

Zongfang Wumeizhu Kaicai Meiceng Ziran Fahuo

Fangzhi Jishu De Yanjiu Yu Shijian

综放无煤柱开采煤层自然发火 防治技术的研究与实践

兖矿集团有限公司

主编 王振平 王洪权

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

综放无煤柱开采煤层自然发火 防治技术的研究与实践

兖矿集团有限公司

主编 王振平 王洪权

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统地总结了兖州矿区近 20 年来综采放顶煤无煤柱开采煤层自然发火的防治经验、理论和实验研究成果,分析了综放无煤柱开采自然发火影响因素,建立了自然发火防治技术体系;研制了特大型煤自然发火实验台,通过理论分析和实验研究,测算了兖州矿区 3 层煤的自然特性参数;研究了浓缩吸附技术与束管监测技术相结合的煤自燃早期预报技术、巷道近距离隐蔽火源红外探测技术、基于测氦法的隐蔽火源探测技术、凝胶、泥浆、惰气、泡沫等防灭火材料的制备和压注技术及工艺,以及煤层火灾快速应急控制技术及配套装备;整理了兖州矿区 25 起综放无煤柱开采煤层自然发火防治案例,对发火过程、发火原因、治理方法、经验教训进行了详细的介绍和分析。

本书可供煤矿现场从事煤自然发火防治的工程技术人员,以及大专院校、科研院所相关领域的研究和教学人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

综放无煤柱开采煤层自然发火防治技术的研究与实践/

王振平,王洪权主编. —徐州:中国矿业大学出版社,

2010.2

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0602 - 2

I. 综… II. ①王…②王… III. 无煤柱开采—煤层—自燃—防治—研究 IV. TD75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第023085号

书 名 综放无煤柱开采煤层自然发火防治技术的研究与实践

主 编 王振平 王洪权

责任编辑 杨 廷

责任校对 徐 玮

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 12.75 字数 315 千字

版次印次 2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

定 价 30.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

编写委员会

主 任 黄福昌

副 主 任 崔洪义 倪兴华

委 员 王振平 王富奇 刘士义 郝迎格 孟祥军
李 峰 邓小林 刘新广 张广文 王建沪

主 编 王振平 王洪权

副 主 编 程卫民 文 虎 夏孝明 周 延 马 砺

编写人员 (以姓氏笔画为序)

于晓波	马 旭	马 砺	王永胜	王春耀
王保齐	王洪权	王振平	王绪友	文 虎
丘春亮	冯 浩	任晓东	刘守华	刘振岭
刘焕石	阮国强	孙学峰	李少龙	李学武
李继良	吴建宾	宋先明	宋兆雪	张玉贞
张祥云	张雪涛	陈建峰	周 刚	周 延
郑 光	郑方方	郝迎格	姜希印	夏孝明
徐 扬	郭 英	唐耀勇	韩向宾	程卫民
程学义	谢 军	谢华东	谢强珍	

前 言

煤层自然发火对井下的危害较大,是煤矿五大自然灾害之一。煤炭作为一种能源储备已经使用了几个世纪,并将成为未来一种重要的资源。煤层自燃不仅破坏了煤炭资源,而且导致自燃煤层周围煤炭资源的开采困难和贬值。在全球范围内,许多煤田都存在自然发火问题。世界主要采煤国家如美国、澳大利亚、俄罗斯、印度等国家,都不同程度地存在煤炭自然发火问题。例如,在澳大利亚,煤炭自燃一直是井工煤矿煤炭开采的主要危险,根据报告或记载,在过去的三十年中,新南威尔士州和昆士兰州曾发生过 250 多次自燃事故,其中有 3 次自燃事故(1972 年在 Box Flat、1975 年在 Kianga 和 1994 年在 Moura)引发了严重的煤矿爆炸,导致 42 名矿工死亡;2004 年, Southland 煤矿因采煤工作面自然发火,导致全矿井封闭,直接经济损失 2 000 多万美元。据俄罗斯国家采矿技术监察局统计,在 1995 年发生的 94 起重大事故中,机械和运输设备故障占 13 起,瓦斯和煤尘爆炸 15 起,内外因火灾 52 起,片帮和冒顶 8 起,煤和瓦斯突出 2 起,爆破 1 起,其他 3 起。在各种事故中,矿井火灾事故最多,占了 55.3%,并且由于矿井自然发火事故导致 3 人死亡。

