



煤矿均压防火



宋永津 编著

煤炭工业出版社



煤矿均压防灭火

宋永津 编著

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书以现场应用为宗旨,理论联系实际,阐述了煤矿井下自燃火灾的发生机理,通风与自燃火灾的关系,明火燃烧热效应对通风风流的影响和危害及灭火救灾中应注意的事项;对应用 SF₆ 示踪气体查找大面积自然发火封闭区漏风通道技术,均压通风防灭火系统的建立方法、应用条件,应用计算机控制技术进行自动监测与自动调节,通风科学管理等内容也做了详细地介绍。

本书可供煤矿现场通风、安全、救护工程技术人员和管理工作者使用参考。对高校、科研和设计单位的通风工作者也有较高的参考价值。

本书献给在矿井火灾
抢险救灾中献出生命的同事们！

前 言

矿井火灾是煤矿安全生产五大自然灾害之一，一旦发生，不仅能使矿井遭受巨大损失，而且也会导致井下职工的重大伤亡。

根据有关部门 1953~1984 年 32 年的不完全统计，我国统配煤矿和重点煤矿火灾事故中，内因火灾占事故总数的 94%，外因火灾仅占 6%。

煤矿自燃火灾严重程度，因井下位置不同而表现不同。根据统计资料，按采空区、巷道及其它地点分类，采空区自然发火次数占火灾总数的 60%，巷道煤柱自然发火占 29%，其它地点自然发火占 11%。在采空区自燃火灾中，随煤层开采厚度的不同，自然发火频率也不一样；有关部门 1985 年对自燃火灾严重的窑街、辽源、阜新、大同等 26 个矿务局调查统计表明，中厚以下煤层的采空区内自燃火灾次数占采空区发火总数的 16%，而厚煤层和特厚煤层的采空区内自燃火灾次数占采空区发火总数的 84%。在自燃火灾严重矿井，由于火区的长期存在，封闭范围不断扩大，灌浆灭火注销火区时间长、费用高，多煤层开采矿井火区下压不能开采形成的呆滞煤量多，给矿井安全生产带来许多问题。如采掘部署矛盾突出，生产战线长，用风地点多，通风阻力大，通风与自燃火灾之间的矛盾不仅得不到缓解，而且形成恶性循环，使矿井自燃火灾越来越严重，火灾恶性事故不断，常造成矿井停产和工作人员伤亡。可见，防止自燃火灾，特别是采空区内自燃火灾的发生，是避免煤矿火灾、保证安全生产的重点工作之一。

煤矿内因火灾的发生多是由于通风管理不善造成的。当采空区遗煤形成低温氧化、存在氧化自热蓄热条件和明火燃烧时对通风系统缺乏有效控制，是造成重大恶性火灾事故的主要原因。实践证明，煤矿井下火灾对工作人员的威胁，并不完全来自于火灾

本身，而在于煤的氧化自热分解出的大量的一氧化碳及其它碳氢气体和发展到明火燃烧阶段的燃烧热效应对通风风流的影响，及随之引起的一系列伴生现象，如瓦斯爆炸、烟流倒退、风流逆转等，这些常造成抢险救灾人员的伤亡。自燃火灾发生、发展是风与火矛盾的转化，明火燃烧是风流流动状态对火的影响。无数次沉痛的教训教育了人们，认识风火关系，研究风火关系，处理好风火关系，是预防自燃火灾发生、减小火灾对通风系统的影响、利用通风防灭火和抢险救灾期间确保矿井和人身安全的关键。

从事煤矿安全工作的专家、学者、工程技术人员和广大工人，在吸取前人经验教训的基础上，从与火灾斗争需要出发，进行了这方面的经验总结、理论研究和科学实验，促进了通风防灭火理论与实用技术的发展。大同矿务局从矿井实际情况出发，通过对火区压能分布的反复、深入、细致的调查研究，总结建局 30 多年的通风防灭火经验、教训和高压能火区下安全采煤的实践，提出“降压减风、管风防火、堵风防漏、以风治火、惰化火区、治灌并举”的二十四字均压防灭火技术，在生产实践中已见成效。从 1983 年至 1999 年的 16 年中，累计开采了火区下的 213 个工作面，回收呆滞煤量 3691 万 t。提高了同自燃火灾斗争的技术水平，发展了高压能火区下安全采煤技术，保护了煤炭资源，也保证了煤矿井下作业人员免受自燃火灾的威胁。

