

Kuangjing Zongfanggongzuomian

Ziranfahuo de Zaoqiyukong Jishu Ji Yingyong

矿井综放工作面 自然发火的早期预控 技术及应用

李佃平 谢强珍 程卫民 主编

煤炭工业出版社

矿井综放工作面自然发火的 早期预控技术及应用

主编 李佃平 谢强珍 程卫民

煤炭工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井综放工作面自然发火的早期预控技术及应用 / 李佃平, 谢强珍, 程卫民主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2011

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3851 - 9

I. ①矿… II. ①李… ②谢… ③程… III. ①煤矿 - 综采工作面 - 自然发火 - 预防 ②煤矿 - 综采工作面 - 自然发火 - 控制 IV. ①D75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 074253 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
北京房山宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 880mm × 1230mm¹/₃₂ 印张 8
字数 207 千字 印数 1—1 000
2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷
社内编号 6661 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

名 单

主 编	李佃平	谢强珍	程卫民		
副 主 编	陈建峰	张玉贞	郭 杰	王 刚	文 虎
编写人员	(按姓氏笔画)				
	丁 斌	于岩斌	于晓波	马成溪	马俊鹏
	元玉栋	文 虎	王军峰	王 刚	王其成
	王建周	王建春	王 峰	王海洋	王 鹏
	王 磊	卢钦华	刘光旭	刘同信	刘克华
	刘应平	刘星乐	刘洪儒	刘相雨	吕迎春
	孙亚军	孙路路	邢士军	邢树柱	张云宁
	张兰宣	张玉贞	张伟合	张传武	张 刚
	张孝强	张清涛	张照允	张 睿	李凤河
	李纪栋	李佃平	李志伟	李志勇	李继才
	李 雷	辛红星	陈连军	陈建峰	陈 翔
	周 刚	孟祥军	武 剑	罗广利	苗德俊
	范立宇	郎雪峰	郑云山	宫志杰	胡兰田
	赵延兵	聂 文	郭 杰	郭绪斌	常万众
	程卫民	谢 军	谢强珍	韩纪志	韩新祥
	潘 刚				

前言

目前,我国 60% 的国有煤矿在开采具有自燃倾向性的煤层,而煤炭自燃是我国煤矿开采过程中的主要自然灾害之一。矿井自然发火又占统配和重点煤矿总发火次数的 94%,其中采空区自燃则占内因火灾的 60%。

高效集约化生产是世界煤炭工业发展的方向,也是煤炭生产可持续发展的必由之路。我国综放开采从 1984 年开始试验,由于其自身的技术、经济效益优势,经过 20 余年的试验与推广,得到了迅速的发展。进入 20 世纪 90 年代后,我国的综放工作面技术经济指标已处于世界先进水平。为进一步适应市场经济的需要,实现合理集中生产,建设高产高效的现代化矿井,工作面正朝着越来越长的方向发展。

近几十年来煤层自燃火灾的防治技术取得了较快的发展,形成了较为全面的自燃火灾防治体系,但是随着近年来开采强度的增大,高产高效新技术的不断发展,矿井的不断延深和通风系统的相对复杂化等带来的问题,使得煤层自燃危险性有明显增大的趋势。环境的复杂性,危险区域的隐蔽性使现有的煤炭自燃防治技术仍难以满足综放开采矿井生产的需要。

兴隆庄煤矿所在的兖州矿区是自然发火较为严重的矿区之一,2002—2009 年,兖州矿区的多个矿井均出现过煤炭自燃隐患。不仅严重威胁着井下作业人员的安全,而且给矿井的正常生产带来不利影响,使得防灭火工作耗费大量的人力、财力和物力,直接影响了矿井生产的经济效益。

综采放顶煤技术在兖矿集团得到了创造性的发展,由于科技含量高、高产高效、开采成本低等特点,该生产技术已经成为厚煤层开采的先进技术。为进一步适应市场经济的需要,实现合理

集中生产，建设高产高效的现代化矿井，达到和超过世界主要产煤国家的先进水平，兴隆庄煤矿布置和设计了6 Mt、300 m综放工作面，这是目前国内最长、产量最高、配备机电设备功率最大的综放工作面，它对提高煤矿的经济效益，增强市场竞争力具有十分重要的意义。