我国煤炭资源十分丰富,其中厚煤层占 45% 左右。为发挥我国厚煤层资源优势,1982 年开始采用综采放顶煤(简称综放)开采技术,厚煤层整层开采。综放面日产可高达 0.8 万~1.2 万 t,日产值达 200 多万元。综放开采技术,一次性开采强度大,端头支架顶煤放出率低(有的不放),采空区一次性遗煤量多,工作面推进速度相对较慢,采空区浮煤自燃危险性增强;综放面平巷沿底板一次掘出,服务时间长,巷道顶煤受矿压影响易于离层、被压裂、冒落,巷道易发生自然发火;尤其对综放无煤柱开采,巷道沿相邻采空区侧有大量相邻区段遗留的松散煤体,该煤体有些受相邻区段开采影响已氧化升温,且沿空侧空隙率大,易于形成较强的漏风,巷道沿空侧更易自燃。

兖州矿区主采的 3 层煤属极易自燃煤层,最短自然发火期 18 d,煤层自燃非常严重,工作面分层开采时,共发生自燃隐患及火灾 37 次。20 世纪 90 年代初,兖州矿区开始试验并推行综采放顶煤开采技术,使得厚煤层实现一次采全高,工作面设备投资 4 000 万~5 000 万元,日产量高达 1.3 万~1.5 万 t,产值达 200 万~300 万元。为了提高回收率,兖州矿区又根据自身实际条件,创造性地发展了综放无煤柱开采技术,产生了巨大的经济和社会效益,但同时也给矿井防火工作带来了一系列的新情况,煤层火灾曾一度成为易燃煤层综放开采成败的关键问题。

面对严峻的自然发火形势,兖矿集团依靠科技进步,紧密结合本矿区煤层自然发火的特点,积极探索防止矿井煤层自然发火的新技术、新方法,对煤层自然发火的过程、预测预报技

术、预防技术以及治理技术进行了深入研究,提出了许多切实可行的防灭火技术手段,取得了大量的现场防灭火经验。通过对这些防灭火技术和经验进行总结分析,形成了一套科学合理的防灭火技术体系,对于提高矿区防灭火技术水平,增强防灭火工作的针对性,有效杜绝重大自然发火事故,保障矿区的安全生产,都将具有积极的意义。

作 者

2010 年 1 月

目 录

1 综放无煤柱开采自然发火的特点及规律	1
1.1 综放无煤柱开采自然发火影响因素	1
1.2 综放无煤柱开采自然发火特点及规律	5
1.3 综放无煤柱开采自然发火防治技术体系	6
2 煤自然发火全过程的实验模拟	7
2.1 实验装置	7
2.2 实验过程及结果分析	13
2.3 理论计算与分析	16
2.4 南屯矿煤样自燃特性参数研究	21
2.5 南屯煤样实验小结	28
2.6 兖州矿区 3 层煤的自燃特性	29
3 煤自燃程度的预报及监测技术	31
3.1 基于指标气体的煤自燃程度预报技术	31
3.2 煤自燃指标气体的吸附浓缩检测技术	34
3.3 巷道近距离隐蔽火源红外探测技术	36
3.4 测温法	39
3.5 测氦法探测火源位置	40
3.6 安全监测与束管检测技术	41
4 综放无煤柱开采煤自燃的防治技术	42
4.1 凝胶防灭火技术	42
4.2 粉煤灰灌浆注胶防灭火技术	44
4.3 液态二氧化碳惰化降温防灭火技术	52
4.4 注氮防灭火技术	55
4.5 微胶囊阻化泡沫防灭火技术	56
4.6 其他防灭火技术	57
5 煤层火灾快速应急控制技术及装备研究	63
5.1 聚氨酯快速喷涂堵漏风技术	63
5.2 井下移动式注胶系统及设备	65