本书从实用出发，是在总结均压防灭火、高压能火区下安全采煤、均压灭火自动监测与调节等科研项目 and 参阅国内外矿井火灾防治的大量实验、实践和研究成果的基础上而编写成的。旨在系统研究自燃火灾成因、发展过程，明火燃烧热效应对通风风流影响和引发的一系列伴生现象带来的危害，提出通风与防灭火的关系和不同类型火区的封闭与均压灭火方法等。本书侧重于实用和可操作性，特别是将通风管理、灭火救灾经常接触而又容易忽视的密闭工程做为一个章进行论述，目的在于从采空区封闭、管理的源头开始，强化通风管理工作，防患于未然。

笔者虽然一直从事现场技术管理和科学实验工作，曾多次直

接指挥和参与井下火灾抢险救灾，处理过许多大面积自燃火灾的灭火工作，并担任复杂火区均压灭火工程和高压能火区下安全采煤科研项目负责人，积累了一些经验和教训，但由于水平所限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

为了抢险救灾，我的一些同事为此献出了宝贵的生命，有的同事因火灾气体中毒造成终身残疾，他们的献身精神，为后来的灭火工作和抢险救灾积累了宝贵的经验和教训，也为防灭火科学研究提供了线索，谨以此书的出版表达对他们的深深的怀念和崇高的敬意。

编 著 者

2000 年 4 月于大同矿务局

目 录

第一章 矿井火灾概论	1
第一节 矿井火灾种类.....	1
第二节 煤的自燃机理.....	3
第三节 矿井火灾明火燃烧分类	16
第四节 富燃料类火灾的伴生现象与危险性	23
第五节 明火燃烧热效应对风流流动状态的影响	40
第二章 通风管理与自燃火灾	49
第一节 通风系统	49
第二节 通风系统平面图、立体示意图、 网络图、压能图	54
第三节 通风管理	66
第三章 密闭工程	77
第一节 密闭种类与要求	77
第二节 通风密闭与防灭火密闭	79
第三节 临时密闭	85
第四节 密闭墙的计算	94
第五节 调压气室.....	105
第六节 调节风窗与风门.....	109
第四章 均压防灭火原理	124
第一节 概 论.....	124
第二节 均压防灭火的基本概念.....	126

第三节	漏风通道的查找·····	129
第四节	三维采空区内空气渗流数学模型的建立及 数值解算方法·····	140
第五章	均压防灭火系统的建立·····	149
第一节	矿井主要通风机总风压与调节风窗 均压系统·····	149
第二节	调压风机均压系统·····	156
第三节	调节风窗与调压风机均压系统·····	165
第四节	调压气室与连通管均压系统·····	176
第五节	调压气室与调压风机均压系统·····	191
第六节	调压气囊均压系统·····	199
第七节	高压能火区与其下方采煤工作面的均压·····	210
第八节	卸压式均压防灭火系统·····	246
第九节	采煤工作面采空区自燃火源的调压处理·····	260
第六章	矿井均压防灭火系统自动监测与调节·····	270
第一节	KJ7 型矿井监控系统·····	272
第二节	KJ2021 型火区下采煤工作面一氧化碳 自动监测报警装置·····	284
第三节	KJ2020 型调压气室压能控制及火区 环境自动监测系统·····	288
第四节	调节风窗自动监测与调节系统·····	296
第五节	调压风机自动监测与调节系统·····	308
第六节	KG8004 型风门自动闭锁监测装置·····	319
第七节	通风压能自动监测系统·····	328
	参考文献·····	338

第一章 矿井火灾概论

第一节 矿井火灾种类

任何一种火灾的发生、发展都必须具备存在可燃物质、有点燃可燃物的火源和不断供给充分的氧气 3 个条件。煤矿是生产固态燃料的企业，煤矿井下到处都是可燃物，一旦有点燃的火源便会很快燃烧起来。根据点燃的火源不同，可将煤矿井下火灾分为外因火灾和内因火灾两大类。

