

高等学校教学用书

矿井火灾防治

王省身 张国枢 编著



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是应煤炭院校矿山通风与安全专业的教学需要而编写的，书中系统地阐述了煤矿火灾的发生规律和特点；内因与外因火灾的预防措施；火灾时期风流紊乱及其防治方法；矿井灭火方法；火区管理；以及火灾时期矿井主扇的管理等方面的基本内容，在各个章节中都力求贯彻各项防灭火技术的方针与政策。

读者对象：煤炭高等院校矿山通风与安全专业使用教材，也可供从事煤炭工业科研、设计及现场工程技术人员参考。

责任编辑：马跃龙

技术设计：杜锦芝

责任校对：周俊平

高等学校教学用书

矿井火灾防治

王省身 张国枢 编著

中国矿业大学出版社出版发行

江苏省新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/6 印张12.25 字数 294千字

1990年4月第一版 1990年9月第二次印刷

印数：1001—4000册

ISBN 7-81021-286-9

TD·68

定价：1.60元



前 言

本书是应煤炭院校矿山通风与安全专业的教学需要而编写的。它是本专业七门专业课程（矿井通风与空气调节、矿井瓦斯防治、矿井火灾防治、矿尘防治、矿井灾变处理、井下工业卫生、矿井环境监测及仪表）之一，曾于1986年以试用教材在校内印刷，并在教学中试用。

本书力图系统地阐述煤矿火灾的发生规律与特点；内因与外因火灾的预防措施，火灾时期风流紊乱及其防治方法；矿井灭火方法；火区管理以及火灾时期矿井主扇的管理等方面的基本内容，在各个章节中都力求贯彻各项防灭火技术的方针与政策。在编写过程中广泛地收集和参阅了国内外有关资料与文献，在此特向提供资料的作者致以谢意。





















作者水平有限，疏漏之处，在所难免，恳请广大读者给予批评和指正。

王省身 张国枢

1989年9月

本书常用符号

本书常用符号

	新鲜风流		泛风流
	漏风风流		烟 流
	反风新鲜风流		反风泛风流
	调节风门		风 障
	防火墙		临时防火墙或密闭
	常闭风门		常开风门
	风 桥		局 扇
	主 扇		火 风 压
	回采或掘进工作面		火 源
	灌浆管路		风 筒

目 录

第一章 矿井火灾概述	(1)
第一节 概 述	(1)
第二节 火灾发生的三要素	(1)
第三节 矿井火灾分类及其特征	(2)
第二章 煤的自燃	(5)
第一节 煤的自燃学说	(5)
第二节 煤的自燃发展过程	(7)
第三节 煤的自燃倾向性鉴定方法与分类	(8)
第四节 煤层自燃危险程度及自燃发火期	(11)
第三章 矿井内因火灾的预防	(14)
第一节 概 述	(14)
第二节 防止煤炭自燃的开采技术措施	(14)
第三节 预防性灌浆	(20)
第四节 阻化剂防火	(27)
第五节 防治火灾的均压技术	(31)
第四章 矿井外因火灾的预防	(44)
第五章 矿井火灾的早期发现	(46)
第一节 早期预报外因火灾	(47)
第二节 早期预报内因火灾	(48)
第六章 火灾时期风流的紊乱及其防治	(52)
第一节 火灾时期常见的风流紊乱形式	(52)
第二节 火风压的生成与计算	(54)
第三节 风流紊乱的原因及其防治	(65)
第四节 主干风路火灾的控制	(73)
第五节 矿井火灾时期风流紊乱实例	(78)
第七章 矿井灭火	(84)
第一节 直接灭火法	(84)
第二节 封闭火区与联合灭火法	(88)
第三节 火区管理与启封	(95)
第八章 火灾时期主扇管理	(99)
第一节 井下火灾对主扇的影响	(99)
第二节 火灾时期主扇的调节	(104)
第三节 矿井火灾时期主扇运转状态的观测	(111)
思考题	(113)
参考文献	(115)

第一章 矿井火灾概述

第一节 概述

矿井火灾是指发生在矿井地面或井下、威胁矿井安全生产、形成灾害的一切非控制燃烧。矿井火灾是煤矿主要灾害之一，每一场火灾的发生，轻则影响生产，重者可能烧毁煤炭资源和矿井设备，更为严重者则可能引燃瓦斯煤尘爆炸或火烟毒化矿井，酿成人员伤亡的重大恶性事故。据统计，扑灭一场中等火灾也要付出数以万计的直接灭火费用。重大恶性火灾事故造成政治、经济以及资源上的损失往往是难以估量的，对矿工情感上的伤害也非短期可以消除。尽管当前矿井防灭火技术有了很大发展，但是仍然难以杜绝矿井火灾的发生，因此，必须作好矿井的防火灭火工作，以保证生产的安全进行。

