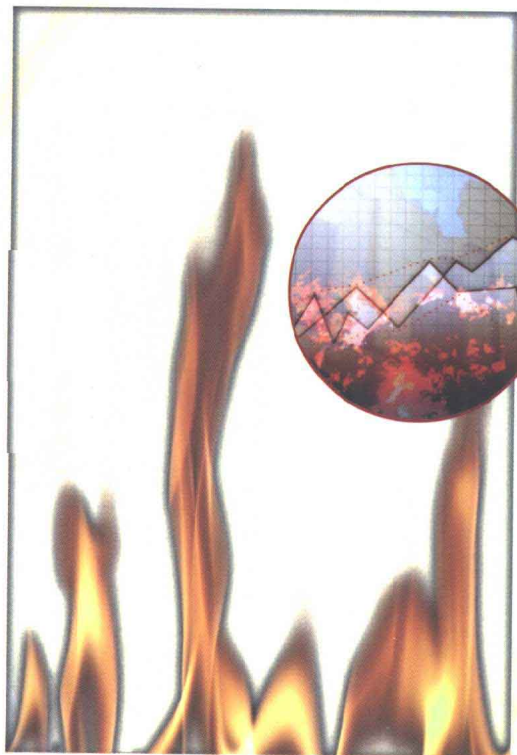


MEITAN ZIRAN ZAOQI YUCE YUBAO YU HUOYUAN TANCE JISHU

■ 兖矿集团有限公司 编著



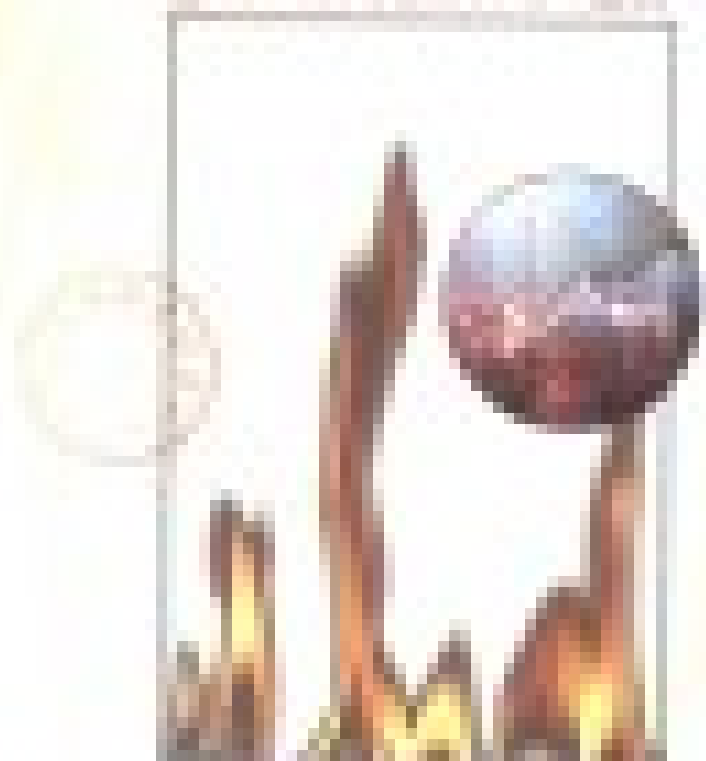
煤炭自燃早期预测预报 与火源探测技术

MEITAN ZIRAN ZAOQI YUCE YUBAO YU HUOYUAN TANCE JISHU

■ 煤炭工业出版社

12
39

■ 煤矿安全生产知识 64-68



煤炭自燃早期预测预报 与火源探测技术

CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM TECHNOLOGY PRESS



中国石化出版社

TD 752.2

C20020039

煤炭自燃早期预测预报 与火源探测技术

兖矿集团有限公司 编著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

煤炭自燃早期预测预报与火源探测技术/兖矿集团有限公司编著 北京:煤炭工业出版社, 2001.11
ISBN 7-5020-2092-6

I. 煤… II. 兖… III. 煤田—内因火灾—预测
IV. TD75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 078626 号

煤炭自燃早期预测预报与火源探测技术

兖矿集团有限公司 编著
责任编辑: 辛广龙 李振祥

*

煤炭工业出版社 出版发行
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
北京密云春雷印刷厂 印刷

*

开本 $850 \times 1168 \text{mm}^{1/32}$ 印张 $6\frac{1}{4}$
字数 159 千字 印数 1—5,200
2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷
社内编号 4863 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