外因火灾是指非煤炭自然发火而引发的所有火灾，如井下使用电、气焊时的残火引发的火灾，机械摩擦引燃油脂火灾，输送机胶带摩擦引燃胶带和煤炭火灾，五小电器使用管理不当、线路短路引燃可燃物火灾，爆破孔堵塞不严爆破引燃可燃物火灾，工作人员违章井下吸烟引发的火灾以及瓦斯煤尘爆炸事故引发的煤炭着火等都属于外因火灾。

外因火灾不像煤炭自燃火灾那样隐蔽缓慢，也不需要经过几个不同的发展阶段才能出现明火。一旦有引燃火源，瞬时便可燃起熊熊大火，形成富氧燃烧。因其来得突然，使人措手不及。在灭火救灾过程中，往往需要控制风流，有时由于措施不利，通风管理不当，富氧燃烧类火灾便会转为富燃料燃烧火灾，引发更大的灾变事故，给矿井资源、机械设备和矿工生命安全造成更大损失。所以，它比煤炭自燃火灾有更大的危险性和危害性。

内因火灾是指煤炭氧化自燃而引发的矿井火灾。煤炭本身就具有自燃倾向性，常温下就可以氧化，氧化速度随温度增加而增加，当温度增加至煤的燃点具备燃烧条件时，便有可能发生明火燃烧形成内因火灾。

煤的自燃倾向性是自燃发火的内因，但要使煤炭真正自燃起来，还必须要有相应的外部条件。形成自燃火灾的外部条件主要是：

(1) 采空区遗留有大量的、松散堆积的浮煤。如，生产过程遗弃的浮煤，仓房、房柱、刀柱等采煤方法留置在采空区的煤柱被压碎形成堆积的浮煤和留煤假顶，放顶煤丢弃在采空区的浮煤等。

(2) 有向采空区连续不断地供风条件。如，不合理的通风方法，埋深浅的煤层开采形成地面塌陷裂缝的漏风，近距离煤层群开采层间塌陷漏风，以及密闭漏风等。

(3) 有形成煤炭自热、蓄热的自然条件。

(4) 有形成煤炭自热、蓄热的氧化时间。

煤的自燃倾向性是自燃火灾的内因，促成自燃火灾形成的外部条件是外因，内因和外因相互依存，内因靠外因起作用。因此，预防和消除矿井内因火灾的发生、发展，要从内、外因同时入手，这样才能收到事半功倍的效果。

自燃火灾多发生在井下浮煤堆积区、工作面停采线、输送机头尾、溜煤井、放顶煤采空区、留煤假顶采空区、断层破碎带、褶皱带以及柱式采煤方法留置在采空区的煤柱压碎带等地点。

自燃火灾发生与季节变化有密切关系。统计分析，一般在春夏季较多。春夏季大气温度回升，天气变暖，入井空气温度升高，风流漏入发火地点，既供氧又供热，且春夏季也是煤矿井下煤岩热交换活跃时期，在井巷调热圈范围，春夏季是吸热期，这样就为煤的燃烧提供了外热源，加快了煤的氧化、自热、蓄热进程。

煤的自燃火灾按其性质又分为初生火灾和再生火灾。

初生火灾是指发火地点以前未曾发生过的自燃火灾。再生火灾是指发火地点曾经发生过自燃火灾，经过灭火工作已经熄灭而又重新复燃的火灾。初生火灾灭火工作不彻底往往会转化为再生火灾，而且一旦发火条件具备便死灰复燃，所以初生火灾的灭火工作必须彻底。

煤的自燃火灾与外因火灾相比，自燃火灾的发生比较缓慢，需

要经过低温氧化、氧化自热和着火阶段，并且在发生、发展过程中伴有大量有害气体产生，火灾初期一般能够予以发现。

自燃火灾发火地点比较隐蔽，发生火灾的地点都是人们难以到达的地点，而且寻找火源和实施直接灭火也比较困难。所以，自燃火灾往往比外因火灾更难以扑灭，灭火延续时间较长，少则几年，多则十几年才有可能灭掉。