第二节 火灾发生的三要素

每一场火灾的发生都必须同时具备以下三个方面的条件，也就是人们通常所说的发火三要素：

1. 可燃物的存在

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、涌出的沼气以及所用的坑木、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。

2. 热源

热源是触发火灾的必要因素，只有具备足够热量和温度的热源才能引燃可燃物。在矿井里，煤的自燃、瓦斯、煤尘燃烧与爆炸、放炮作业、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、烧焊以及其它明火都可能是引火的热源。

3. 空气的供给

燃烧就是剧烈的氧化，任何可燃物尽管有热源点燃，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%的空气中瓦斯失去爆炸性，浓度在14%以下，蜡烛也要熄灭。所以，这里所说的空气是指正常含氧量的空气，而不是贫氧的空气。



图1-1 火灾环练构成示意图

以上三要素的同时具备才能形成一场火灾。因此，如果将火灾的发生比作一个整体的火的环练，则三要素就是组成环练的三个分环，如图1-1所示，缺任何一个分环将不成其为火的环练。发火三要素的概念将是我们学习矿井防灭火理论与措施的基础，也就是说在研究矿井火灾防治与扑灭的全过程都要从这三个方面着眼考虑问题。

第三节 矿井火灾分类及其特征

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订防灭火的对策，将矿井火灾予以分类是必要的。根据火灾发生的地点不同可以分为：

1. 地面火灾

发生在矿井工业广场范围内地面上的火灾称之为地面火灾。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、机电峒室、火药库、进回风大巷、采区变电峒室、掘进和回采工作面以及采空区、煤柱等地点。

井下火灾处于百里煤海，巷道纵横相连，即使发生也很难及时发现；井下空气供给有限，难以完全燃烧；有毒有害烟雾大量发生，随风流到处扩散；毒化矿井空气、威胁工人的生命安全；在瓦斯和煤尘爆炸危险矿井，还可能引起爆炸，酿成重大恶性事故。

由于井下火灾引起的重大事故，中外采矿史多有记载。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人牺牲，矿井关闭。1961年，捷克杜克拉 (Dukla) 煤矿，井下皮带着火，108人牺牲。1965年，日本雅马罗煤炭公司矿井，瓦斯喷出多次连续爆炸引火，牺牲236人。国内河南郑州局王庄煤矿；辽宁抚顺局老虎台煤矿；吉林舒兰局东付矿在76、78、79年先后发生重大井下火灾事故，造成严重损失。近年来安徽淮北局芦岭、山东枣庄局山家林、山西潞安局王庄、河北峰峰局薛村等矿井也发生过重大火灾事故。因此，对于井下火灾的防治必须给予格外的重视。

井下火灾按其发火地点和对矿井通风的影响又可分为三类：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

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，亦即与矿井主扇风压作用方向一致。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，而所有其它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，即风流由标高的高点向低点流动。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扇

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然火灾，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，在这种火灾中还是不时发生大量的人员伤亡事故。如比利时的包斯·德·卡赛尔矿所发生的火灾，即是一个很明显的例子。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、区域性或局部反风等。

在煤矿里，通常根据引火的热源不同还将矿井火灾分成以下两类：

1. 外因火灾或称外源火灾 系指由于外来热源如瓦斯煤尘爆炸、放炮作业、机械摩擦、电气设备运转不良、电源短路以及其它明火、吸烟、烧焊等引起的火灾。

2. 内因火灾或称煤的自然火灾 是指煤炭在一定的条件下，如破裂的煤柱、煤壁、集中堆积的浮煤，又有一定的风量供给，自身发物理化学变化、吸氧、氧化、发热、热量聚集导致着火而形成的火灾。

外因火灾的特点是：突然发生、来势迅猛，如果不能及时发现和控制，往往会酿成重大事故。在矿井火灾的总数中，外因火灾所占比重虽然较小（4~10%），但不容忽视。据统计，国内外有记载的重大恶性火灾事故，90%以上属于外因火灾。外因火灾多发生在井口楼、井筒、机电峒室、火药库以及安装有机电设备的巷道或工作面内。火灾的火焰一般是在燃烧物的表面，如果及时发现和扑救，还是容易熄灭的。

内因火灾的发生，往往伴有一个蕴育的过程，根据预兆能够早期予以发现。但火源隐蔽，经常发生在人们难以进入的采空区或煤柱内，要想准确地找到火源确非易事。因此，难以扑灭，以致火灾可以持续数月、数年、甚至数十年之久。有时燃烧的范围逐渐蔓延扩大，烧毁大量煤炭，冻结大量资源。根据1985年的统计，由于发火而冻结的煤量累计近6000万吨。

