

文章编号:1001-1986(2002)02-0009-03

# 综放面巷道煤层自燃预测技术研究

邓军<sup>1</sup>,徐精彩<sup>1</sup>,王洪权<sup>2</sup>,王春耀<sup>2</sup>

(1. 西安科技学院,陕西 西安 710054; 2. 兖州局东滩矿,山东 邹城 273500)

**摘要:**根据综放面巷道自燃环境及条件,提出自然发火预测思路、预测方法,以及煤层自燃特性参数和现场参数的定量测算方法;建立了巷道煤层自燃危险程度和最短发火期的预测模型;最后通过东滩矿4308综放面沿空巷道的实际模拟及预测,证明其预测精度达90%以上。

**关键词:**综放面;巷道;自然发火;预测

中图分类号:TD752.1 文献标识码:A

## 1 引言

中国煤炭资源十分丰富,其中厚煤层占45%左右。全国煤矿中有56%的矿井存在煤层自然发火危险,而特厚煤层开采自然发火更为严重,煤炭自燃已成为制约我国煤炭工业高产高效的主要灾害之一。近20年来,随着我国特厚煤层综采放顶煤技术的试验和推广,煤炭的产量和效益大幅度提高。日产原煤可高达1.0~1.6万t,日产值可达400多万元,具有高产、高效和低耗等优点。但由于综采放顶煤技术条件影响,一次性开采强度大,端头支架处顶

煤放出率低,(有的不放)采空区遗煤量较多,顺槽沿底板掘进等原因,使得煤层自然发火几率增高,矿井自燃火灾事故增多。据1998年初统计,在全国已采过的220个综放工作面中,发生了182次自燃火灾事故,其中巷道火灾为116次,占63.7%。严重制约着综采放顶煤高产高效技术的发展。因此,对综放面巷道自燃预测技术的研究具有重大的意义和广泛的推广应用价值。

## 2 巷道煤体自燃环境与条件

巷道煤体所处环境有以下几个特点:

收稿日期:2001-05-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59974020);陕西省教委专项科学基金资助项目(99JK220)

作者简介:邓军(1970—),男,四川大竹人,西安科技学院讲师、西安交通大学能动学院博士研究生,从事煤自燃机理、预测及防治技术的研究。

## 参考文献

- [1] 山根靖弘等,贺振东译.环境污染物与毒性(有机篇)[M].成都:四川科学技术出版社,1985.
- [2] 刘淑勤,王鹏.环境中的多环芳烃与致癌性[J].环境保护,1999,5:42~45.
- [3] 于晓丽,张江.多环芳烃污染与防治对策[J].油气田环境保护,1996,6(4):53~57.
- [4] 王连生.有机污染物化学[M].北京:科学出版社,1991.
- [5] 潘革新,单忠健.不同煤中多环芳烃分布的初步研究[J].环境化学,1986,5(5):17~23.
- [6] ZHAO Zheng-bao, LIU Kun-lei, et al. Soluble polycyclic aromatic hydrocarbons in raw coals[J]. Journal of Hazardous Materials, 2000, B73:77

-85.

- [7] Goodarzi F, Mudhopadhyay P K. Metal and polyaromatic hydrocarbons in the drinking water of the Sydney Basin, Nova Scotia, Canada: a preliminary assessment of their source [J]. International Journal of Coal Geology, 2000, 43:357~372.
- [8] SUN Yu-zhuang. Distribution of selected elements and PAH in freshly deposited sediments of waste water streams from Lubin District, southwest Poland [J]. Environmental Geochemistry and Health, 1999, 21(2):141~155.
- [9] Leuven R S E W, Nienhuis P H, Kesseleer J M A, et al. Annual emissions of pollutants from mine stone applications in drainage basins of Dutch rivers[J]. Hydrobiologia, 1999, 410:315~323.

## Initial research on polycyclic aromatic hydrocarbons in Zibo coal mine environment

ZHANG Jian-li<sup>1</sup>, PAN Mao<sup>1</sup>, ZHONG Zuo-shen<sup>2</sup>, TANG Ming-gao<sup>2</sup>

(1. Peking University, Beijing 100871, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The research on influence of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in environment has been studied widely and deeply. PAHs in coal, coal waste stone, mine drainage, leaching water from coal waste stone and groundwater in Zibo coal mine, Shandong Province, are discussed. The results show that the soluble PAHs existed in coal and coal waste stone. Leaching from coal and coal waste stone can increase PAHs concentration in mine drainage and groundwater. Pollution of PAHs by coal mining should be attached more importance.