编委会名单

主 任	赵经彻					
副 主 任	莫立琦	杨德玉	徐建华	金 太	黄福昌	
主 编	崔洪义					
副 主 编	程卫民	王振平	王洪权			
编写人员	(以姓氏笔画为序)					
	王洪权	王振平	文 虎	邓 军	包宗宏	
	冯森林	邬剑明	刘文成	张广文	徐精彩	
	崔洪义	程卫民	鲍庆国			

前 言

众所周知，煤层自燃火灾是矿井的重大灾害之一，若不能及早地发现、及时地采取有效措施进行处理与控制，其后果是非常严重的，不仅会造成重大人员伤亡和巨大的财产损失，而且会严重制约矿井的发展。但随着科学技术的进步，相关行业的发展，已为矿井防灭火工作提供了必要的技术、工艺与设备，早期控制煤层自燃已成为可能。

国内外大量的研究与实践表明，煤层自燃的预测预报与火源探测技术是矿井自燃火灾预防与处理的基础，是矿井防灭火的关键，占有极其重要的地位。井下自燃火灾预报得愈早，则扑灭火灾所需的人力、物力愈少，且愈容易。兖州矿区吸取国内外的先进经验，进行了广泛探索，在实践的基础上加深了对自燃火灾预报的认识。煤的低温氧化与热解实验主要是研究煤的自燃特性、热解产物与最短发火期等，是预报成功的理论基础；煤的自燃预报是根据其自燃过程中本身或周围介质的物理与化学变化量来实现的，故煤自燃指标气体与火源周围介质的温度测定是预报的两个主要手段。由于煤自燃火源点的隐蔽性，研究自燃火源的准确位置探测技术更具有现实意义，它可使自燃防治或火灾处理工作更有针对性，使处理效果事半功倍。因此，煤层自燃的预测预报与火源探测技术是预防与控制煤炭自燃的根本保障。

为全面总结兖州矿区在煤层自燃的预测预报与火源探测技术方面的最新研究成果与进展，为从事该项研究的同志提供一本理论系统明确、操作性和实用性强、系统反映近年来在此领域研究的现状和成就的工作参考用书，兖州矿业集团公司组织有关人员共同编撰了本书。本书共分6章，详细介绍了兖州矿区煤层自燃的预测预报与火源探测技术的成功经验与展望。我们希望本书的

出版能在推动我国煤层自燃的预测预报与火源探测技术的发展、增强对煤层自燃火灾的控制能力、保障矿井安全生产方面，做出一点贡献。

在本书的编写过程中，得到了兖州矿业集团公司领导和各地专家的大力支持与帮助。值此书出版之际，向上述领导和专家表示衷心的感谢！

因限于水平，书中难免有错误与不当之处，恳切希望读者批评指正。

编著者

2001 年 10 月

目 录

前言

第一章 概 述	1
第一节 煤炭自燃的防治体系	3
第二节 煤炭自燃预测预报与火源探测	7
第二章 煤的自燃特性与最短发火期预测	19
第一节 煤的自燃特性	19
第二节 松散煤体自然发火模拟实验	43
第三节 松散煤体自然发火期预测	53
第三章 煤炭自燃指标气体的预报技术	63
第一节 煤炭自燃指标气体的选择	63
第二节 煤炭自燃指标气体的吸附与浓缩	75
第三节 煤炭自燃指标气体的检测技术	92
第四节 煤炭自燃的示踪气体预报技术	95
第四章 近距离煤炭自燃火源的红外探测技术	103
第一节 红外探测机理与探测仪器	103
第二节 红外探测辐射场异常的影响因素	115
第三节 近距离煤炭自燃火源的红外探测技术	123
第四节 煤巷近距离火源的红外探测实践	136
第五章 煤炭自燃区域的氧气探测技术	152
第一节 同位素测氦法探测煤层自燃火源位置的机理 ...	152