但综放工作面的开采给煤层自燃火灾防治带来了一系列新的问题，现有的各类防灭火方法如黄泥灌浆、注阻化剂等常规灭火措施难以满足防灭火的要求。为抑制、减少煤层自燃火灾事故的发生，世界各科研机构和生产部门对煤自燃火灾防治技术进行了大量的理论探讨、实验研究和现场应用，试图完善煤炭自燃火灾防治技术。为保证工作面的稳产高产，必须研究一套可靠的防治煤炭自然发火技术。

依据兴隆庄煤矿综放开采的实际，针对综放工作面的开采给煤层自燃火灾防治带来的新问题，总结该矿自综放开采以来的防灭火技术，形成的矿井综放工作面自然发火的早期预控技术，已从根本上防止了重大自燃火灾的发生，对于保证矿井安全开采，提高矿井防灭火技术水平具有极为重要的指导意义和应用价值。

在编写过程中，借鉴了以往同类专著、文献的优点，注重本书的适应性、实用性、先进性和系统性。该书在内容上既有理论分析，又包含有实际应用；既介绍了典型和常规的防灭火技术，又介绍了新的科研成果；在重视理论的同时亦强化实践应用，增强其实用性和灵活性。在编写过程中广泛收集和参阅了国内外有关资料和文献，在此特向参阅资料和文献的作者致以谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

2011年4月

目 次

1	概述	1
1.1	国内外研究现状	1
1.2	兴隆庄煤矿概况	12
2	煤炭自然发火机理的研究	19
2.1	煤自燃氧化的本质特性分析	19
2.2	综放工作面煤层自燃特点及其规律	30
3	煤自然发火特性、红外光谱分析及综放工作面 煤炭自燃预控体系的建立	38
3.1	煤自然发火的时间特性分析	38
3.2	煤自然发火的空間特性分析	54
3.3	煤的红外光谱分析	83
3.4	综放工作面早期煤炭自燃预控体系	86
4	煤炭自燃早期预控技术集成	88
4.1	现有预控方法的优缺点	88
4.2	综放工作面预控原理及技术集成	88
4.3	综放工作面煤炭自燃的预控方法	93
4.4	煤炭自燃的预测预报	130
4.5	巷道掘进期间的防灭火技术方案	146
4.6	综放工作面生产期间的防火技术措施	149
4.7	组织管理	155
5	煤炭自燃早期预控集成技术在兴隆庄煤矿的 应用	156
5.1	4326 综放工作面应用与分析	157
5.2	4328 综放工作面应用与分析	180

5.3	4324 综放工作面应用与分析	206
5.4	1307 综放工作面应用与分析	227
参考文献		244

1 概 述

1.1 国内外研究现状

高效集约化生产是世界煤炭工业发展的方向,也是煤炭生产可持续发展的必由之路。综合机械化采煤是煤矿开采技术现代化的重要标志。长壁采煤技术已成为美国等世界主要采煤国家地下矿开采最重要的采煤方法之一,安全生产条件好、产量和效率高。我国综放开采从1984年开始试验,经过近20年的试验与推广,由于其自身的技术、经济效益优势,得到迅速发展。进入20世纪90年代后,我国的综放工作面技术经济指标已处于世界先进水平。为进一步适应市场经济的需要,实现合理集中生产,建设高产高效的现代化矿井,工作面正朝着越来越长的方向发展。

综采放顶煤技术在兖矿集团得到了创造性的发展,由于该技术具有科技含量高、高产高效、开采成本低等特点,其已成为厚煤层开采的先进技术。为进一步适应市场经济的需要,实现合理集中生产,建设高产高效的现代化矿井,达到并超过世界主要产煤国家的先进水平,兴隆庄煤矿布置和设计了6 Mt、300 m综放工作面,这是目前国内最长、产量最高、配备机电设备功率最大的综放工作面,它对提高煤矿的经济效益,增强市场的竞争能力具有十分重要的意义。

但综放工作面的开采给煤层自燃火灾防治带来了一系列新的问题,主要体现在:①采空区尤其是工作面“两道两线”丢煤多,工作面巷道采用锚网支护,顶煤难以垮落,向采空区漏风严重,采空区浮煤自燃危险性增强;②采空区“三带”分布规律发生变化,自燃危险区域范围加宽;③采空区防灭火区域增大,

