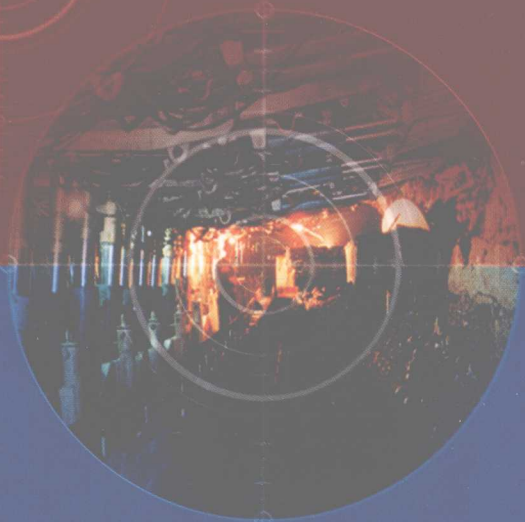


综放采场自然发火防治技术及实践

张榜雄 魏锦平 编著



煤炭工业出版社

综放采场自然发火 防治技术及实践

张榜雄 魏锦平 编著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

综放采场自然发火防治技术及实践/张榜雄, 魏锦平
编著. —北京: 煤炭工业出版社, 2008. 9

ISBN 978-7-5020-3181-7

I. 综… II. ①张…②魏… III. 厚煤层-内因火灾-
防治 IV. TD75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 143558 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

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 850mm × 1168mm¹/₃₂ 印张 6³/₈

字数 176 千字 印数 1—1,500

2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

社内编号 5982 定价 20.00 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

内 容 提 要

本书详细介绍了厚煤层自然发火标志性气体及其临界值判别体系和自燃隐患预测预报技术，在此基础上深入探讨了易自燃厚煤层综放开采工作面和回采巷道防灭火技术，并对煤炭自燃防治技术评价体系进行了介绍。

本书可供煤炭企业工程技术人员、企业管理人员、高校师生参考使用。

前 言

我国有56%的矿井在开采有自燃倾向的煤层，有自然发火史的矿井占矿井总数的78.5%以上，其中煤自燃导致井下火灾的次数占火灾总次数的91.81%，外在热源导致的外因火灾仅占8.19%。

义马矿区厚煤层储量丰富，主采煤层为长焰煤，易自然发火，自然发火期一般为30d，最短的只有20d。长期以来，浮煤重复揭露、氧化，采空区有漏风通道，自然发火频繁，威胁着临近煤层和工作面的正常安全生产，严重影响了煤矿的安全和经济效益。义马矿区研究了易自燃厚煤层火灾的分布规律，因地制宜地探索敏感易测的煤炭自然发火标志性气体，并定量研究各标志性气体对不同自燃阶段的指示临界值，建立和完善了火灾预测预报的基础，掌握了厚煤层自然发火的规律，探索了行之有效的测试技术，在此基础上进行了易自燃厚煤层综放开采工作面和回采巷道防火技术研究，并探讨了防灭火技术的评价方法，取得了良好的工程效果和经济效益。

义煤集团生产部张榜雄部长负责了全书内容结构的安排，并执笔第二章、第三章、第六章。河南理工大学副教授魏锦平执笔其余各章并完成主审。

义马矿区综放采场自然发火防治技术及其实践是义煤集团和高等院校、科研院所共同科研攻关的成果，其工程实践得到了义煤集团耿村矿、千秋矿和常村矿等单位的大力支持，在此对相关单位和工作人员表示衷心的感谢！感谢河南省高等学校青年骨干教师资助计划等项目（编号072102240029、2007440004和