第二节	氡及其子体运移规律·····	157
第三节	氡析出与温度之间的关系·····	164
第四节	同位素测氡法探测煤层自燃火源位置的 方法·····	170
第五节	氡气探测法的应用与实例·····	173
第六章	煤炭自燃温度预测预报法·····	176
第一节	便携式测温预测预报法·····	176
第二节	煤炭自燃温度监测系统预测预报法·····	183
参考文献	·····	188

第一章 概 述

煤炭自燃火灾一直是我国煤矿的重大灾害之一。据统计, 在我国的现有煤矿中, 国有重点煤矿 54.9% 的矿井有自然发火危险, 地方国有煤矿年产 3 万 t 以上的矿井中 29.1% 有自然发火危险。煤矿的自燃火灾次数占火灾总数的 90% 以上。兖州、枣庄、徐州、平庄等矿区, 自然发火更为严重。煤炭自燃火灾给国家和矿井带来了极大的危害及经济损失, 其中有些自燃火区长期无法扑灭, 大量煤炭资源被冻结, 昂贵的生产设备毁于火区之中, 严重干扰矿井的正常生产秩序, 还浪费了大量的人力、物力和财力, 甚至会造成人员伤亡。为改变这一现状, 自 20 世纪 60 年代以来, 历时“六五”、“七五”、“八五”、“九五”, 煤炭自燃的相关理论研究、实验和综合防治技术取得了显著成就, 诸如均压、注浆、阻化剂、凝胶、注氮等防灭火技术已成功地得到了应用, 自燃火灾发生率明显下降。煤炭自燃的早期预测预报和火源探测技术一直是矿井防灭火的关键技术, 也是研究的难点与重点。

煤炭自燃的早期预测预报和火源探测技术, 需要解决 3 个问题: 一是煤体自燃隐患点或火源位置; 二是煤体自燃隐患点或火源的温度; 三是自燃隐患发展到着火需要的时间。要解决这些问题, 必须从煤炭的自燃本质着手。煤炭自燃是一个极其复杂的物理、化学作用过程。其实质是: 破碎煤体表面力场 (含分子间力、正负电子诱导力、氢力等) 失去平衡, 与空气中的氧发生一系列的物理吸附、化学吸附, 以及一小部分的化学反应, 从而放出热量, 在特定的散热环境中, 当产生的热量大于散热时, 煤体就升温, 煤体温度升高, 若供氧充分, 则会加快煤体对氧的化学吸附和化学反应, 同时放出的热量增加, 放热量增加又使煤体升温速度加快, 如此反复循环, 最终导致煤体燃烧。由于煤体导热

性差，自燃火源点通常较为隐蔽。由于在自燃过程中，煤氧相互作用会放出热量与气体，并加热周围介质并向外逸出气体，因此煤炭自燃的早期预测预报和火源探测就是根据其自燃过程中本身或周围介质的物理与化学变化量来实现的。

最早应用于早期预报煤炭自燃的方法是指标气体法，也是目前广泛使用的方法。英国、日本、俄罗斯、中国等主要产煤国家在实验室中在不同温度下对不同煤种、不同煤岩成分的煤进行氧化实验，用色谱仪测定放出的气体，以寻找煤炭自燃早期预报的灵敏指标气体，目前常用的有 CO 、 C_2H_4 、 H_2 、链烷比、格氏火灾系数等。指标气体法在应用过程中受井下通风条件和检测仪器精度的制约。在现有检测仪器精度条件下，如何提高预报的准确性是至关重要的。兖州矿区与南京化工大学合作采用的吸附浓缩技术完善了指气体法。实验表明，乙烯的检出温度由未浓缩前的 110°C 降至 50°C ，达到了提前预报的目的。目前，应用示踪气体来预报煤炭自燃也处于研究之中。指标气体法和示踪气体法只能判断自燃的温度与程度，无法判断自燃的位置与范围。温度法预报煤炭自燃时使用的主要是测温传感器和红外探测，前者适用性强，直接测取介质温度，但受测温传感器布置位置、范围、数量的限制，研究与现有矿井安全监测系统联网的温度自动监测系统是推广这一方法的关键。红外探测一直是国内外探索与研究的方法，探测仪器分为红外测温仪和红外热像仪，美国、英国、俄罗斯、印度等国已应用此法探测煤层露头、煤柱、浮煤的自燃隐患点与发火点，如英国应用红外热像仪，在某矿 47 次的测定中，有 7 次找出了巷道帮的表面温度超过正常值的自燃发火点；我国在兖州矿区煤巷近距离火源探测中应用了红外探测技术，探测深度达到 10m，并成功地应用到 21 条煤巷，探测成功率为 90%，取得了明显的效果。但这一技术目前只限于煤巷、煤柱、浮煤的自燃探测，对于其他区域的探测还有待进一步的研究。