**Key words:** polycyclic aromatic hydrocarbons; mine drainage; leaching process; Zibo coal mine

a. 巷道沿煤层底板掘进, 随底板起伏变化风流在这些地点产生动压差, 并且这些地点的顶煤在掘进中通常易于离层破碎;

b. 巷道风流温度与煤体温度有温差, 该温差在巷道煤体内将形成热力风压;

c. 顶煤冒落空洞和离层空隙阻碍顶板传导散热, 近似绝热壁;

d. 构造区或断层带煤体破碎, 极易冒顶片帮, 煤柱碎裂;

e. 沿空侧采空区遗煤堆积厚度大, 范围广;

f. 沿空侧小煤柱在矿压影响下极易压碎, 造成漏风;

g. 沿空侧遗煤受相邻采面回采时的氧化放热影响, 通常存在局部温度异常区, 使遗煤温度已经高于岩层原始温度;

h. 巷道供风既对煤壁起到对流散热, 又对松散煤体漏风供氧创造了条件。

因此, 巷道煤体自燃依赖于以下几个实际条件:

a. 煤体内在的氧化性能和放热性能;

b. 煤体的破碎程度和空隙率;

c. 松散煤体的堆积厚度;

d. 漏风动力与漏风强度;

e. 巷道供风量;

f. 3个温度, 即: 松散煤体起始温度、巷道围岩原始温度, 风流温度。

### 3 巷道煤层自燃预测思路

煤层自燃过程是放热和散热这一对矛盾运动发展的过程, 只要能针对实际条件把握住放热和散热这一对矛盾的运动发展规律, 就能准确预测煤层自燃状况。因此, 通过实验研究煤层内在的氧化性能、放热性能、特征温度、特性参数、实验自然发火期等, 结合现场实际观测条件, 就能判别巷道自燃危险区域。然后采用能量平衡法, 模拟预测危险区域煤体温度动态变化趋势, 做出自燃发火预测。

### 4 巷道自然预测步骤

#### 4.1 预测阶段划分

巷道自然发火预测根据现场实际防灭火工作的需要可划分为3个阶段:

a. 设计阶段。该阶段根据设计所提供的地质资料、巷道参数、供风量, 参照同类巷道掌握的一些相似条件, 进行危险性预测。根据预测结果, 可提供预防措施;

b. 巷道施工阶段。该阶段通过现场实测风

量、风温、浮煤厚度、煤体温度、钻孔内氧浓度及煤壁破碎情况等参数, 进行自燃预测并对第一阶段的预测结果进行修正;

c. 原高温区变化趋势预测阶段。该阶段对已产生高温并经过初步处理的地段, 根据预测处理方法、材料和工艺, 进行高温变化趋势预测, 以便更进一步指导高温区治理。

#### 4.2 自燃危险区域判定

根据实验测定和理论分析获得引起自燃的最小浮煤厚度  $h_{\min}$ , 最大漏风强度  $Q_{\max}$ , 下限氧浓度  $C_{\min}$  最大有效粒度  $d_{\max}$  等临界参数, 得出自燃危险区域判定条件为:

$$(h > h_{\min}) \cap (d_{50} < d_{\max}) \cap (Q < Q_{\max}) \cap (C > C_{\min})。 \quad (1)$$

#### 4.3 确定危险区域的类型及范围

根据巷道实际情况, 确定巷道自然发火类型和巷道断面计算区域, 可按照实际巷道不同的破碎情况, 以及计算区域的介质分布情况, 将计算区域划分为多个子区域(一般对沿空巷道划分为11个), 各小区域可当做均匀介质处理, 但各子区域之间因空隙率或介质不同, 其漏风状况、等效参数等取值均可互不相同, 子区域具体几何参数及特性参数由巷道实际条件确定。

#### 4.4 巷道自然发火预测模型

巷道松散煤体自然发火数学模型为:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial x}(K_x Q_x) + \frac{\partial}{\partial y}(K_y Q_y) = 0 \\ \rho_e C_e \frac{\partial T}{\partial \tau} = q(T) + \lambda_e (\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}) - \rho_g C_g (Q_x \frac{\partial T}{\partial x} + Q_y \frac{\partial T}{\partial y}) \\ \frac{dC}{d\tau} + Q \cdot \frac{dC}{dx} + Q \cdot \frac{dC}{dy} = D_x \frac{d^2 C}{dx^2} + D_y \frac{d^2 C}{dy^2} - V(T) \end{array} \right. , \quad (2)$$

