(二) 黄铁矿作用学说

黄铁矿作用学说是英国人 Plott 与 Berze lius 在 17 世纪初提出的。其中心内容是:煤的自燃过程,是由于煤层中的黄铁矿 (FeS_2) 暴露于空气后与水分和氧相互作用,发生放热反应而引起的,19 世纪下半叶,这一学说曾被广为认定。

(三) 酚基作用学说

酚基作用学说是由前苏联学者特龙诺夫于 1940 年提出的,其中心内容是:导致煤自燃是因为空气中的氧与煤体中所含有的不饱和酚基化合物作用时,放出热量所致。

(四) 煤氧复合作用学说

煤氧复合作用学说认为,煤自燃的根本原因在于煤具有吸附氧的能力和与此相联系的放热作用。该学说指出煤自燃正是氧化过程自身加速的最后阶段。但并非任何一种煤的氧化都能导致自燃,只有在稳定的低温和良好的蓄热条件下,氧化过程可自动加速,这样才能导致自燃。

上述几种关于煤自燃机理的学说中,煤氧复合作用学说被大多数人所接受。煤与氧相互作用产生热量并积聚是导致煤自燃的主要因素。需要说明的是,尽管煤氧复合作用学说广泛地被人们所接受,在实践中也逐渐得到科学的证实,但是鉴于煤的物质组成及其性质的复杂性,这一学说主要是对煤自燃机理的定性解释,许多问题仍有待于深入研究和探

讨。

研究煤炭自燃机理，其主要目的在于指导矿井煤炭自燃防治措施的制定和实施。其研究方法主要有三类：一是减少煤炭和空气接触的表面积；二是降低与煤炭表面接触的氧气含量；三是用某种方法钝化自然发火煤炭表面的氧化活性。

二、煤的自燃倾向性研究

煤的自燃倾向性是指煤层开拓之前其自燃的可能程度。所有的煤炭都具有自燃倾向性，但不同的煤种在不同的环境中呈现出不同的自燃倾向性。鉴定煤的自燃倾向性对于掌握自燃火灾的发生规律，有针对性地采取防火措施具有重要意义。目前国内外测定煤的自燃倾向性的方法很多，常用的有：吸氧量测定法、着火温度降低值测定法、氧化速度测定法（又称双氧水法）、差热分析法、重量测定法等。我国曾试用过前三种方法。各国都依据本国的具体条件制定了相应的煤炭自燃倾向性鉴定方法，并规定了界定指标。

第二节 煤炭自燃的影响因素

影响煤炭自燃的因素很多，既与煤炭本身的性质有关，也与煤炭本身之外的其他条件有关，因此，可将其影响因素分为内部因素和外部因素。

一、内部因素

1. 煤的变质程度

一般来说，煤的变质程度越低越容易自燃；反之，其自燃倾向性越小。

2. 煤岩组分

煤岩组成有丝煤、镜煤、亮煤和暗煤。暗煤硬度大，难以自燃；镜煤和亮煤脆性大，易破碎，有利于煤炭自燃；丝煤结构松散，吸氧能力强，着火温度低，是煤炭自热的中心，在自燃中起“引火物”的作用。

3. 煤的孔隙率及脆性

煤越脆，越易破碎，破碎后与氧接触的面积越大，越容易氧化自热，因此煤越脆越易自燃。煤的孔隙发育、孔隙率越大，与氧接合面积大，同样越易氧化自热，越易自燃。

4. 煤的含硫量

煤中含硫化铁越多，越容易自燃。

5. 煤的水分

煤中水分少时有利于煤炭自燃，水分大时会抑制煤炭自燃，当煤中的水分蒸发后其自燃危险性会增大。

二、外部因素

1. 煤层埋藏深度

煤层埋藏较浅时，容易与地表裂隙相通，采空区因漏风而形成浮煤自燃；但当煤层埋藏较深时，煤体的原始温度越高，煤中水分也少，煤炭同样也易自燃。

2. 煤层厚度

煤层越厚, 开采后煤炭越易自燃。这是因为难以全部采空, 遗留大量浮煤与残柱; 采区回采时间过长, 超过了煤的自然发火期; 开采压力大, 煤壁(柱)受压易破裂。而且, 煤是不良导热体, 煤层越厚, 越易积聚热量。煤矿的内因火灾有 80% 以上发生在厚煤层开采过程中, 因此, 对于厚煤层或特厚煤层开采的矿井, 就更应该重视内因火灾的防治。