5.3	火区快速控制技术及装备·····	66
5.4	惰泡压注系统及装备·····	68
5.5	煤层火灾防治应急预案实施的技术条件及基本要求·····	69
5.6	煤层火灾防治应急预案·····	70
5.7	煤层火灾应急处理的组织与管理·····	73
6	综放无煤柱开采煤层自然发火防治案例分析·····	74
6.1	兖矿集团综放无煤柱开采自燃状况·····	74
6.2	南屯煤矿 63 _上 10 平巷煤层自然发火 ·····	76
6.3	东滩煤矿 14308 西轨道平巷煤层自然发火治理·····	78
6.4	鲍店煤矿 1310 轨道平巷自然发火治理 ·····	82
6.5	兴隆庄煤矿 4306 综放面下平巷自然发火治理 ·····	85
6.6	济宁二号煤矿 23 _下 01 综放面停采线自然发火治理 ·····	87
6.7	济宁二号煤矿 33 _下 06 轨道平巷自然发火治理 ·····	88
6.8	兴隆庄煤矿 4322 面停采线自然发火治理 ·····	92
6.9	南屯煤矿 73 _上 21 综放工作面自然发火治理 ·····	97
6.10	南屯煤矿 93 _上 05 综放面自燃隐患治理 ·····	100
6.11	东滩煤矿 143 _下 09 东运输平巷掘进期间自燃隐患治理·····	102
6.12	鲍店煤矿 5307 轨道平巷及切眼自燃隐患治理 ·····	105
6.13	东滩煤矿 14309 工作面东段自燃隐患治理·····	107
6.14	南屯煤矿 93 _上 02 回撤面自燃隐患治理 ·····	112
6.15	济宁二号煤矿 43 _下 00 工作面采空区自燃隐患治理 ·····	117
6.16	杨村煤矿 306 停采线自燃隐患治理·····	119
6.17	南屯煤矿 73 _上 25 工作面自燃隐患治理 ·····	124
6.18	南屯煤矿 73 _上 23 上平巷自燃隐患治理 ·····	129
6.19	东滩煤矿 14309 西综放面轨道平巷沿空侧自燃隐患治理·····	131
6.20	东滩煤矿 143 _下 5 轨道平巷、14308 西轨道平巷密闭内自燃隐患治理 ·····	134
6.21	济宁三号煤矿 63 _下 03 停采线自燃隐患治理 ·····	136
6.22	杨村煤矿 305 停采线自燃隐患治理·····	140
6.23	济宁三号煤矿 53 _下 06 工作面采空区自燃隐患治理 ·····	145
6.24	东滩煤矿 143 _下 4 停采面自燃隐患治理 ·····	149
6.25	东滩煤矿 143 _下 08 东工作面自燃隐患治理·····	167
6.26	南屯煤矿 93 _上 12 综放面自燃隐患治理 ·····	178
附录 1	兖矿集团综放无煤柱开采煤层自然发火技术管理规定 ·····	184
附录 2	兖矿集团综放无煤柱开采采空区永久封闭管理规定 ·····	188
参考文献 ·····		193

1 综放无煤柱开采自然发火的特点及规律

近些年来,兖州矿区根据自身实际条件,创造性地发展了综放开采技术,在井下实际生产中采用无煤柱综放开采技术,大大提高了回采率,创造了巨大的经济效益和社会效益,但同时,也给矿井防灭火工作带来了一系列的新情况。本章在分析影响综放面无煤柱开采自然燃因素的基础上,结合煤自燃的理论和现场实际情况,分析综放面无煤柱开采煤层自然发火的基本特点及其主要规律,为制定综放面无煤柱开采自燃火灾综合防治体系提供依据。

1.1 综放无煤柱开采自然发火影响因素

煤自燃的发生和发展是一个极其复杂的、动态变化的、自动加速的物理化学过程,其实质是一个缓慢的自动氧化、放热、升温最后引起燃烧的过程。煤体自燃主要是由煤氧复合作用并放出热量而引起的。煤的氧化放热是热量自发产生的根源,是引起煤炭自然发火的根本原因之一。煤氧复合反应放出热量,当放热速度大于围岩散热时,引起热量聚积使煤温升高,温度升高使煤氧复合速度提高,最终导致煤体自燃。当煤与空气接触后,首先是发生煤体对氧的物理吸附产生物理吸附热,随后,煤氧又发生化学吸附和化学反应,并放出化学吸附热和化学反应热,所放出的热量积聚起来,当煤体所放出的热量大于煤体所处环境的散热量时,热量积蓄,煤体温度上升,导致煤体自燃。反之,热量被散发,煤体温度无法上升,导致煤体风化。煤体热量积聚的过程也是自燃的发展过程,而自燃正是煤体放热与散热这对矛盾运动发展过程的结果之一。

在实际条件下,综放面无煤柱开采煤自燃除与自身氧化性和放热性的内在因素有关外,还与其所处的外界条件有关,如环境温度、风流温度、速度和湿度、氧浓度、煤(岩)体导热性、采空区浮煤厚度等都影响煤自燃发展的过程(见图 1.1)。