据统计，在我国统配与重点煤矿中，存在自然发火危险的矿井占总矿井数的46~49%，自然发火煤层占累计可采煤层数的60%。建国以来32年的统计（53~84年），内因火灾发生的次数占矿井火灾总次数94%。因此，内因火灾理所当然地受到人们的重视，成为研究的重点。

为了更深入地作好矿井火灾的调查统计工作，有时也根据火灾发生地点，燃烧物及引火性质进行分类。如由于发火地点不同而分为：井筒火灾、巷道火灾、煤柱火灾、采面火灾、采空区火灾、峒室火灾等。由于燃烧物不同可分为：机电设备（皮带、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、煤尘燃

烧火灾以及煤的自燃火灾。根据引火性质不同可分为：原生火灾与次生（再生）火灾。次生火灾系指由原生火灾而引起的火灾。在原生火灾的燃烧过程中，含有尚未燃烬可燃物的高温烟流，在排烟的通道上，一旦与风流汇合，获得氧气的供给很可能再次燃烧。特别是汇合点位于干燥的木支护区，更易发生次生火灾而扩大火区范围。辽源局西安竖井就曾发生过由于次生火灾而扩大火区范围的事故。

第二章 煤的自燃

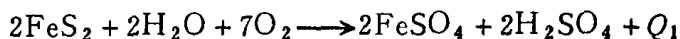
第一节 煤的自燃学说

关于煤的自燃问题，从十七世纪即已开始探索，但是迄今仍然未能得到圆满的解答。煤的氧化理论已经得到了科学的证实，对此目前不存在任何异议。然而对以下两点还存在着争论：煤的自燃前期过程是怎样开始的？它的温度是怎样提高到发生化学氧化反应必不可少的温度——60℃的？

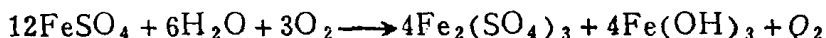
在长期的争论中，人们提出了一系列的论点或称学说来阐述煤的自燃，其中主要的有：黄铁矿作用学说、细菌作用学说、酚基作用学说以及煤氧复合作用学说等。

1. 黄铁矿作用学说

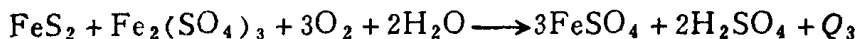
该学说最早由英国人(Plott与Berzelius)于十七世纪提出，十九世纪下半叶曾广为流传，是试图回答煤为什么会自燃的第一个学说。它认为煤的自燃是由于煤层中的黄铁矿(FeS_2)与空气中的水份和氧相互作用、发生热反应而引起的，其反应的化学式如下：



另外，硫酸亚铁(FeSO_4)在井下潮湿的环境中可能被氧化变为硫酸铁($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)：



其中硫酸铁($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)在潮湿的环境中作为氧化剂又和黄铁矿发生反应：



以上的化学反应都是放热反应(Q_1 , Q_2 , Q_3 代表一定的热量)。再者，黄铁矿在井下潮湿的环境里被氧化产生 SO_2 、 CO_2 、 CO 、 H_2S 等气体时，也都是放热反应。因此在散热环境不良时，必然导致煤的自热与自燃。

五十年代波兰学者奥尔萍斯基(Olpinski·W)对波兰烟煤的考查表明：只有当煤中硫铁矿含量较高时(大于1.5%)，才具有自燃倾向性。但是他认为这类煤的自燃倾向性增高的原因是由于煤化程度较低而引起的。因为在波兰自然发火较多的煤均是煤化程度较低而硫化铁含量较高的煤。

摩卡(Muck)认为属于斜方晶系的硫化铁变态——白铁矿在煤的自燃过程中起着主要的作用。

英国人温米尔(Winmill·T·F)通过实验证实，在不自燃的煤中加入30%的黄铁矿即可变为具有自燃倾向性的煤。不可忽视的事实是黄铁矿氧化时放出的热量比煤氧化放出的热量高两倍。

黄铁矿的另一个促使煤体氧化的物理作用是当其氧化时体积增大，对煤体具有胀裂作用，能够使煤体裂隙扩大和增多，与空气的接触面积增加，因而导致氧气渗入，促使煤的氧化。

黄铁矿作用学说的反对者举出了在许多矿区(如苏联的库兹涅茨)不含硫的煤也发生自燃的反例。

2. 细菌作用学说

该学说系由英国人帕特尔 (Potter·M·C) 于1927年提出。认为在细菌的作用下, 煤在发酵过程中放出一定热量对煤的自燃起了决定性的作用。

后来 (1934年) 有的学者认为煤的自燃是细菌与黄铁矿共同作用的结果。

1951年波兰学者杜博依斯 (Dubois·R) 等人在考查泥煤的自热与自燃时指出: 当微生物极度增长时, 一般都伴有一个生化的放热过程。在30℃以下是亲氧的真菌和放线菌起主导作用。使泥煤的自热提高到60~70℃是由于放线菌作用的结果。在60~65℃时, 亲氧真菌死亡, 嗜热细菌开始发展, 在72~75℃时所有的生化过程均将消亡。