一旦浮煤有自然发火的迹象,自然火源将迅速发展,危及整个矿井的生产,相对于其他综放工作面灭火难度更大,现有防灭火技术难以快速有效地扑灭采空区火源;④采空区顶板垮落高度和空间体积增大,火源位置的不确定性、隐蔽性给防灭火造成极大的困难,现有的各类防灭火方法,如黄泥灌浆、注阻化剂等常规灭火措施难以满足防灭火的要求。因此,为保证工作面的稳产高产,必须研究一套可靠的防治煤炭自然发火技术。

矿井火灾是直接威胁矿井安全生产的主要灾害之一。我国煤矿自然发火非常严重,有 56% 的煤矿存在自然发火问题。而我国统配和重点煤矿中具有自然发火危险的矿井约占 47%,矿井自然发火又占总发火次数的 94%,其中采空区自燃则占内因火灾的 60%。1984 年前的 32 年,我国煤矿矿井共发火 10296 次,1985—1990 年间百万吨发火率为 0.76。我国在 20 世纪 80 年代仅统配煤矿就发生 10 多起重大带式输送机火灾,造成 200 多人死亡和上亿元的经济损失。进入 90 年代后,矿井生产逐步向高产高效集约化发展,其火灾发生的严重性和危害性也随之升级。1990 年小恒山矿因带式输送机火灾死亡 80 人,伤 23 人,直接经济损失 567 万元。1995 年 12 月,大屯煤电公司姚桥矿 -400 m 水平东翼带式输送机大巷发生特大带式输送机火灾事故,烧毁输送带 8500 m,造成 27 人死亡,事故波及 -400 m 大巷及两个采区,并引燃煤仓及巷道顶部煤体多处,直接经济损失达到 130 余万元。在矿井救灾过程中,因密闭不及时、密闭范围过大,控制火势时间较长和快速密闭无法实现延时自动密闭,引起二次事故发生的事例也不胜枚举。造成这些事故及损失的主要原因是我国煤矿整体防灭火技术水平和装备能力与生产发展不相适应。

煤层自燃火灾的防治技术在近几十年来取得了较快的发展,形成了较为全面的自燃火灾防治体系,但是随着近年来开采强度的增大,高产高效新技术的不断发展,矿井的不断延深开拓,通风系统相对复杂化,煤层自燃危险性有明显增大的趋势。环境的复杂性、危险区域的隐蔽性使现有的煤自燃防治技术仍难以满足

集约化矿井生产的需要。为抑制、减少煤层自燃火灾事故的发生,世界各科研机构 and 生产部门对煤自燃火灾防治技术进行了大量的理论探讨、试验研究和现场应用,试图完善煤炭自燃火灾防治技术。国内外对煤层自燃火灾防治技术的研究集中体现在煤层自燃早期预测预报和自燃火灾的治理技术。预测技术目前主要包括煤层自燃危险性预测、统计经验预测法、煤层自然发火期预测、煤层自燃危险区域确定、数学模型模拟计算预测法等。预报方法主要分为指标气体分析法、测温法等。目前常用的防火技术主要有惰化、堵漏、降温及它们几类的综合。

1.1.1 煤层自燃预测技术研究现状

煤层自燃预测是指在煤层开采前或煤层开采过程中,仍处于低温氧化阶段,仅根据煤层实际开采条件,超前判断煤层自燃的危险程度、自然发火期及自燃危险区域。

1.1.1.1 煤层自燃危险性预测

煤层自燃危险性预测技术主要包括煤自燃倾向性实验测试法及综合评判统计预测法两种方法,从不同角度对煤自燃危险性进行预测。

1. 自燃倾向性实验测试法

自燃倾向性实验测试法主要是根据煤自燃倾向性不同,划分煤层自然发火等级,以此区分煤层的自燃危险程度,从而采取相应的防火措施。

20 世纪 80 年代前,国外对煤自燃倾向性的测试方法主要以煤的氧化性为基础,大体可以分为两类。一类是化学试剂法,这类方法主要以双氧水、亚硝酸钠、联苯胺等化学试剂取代氧,人为加速煤的氧化过程,考察煤在试剂作用下的氧化速度和着火点,其中被公认的测试方法有奥尔宾斯基法(波兰)、奥尔莲斯卡娅—维谢洛夫斯基着火点温度降低值法(前苏联)、马切雅什法(即双氧水法)等。另一类是吸氧法,这类方法主要有静态吸氧法和动态吸氧法。静态吸氧法是把一定量的煤样置于一个恒温的密闭容器后,在该容器内充满氧气,隔一定时间考察氧的减