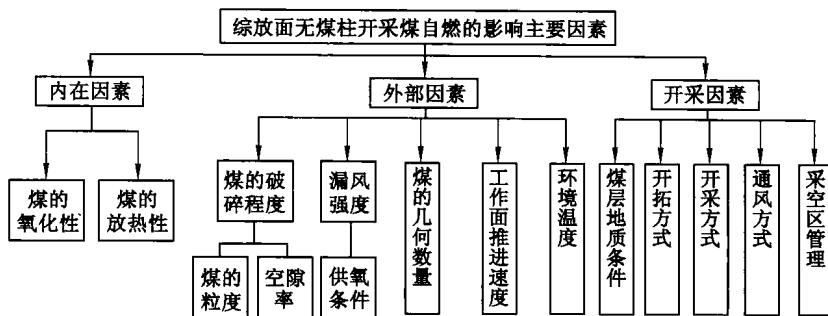


图 1.1 综放面无煤柱开采煤自燃的影响因素

1.1.1 煤的粒度

煤体粒度越小,比表面积越大,煤氧接触面积也越大,氧化放热效应越强。任意粒度煤样在实际氧浓度时的耗氧速度和放热强度^[49]可表示为

$$V(T) = \Psi(d_{50}) \cdot \frac{C}{C_0} \cdot V_0(T) \quad (1.1)$$

$$q(T) = \Psi(d_{50}) \cdot \frac{C}{C_0} \cdot q_0(T) \quad (1.2)$$

从式(1.1)和式(1.2)可以看出,耗氧速度和放热强度与松散煤体粒度密切相关,在实验粒度范围内,无量纲的粒度与耗氧速度的关系是非线性的,不同煤温的无量纲粒度与耗氧速度的变化趋势相同,其关系较好地符合对数变化规律,按对数规律拟合的方程为

$$\Psi(d_{50}) = \frac{V_0(T)}{V_0(T)_{\text{ref}}} = 0.852 - 0.555 \ln\left(\frac{d_{50}}{d_{50\text{ref}}} + 0.849\right) \quad (0.6 \text{ mm} < d_{50} < 8.5 \text{ mm}) \quad (1.3)$$

1.1.2 空隙率

松散煤体空隙率对自燃的影响很大,空隙率不仅影响松散煤体的漏风强度,也影响松散煤体的蓄热条件。

(1) 空隙率与漏风强度

对于一个特定的综放工作面,其通风方式、供风量、风压分布等都基本确定,影响漏风强度的主要因素是松散煤体空隙率的大小。根据空隙率与漏风量和风压梯度的相互关系,实验研究结果得知:漏风强度与风压梯度之比等于空隙率的某个函数关系,即

$$\frac{\bar{Q}}{\partial P / \partial z} = k(n) \quad (1.4)$$

(2) 空隙率与煤体蓄热

煤体在氧化放热的同时,也通过传导向周围散热,其传导散热量的大小与导热系数密切相关,即

$$q_{\text{传}} = \text{div}(\lambda_e \text{grad } T) \quad (1.5)$$

其中, λ_e 为松散煤体导热系数,可近似认为

$$\lambda_e = \frac{1}{\frac{n}{\lambda_g} + \frac{1-n}{\lambda_m}} \quad \text{或} \quad \lambda_e = n\lambda_g + (1-n)\lambda_m \quad (1.6)$$

式中, λ_m, λ_g 分别为煤体导热系数和空气的导热系数。由式(1.6)可知: λ_e 受 n 影响很大,空隙率越大,传导散热量越小,煤体蓄热性越好,则越易自燃。

(3) 空隙率与顶板岩性及矿压

采空区漏风强度和煤体蓄热条件都与空隙率密切相关,但严格说来,采空区空隙率应从两方面考虑:一是松散煤体的空隙率;二是垮落顶板的空隙率。松散煤体空隙率主要影响煤体内部氧的渗透和分布、高温点的深度。垮落顶板的空隙率主要影响煤体表面散热的快慢和漏风强度,随着工作面向前推进和时间的推移,采空区的空隙率随时发生变化。一般而言,顶板岩层越坚硬,空隙率越大;矿压越大,空隙率越小,并且采空区距工作面越远,矿压越大,作用时间越长,空隙率就越小,反之就越大。严格而言,工作面推进速度对空隙率也有影响,推进越快,距工作面同一距离的采空区矿压作用时间就越短,则空隙率相对较大。

1.1.3 漏风强度

松散煤体自燃需要有连续供氧条件,漏风强度的分布直接影响松散煤体中氧气浓度的分布,也影响煤体的散热,因此,漏风强度对煤体自燃影响很大。

(1) 漏风强度与氧浓度分布

松散煤体中氧浓度主要受煤体耗氧速度、氧气扩散速度和漏风强度影响。当新鲜风流渗透到松散煤体中时,沿漏风路线随风流的流动,煤体对氧的消耗和对瓦斯等吸附气体的释放,使得风流中的氧含量逐渐降低。在特定区域,当温度恒定时,煤对氧的消耗速度、瓦斯释放量基本上为定值,因此,松散煤体的漏风强度就决定了氧浓度的分布。