英国人温米尔与格瑞哈姆 (Graham·J·J) 曾作过如下实验, 将具有自燃倾向性的煤置放在温度为100℃的真空烘箱中, 经20小时烘烤, 应该说一切菌类均已死亡, 但事后测试其自燃倾向性一如既往。

1947年苏联学者斯阔琴斯基 (А.А.Скочинский) 提出: 如果说在煤的自热过程中细菌起了什么作用, 但决不是导致自燃的主要原因。

1956年苏联学者札娃尔齐 (Н.В.Завартин) 通过实验后指出: 在煤的自燃现象中, 细菌不起任何作用。他认为煤的自燃是化学基链反应过程, 而不是细菌作用。

3. 酚基作用学说

1940年苏联学者特龙诺夫 (Б.В.Тронов) 提出: 煤的自热是由于煤体内不饱和的酚基化合物强烈地吸附空气中的氧, 同时放出一定量的热量造成的。

这个学说提出的基点是建立在对各种煤体中的有机化合物进行实验后, 发现酚基类是最易氧化的。不仅在纯氧中可以氧化, 而且与其它氧化剂接触时也可以发生作用。所以他认为正是空气中的氧与煤体内的酚基类化合物作用而导致自燃。

4. 煤氧复合作用学说

绝大多数研究煤炭自燃理论的学者都赞同这一学说。

1870年瑞克特 (Rachtan·H) 经过实验得出: 一昼夜里每g煤的吸氧量为0.1~0.5ml, 而褐煤为0.12ml。

1945年姜内斯 (Jones E.R) 提出: 在空气中, 在常温下烟煤的吸氧量可达0.4ml/g。这和1941年美国学者约荷 (Yohe G.R) 对美国伊利诺斯煤田的煤样试验结果相近。

六十年代抚顺煤研所曾以煤的吸氧量作为区别煤的自燃倾向性大小的指标。通过大量煤样分析, 确定了100g煤样在30℃的条件下经96h吸氧量小于200ml时属于不自燃的, 超过300ml时属于易自燃的煤。这也说明, 在低温时, 煤的吸氧量愈大, 愈易自燃。

1951年苏联学者维索洛夫斯基 (Висоловский·В·С) 等人提出: 煤的自燃正是氧化过程自身加速的最后阶段, 并非任何一种煤的氧化都能导致自燃, 只有在稳定的条件下, 在低温、绝热条件下, 氧化过程的自身加速才能导致自燃。这种氧化反应的特点是分子的基链反应, 也就是每一个参加反应的团粒或者说在链上的原子团首先产生一个或多个新的活化团粒 (活化链), 然后, 又引起相邻团粒活化并参加反应。这个过程在低温条件下, 从开始要持续地进行一段时间, 这就是人们称之为的“煤的自燃潜伏期”。煤的低温氧化特点是只在其表面进行, 化学组分无任何变化。他们通过实验还发现, 烟煤低温氧化的结果使着火点降低, 以致活化易于点燃。

低温氧化过程的持续发展使得反应过程的自身加速作用增大, 最后如果生成的热量不

能及时放散，从而就会引起自热阶段的开始。

总结上述各种解释煤的自燃学说可以认为：煤氧复合作用学说受到大多数学者的赞同是可以理解的。因为煤的自燃主要参与物一个是煤，一个是氧，煤对氧的吸附是经实验考察完全证实了的。表面的吸附即所谓的物理吸附虽然产生的热量微不足道，然而化学吸附以及伴随而存在的煤与氧的化学反应则可以放出相当多的热量，热的产生与积聚是导致煤炭自燃必不可少的因素。酚基作用学说将煤体中的不饱和化合物——酚基最易氧化而作为导致自燃的原因，其实质还是煤与氧的作用问题，因此，可以作为煤氧复合作学说的补充。