由于自燃火灾的发生、发展过程比较缓慢，往往不能引起人们重视。煤炭在氧化自热、蓄热过程中伴生的有害气体不泄出采空区，人们往往不容易发现，所以，自燃火灾都是在人们没有发现之前、没有采取任何控制措施的情况下蔓延发展、最终突然转化到明火燃烧阶段的。自燃火灾一旦发现明火，便形成富燃料燃烧火灾，往往会带来一系列伴生现象，给矿井安全生产和灭火救灾工作造成意想不到的后果。

第二节 煤的自燃机理

1. 煤的自燃发火过程

煤的自燃火灾研究源于 17 世纪英国人对煤自燃导因的探索，先后提出了黄铁矿导因说、细菌导因说、酚基导因说及煤氧复合作用导因说等理论。经过两个多世纪科学家们的研究，认为煤氧复合作用是煤自燃的基本原因。

煤的自燃发火过程可分为低温氧化、氧化自热蓄热和明火燃烧三个阶段。

第一阶段是煤的低温氧化阶段，亦称煤的自燃潜伏阶段。煤在低温下存在一种类似物理吸附作用的吸附氧气现象，这种使大气中氧气部分消耗的现象通常称为吸附作用。在封闭的采空区中氧气大部分是被煤的吸附作用所消耗。由于煤对氧气的吸附非常迅速，煤在常温下就可以被氧化，并在被氧化过程中放热加速氧化。其特点是：氧化发生发展过程隐蔽，氧化程度往往高达 70%~80%。氧化程度越高，化学活性越强，越易自燃。

第二阶段是煤的氧化自热阶段。煤在氧化过程中放热，如果自热、蓄热条件具备，氧化生成的热量大于向周围散放的热量，就会使煤体温度升高，这种现象称煤的氧化自热。随着温度的升高，氧化加剧，形成的不稳定氧化物经过热分解变为水、一氧化碳、二氧化碳及其它碳氢气体和固态的煤氧复合物。产生煤氧复合物要消耗大量的氧气，因其是固态的覆盖在煤的表面，对煤的氧化过程有一定阻滞作用。当煤氧复合物对煤氧化反应的阻滞作用大于煤的氧化反应所增加的温度对反应的促进作用时，煤就不可能自燃。若温度增高，煤的氧化速度加快，煤进一步被氧化，煤氧复合物便开始被破坏，温度会增加至煤的燃点。这个阶段的明显征兆是空气湿度增加；在通风不良的巷道与场所，由于温差的影响会出现雾气，附近巷道帮壁上、支架上出现水珠。当附近巷道雾气、水珠消失后，说明煤的干馏现象开始。

波兰等欧洲国家多采用矿井空气中 O_2 、 CO_2 、 CO 的含量分析并通过一组公式计算求出相应的指标来判别是否发生了自燃火灾。其计算公式如下：

$$R_{Q1} = 100 \frac{+CO_2}{-O_2} \quad (1-1)$$

$$R_{Q2} = 100 \frac{+CO}{-O_2} \quad (1-2)$$

式中 R_{Q1} ——第一火灾系数，%；

R_{Q2} ——第二火灾系数，%；

$+CO_2$ ——二氧化碳增量；

$+CO$ ——一氧化碳增量；

$-O_2$ ——氧的减量。

在正常情况下， R_{Q1} 值一般都在 30%~40%之间。当 R_{Q1} 值上升到 60%或更高一些， R_{Q2} 值超过 0.5%时，说明已有自燃发火的征兆了。

第三阶段是着火阶段。随着煤的氧化自热过程的发展，蓄热增加，水蒸气消散，煤进入干馏过程，氧含量进一步降低，一氧

化碳和二氧化碳含量逐渐增加，同时散发出大量可燃性气体(CH_4 、 C_xH_y)。因为这个阶段，煤还没有进入燃烧状态，二氧化碳含量增加还不明显，火源附近的空气温度和煤岩体温度明显升高，同时散发出一种煤焦油的特殊气味。当温度增加至煤的燃点，便出现明火燃烧现象，会出现烟雾。