假定松散煤体温度均匀,其他气体对漏风流中的氧浓度影响很小,可忽略不计,氧的消耗完全由松散煤体的物理、化学吸附和化学反应造成,假定风道表面为坐标原点,其氧浓度为 C_0 ,则当沿程漏风强度恒定不变时,漏风强度与氧浓度关系可推导如下:

$$dC = -V(T)dt, dx = udt, \bar{Q} = un, V(T) = \frac{V_0(T)}{C_0}C \quad (1.7)$$

得

$$dC = -\frac{V_0(T) \cdot n}{C_0 \bar{Q}} C dx \quad (1.8)$$

积分得

$$C(x) = C_0 \exp\left(-\frac{V_0(T) \cdot n}{C_0 \bar{Q}} x\right) \quad (1.9)$$

式中, $V_0(T)$ 为实验条件下的耗氧速度; u 为松散煤体中局部渗流速度; $\bar{Q}$ 为漏风强度。

(2) 漏风强度与散热量

根据传热学理论,由风流中焓变带走的热量为

$$q_{\text{散}} = \text{div}(\bar{Q} \rho_g c_g T) \quad (1.10)$$

当风流为一维流动时

$$q_{\text{散}} = \rho_g c_g \frac{\partial}{\partial x} [\bar{Q}(x) \cdot T] = \rho_g c_g \left[\bar{Q}(x) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + T \frac{\partial \bar{Q}(x)}{\partial x} \right] \quad (1.11)$$

式中, $\bar{Q}(x) = un$ 。

从式(1.11)可知,当煤体温度梯度一定时,散热量与漏风强度基本上成正比。漏风强度越大,散热量越大。

1.1.4 煤的蓄热环境

煤(岩)体原始温度与煤自燃密切相关。根据煤自然发火实验得知,煤体耗氧速率和放热强度都随温度升高而加快。煤体和岩体之间传导散热量的大小与煤体和岩体之间的温度差成正比。因此,煤(岩)体原始温度越高,煤体与岩体之间的温差越小,煤体蓄热条件越好,煤氧最初的结合能力越强,放热性也越强。随着煤(岩)体温度升高,由温差产生的热力风压梯度增大,局部漏风强度增高,氧分布发生相应变化,并且煤体自身的氧化性和放热性增强,周围的散热条件也随着发生变化。在实际生产条件下,采空区松散煤体自燃的影响因素很多,这些主要因素既互相独立,又互相关联。

1.1.5 采空区浮煤厚度

采空区浮煤量是煤体自燃的一个物质基础。松散煤体在氧的作用下放出热量,同时又通过顶板岩层传导散发热量和通过风流对流带走热量。因此,松散煤体厚度不同,煤氧化产

生的热量和向周围环境散发的热量也就不同,只有当产生的热量大于散热量时,才能引起煤体升温,最后导致自燃。能够引起自燃的最小松散煤体厚度称为最小浮煤厚度。

若忽略风流带走的热量,仅从传导散热考虑,则采空区某一点煤体升温速度为零的必要条件是

$$\operatorname{div}(\lambda_c \operatorname{grad} T) + q_{\text{放}}^0 - \operatorname{div}(C_g \rho_g \bar{Q} T) \leq 0 \quad (1.12)$$

把采空区看成无限大平板,则热传导是一维函数,上式化为

$$\lambda_c \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q_{\text{放}}^0(T) - \rho_g C_g \bar{Q} \frac{\partial T}{\partial x} \leq 0 \quad (1.13)$$

假设煤体内温度均匀变化,煤体表面与岩层接触面温度为岩层温度 T_y ,则式(1.13)化为

$$q_{\text{放}}^0(T_m) - \frac{8 \times (T_m - T_y) \lambda_c}{x^2} - \frac{2 \rho_g C_g \bar{Q} (T_m - T_y)}{x} \leq 0 \quad (1.14)$$

忽略风流带走的热量,则得

$$h(T_m) \leq 2 \times \sqrt{\frac{2 \times (T_m - T_y) \lambda_c}{q_{\text{放}}^0(T_m)}} = h_{\min} \quad (1.15)$$

从式(1.15)可以看出,当浮煤厚度 $h(T_m) \leq h_{\min}$ 时,煤体氧化产生的热量就不能聚积。而 $h_{\min}$ 与煤体温度 T_m 和岩层温度有关,还与煤体放热强度 $q_{\text{放}}^0(T_m)$ 有关。