由于煤并非一个均质体，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现象。历史上各国学者在考察煤的自燃问题时，提出众多的解释有时甚至是相互排斥的也是可以理解的。1956年苏联煤化学家斯塔特尼可夫(Стадников Г.П)撰写的一本关于煤的自燃问题的专著问世。在该书中，作者根据他在沃尔库塔煤田进行的研究指出：“引起煤层自燃的原因是由于煤质粘土页岩的存在”“煤质粘土页岩含有均匀散布的有机质残骸，并以夹层形式存在于煤层内”。他认为最易自燃的是光亮的滑移表面和含有氧化亚铁的细碎的煤质粘土页岩。但是波兰学者奥尔萍斯基看了他的研究报告后立即组织力量对上西里西亚煤田的煤作了试验考查，结论是：只有很少取自煤层和煤质粘土页岩夹层的试样用斯氏的方法得到与斯氏相同的结论。并且举出在波兰自然发火极为严重的矿井尼福卡-莫泽尤福煤层内根本没有煤质粘土页岩的夹层。而贝托姆煤矿14号采区开采煤层内含有大量煤质页岩但从未发生过煤的自燃。对于水的作用许多学者的看法也大相径庭。有的认为，水不影响煤的氧化速度，有的认为，水能延迟煤的氧化过程。但是奥尔萍斯基在实验中证明煤的湿度增加时，自燃性能也随之增强。所有这些，包括前述的黄铁矿作用，细菌作用学说等虽不能作为解释煤炭自燃的完美学说，但在某一地区，某一矿井，或对于某一类别的煤炭，它们却可能是形成自燃火灾的特殊因素。找准形成自燃的原因对我们做好内因火灾的防治是具有指导意义的。

第二节 煤的自燃发展过程

煤的自燃发展，一般要经过三个时期，如图2-1所示：准备期，又称潜伏期，自热期，最后进入燃烧期。

1. 潜伏期

具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：羟基(OH)，羧基(COOH)等，开始既检测不到煤体温度的变化，也觉察不到周围环境温度的上升。煤的氧化过程平稳而缓慢，煤的重量略有增加，着火温度降低，化学活性增强。这个阶段通常称之为

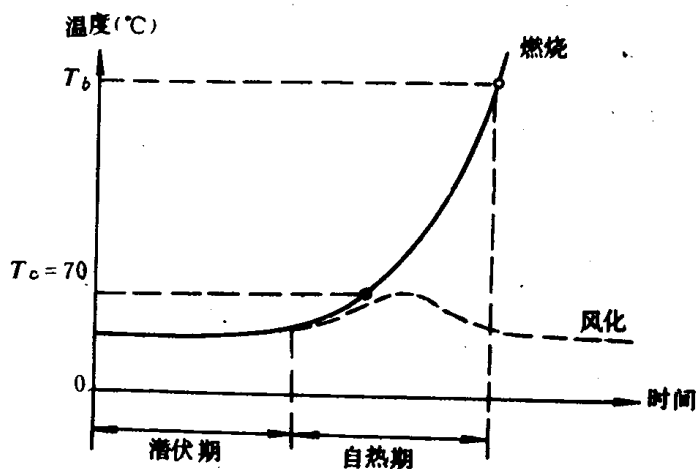


图2-1 煤的自燃过程

煤的自燃准备期。准备期的长短取决于煤的煤化程度和外部条件，如褐煤几乎没有准备期。

2. 自热期

经过准备期之后,煤的氧化速度增加,不稳定的氧化物分解成水、二氧化碳和一氧化碳。氧化产生的热量使煤温继续升高。当超过自热的临界值(60~80℃)时,煤温上升急剧加速,氧化进程加快,开始出现煤的干馏,生成芳香族的碳氢化合物(C_mH_n)、氢(H_2)及一氧化碳(CO)等可燃气体,这就是煤的自热期。

3. 燃烧期

自热期的发展有可能使煤温上升到着火温度(T_f)而导致自燃。煤的着火温度因煤种不同而异,无烟煤为400℃;烟煤为320~380℃;褐煤210~350℃。如煤温不能上升到临界温度($T_c=60\sim 80\text{℃}$)或上升到这一温度后由于外界条件的变化又降低了下来,则可能进入风化状态,如图2-1中虚线所示。自燃倾向性较弱的煤在氧化过程中常常会出现风化现象。风化了煤一般不会再发生自燃。

进入燃烧阶段就会出现一般的着火现象:明火、烟雾、一氧化碳、二氧化碳以及各种可燃气体,煤温在火源中心可高达1000~1200℃。

煤的氧化过程可以人为地加速或减弱,向煤内掺入碱类化学物质可以使之加速,掺入氯化物可以使之减弱或阻止煤的氧化进程。

第三节 煤的自燃倾向性鉴定方法与分类

1. 影响煤的自燃倾向性的因素

(1) 煤化程度

各种煤化程度的煤都有发生可燃的可能性,但是煤化程度最低的褐煤最易自然发火。在烟煤里以煤化程度最低的长焰煤和气煤最易自燃,贫煤则难以自燃;在煤化程度高的无烟煤矿井,自燃火灾较为少见。所以可以认为:煤化程度愈高的煤,自燃倾向性愈小。但在生产实践中人们发现,煤化程度相同的煤,有的具有自燃特性,有的就难以自燃。因此,煤化程度不是判定自燃倾向性大小的唯一标志。