648190) 的部分支持。

由于作者水平有限, 不当和错误在所难免, 敬请专家和读者指正。

作 者

2008 年 9 月

目 录

0	绪论	1
1	易自燃厚煤层发火标志性气体及其临界值判别体系	4
1.1	煤自然发火位置分布特点	4
1.2	煤炭自燃	7
1.3	煤样自燃特性参数的实验研究	15
1.4	煤样自燃性程序升温实验	26
1.5	煤层自燃预报指标气体及其临界值	36
1.6	易自燃煤层自然发火标志性气体及其 临界判别体系	48
2	煤的自燃隐患预测预报技术及其实践	53
2.1	煤炭自燃指标气体的检测技术	54
2.2	自燃隐患预测预报技术	56
3	煤炭自燃火灾防治基本技术	90
3.1	开采技术措施	90
3.2	预防性灌浆	91
3.3	阻化剂防火	95
3.4	氮气防灭火	97
3.5	粉末灭火	98
3.6	采空区洒水（或注水）防火	99
3.7	巷道局部预防自燃	99
3.8	均压防灭火	100
4	易自燃煤层放顶煤工作面防灭火技术	103
4.1	放顶煤工作面自燃“三带”特征研究	104

4.2	放顶煤工作面均压防灭火技术	116
4.3	防止煤炭自燃的新型阻化剂研究及其应用	127
4.4	工作面采空区预注浆防火技术	149
4.5	孤岛综放面综合防灭火技术	151
4.6	放顶煤工作面其他防灭火技术	159
4.7	结论	163
5	易自燃煤层综放开采回采巷道防灭火技术	166
5.1	概述	166
5.2	黄泥注浆堵漏防火技术	169
5.3	压注胶体泥浆防灭火技术	169
5.4	化学凝胶防火技术	171
5.5	喷射混凝土防火技术	173
6	煤炭自燃防治技术的评价体系	177
6.1	评价的指标体系	177
6.2	层次分析法	179
6.3	评价模型的选择	183
6.4	防治技术的综合评价	186
	参考文献	192

0 绪 论

矿井火灾是煤矿安全生产的五大自然灾害之一。根据有关部门对全国统配煤矿和重点煤矿火灾事故的不完全统计,分析表明内因火灾超过火灾事故总数的 90%,外因火灾仅占不到 10%。煤矿火灾因井下位置不同而表现出不同的发火频率,通常采空区自燃火灾占火灾总数的 60%,巷道煤柱自然发火占 29%,其他地点自然发火占 11%。随煤层厚度的增加,自然发火频率增加,中厚煤层以下自燃火灾发生次数仅占 16%。义煤集团开采的陕渭煤田,厚煤层储量丰富,采用厚煤层综合机械化放顶煤开采技术,但主采煤层为长焰煤,易自然发火,自然发火期一般为 30d,最短只有 20d。长期以来,浮煤重复揭露、氧化,采空区漏风通道多,自然发火频繁,威胁着临近煤层和工作面的正常安全生产。随着开采深度和开采强度的不断加大,通风系统日趋复杂,受采空区和周边原有小煤窑的影响,矿井漏风量大,存在严重的采空区煤炭自燃隐患。

由于火灾隐患的存在,产生诸多问题,如防灭火时间长、费用高,呆滞煤量大,采掘失调,生产战线长,通风阻力大,严重的导致矿井停产、采区封闭。因此,在易自然发火厚煤层综放工作面,煤炭自燃的预测预报就显得尤为重要。其中,研究易自燃厚煤层火灾分布规律,因地制宜地探索敏感易测的煤炭自然发火标志性气体,并定量了解各标志性气体对不同自燃阶段的指示临界值,是建立和完善火灾预测预报以及做好防灭火工作的基础。可以说,义马矿区在发挥厚煤层资源优势和综放开采技术优势的过程中,针对综放开采工作面的防灭火进行了积极的探索,取得了系统的理论成果和明显的经济效益。

1. 主要内容

本书内容包括 3 个方面：

- (1) 易自燃厚煤层发火标志性气体及其临界值判别体系研究。
- (2) 易自燃厚煤层综放开采防火技术研究。
- (3) 防灭火技术综合评价体系。

2. 主要研究方法及其工程实践

(1) 易自燃厚煤层发火标志性气体及其临界值判别体系。通过大型自然发火实验台，模拟井下煤炭自然发火的条件和过程，利用气相色谱技术测定自燃各阶段产生的气体及其浓度变化规律，从中选取适合义马矿区的煤炭自燃标志性气体及其临界值，从而判别井下现场的自然隐患状态，并提出相适应的防治技术措施。