1.1.6 工作面推进速度

工作面正常生产时,采空区三带范围是动态变化的,浮煤自燃不但与氧化时间有关,还与工作面推进速度有关,是时间和空间的函数。

对于一个特定的采煤工作面,采空区三带范围处于一个动态的稳定状态。当工作面以推进速度 $v(\tau)$ 生产时,采空区某一个点的所有参数都在随推进速度 $v(\tau)$ 而变化, $v(\tau)$ 是时间的函数。

为了研究问题方便,选取两个坐标系:一个坐标原点设在切眼, x' 方向设在沿工作面推进方向,是一个静态坐标系;另一个坐标原点设在工作面, x 方向指向采空区,这是个随工作面运动的动态坐标系(见图 1.2)。

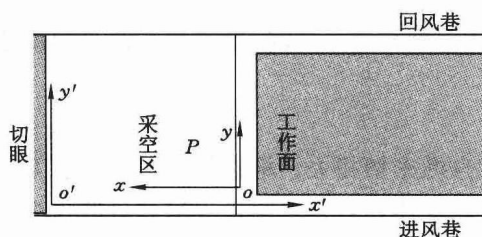


图 1.2 采空区坐标关系图

采空区内任一点 P , 其横坐标满足

$$x_P + x'_P = \int_0^{\tau_0} v(\tau) d\tau$$

式中, τ_0 为工作面推进时间, d ; $v(\tau)$ 为工作面推进速度, m/d 。

在 $x'o'y'$ 坐标系中:

$$x'_P = \int_0^{\tau_P} v(\tau) d\tau$$

在 xoy 坐标系中:

$$x_P = \int_{\tau_P}^{\tau_0} v(\tau) d\tau$$

设采空区内距工作面距离为 x_A 处的氧浓度为 C_A , 则 $\bar{Q}$ 为常数时, 采空区内氧浓度的分布在两个坐标系中的表达式为

$$C(x') = C_A \exp \left[-\frac{V_0(T)}{C_0 \bar{Q}} \left(\int_0^{\tau_0} v(\tau) d\tau - x' - \int_{\tau_0 - \tau_A}^{\tau_0} v(\tau) d\tau \right) \right] \quad (1.16)$$

$$C(x) = C_A \exp \left[-\frac{V_0(T)}{C_0 \bar{Q}} (x - x_A) \right]$$

式中, $V_0(T)$ 为实验测定的耗氧速度, $\text{mol}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})$; C_A 为采空区内已知的点处的氧浓度, %; x_A 为采空区内 A 点距工作面的距离, m; $\bar{Q}$ 为漏风强度, $\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。

1.2 综放无煤柱开采自然发火特点及规律

采用无煤柱综放开采技术, 导致矿井在实际生产过程中出现工作面一侧或两侧与采空区相邻, 而相邻采空区的遗煤在其回采过程中已经与氧接触过, 发生了氧化, 煤体温度有一定程度的上升, 自燃性增强, 从而在新平巷服务期间增加了发生煤层自燃的可能性。且兖州矿区综放无煤柱开采技术生产能力大, 推进速度快, 工作面布置走向长度长(一般都超过 1 000 m), 平巷掘进上千米煤巷均采用综掘一次完成, 平巷沿煤层底板和邻近采空区边缘掘进, 且服务时间长, 这些都导致了工作面巷道自燃火灾发生频率的增加。尤其是综放面无煤柱开采技术形成的“孤岛”工作面, 两道平巷顶煤和相邻区段采空区浮煤更易发生自燃, 且一旦形成自燃(或高温区)将更加难以治理。

综放开采工作面在回采过程中, 上下两个端头不放顶煤, 靠近两端头的几个支架也不放煤, 因此工作面回采过后, 在采空区上下平巷位置附近, 各形成了沿工作面倾向宽度为 10 m 多宽的遗煤带。

由于无煤柱开采多采用沿空掘巷的方式构成工作面, 巷道在掘进过程中不断揭露相邻采空区遗煤带, 会形成向相邻采空区的漏风供氧, 从而引起相邻采空区遗煤自燃或复燃。综放无煤柱开采的自然发火具有如下特点。

1.2.1 综放面切眼、停采线易自燃

切眼断面大, 受矿压影响易压裂破碎, 且综采设备安装时间较长, 工作面初期推进速度相对较慢, 切眼松散煤体氧化升温时间长, 煤体温度较高。停采前 15~20 m, 工作面不放顶煤, 采空区遗煤较厚, 停采后不能及时撤面封闭, 导致自燃危险性增加。