3. 煤层倾角

煤层倾角较大时, 开采时比较困难, 采煤方法不正规, 丢煤多, 且采空区封闭也较困难, 因此, 煤炭自燃的危险性越大。

4. 地质构造

在地质构造较复杂的矿井, 如褶曲、断层和火成岩侵入等地区, 煤炭自燃危险性增大。这是因为煤层受张拉、挤压、裂隙大量发生, 煤体破碎, 吸氧条件好造成的。

5. 煤层中的瓦斯含量

当煤层中的瓦斯含量较高时, 由于大量的瓦斯占据了煤的孔隙空间和内表面, 降低了煤的吸氧量, 因此, 其自燃危险性较小。

6. 漏风条件

煤炭自燃必须连续不断的供氧, 因此, 采空区漏风是煤炭自燃的必要条件。但是, 当漏风量较大时, 煤炭氧化而生成热量被漏风流带走, 不会发展成为煤炭自燃。所以, 只有当有风流且风速又不太大时才会引起煤炭自燃。有研究表明: 漏风量大于 $1.2\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ 或小于 $0.06\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ 时, 都不会发生自燃。最危险的漏风量是 $0.4 \sim 0.8\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ 。在煤矿生产过程中, 当以下几个地点具备此条件时, 煤炭最易自燃: ①采空区; ②压碎的煤柱; ③煤巷冒顶处; ④煤巷垮帮处。

最近几年, 在老矿挖潜中, 为了适应生产的发展, 一些矿井改用了高风压大风量的主要通风机, 但是对通风系统的改造不够, 矿井风量增长有限, 而风压急剧上升, 有的高达 $3.9 \sim 4.9\text{kPa}$ 。其后果是通风管理困难, 漏风严重, 自然发火的局势恶化。

7. 开采技术条件

影响煤炭自燃的技术条件主要表现在工作面回采率的高低和回采时间长短。一般来说, 采煤工作面回采率越低, 煤炭自燃危险性越大; 回采时间越长, 煤炭自燃的危险性越大。最合理的开采方法应该是巷道布置最简单, 揭露煤层面积越小, 留设煤柱越少, 煤炭回收率越高, 工作面推进速度越快, 采空区封闭越严密, 漏风量越小。这样就可降低煤炭自燃的可能性。

综上所述, 决定矿井或煤层自然发火危险程度的因素, 一是煤的自燃倾向性, 二是地质采矿技术。一个弱自燃倾向性的煤层, 从实验室的煤样鉴定结果, 仅属于“可能自燃”一类。但是如与上面所列举的许多不利的地质赋存条件, 不合理的采矿技术因素汇集在一起, 也会造成相当严重的自然发火局面。因此, 煤的自燃倾向性和煤层的自然发火危险性是两个既有关联, 又不相同的概念。煤的自燃倾向性强弱影响着煤层自然发火的危险程度, 但自燃倾向性强的煤在开采时不一定必然发火严重, 合理的开拓开采方法、良好的通风系统可以在很大的程度上控制自燃火灾的发生。

三、煤炭自燃倾向性等级划分

《煤矿安全规程》中按煤的自燃倾向性大小将煤层分为三种, 即容易自燃煤层、自燃

煤层和不易自燃煤层。煤矿必须对开采煤层的自燃倾向性作出鉴定。那么，根据什么指标对煤炭的自燃倾向性作出鉴定呢？

煤炭自燃倾向性的鉴定方法很多，我国从 20 世纪 50 年代至 80 年代，一直沿用着火温度降低值测定法。目前采用的方法是色谱吸氧法，即使用一种专用仪器测定出常压下 30℃ 煤的吸氧量，然后根据每克干煤的吸氧量大小，将煤的自燃倾向性分为三级：Ⅰ级——容易自燃；Ⅱ级——自燃；Ⅲ级——不易自燃。自燃倾向性划分标准见表 2-1 和表 2-2。

表 2-1 煤炭自燃倾向性分类（一）
（褐煤、烟煤类）

自燃等级	自燃倾向性	30℃ 常压煤（干煤）的吸氧量 / ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	备注
Ⅰ	容易自燃	≥ 0.70	
Ⅱ	自燃	0.40 ~ 0.70	
Ⅲ	不容易自燃	≤ 0.40	

表 2-2 煤炭自燃倾向性分类（二）
[高硫煤、无烟煤（含可燃挥发分）]

自燃等级	自燃倾向性	30℃ 常压煤（干煤）的吸氧量 / ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	备注
Ⅰ	容易自燃	≥ 1.00	
Ⅱ	自燃	≤ 1.00	
Ⅲ	不容易自燃	≤ 0.80	