少量的测试方法；动态吸氧法是让氧以一定的速度流过煤样，考察煤样吸氧量的测试方法。

20 世纪 80 年代后，美国利用绝热炉测定煤炭最小自热温度，评估煤炭自燃倾向性；加拿大采用静态恒温法（static isothermal）、可燃性法（ignitability）、绝热法（adiabatic）和动态法（dynamic）研究煤的自燃倾向性；土耳其采用非恒温动态法（non-isothermal dynamic method）测试煤的自燃临界温度和 CO 产生率，预测煤的自燃倾向性；南非采用由计算机自动控制的绝热量热法（adiabatic calorimeter）预测煤的自燃倾向性。

我国从 20 世纪 50 年代初期即开展对煤自燃倾向性鉴定方法的研究，先后研究了克氏法、着火点温度降低值法、双氧水法及静态容量吸氧法，但由于各种方法所存在的缺点和客观原因，我国一直沿用着火点温度降低值法（即固态氧化剂法），利用氧化样与还原样的着火点温度差及原煤样的着火点温度两个指标来划分煤的自燃倾向性。但着火点温度降低值法存在一些缺点：①使用的联苯胺和汞等化学试剂对人体有危害；②因部分煤样不爆燃而无法分类；③仪器装置和测量系统落后。为此，在 20 世纪 60 年代初曾进行过静态吸氧法和双氧水法的研究，意在克服着火点温度降低值法存在的缺陷，建立更完善的、新的自燃倾向性鉴定方法，但是研究工作结束后没能得到推广和应用。

进入 20 世纪 90 年代，我国推广使用色谱动态吸氧法。该方法把色谱仪中分离气体的色谱柱换成装煤样的试管，测定煤样对氧气的物理吸附量，并以某一温度（30℃）下每克干燥的吸氧量来划分煤的自燃倾向性。该方法测定系统先进，操作简单，吸氧量可由色谱处理机自动计算，缩短了测试周期，提高了工作效率，但在伴有煤氧化学吸附和反应时，氧吸附量难以计算，且煤的吸附性能亦受煤岩组分、孔隙结构、粒度组成及水分含量等因素的制约。

以上煤自燃倾向性实验测试方法仅考察了煤与氧的作用速度和作用量，而没有考察其作用的效果，即热效应，也没有考察它

们随煤温度变化的动态趋势,因而无法真实全面地反映出煤的内在于自燃性,与煤实际开采条件下自燃的实质相差甚远。如化学试剂法要先对煤样进行化学预处理,然后混以固态氧化剂并加热,使其在人为强制限定条件下相互反应,这与现场实际,暴露于空气中的煤在低温下($20 \sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下)与空气中的氧缓慢地自由地氧化放热,热量逐渐积聚引起煤体升温的过程相差甚远,难于做到化学反应过程和反应条件相似,即无法真实全面地反映出实际条件下煤体的自燃倾向性。

因此,煤自燃倾向性实验测试法仅能粗略判断出煤层的自然发火危险程度,不能确定实际条件下松散煤体的自燃危险程度、可能自燃区域和自然发火期。因此,近20年来世界各主要产煤国对煤层自燃的预测,主要朝着准确预测实际条件下松散煤体自然发火期和自燃危险程度的方向努力,并先后建立了模拟煤层自燃过程的大型自然发火实验台(其中法国的实验台装煤5 t,美国的30 t,前苏联的4 t,英国的1 t,日本的0.3 t,新西兰的0.17 t,中国的0.85 t和0.4 t),根据实验台实验结果,分析预测实际开采条件下煤炭自燃危险程度。该技术较好地模拟了煤炭实际条件下的自燃过程,其测试的自燃倾向性与实际情况基本相符,但该实验模拟预测技术模拟条件单一,不能完全适应煤矿井下复杂多变的条件,实验模拟工作量大、周期长、影响干扰因素多。

2. 综合评判统计预测法

鉴于煤矿实际情况极为复杂,难于将影响煤层自燃危险程度的各种因素尽可能多地加以兼顾,且各种因素存在许多不确定性,难以用经典数学的方法定量化。因此,为预测实际开采条件下煤层的自燃危险性,我国和美国根据影响煤层自燃危险程度的内、外因素——煤的自燃倾向性、地质赋存条件、通风条件、开采技术因素和预防措施等,进行主观判断,分析评分,然后应用模糊数学理论,逐步聚类分析,根据标准模式计算聚类中心,对开采煤层自燃危险程度进行综合评判预测。前苏联和波兰等国把