自燃火源点探测就是确定其位置与范围、温度等。目前，国内外主要有温度法、磁探法、电阻率法、气体测量法、同位素测

氦法、无线电波法、地质雷达探测法、遥感法与计算机数值模拟法。无线电波法、地质雷达探测法与遥感法目前仍在研究和实验之中。磁探法和电阻率法，早在 20 世纪 60 年代初我国西北各省就将两者结合来确定煤田自燃火区，俄罗斯、印度也用此法来确定煤田自燃火区的位置与范围，但用于生产矿井的自燃火源探测还比较困难，需进一步地研究。计算机模拟法目前主要是对采空区温度场的模拟，它是在基本假设的条件下建立采空区内煤层的导热微分方程、边界条件与初始条件，从而模拟采空区各点的温度，这种方法要想获得精确的温度分布，必须要准确确定围岩、煤的各种热物理参数及边界条件与初始条件，否则就可能会带来一定的误差。目前真正能成功用于煤炭自燃火源探测的方法有温度法、气体测量法和同位素测氦法。温度法和气体测量法既可用于自燃预报，也可用于火源探测。同位素测氦法是近几年发展起来的一种方法，是利用煤岩介质中天然放射性氦随温度升高析出率增强的特性，在地面探测氦的变化规律，并经过一系列数据分析处理，从而给出火源位置、范围及发展趋势。

第一节 煤炭自燃的防治体系

煤炭自燃的防治是一项复杂的系统工程，涉及到矿井生产的主要环节。通过大量的实践，煤炭自燃的防治体系应由 6 个方面组成，如图 1-1 所示。首先，进行煤炭自燃预测，它是预防和预报的基础。依据预测资料，建立煤炭自燃的预防技术屏障，当预防失效后，根据煤炭自燃初期的物理与化学变化产生的效应，进行煤炭自燃预报，预报准确，就能把自燃隐患进行消除；一旦失败，形成自燃火灾，就要进行火源探测，从而准确确定火源位置及其范围，有的放矢地处理自燃火灾。目前，正是受煤炭自燃预报和火源探测技术的限制，给自燃隐患点和火区的处理带来相当大的困难，使一些专项技术措施不能发挥其应有的作用，往往在人力、物力方面付出很大的代价。

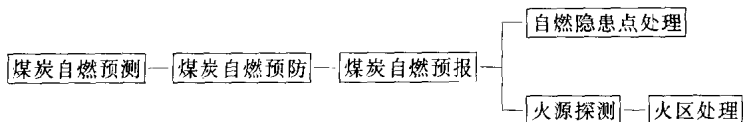


图 1-1 煤炭自燃的防治体系

煤炭自燃的预测预报是煤炭自燃的早期防治阶段，属于主动防治措施。煤炭自燃的火源探测包括两方面：一是自燃隐患点的探测；二是自然发火火源的探测。前者从原则上说仍属于预测预报技术范畴，后者则是形成自燃火源后甚至封闭后的探测技术。