(2) 易自燃厚煤层综放开采防火技术。在矿井通风阻力与通风压能测定的基础上，于 1301 工作面进行均压防火试验研究。通过综放工作面采空区气流状况的计算机数值模拟与现场观测相结合的方法，定量地确定工作面采空区自燃“三带”的分布范围；运用理论分析和实验室试验方法，研究防止煤炭自燃的新型阻化药剂，并进行现场工业性试验。

(3) 易自燃厚煤层综放开采回采巷道支护技术。应用实验室试验和现场试验方法，进行黄泥堵漏、压注胶体泥浆以及化学凝胶防火技术试验，对综放面进、回风平巷实施静压浅孔注浆防火试验，同时，在回风平巷外段采用喷射混凝土防火技术。

(4) 在考虑各种影响因素的基础上，基于层次分析法，用多目标、多层次的模糊综合评判方法对防灭火措施进行综合评价，指导工程实践。

在掌握了自然发火标志性气体及其临界判别体系的基础上，

通过在易自然发火厚煤层综放工作面的自燃预测预报，并采取积极的对应技术措施，有效地保证了义马矿区易自然发火煤层综放工作面的安全高效生产。

1 易自燃厚煤层发火标志性气体及其 临界值判别体系

防灭火技术应该针对不同的矿井和地质条件,从适用性、特殊性、可操作性和经济可行性等诸方面不断提高和完善,特别是对于易燃煤层自然发火期、预测预报技术中标志性气体及其临界值的确定,是防灭火技术的基础工作。本章在分析煤炭自燃机理和义马矿区自然发火区分布规律的基础上,根据浮煤粒度及其分布特征,以耿村煤矿煤样为样本,设计了不同粒度煤样的自然发火实验和自燃性程序升温实验,以实验所获取的实验最短自然发火期、煤自燃临界温度、煤在不同温度下的放热强度、氧消耗速度和各种气态产物的产生速度等为基础,研究煤的氧化性、放热性、煤自燃的影响因素及煤自燃过程中一些参量的动态变化规律,研究义马矿区易自燃厚煤层的自然发火期规律,为自然发火监测的地域布置和时间的选择提供了理论依据。通过实验模拟煤样的漏供风及热量积存条件,测试煤炭自燃各阶段相关气体的产生及其浓度的变化规律,从而研究煤炭自然发火标志性气体及其临界指标,依此判别易自然发火煤的自燃隐患状态,以利于采取相应技术措施。

1.1 煤自然发火位置分布特点

1.1.1 煤体发生自燃的条件

- (1) 具有低温氧化性,即有自燃倾向的煤以破碎状态存在。
- (2) 有适量的通风供氧。通风是维持较高氧浓度的必要条件,是保证氧化反应自动加速的前提实验表明,氧浓度 $> 15\%$

时, 煤炭氧化方可较快进行。

(3) 空气流动速度适中, 使破裂煤体有积聚氧化热的环境。

(4) 在上述 3 个条件同时具备的状态下, 持续的时间大于煤的自然发火期。

上述 4 个条件中, 第 1 条是最根本的, 是内因, 即煤的内部特性。它取决于成煤物质和成煤条件, 表示煤与氧相互作用的能力, 是影响自燃倾向性的自然发火期长短的重要因素。当对比不同煤田、不同煤层的自然发火倾向时, 煤的物理化学性质不容忽视; 当研究同一煤层的不同开采方法对自然发火的影响时, 则要着重分析形成煤炭自燃的外界条件。

氧是使煤自燃的重要因素。当空气中氧含量低于 10% 时, 则具有窒息性; 当空气中氧含量低于 15% 时, 可以预防自然发火。基于这种原因, 采空区内并不是每个地方都会形成自然发火。