1.2.2 回采期间采空区“二道”自燃危险性强

从综放采空区浮煤分布情况看, 由于端头支架处顶煤放出率低, 留有大量遗煤, 且平巷顶板煤体暴露时间长, 已经过初期氧化蓄热升温, 进入采空区后, 采空区“二道”(即进风道、回风道)遗煤温度相对其他地点较高, 自然发火期大为缩短。

1.2.3 工作面后方相邻采空区危险性强

工作面回采过后, 其后方采空区连成一片, 因此, 综放面在回采过程中, 不仅受自身后方

采空区自然发火的威胁,在一定程度上相邻采空区自然发火的威胁更大。

1.2.4 采空区自燃“三带”动态移动

采空区存在散热带、氧化自燃升温带和窒息带,简称“三带”。“三带”范围受综放面回采率、供风量和推进速度的综合影响,随着工作面不断推进,采空区“三带”范围也动态移动。

1.2.5 采空区自燃高温范围大

综放面采空区留有大量浮煤,煤氧作用的热量是逐渐积聚的,一旦自燃,采空区蓄存了大量热能,造成周围煤(岩)体的温度亦相当高。

1.2.6 采空区高温点隐蔽

煤体自燃产生的烟流顺着风流流动,高温火点逆着风流流动,而采空区为开放式漏风,其漏风分布及规律极其复杂,很难判断采空区高温区域。

根据综放无煤柱开采自然发火的特点,防治工作的重点为:巷道掘进过程中,应以相邻侧采空区为重点防火区域;工作面开采初期,以开切眼为重点防火区域;工作面回采过程中,以工作面采空区两道和相邻采空区为重点防火区域;工作面停采后,应以停采线为重点防火区域。

1.3 综放无煤柱开采自然发火防治技术体系

基于兖矿集团与科研单位多年的科研成果和实践经验,提出了综放无煤柱开采自然发火防治技术体系。主要包括三部分内容:① 煤自然发火、绝氧降温、供风复燃全过程的真实实验模拟,以及煤自燃、熄灭和复燃的特性及规律,为认识煤自然发火规律、识别火灾隐患、开发控制技术奠定基础。② 实际情况下煤层火灾隐患识别新技术,主要确定实际情况下煤自燃的位置、危险区域、温度/程度和发火期/时间。③ 煤层火灾控制新技术的开发与应用。主要针对防灭火材料、现场应用工艺、系统和装备,完善能够充分体现“抓住重点、预防为主、防治结合、合理有效、操作性强、节约资金”思想的矿井综合防灭火体系(见图 1.3)。

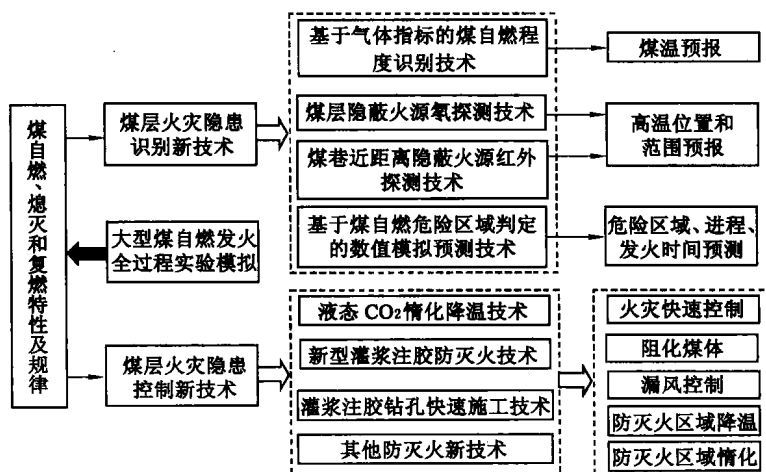


图 1.3 综放无煤柱开采自然发火防治技术体系

2 煤自然发火全过程的实验模拟

煤自燃是在常温常压下,煤与空气中的氧自发反应升温的过程。煤自燃的实际情况是:大量松散煤体同时接受漏风供氧,一起发生氧化放热,靠近围岩和漏风边界的煤体散热条件好,不易造成热量积聚;由于煤体不断地消耗氧气,风流渗透到离漏风边界较远的深部时,气流中的氧浓度已很小,煤自身的氧化放热强度小,也不易产生热量积聚;在距漏风边界一定距离的范围内,氧气浓度合适,蓄热条件好,热量易于积聚,造成煤体自热升温;在供氧和蓄热条件最佳的区域,煤体升温速度最快,该区域周围的煤体升温速度依次减慢;升温过程开始是一个很缓慢的过程,随着煤温的逐渐升高,化学反应加剧,产生的热量增多,升温过程也加快;随着煤体内温差的加大,形成热力风压,漏风强度加大,同时,随着煤体内各点耗氧速度的变化,氧浓度分布发生动态变化,煤体内部的高温区域会发生移动。