国外一些煤炭工业发达的国家，采取以实验室鉴定的煤炭自燃倾向性指标为基数，再根据不同的地质赋存条件、开拓、开采、通风条件分类评分，有利于自然发火的列为正分，不利的列为负分。将基数与各项条件的评分加在一起，依其总和判定矿井或煤层的自然发火危险程度。这样把实验室的数据与生产实践相结合，从而获得一个评价煤层自然发火危险程度的指标。这个指标对于指导生产很有实用价值。目前在我国尚未开展这项工作。

第三节 煤炭自燃的一般规律及自然发火期

由于煤并非均匀体，而且品种多样，化学结构、物理性质以及煤岩成分均有很大差别。因此，其自燃过程是一个相当复杂的过程。虽然在煤炭自燃机理各种学说中，煤氧复合学说被大多数人所接受，并在实践中得到了某种程度的证实，但对于煤炭自燃过程的详细研究还处于发展阶段。然而对煤炭自燃条件以及煤炭自燃的三个阶段等规律性的东西还是取得了一致的意见。

一、煤炭自燃条件

一般认为，煤炭自燃必须同时具备以下三个条件：

- (1) 易于低温氧化的粉煤或碎煤呈堆积状态存在；
- (2) 存在适宜的通风供氧条件；
- (3) 存在煤体中的热量不易散发。

二、煤炭自燃过程

煤炭自燃过程大体分为三个阶段：准备期、自热期、燃烧期。

1. 准备期

有自燃倾向性的煤炭与空气接触后，吸附氧而形成不稳定的氧化物或称含氧的游离基，初期看不出其温度上升和周围环境温度上升的现象。此过程的氧化比较平缓，煤的总量略有增加，着火温度降低，化学活性增强，故此阶段又称潜伏期。

2. 自热期

在准备期之后，煤氧化的速度加快，不稳定的氧化物开始分解成水、二氧化碳和一氧化碳。若此时产生的热量未散发或传导出，则积聚起来的热量便会使煤体逐渐升温，达到某一临界值（一般认为是 $60 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ），此时出现煤的干馏、生成芳香族的碳氢化合物、氢及一氧化碳等可燃气。这个阶段，煤的热反应比较明显，使用常规的检测仪表就能测量出来，有时人的感官也能感觉到。此阶段通常称为煤的自热期，这个阶段对于内因火灾的防治是极其重要的，可以借助各种仪表检测到自燃产生的各种化学反应物质，也可以通过人的感官感觉到煤炭自燃现象的存在，从而可以有针对性地采取各种措施使由准备期产生的热量能够充分地释放出来，可以有效地遏制煤由自热期向燃烧期的过渡。

3. 燃烧期

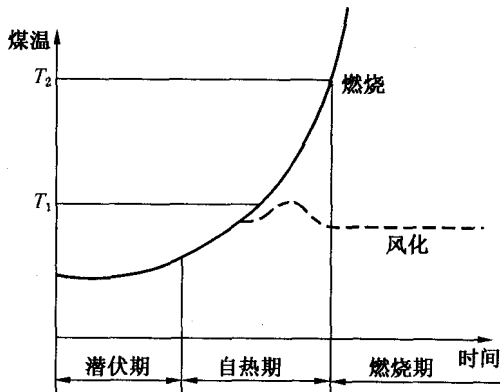


图 2-1 煤自燃发展过程示意图

T_1 —临界温度； T_2 —着火温度

当煤温达到着火温度（一般认为无烟煤大于 400°C 、烟煤 $320 \sim 380^{\circ}\text{C}$ 、褐煤 $210 \sim 350^{\circ}\text{C}$ ）后就会着火燃烧起来。煤进入燃烧期会出现了一般的着火现象：明火，烟雾，生成一氧化碳、二氧化碳以及各种可燃气，火源中心处的煤温可达 $1000 \sim 2000^{\circ}\text{C}$ 。但如果在达到临界温度前，改变了供氧和散热条件，煤的增温过程就会自行放慢，而进入冷却阶段，煤逐渐冷却并继续缓慢氧化至惰性的风化状态。已经风化了了的煤炭就不能自燃了。

上述煤炭自燃过程可用图 2-1 表示。

三、煤炭自然发火期

具有自燃倾向性的煤炭被揭露后要经过准备期、自热期和燃烧期三个阶段才能着火，因此，煤炭需要一定的时间才会发火。从揭煤到燃烧这一时间间隔称为煤层的自然发火期。它是自然发火危险期在时间上的量度，煤层的自然发火期这一数值对煤矿是有实际意义的，自然发火期越短的煤层，其自燃危险性越大，矿井一般不宜用煤巷开拓，采煤方法要保证最大的回采速度和最高的回收率，采空区要及时封闭。