空气流动速度的大小是氧化热量能否积聚的重要条件。在采空区内如果渗流速度太大, 热量则不能积聚, 不易形成煤炭自燃; 如果渗流速度过低, 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。大量事实证明, 在采空区内, 风速由高变低或由低变高的区域, 往往是容易发生煤炭自燃的区域。显然, 在渗流速度变化的区域内, 往往存在风速适中的区域, 这个区域又称“易燃风速区”。

时间也是形成煤炭自燃的重要条件。在自然发火严重的矿井, 常常以自然发火期作为划分采区的依据, 并用其来区别煤炭自燃的难易程度或自燃。所谓最短自然发火期, 是指回采工作面开切眼形成之日起至发生自然发火之日的时问, 发火期一般以月为计算单位。

据调查, 煤炭自然发火期最短的只有十几天, 最长者可达数年。即使同一煤层实际自然发火期也有很大区别。如柴里煤矿开采第 3 煤层时, 因自燃先后共造成 13 个火区, 其中发火期为 20

个月以下的火灾发生1次, 20~30个月的1次, 30~40个月的1次, 40~50个月的0次, 50~60个月的4次, 60个月以上的为6次。

大量事实说明, 只要同时具备上述4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作出定量分析就存在一定的难度。

1.1.2 煤自然发火位置分布规律

煤炭自燃经常发生的地点为: ①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终采线处); ②巷道两侧和遗留在采空区内受压的煤柱; ③巷道内堆积的浮煤或煤巷的冒顶、垮帮处。

通过对义马矿区自然发火最严重的常村、千秋、耿村、杨村和跃进5个矿进行统计, 得出在1996—2004年, 因煤层自燃造成生产中断至少3班以上的火灾共发生178次, 其中采煤工作面支架顶部及架后采空区浮煤自燃火灾为38次, 煤层巷道顶板高冒区内的自燃火灾为33次, 采煤工作面的进风隅角附近的自燃火灾为24次。根据统计分析结果, 义马矿区容易引起自然发火的主要区域可分为6类:

(1) 采煤工作面的进风隅角、开切眼、终采线附近和采空区内。由于供氧连续、充分、持久、松散破碎煤最多, 所以发生自燃火灾的次数最多。采煤工作面上下隅角在回采时, 上巷上帮和下巷下帮垮落不实, 容易形成三角漏风通道, 上下隅角容易堆积浮煤而且处于漏风源点和汇点, 特别是在综放工作面, 两端头放煤不彻底; 工作面终采线是风压差最大的漏风通道; 开切眼积存浮煤以及采空区丢煤都是容易发火的地点。在义马矿区, 以上位置的自然发火次数占其总数的47%。

(2) 煤层巷道冒高处。因砌碛后充填不严, 或施工质量差造成向拱顶呈“封闭和半封闭型”漏风, 供氧条件好, 散热性

能差,热量聚集后容易发生自燃。统计结果表明,巷道顶部冒顶发火为 33 次,占自燃火灾总数的 19%。

(3) 巷道变坡、相邻巷道交叉以及煤层变化处,巷道掘进期间容易发生冒顶的地方,或者顶梁上浮煤堆积处。风流经过变坡点时形成漏风供氧,使顶梁上方的松散煤体升温,热量聚集而导致发火;由于工程设计问题,交叉巷道布置在同一煤层,由于交叉间距小,相邻巷道间产生漏风,引起煤炭自燃 18 次,占自燃火灾统计总量的 10%。

(4) 通风设施附近的巷道周边煤体。建于煤巷中的通风设施(主要是风门和密闭墙),其上下侧的风压差随局部风阻的增大而增加。在矿山压力的缓慢作用下,其周边煤体的裂隙逐渐发育扩展,达到一定程度后,氧化蓄热条件适宜,容易造成自然发火。在巷道自然发火中,巷道通风设施附近发火的数量为 16 次,超过地质构造带附近的自然发火,占统计总量的 9%。

(5) 地质构造带。包括断层、褶曲、破碎带和岩浆入侵地区等。由于煤层受张拉、挤压,裂隙大量产生,煤体松碎,吸氧条件好,氧化性高,易于自然发火。经统计为 13 次,占总量的 7%。