若要从常温条件下开始,真实地模拟煤的自燃过程,且实验周期尽量短,应创造与实际过程相似的、较好的供氧和蓄热环境。在实验室模拟煤自然发火过程,测试最短自然发火期,应具备三个条件:① 创造煤体能在常温下依靠自身氧化放热而引起升温的供氧和蓄热条件;② 实验台煤体的蓄热环境类似于实际情况大量松散煤体内首先引起自然升温的高温区域;③ 较佳的煤体粒度,提供最有利于松散煤体自燃的漏风强度。

2.1 实验装置

为了模拟煤自燃的全过程,在西安科技大学 XK—1 型自然发火实验台的基础上,结合现场实际,西安科技大学与兖矿集团联合研制了装煤量 15 t 的特大型煤自然发火实验台(ZRM—15 型)。由于实验炉的体积和装煤量增大,因此,与原有实验台相比,该实验台具有如下显著特点:

(1) 实验模拟的煤自燃过程与实际情况更接近,能够更好地反映出自燃高温点的位置及其动态移动规律;

(2) 对炉体蓄热环境的要求降低,采用耐火砖做保温层,实验最高温度可超过煤的着火点,实现煤自然发火的全过程模拟;

(3) 松散煤体的蓄热条件更好,对跟踪煤体侧壁温度的控温水层控制精度要求降低,减少了由控温原因给实验煤体加热或炉体向外界散热量大而产生误差的可能性;

(4) 实现了煤体温度、气体浓度和环境温度的全自动检测和监控,数据的采集量和精度大幅度提高;

(5) 煤自燃指标气体的绝对产生量增大,为指标气体的富集检测创造了条件,从而可为煤自然发火提供更早期的预测预报指标。

该实验装置模拟实际情况下的供氧和蓄热条件,跟踪测定煤自然升温过程中煤体的温度、

氧浓度和其他气体含量的变化。实验装置分为炉体、气体检测、温度检测 and 控制系统四部分。

2.1.1 炉体结构

炉体呈圆柱形,保温层和跟踪外层煤温的控温水层使炉内煤体处于良好的蓄热环境下,炉体顶、底部均有气流缓冲层,使气流由下向上均匀通过实验煤体,空气经控温水层预热,使之与所创造的煤自燃环境温度相同,然后从炉体底部送入。炉体外形如图 2.1 所示,内部结构如图 2.2 所示。



图 2.1 煤自然发火实验台炉体外形图

炉体主要参数为:

- (1) 炉体内径 280 cm, 外径 380 cm。
- (2) 装煤高度 200 cm, 顶、底部自由空间各 10 cm, 底部厚 45 cm, 顶部厚 25 cm, 炉体总高度 330 cm。
- (3) 顶部设 4 个直径 60 cm 带水封的装煤口和 1 个直径 5 cm 的排烟气孔。
- (4) 最大装煤体积 13.5 m³, 最大装煤量 15 t。
- (5) 监测点分布: 层间距 0.2 m, 径向间距 0.2 m, 布置层数 12 层; 顶、底部自由空间各 1 个点, 温度监测点总数 46 个, 气体监测点总数 24 个。
- (6) 设 4 段电热丝控温层和 4 个控温参照点。

炉体内层为 120 mm 厚的耐火砖保温层, 顶部、底部和周边的中间层是用 4 mm 钢板做的 100 mm 厚的水层, 水层外是 120 mm 厚的聚氨酯泡沫绝热层, 炉体外层是 120 mm 的红砖层。φ8 mm、长 120 m 的紫铜进气管从上到下缠绕在中间水层的内壁上, 该进气管从下部进入底部铜丝网下的空间, 使进气温度与煤堆边界温度近似。顶部留有 20 cm 自由空间, 便于均匀出气, 顶盖上留有排气口; 底部留有 20 cm 自由空间, 以保证进气均匀; 炉壁由绝热层和控温层组成。炉内布置了若干热敏电阻探头, 以测定煤温, 在炉中心轴处同时设有取气管用来检测炉中气体成分。

2.1.2 供风系统

由无油气体压缩机提供的风量经过稳流阀进入流量计。从流量计出来的风量进入湿度调节箱, 使风流湿度与箱内水层的湿度相同, 同时气流中含有与湿度调节箱温度相同的水蒸