实验室测定法与井下自燃条件结合起来预测井下自然发火危险程度,波兰已取得一定进展。它把复杂的外界因素归纳为地质、开采和通风条件等 7 个方面因素 S_i , 再和煤自燃倾向性指标 SZ^b (带灰分指标) 相加, 即得矿井自然发火危险程度指标: $PS = SZ^b + \sum_{i=1}^7 S_i$ 。匈牙利根据自然发火发生频率、工作面推进速度、瓦斯涌出量、工作面参数及煤的活化性能等指标的关系, 分析并确定出回归函数, 然后计算出实际条件下总的火灾频率, 来预测煤层自然发火危险程度。这些方法都是利用大量的统计资料, 分析煤自燃主要因素的影响程度, 粗略预测煤层自然发火危险程度, 而对煤层自然发火期及可能发火的区域则无法进行预测, 所以该方法只能定性不能定量。

1.1.1.2 统计经验预测法

统计经验预测法是建立在已发生自然发火事故统计资料基础上, 分析预测巷道松散煤体实际开采条件下的自燃危险性。根据巷道自燃事故的统计资料分析, 巷道自燃多发生在冒顶区、地质构造带、沿空侧、终采线附近。随着综放无煤柱技术的推广, 由于沿空巷道沿底板一次掘进, 巷道服务时间长, 相邻采空区留有大量浮煤, 且已氧化升温, 因此, 巷道沿空侧自然发火几率较大。上述结论是基于统计资料, 在分析火灾原因的基础上获得的。这种方法只能根据巷道实际情况和自然发火统计资料, 粗略判断巷道可能的发火区域和高温点位置。

1.1.1.3 煤层自然发火期预测

煤层自然发火期是衡量煤层自燃性大小最直接、最广泛的重要参数之一。宋志等人用人工神经网络来预测煤自然发火期和自燃地点, 该理论模型并未应用于现场实际。余明高、王清安、范维澄、廖光煊、黄之聪和岳超平根据煤氧化放热、升温吸热平衡关系, 在前苏联学者 И. В. 卡连金提出的计算煤层最短自然发火期 (又称最短发火期) 模型的基础上进一步修正和完善, 在绝热条件下, 建立了煤氧化反应放热、吸氧放热和煤体升温、水

分、瓦斯解析吸热平衡的最短自然发火期解算模型及相应的实验方法。该模型比自燃倾向鉴定结果更准确、直观,可以反映煤自然发火的可能性。但他们经过对近 20 个局(矿)自然发火情况及其影响因素的调查分析,发现同一个局(矿)最长与最短自然发火期相差达 1.9~10 倍。一个矿同一层煤的自然发火期变化如此大,与自然发火的影响因素及所采取的防灭火措施的有效程度有关,在总结采区地质、采掘、通风等外部影响因素的基础上,不考虑采取的防灭火措施的影响,确定了煤自然发火期修正系数,并结合实验数据对煤的实际自然发火期进行了预测,准确率达到 75%~86%,对现场安全生产具有一定指导作用。

1.1.1.4 煤层自燃危险区域判定

煤层自燃危险性的预测方法只能定性预测煤自然发火的危险程度,而无法确定可能发火的区域。齐庆杰、黄伯轩、章楚涛等通过研究采空区空气流动规律和火灾气体浓度(主要是 CO)分布规律,建立了采空区火源点位置判断数学模型并用计算机进行模拟。徐精彩、邓军等根据采空区漏风规律及蓄散热条件,提出了采空区自燃危险区域判定条件和判定方法。近几年,利用红外遥感和地质雷达探测法等对煤田和井下煤体自燃区域进行确定。另外,根据火区产生的能量或放射性气体异常情况,对煤层自燃危险区域进行判定的方法也得到了快速发展,如测氡判定法、红外探测技术等,这些可对已形成高温或大火的区域进行大范围粗略的判定,但由于受各种因素的干扰,不能对井下局部高温点进行准确判定。

1.1.1.5 数学模型模拟计算预测法

近 20 年来,美国、日本、澳大利亚和法国等国,针对采空区或地面煤堆的自燃条件,根据传热、传质学和 Arrhenius 公式建立了多种煤自然发火数学模型,数值模拟煤的自燃过程,预测采空区或煤堆的自然发火危险性。如日本利用等效暴露时间(exposure equivalent time)法估计煤的放热速率,数值模拟煤层暴露空气的温度、氧浓度变化过程,以预测煤堆的自然发火危险