(6) 独头巷道、溜煤眼和联络巷等处。由于密闭效果差,冒顶浮煤不处理,溜煤眼或联络巷的使用周期长,受采动压力影响大,或者日常防火管理不到位,也是自然发火灾害易发点,经统计为 14 次,占 8%。

1.2 煤炭自燃

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来说并不亚于瓦斯、煤尘爆炸事故。煤炭自然发火与外因火灾相比,具有发生、发展缓慢的特点,并有规律的演变过程,可在它形成的初期发现。但是,由于其大多数发生在人们难以到达的采空区、破裂的煤柱之内,所以有时即使发现了自

然发火征兆,也不容易找到真正的火源点,加之在自然发火初期,矿内空气温度、气体成分和湿度的变化都比较小,就更难发现,一旦发现其外部征兆,煤炭自燃已发展到后期。所以,自燃火灾对煤矿安全生产和矿工生命的危害性更大。

1.2.1 煤炭自燃机理

煤为什么能自燃,这是当今世界各主要产煤国共同关心的问题。自17世纪以来,就有人试图解答这一问题,不少学者对此做了不懈的努力和探索,并提出了许多假说,主要有黄铁矿作用说、细菌作用说、酚基作用说、煤氧复合作用学说等。

随着科学技术的进步和生产的发展,人们发现虽然在高变质富含黄铁矿的煤层中会发生自燃,但完全不含黄铁矿的煤也发生自燃;煤即使在真空中让细菌充分死亡的条件下,其自然发火危险性也未降低,这说明用黄铁矿作用假说和细菌作用假说解释煤的自然发火现象是不完备的。酚基作用假说认为:煤中不饱和化合物与空气中氧的作用,是引起煤炭自燃的主要原因。有人认为酚基作用假说实际上是煤氧复合作用,或者是煤氧作用假说的补充。目前,煤氧复合作用假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,即先是氢气氧化生成羟基(OH),其次是碳素氧化生成羧基(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。当原子侵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。在这后一过程中,随同生成大量热(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,当温度到达煤的着火温度(或称燃点)时,便由自热作用进入自燃。

前苏联维谢洛夫斯基等人利用测定煤炭吸氧速度常数的方法,通过大量实验,揭示煤炭氧化规律,认为煤的自然发火过程

是发生在多相系统内的一种不绝热、自动加速的和不可逆的过程。低温氧化同时发生自热现象，当产生的热量大于散失的热量时，才能实现由低温氧化向自然发火过渡，该研究认为：

(1) 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。

(2) 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，热源产生的热量也随之成正比增加，并且比空气带出的热量大，加速了自燃进程。

(3) 温度的影响很大，也比较复杂。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，使升温较快而发火，也可能因为散失的热量大于产生的热量而停止升温。

维谢洛夫斯基的研究，不仅考虑了煤的自然发火内在因素——煤的自燃性，也注意到影响自然发火的外界条件中诸因素的相互关系，与我国各生产矿井实践总结出来的结论是趋于一致的。

1.2.2 煤的自然发展过程

按照现在被大多数学者所公认的煤氧复合作用说，煤的自然发展过程一般分为 3 个阶段，即潜伏阶段，自热阶段和自燃阶段。图 1-1 所示为是烟煤的自然发火过程。

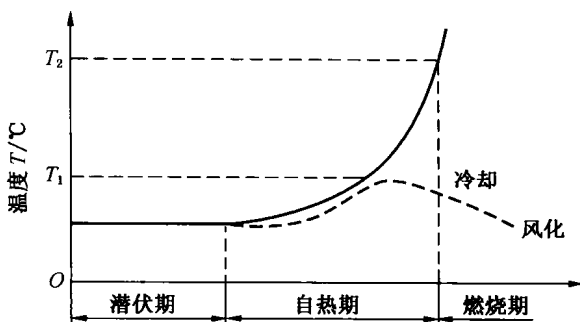


图 1-1 烟煤的自然发火过程