(2) 煤的水份

煤的含湿量是影响其氧化进程的重要因素。在煤的自热期间,由于水份生成与蒸发要消耗相当的热量。煤体外在水份没有全部蒸发之前煤温也很难上升到100℃以上。这就是水份大的煤炭难以自燃的原因。但是水份能够将充填于煤体微孔中的氮(N_2)与二氧化碳(CO_2)驱赶排出,当水份蒸发干燥以后,煤的吸附性能恢复,起着活化的作用。随着煤温的增高,水份的催化作用在增大。地面煤堆在雨雪之后易发生自燃。井下灌水灭火、疏干之后自燃现象更为强烈就是这个原因。另外,含硫较高的煤层灌水易引起自燃。从这些现象看来,水份又是有利于煤炭自热的因素。可以认为:一定含量的水份有利于煤炭自燃的发生,而水份过大则会抑制煤的自燃。

(3) 煤岩成份

组成煤炭的四种煤岩成份中,暗煤硬度大,难以自燃。镜煤和亮煤脆性大,易破裂,而且在其次生的裂隙中常常充填有黄铁矿,开采中易碎裂,具有较高的自燃性。丝煤结构松散,着火温度低(190~270℃)。正是由于它的微孔松散结构,所以吸氧性能较强。人们的结论是:在常温条件下,丝煤是自热的中心,在煤的自燃中起着引火物的作用,而镜煤与亮煤灰份低,脆性大最有利于煤炭自燃的发展。

(4) 煤的含硫量

我国许多高硫矿区如贵州的六枝、四川的芙蓉和中梁山、江西萍乡、英岗岭、湖南的杨梅山、宁夏的石炭井等均属自然发火严重矿井。硫在煤中有三种存在形式：硫化铁即黄铁矿(FeS_2)、有机硫、硫酸盐。对煤的自然起主导作用的是硫化铁，它的比热小，与煤吸附相同的氧量而温度的增值比煤大三倍。黄铁矿的分解产物氧化铁(Fe_2O_3)比煤的吸氧性强，而且能将吸附的氧转让给煤粒使之发生自燃。

(5) 煤的孔隙度与脆性

孔隙度愈大的煤，愈容易氧化而自燃。脆性愈大的煤，易于受外力作用而破碎，并产生大量的粉煤。因此，变质程度相同的煤，脆性愈大，愈易自燃。这是因为破碎煤炭不仅接触氧的表面积增大，而且着火温度明显降低。据试验当煤粒直径为1.5~2 mm时，着火温度在330~360℃；粒度直径在1 mm以下时，着火温度可降低到190~220℃。

影响煤的自然倾向性的因素还有许多，如煤层的瓦斯含量，煤油共生煤层的含油量，导热性等，尚待进一步研究。

2. 煤的自然倾向性鉴定

鉴定煤的自然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。因此我国《煤矿安全规程》*第209条要求对所有煤层均应进行自然倾向性鉴定。

目前国内外测定煤的自然倾向性的方法很多，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。目前规定采用的煤炭自燃倾向性鉴定方法是着火温度降低值测定法。

(1) 着火温度降低值法

处于自燃潜伏期的煤，在常温条件下，吸氧后的着火温度有不同程度的降低。在同一条件下，自燃倾向性大的煤，易于氧化，着火温度值降低的幅度较大。自燃倾向性小的煤，着火温度值降低较小。因此可用氧化前后着火温度差 ΔT 作为表示煤的自然倾向性的指标。

这种方法需测三种煤样（原煤样、还原煤样和氧化煤样）的着火温度，即 $T_{\text{原}}$ 、 $T_{\text{还}}$ 和 $T_{\text{氧}}$ ，三种煤样（粒度在0.15mm以下）的配制方法如下：

原煤样：

煤样：亚硝酸钠(NaNO_2) = 1:0.75(重量比)

还原煤样：

煤样：亚硝酸钠：联苯胺($\text{NH}_2\text{COH}_4\text{NH}_2$) = 1:0.75:0.025(重量比)

氧化煤样：

取1 mg煤样与浓度为30%的双氧水(H_2O_2)0.5ml混合密封，放置于暗处氧化24h，然后再暴露于空气中2h，使双氧水蒸发，最后置放于温度为50℃的真空干燥箱内，经干燥后的煤样与亚硝酸钠(NaNO_2)按1:0.75(重量比)配制即得氧化煤样。

将配制好的三种煤样各取2份，每份为0.175mg，分别装入6支试管中（直径8 mm，长100mm），用如图2-2所示的测量装置进行测定。加热器直径55mm，高100mm，由铜制容器和加热炉构成。加热时通过调节变阻器使温度以5℃/min的速度上升。当试样发生爆炸反应时，记录其反应温度。计算还原煤样与氧化煤样的着火温度差值 $\Delta T = T_{\text{还}} - T_{\text{氧}}$ 。