程度。澳大利亚建立有源的非稳态自然发火模型研究预测煤的自燃性,其源项与温度符合阿氏方程,与氧浓度成正比。

“八五”期间,西安矿业学院在煤低温自然发火实验模拟和综放工作面采空区大量现场跟踪观测的基础上,根据对采空区“三带”划分和综放工作面采空区自燃主要影响因素等理论分析结果,建立了综放工作面自然发火动态预测模型。该预测模型技术经过大同矿务局忻州窑矿多个综放工作面的预测验证,其预测精度较高,能满足现场需要。但由于实际开采条件十分复杂,影响煤自燃的因素众多,该预测模型是针对大同矿区三硬特厚煤层综放工作面建立的模型,因此,它仅能预测大同矿区综放工作面采空区或条件高度相似矿井可能自燃的区域和实际发火期,适用范围较小。

1.1.2 煤层自燃早期预报技术研究现状

煤炭自然发火早期预报是指在煤层开采后,煤与氧接触氧化放热,进入自热阶段,热量积聚引起温度升高,致使自然发火的危险程度大大增加,在煤体自燃冒青烟或出现明火之前,根据煤氧化放热时产生的指标气体、温度等参数的变化情况,较早发现自燃征兆,预测和推断自燃发展的趋势,超前判识自燃状态,对自然发火进行早期识别并预警的技术称为预报技术。预报方法主要包括指标气体分析法、测温法及煤层近距离自燃隐患点红外探测。

1.1.2.1 指标气体分析法

指标气体分析法预报技术主要利用一氧化碳、乙烯、乙炔、链烷比等作为指标气体预报煤自燃的发展过程。由于煤炭在氧化自热阶段会分解出反映自燃征兆的气体产物,如 CO 、 CO_2 、 C_mH_n 等,当煤质一定时,其生成物的种类及温度等数量有一定的规律,因此,用仪器分析和检测煤在自燃过程中释放出的这些气体作为早期预报矿井火灾的方法在煤矿中得到广泛的应用。指标气体分析法有人工采集气样分析法和仪器巡回采集气样分析法两种。从整体上讲,指标气体分析法目前比较完善,相应的分析

技术和监测系统都已配套,可以作为早期预报巷道高温区及氧化自热程度的一种有效方法。但由于它所采用的指标气体都是煤自燃发展过程煤温升高产生的氧化产物,气体只能在煤已经自热或自燃时才能检测到,而且产物量较少,并随着风流流动,因此,该预报技术的问题是无法搞清高温区域、自燃发展速度和趋势,以及煤体可能达到的温度。近十几年来,科研人员一直试图解决预报技术中存在的问题,其相应的技术主要有:采用释放在某温度段发生分解的标志气体测定采空区煤体温度,利用六氟化硫(SF_6)示踪气体判断采空区高温点所在区域等。这些技术目前正处于研究阶段。另外,阜新矿业学院在“七五”期间根据采空区多个测点的CO浓度值,建立了研究采空区气体流动数学模型和采空区CO浓度分布数学模型,并联合求解以判断CO涌出源位置(高温点位置),进而预报采空区自燃危险区域的方法。该方法假定CO仅由高温点产生,虽然在某些条件下能达到与实际情况较接近的结果,但需要事先在采空区设置多个测点,且对实测数据的质量要求较高(CO测定仪精度达 1.0×10^{-6} ,风压精度达1 Pa),这在实际应用中还有很大困难。指标气体分析法主要分为两类:一类是利用标志性气体的浓度直接进行预报;另一类是利用某些气体组分的变化特性或某些气体组分之间变化规律进行预测,如链烷比及火灾系数等。

1.1.2.2 测温法

测温法是指利用温度传感器对被监测地点进行温度监测,确定煤与周围介质的温度变化情况,以发现煤层的自然发火危险区域的预报方法。此方法可以直观地了解煤层的温度及其发火程度,对早期预报有重要的意义。现有的预报煤自然发火的测温法分为两种:一种是直接用检测到的温度进行预报,另一种是根据温度的变化特性对煤所处的环境和条件对自然发火的可能性进行预报。温度测定法现阶段主要采用的方法有热电偶、测温电阻及集成温度传感器等。近年来普遍推广的是测试简单、操作方便的红外测温仪。俄、英、德等国已成功地利用红外线技术预测预报