一、煤炭自燃预测

对任何一个开采矿井，煤炭自燃预测都应包含其本质特性和时间与空间特性。其本质特性就是煤的自燃倾向性鉴定和煤的热解实验，以确定煤层的自然发火的危险性程度和热解产物；其时间特性就是煤的自然发火期的模拟实验和最短发火期确定；其空间特性就是煤层在开采过程中发火空间的统计及其规律。表 1-1 为兖州矿区自综放开采后的自燃隐患和自然发火统计，由表中可见，综放开采的自然发火与分层综采相比呈现出完全不同的自燃空间范围，即易发火区域由分层综采的“两道一线”转变为巷道顶煤和综放面相邻采空区松散煤体。

表 1-1 兖州矿区综放开采自燃隐患和自然发火统计

位 置	端头松散煤 体	开切眼	停采线	联络巷	溜煤眼	巷道顶煤
本面回采		3				3
邻面回采	10		1	1	1	
实体煤掘进						7
合计	10	3	1	1	1	10

二、煤炭自燃预防

煤炭自燃必须同时具备 4 个条件：

- (1) 煤有自燃倾向性并呈破碎堆积状态存在；
- (2) 适量通风供氧；
- (3) 良好的蓄热环境；
- (4) 维持煤的氧化过程不断发展的时间。

由此可见，煤炭自燃预防就是要消除煤炭自燃 4 个条件中的一个或多个条件。因此，煤炭自燃预防是一项复杂的系统工程，它不仅要求矿井有合理的开拓系统和开采方法，合理的矿井、采区和工作面通风系统，可靠的专项防治措施及其设备，还必须具有完善的管理制度。目前，煤炭自燃预防的技术及工艺设备已趋向成熟。表 1-2 为消除煤炭自燃 4 个条件采用的方法。

表 1-2 煤炭自燃预防方法

条件	降低煤自燃倾向性	消除供氧条件	破坏蓄热环境	缩短煤氧化发展时间
方法	①压注和喷洒阻化剂 ②提高回采率 ③合理布置巷道 ④惰化、隔氧	①合理的通风系统 ②正确设置通风设施 ③均压技术 ④漏风检测与堵漏技术	①增加碎煤分散度 ②灌浆技术 ③煤体注水 ④压注凝胶	①提高回采速度 ②缩短自燃危险区存在时间，如停采线的快速密闭等

三、煤炭自燃预报

煤炭自然发火的早期预报是减少煤炭自燃火灾的重要手段，它是在预防失效后，根据自燃早期的煤炭必然会产生一系列的物理和化学变化这一性质给出预警信息，以便及时处理，防止火灾的形成或扩大，将火灾消除于萌芽状态。煤的氧化特性表明：煤自燃后必释放出一定的热量，使周围的煤岩和空气温度升高；并在煤温达到一定程度时，热解释放出 CO 、 C_2H_4 、 CH_4 等碳氢化合物，且分解的气体成分及其浓度与温度之间呈现一定的对应关系。所以，根据这些特性，就可以用煤岩温度或空气中的气体成分预报煤炭自燃，前者称为温度法，后者称为指标气体法。

煤的自燃发展通常经过潜伏期、自热期和燃烧期 3 个时期。而其升温特性与此对应也呈现 3 个阶段，即缓慢升温阶段（小于 70℃）、加速升温阶段（小于 150℃）和剧烈升温阶段（大于 150℃）。兖州矿区的煤样加温实验也表明：临界温度一般在 70~75℃，此时大约离自然发火期还有 8~10d；当煤进入加速升温阶段后，煤温迅速上升，达到燃烧阶段，煤的燃烧温度普遍超过 400℃，最低也超过 320℃。因此，当采用温度法进行煤炭自燃预报时，就必须确定煤炭自燃的临界温度。临界温度的确定，一定注意到这一问题，煤炭自燃的临界温度值过高，即使预报成功，也会因自然隐患发展到着火需要的时间过短而无法采取措施，酿成自燃火灾。临界值过低，虽然提高了预报的可靠性，但预报准确性无法得到保证。大量的实验和现场实践说明，煤炭自燃预报的临界温度以不超过 100℃为宜。在本书中，自燃温度在 50~100℃的煤炭自燃我们称之为自燃隐患。达到煤炭燃点的煤炭自燃称之为自然发火，其燃烧点即为自然发火火源。煤炭自燃预报的温度法就是对自燃隐患温度、位置与范围的预报。