在实际工作中有经验的煤矿安全工作者，可以根据煤的自燃发火不同阶段的特征判别自燃发展阶段和寻找发火地点。

2. 影响煤自燃的因素

煤由常温到发生自燃需要同时具备三个条件，即煤本身具有自燃倾向性，有连续不断的供氧条件和热量易于积聚的客观环境。煤的自燃倾向性是煤自燃发火的内部条件，连续不断的供氧和热量易于积聚的客观环境是煤自燃的外部条件。

各种煤都有其自燃倾向性，有的虽然没有发火，只是外部条件还没有达到促使其发展成灾而已。因此，煤矿井下任何采煤地点都有可能发生内因火灾。

煤的碳化程度，硫、磷含量，内在水分，煤质结构（层、节理发育程度、酥松程度），着火温度等均属于煤自燃倾向性的内因。前苏联将煤的着火温度、吸附氧的能力、氧化时有害气体产出量、可风化性和易碎性做为衡量煤自燃倾向性的主要指标。

在生产实践中，即使在同一矿井、开采同一煤层，在煤本身自燃倾向性基本相同的条件下，由于开采地点采用的采煤方法和通风状况不同，自然发火的危险性也不一样。如果采用的采煤方法丢煤量少，对已采过的旧巷或采空区能及时而又严密加以密闭，自然发火的危险性就小；而如果再能实行合理可靠的通风，保持风流稳定，把漏向采空区的风量减少到最低限度，煤自然发火的危险性还可进一步降低。这也说明，煤自然发火除了与自燃倾向性有关外，还同外部条件有关。我们研究煤矿内因火灾，除了要研究煤的自燃倾向性之外，还必须研究促使煤自燃的外部条件，这样才能针对性的实施防灭火工作。

影响煤自燃发火的因素，可以归纳为以下几点：

(1) 煤的变质程度。

自然界中植物遗体在温度、压力的综合作用下，历经漫长的地质过程，首先生成褐煤，进而向烟煤、无烟煤过渡递变，这一过程称煤的变质作用或称煤的炭化作用。煤的变质序列是：褐煤变质为低变质烟煤（长焰煤、气煤）；再进一步变成中变质烟煤（肥煤、焦煤）、高变质烟煤（瘦煤、贫煤），甚至变质为无烟煤、石墨。煤的变质炭化程度决定了煤挥发分的多少。试验表明：挥发分越高则越容易自然发火。腐泥煤的挥发分达 60%~70%，有时高达 90%；腐植煤的挥发分随变质程度而变化，如褐煤为 45%~55%，烟煤为 10%~50%，无烟煤为 10% 以下。实践表明，在相同采煤方法和通风制度下，挥发分不同的煤自然发火几率有较大差别。表 1—1 为抚顺矿区 1961~1964 年间不同挥发分煤的自然发火次数实际统计资料。

表 1—1 抚顺矿区 1961~1964 年不同挥发分煤的自然发火次数

挥发分 V_{daf} (%)	<30	30~35	36~40	41~45	46~50	51~55	不明	合计
发火次数	6	27	43	51	15	0	16	158
比例 (%)	3.8	17.1	27.2	32.3	9.5	0	10.1	100

从表中可以看出煤的挥发分与自然发火倾向的关系。说明煤的自然倾向是随着煤的变质作用和炭化程度增高而降低，炭化程度越高，自然倾向越小。褐煤因其炭化程度低，自然倾向性比烟煤大得多。在烟煤中以变质程度最低的长焰煤自然倾向性最大。无烟煤的自然倾向性最小。

(2) 煤的风化作用。

煤的风化作用主要包括物理风化和化学风化 2 种。物理风化是指温度变化和水的机械作用对煤质的破坏作用；化学风化是指空气及水中的氧对煤质的氧化作用，或称煤质的缓慢氧化过程。