* 《煤矿安全规程》在本书中以下简称《规程》。

作为煤炭自燃倾向性的鉴定指标，按此指标分类的情况如表2-1。

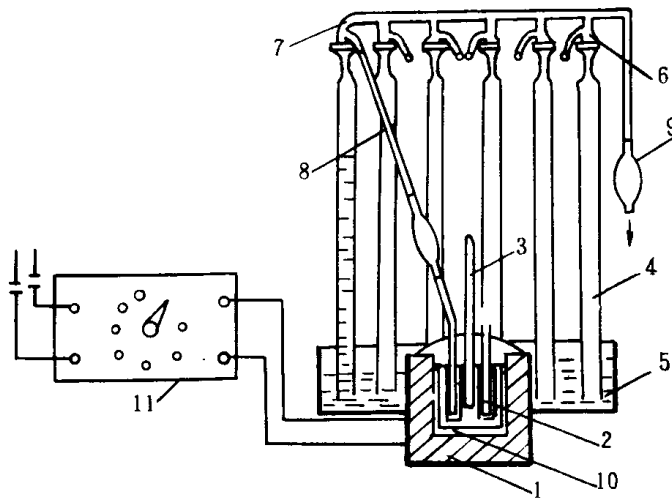


图2-2 煤炭自燃倾向性测量装置示意图

1—加热器，2—煤样管，3—温度计，4—集气管，5—水槽，6—三通阀，7—梳形管，8—联结管，9—吸气球，10—铜恒温器，11—变阻器

用上述测定数据根据下式确定煤的氧化程度(C)：

$$C = \frac{T_r - T_{0r}}{T_r - T_0} \times 100\% \quad (2-1)$$

取样地点煤炭C值越大，则表明自燃越接近发生。国内有的矿区曾根据C值预报自燃火灾的发生。并据此圈定火源点的位置。

(2) 其它自燃倾向性鉴定方法

① 吸氧量测定法：煤在一定温度时的吸氧量越大，表明越易被氧化，因此越易自燃。所以

可以用定温下吸氧量的大小来衡量煤的自燃倾向性。

表2-1

根据 ΔT 值对煤的自燃倾向性分类表*

煤样名称	煤的自燃倾向等级					煤的化学成份 (%)			
	着火温度 t °C	ΔT (°C)				V^r	C^r	O^r	W^f
		I	II	III	IV				
		容易自燃的	自然的	可能自燃的	不自燃的				
褐煤、长焰煤	<305	>20	>12	—	—	>42	<80	>12	>5
长焰煤、瓦斯煤	305~345	>40	40~25	25~12	<12	40~45	75~81	8~12	2~5
瓦斯煤、肥煤、炼焦煤	345~385	>50	50~35	35~20	<20	22~40	81~88	5~10	<8
贫煤、瘦煤	380~410		>40	40~25	<25	10~22	87~92	<6	<8
无烟煤	>400		>45	45~25	<25	<10	>89	<4	—

注：表中 V^r ——可燃基(无水无灰基)挥发份(%)。评价煤质时为排除水份、灰份变化的影响，须将分析煤样挥发份(V^f)换算为可燃物为基准的挥发份，即可燃基挥发份；

O^r ——可燃基O₂含量；

C^r ——可燃基C含量；

W^f ——分析煤样的水份。

② 氧化速度测定法(又称双氧水法)：此法以煤样经双氧水处理时的温升速度和产生的热量作为自燃倾向性指标。

③ 重量测定法：根据煤在氧化前后的重量增值来确定煤的自燃倾向性。

④ 差热分析法：根据不同倾向性的煤在相同条件下逐渐加温所吸收的热量和升温的不同，通过差热分析法测定差热曲线，以确定煤的自燃倾向性。

* 此表摘自“《煤矿安全规程》执行说明”。本书以后将“《煤矿安全规程》执行说明”简称《说明》。

第四节 煤层自燃危险程度及自然发火期

煤炭自燃倾向性是煤的一种自然属性。实验证明，它取决于煤在常温下的氧化能力，是煤层发生自燃的基本条件。然而在现实生产中，一个煤层或矿井自然发火的危险程度并不完全取决于煤的自燃倾向性，在一定程度上还受煤层的地质赋存条件、开拓、开采和通风条件的影响。

1. 煤层地质赋存条件

据统计，80%的自燃火灾是发生在厚煤层开采中。据鹤岗矿区统计，86%的自燃火灾发生在5 m以上的厚煤层中。在国外，西德鲁尔矿区80%的产量来自薄及中厚煤层（2 m以下），但2 m以上厚度的煤层自然发火次数占总数的一半。厚煤层容易自然发火的原因，一是难以全部采出，遗留大量浮煤与残柱；二是采区回采时间过长，大大超过了煤层的自然发火期；三是开采压力大，煤壁受压容易破裂。