四、煤炭自燃火源探测

火源探测是对煤炭自然发火位置与范围的确定。由于煤炭自燃火源有较强的隐蔽性，其探测原理均是测量煤自燃过程中其本身或周围介质的物理变化或化学变化的变化量，以此作为判别指标确定自燃程度和范围。目前探测的方法有遥感、直接测温法、电法、磁法、同位素测氡法及火灾气体测量法等。探测工艺有地面和井下，并分为接触型与非接触型 2 大类。

五、自燃隐患和火灾处理方法

目前，自燃隐患和火灾处理方法主要有打钻压注凝胶、向发火位置注水和泥浆、建立注氮系统和矿井或采区的均压控制系统等措施，并制定相应的自燃隐患和火灾处理的处理规范。尽管这些技术仍在发展之中，但能满足现场煤炭自燃隐患和火灾处理的

需要。

由此可见，在煤炭自燃防治体系构成中，煤炭自燃预测是预防的前提，而煤炭自燃预报和火源探测是自燃隐患和火灾处理的先决条件。它们均是煤炭自燃防治的关键技术。

第二节 煤炭自燃预测预报与火源探测

煤炭自燃预测预报与火源探测的根本目的是在自燃预防、隐患与火灾处理过程中有的放矢地采取措施，达到事半功倍的效果。这一领域经过多年研究，特别是近几年相关技术的发展，煤炭自燃预测预报与火源探测的一些新技术与新方法得到了应用，其效果十分显著。这些技术包括煤巷近距离自燃隐患的红外探测技术、火区的同位素测氦法等。

一、煤炭自燃预测方法

1. 煤的自燃本质特性

煤的自燃本质特性包括煤的自燃倾向性鉴定和煤的热解实验。

1) 煤的自燃倾向性鉴定

《煤矿安全规程》要求对所有煤层均应进行自燃倾向性鉴定。目前，国内外测定煤的自燃倾向性的方法很多，主要有吸氧测定法、着火温度降低值测定法、氧化速度测定法、差热测定法及重量测定法等。

我国从 20 世纪 50 年代以来一直采用着火温度降低值测定法，进入 90 年代推广使用了色谱动态吸氧法。

2) 煤的热解实验

煤的热解即煤加热温度与释放气体之间的关系。通常在实验室中进行。其步骤为：

(1) 煤样的制备。采取破碎、混合、缩分制取煤样，粒径在 10mm 以下。

(2) 加热实验。实验设备有马弗炉（恒温箱）、色谱仪、空气预热管、温度传感器等。

(3) 恒定温度。用色谱仪测定气体成分和浓度。

(4) 绘制曲线。得出温度与气体成分和浓度之间的关系。

2. 煤炭自燃时间特性预测

其时间特性主要是确定煤的自然发火期或最短发火期，通常采用现场统计法或实验室自燃模拟实验法。

1) 统计法

根据矿井的开采技术、煤质、地质条件等因素，对相同类型矿井的自燃事故作详细统计分析，找出其发火的时间规律，用于指导、制订自然发火的措施。统计法是对大量资料的总结，它受到资料多少的制约，有时缺乏一定的准确性。条件具备的矿井，应采用实验室模拟实验法。

2) 实验室模拟实验法

在实验室，对煤的自然发火过程进行实验模拟。实验过程中，必须保证实验模拟条件与矿井实际条件的相似性和测试参数的准确性。

3. 煤炭自燃空间特性预测

煤炭自燃的空间特性即煤炭自燃易发生的位置和范围，用统计法和现场检测法确定。

1) 统计法

根据矿井的统计资料分析。大量的统计资料表明，易发生自燃的空间分布主要有停采线、开切眼、上下两道、沿底掘进的巷道顶部等，其中这些地点的发生概率又随开采方法的不同而有所差别。

2) 现场检测法

在煤炭自燃的早期，用温度和指标气体法来确定自燃位置和范围，这些方法在后文有详细叙述。

3) 其他方法

主要有采空区内煤层温度分布的计算机数值模拟法和煤层自