煤遭到风化以后，其结构发生变化，煤质变得酥松，颜色变浅，光泽暗淡，硬度和机械强度降低。风化作用引起的煤化学性质变化，恰恰与煤的变质作用所引起的变化趋势相反，煤中的水分、灰分、挥发分和氧含量都在逐渐增加，烟煤中再度产生“次生腐植酸”，煤的碳含量、氢含量、发热量、粘结性及焦油出率等都随之逐渐减少。所以，随着煤的风化作用加深，将逐渐丧失炼焦、干馏等性能。从理论上讲，已风化的煤就失去了自燃倾向性。埋藏浅的煤层，由于距地表较近容易遭受严重风化，其自燃倾向性就小；相反，埋藏较深的煤层，煤的风化程度较低或根本没有风化，自燃倾向性则大。

（3）煤的孔隙度和粉碎程度。

煤的孔隙度和粉碎程度对自然发火倾向性有直接影响。煤的孔隙度越大，煤质也就越酥松、易碎，粉碎的粒度愈小，其表面积愈大，煤的氧化表面积也愈大，使氧化速度加快。所以，煤的孔隙度和粉碎程度越大就越易自燃。实践证明，采空区和平巷带式输送机尾部自然发火的几率约占60%以上，特别是平巷带式输送机转载点处，不仅有带式输送机清扫装置清除的煤粉，而且又有输送机头尾洒漏的润滑油脂混合在内，进一步加快了煤的氧化速度。在生产过程中及时清除这些地点的煤粉对预防煤的自然发火十分重要。

（4）地质因素。

地质因素有：煤的节理、裂隙，断层，褶曲破碎带，岩浆侵入带以及煤层厚度与倾角等。

地质构造破坏地区煤变得松软易碎，形成有大量裂缝，加之断层带处的水力联系，使煤体变得潮湿，从而加大了煤的氧化能力。岩浆侵入地带，煤被局部干馏，提高了煤的自燃倾向性。

厚煤层、特厚煤层与倾角大的煤层，自然发火危险性大。因为开采厚煤层、特厚煤层和倾角大的煤层，丢煤较多，特别是采用不合理的采煤方法之后，更容易形成大量丢煤；尤其是受采动应力影响，留置在采空区的煤柱受到严重破坏，形成有大量的碎

煤和裂缝，加之，厚煤层、特厚煤层和大倾角煤层的采空区封闭又十分困难，这些都是增加煤炭自燃危险性的因素。统计资料表明，厚煤层和特厚煤层采空区内自然火灾次数占采空区发火总数的84%。

(5) 煤的含水率。

煤中的水分能使煤体松散，形成细微裂隙，加速氧化。所以，被水浸过、潮湿的煤更易自燃。实验室试验证明，煤的含水率在1%~4%之间时，有助于煤自燃，超过4%以上又将抑制煤的氧化作用，不利于煤的自燃。在生产过程中对煤体实施注水，使煤体含水量保持在4%以上，可有效抑制煤的氧化、防止自然发火。

(6) 煤的组分。

煤的组成十分复杂，主要由有机物质和无机矿物质组成，此外还有含量不同的水分。

煤中的有机物质是由原始植物物质演变而来，主要由碳、氢、氧三种元素组成，此外还有少量的氮、硫和微量的磷、砷、氯等元素。由于碳、氢、氧、氮、硫等主要元素在煤中的比例不同，导致煤的组成结构不同。

煤中的无机组分主要有水分和矿物质2种。

煤中可燃烧物质主要是挥发分、固定碳和部分硫，也是煤燃烧过程中发热量的主要来源。挥发分的多少取决于成煤原始物质及其转变环境和变质程度的深浅。挥发分含量越高，其自燃倾向性越强。煤中固定碳含量愈高，灰分含量则较低，则容易自然发火；反之，固定碳含量较低的煤，其内在灰分含量则较高，在某种程度上会抑制煤的自燃。煤中的硫有有机硫、硫化铁硫和硫酸盐硫，这3种硫的总和称全硫，有机硫和硫化铁硫可燃烧挥发，这2种硫含量越高煤就越容易自燃。

(7) 煤岩组分。

煤是一种可供燃烧的有机岩，它和岩石组分一样，也是由各种成分组成。煤岩组成基本是丝煤、镜煤、暗煤和亮煤4种。

丝煤具有纤维状结构和丝绢光泽，色暗黑、脆度大、易碎，在