苏联库兹涅茨矿区75%的自燃火灾发生在45~90°倾角的煤层中。徐州大黄山煤矿煤层倾角南陡北缓、南翼局部倒转，自然发火次数南翼为北翼的一倍以上，急斜煤层易于发生自燃火灾的原因，主要是由于采煤方法不正规，丢煤多，采后难以封闭。

综上所述，可以认为：所有厚煤层都应按自然发火危险煤层处理。急倾斜煤层尤应如此。

地质构造复杂的地区，包括断层，褶曲发育地带，岩浆入侵地带，自然发火频繁。这是由于煤层受张拉、挤压、裂隙大量发生，煤体破碎，吸氧条件好造成的。四川芙蓉矿统计，巷道自燃火灾52%发生在断层附近。

煤层顶板坚硬，煤柱易受压碎裂，坚硬顶板的采空区难以冒落充填密实，冒落后还会形成与相邻采区，甚至地面连通的裂隙，漏风无法杜绝，为自然发火提供了条件。山西大同矿区的自然发火就具有这方面的特征。

2. 开拓、开采条件

采煤方法对自然发火的影响主要表现在煤炭回收率的高低、回采时间的长短上。丢煤愈多，丢失的浮煤愈集中，工作面的推进速度愈慢愈易发生自燃。旧的落垛式采煤法，留煤皮伪顶，留刀柱支撑顶板的长壁式采煤法以及回采率较低的水力采煤，都容易发生自燃火灾。炮采工作面木支架推进速度慢、拖的时间长，也很难控制采空区自燃火灾的发生。

采用石门，岩巷开拓，少切割煤层少留煤柱时，自然发火的危险性降低。厚煤层开采岩巷进入采区，便于打钻注浆，有利于实现预防性或灭火灌浆。

甘肃省窑街煤矿开采特厚，易燃煤层，主采层22 m，最厚达98 m，自然发火期3~6个月，最短28天。矿区井田范围内自明朝就有古窑开采，小窑星罗棋布，老空区纵横重迭，自燃火灾频频发生，人称火多的矿井。为扭转严重的发火局面，从1962年开始将集中运输巷由煤层改到底板岩层，改革了采煤法，以倾斜分层，金属网假顶采煤法代替了高落式和煤皮假顶倾斜分层采煤法。并且采取了黄泥灌浆不留煤柱，老空复采的综合措施。发火率由原来的1.65次/万t，降至0.052次/万t。改造不合理的开拓系统与采煤方法，从而扭转了自然发火严重和生产被动局面的矿井尚有阜新局五龙矿、徐州局权台矿、枣庄局柴里矿等，它们在降低矿井自然发火率方面都取得了良好的效果。

3. 通风条件

通风因素的影响主要表现在采空区，煤柱和煤壁裂隙漏风。漏风就是向这些地点供氧，促进煤的氧化自燃。采空区面积大，漏风量相当可观，但风速有限，散热作用低。在工作面的两巷（回采工作面的运输巷和回风巷）一线（停采线），过断层地带，煤层变薄跳面的地方有大量浮煤堆积，最易发生自燃。据徐州大黄山的统计，75%的自然发火点位于工作面采空区的范围内。

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扇，但是对通风系统的改造注意不够，矿井风量增长有限，而风压急剧上升，有的高达3.9~4.9kPa。其后果是通风管理困难，漏风严重，自然发火的局势恶化。

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然倾向性，二是地质采矿技术。一个弱自燃倾向性的煤层，从试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，煤的自然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。煤的自然倾向性强弱影响着煤层自然发火的危险程度，但自然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。

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。

煤层自然发火期是自然发火危险期在时间上的量度，发火期愈短的煤层自然发火危险程度愈大。从理论上讲，煤层自然发火期是指在开采过程中暴露的煤炭与空气接触开始算起到自燃发生的时间。

对于煤层自然发火期的确定方法如下：

1. 凡出现下列情况之一者，定为自然发火煤层，

- ① 煤炭自燃引起明火；
- ② 煤炭自燃产生的烟雾；
- ③ 煤炭自燃产生的煤油味；
- ④ 采空区或巷道中测取的CO浓度超过矿井实际统计的自然发火临界指标。

2. 巷道中煤层自然发火期以自然发火地点从暴露煤之日起至发生自然发火时为止的时间计算，一般以年为单位。

3. 回采工作面中煤层自然发火期，应以工作面开切眼之日起至发生自然发火时为止的时间计算，一般以月为单位。

4. 每一煤层的所有回采工作面和巷道，都应进行自然发火期的统计，确定煤层最短发火期。

统计确定煤层最短自然发火期，对矿井开拓开采布署及生产管理都有重要意义。自然发火期短的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，