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

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

$$\Psi(d_{50}) = a + b \ln(d_{50})$$

其中

$$\frac{1}{\lambda_e} = \frac{n}{\lambda_g} + \frac{1-n}{\lambda_m};$$

$$C_e = nC_g + (1-n)C_m;$$

$$\rho_e = n\rho_g + (1-n)\rho_m;$$

$$D = D_x = D_y = \delta \cdot D_{O_2},$$

式中  $q_0(T)$ 、 $V_0(T)$ ——分别为松散煤体在新鲜风流中(氧浓度为21%)不同温度下的实验发热强度和耗氧强度(由自然发火实验确定),  $J/(cm^3 \cdot s)$ 、 $mol/(cm^3 \cdot s)$ ;  $q(T)$ 、 $V(T)$ 分别为实际条件下松散煤体发热强度和耗氧速度;  $\Psi(d_{50})$ 为煤的平均粒度  $d_{50}$ (按重量计松散煤体中小于某一粒径者占松散煤体总量50%的那种煤粒直径)对耗氧速度的影响系

表1 巷道自然发火数学模型定解条件

定解条件	漏风强度	温度	氧气浓度
初始条件	—	$T _{\tau=0}=T_y$	$C _{\tau=0}=C_0(1-x/L)$
巷道表面 边界 gate	$Q _{gate}=Q_0$	$-\lambda_e \frac{dT}{dx} _{gate} = a(T_w - T_0)$	$C _{gate}=C_0$
计算区域 外边界 S	$\frac{dQ}{dn} _S=0$	$T _S=T_0$	$\frac{dC}{dn} _S=0$

注:  $T_w$ —巷道壁面温度;  $T_0$ —巷道风流温度;  
 $T_y$ —岩层原始温度;  $x$ —松散煤体距巷道表面的距离, cm;  
 $L$ —计算区域外界距巷道表面的距离, cm。

数;参数  $a, b$  由实验确定;  $x, y$  为坐标轴;  $C_0, C$  分别表示新鲜风流中的氧气浓度和实际氧气浓度, %;  $T$  为煤样温度, °C;  $\tau$  为时间, s;  $Q$  为漏风强度(即单位时间通过单位面积松散煤体的漏风量),  $\text{cm}^3/(\text{s} \cdot \text{cm}^2)$ ;  $D$  为氧气在松散煤体中的扩散系数;  $D_{O_2}$  氧气在空气中的扩散系数;  $\delta$  为松散煤体的扩散率, 与松散煤体的空隙率和空隙结构有关;  $\lambda_e$  为松散煤体的等效导热系数,  $\text{J}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $C_e$  为松散煤体的等效比热容  $\text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $\rho_e$  为松散煤体的等效密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $\rho_m, C_m, \rho_g, C_g$  分别表示松散煤体与空气的密度和比热容;  $n$  为空隙率。

定解条件见表1。

## 5 4308 综放面预测结果及精度分析

东滩矿4308综放面开采煤层平均厚度5.89 m,一次采全高, 轨顺沿4309采空区掘进, 留有3 m左右煤柱, 受矿压影响煤柱压裂较破碎, 沿空巷道易自然发火。在设计、掘进和回采3个阶段, 分别根据相邻类似综放面条件及本工作面巷道掘进和回采的实测参数, 对巷道松散煤体自然发火期进行预测, 其预测结果与实际发火期对比见表2、表3, 预测精度达90%以上。

## 6 结论

a. 将巷道自然性预测划分为设计、掘进和工

表2 巷道设计阶段自然预测精度分析

巷道类型	预测发火期/d	实际发火期/d	精度/%	地点
较完整煤柱	不发火	不发火	100	4309停采线以北30~80 m
压裂但较完整	不发火	不发火	100	1#提以北30~200 m
压裂较破碎	30	33	90.9	4309停采线附近30 m
无煤柱	21	23	91.3	1#提以南80~100 m
顶煤压碎离层	40	37*	91.9	(14308轨顺)
断层带	20	18*	88.9	(14308轨顺)

\*因4308轨顺未出现顶煤压碎离层和断层带, 表中数据为相似工作面4308面轨顺相关巷道类型的实际发火期。

表3 巷道掘进期间预测精度分析

地 点	巷道类型	预测发火期/d	实际发火期/d	精度 /%
1#提以南80~100 m	无煤柱巷道	25	23	91.3
1#提以北10~30 m	煤柱压裂破碎	50	54	92.3
1#提以南350 m	煤柱压裂但喷浆	145	157	92.4
1#提以北30~80 m	较完整煤柱	不发火	不发火	100

作面回采3个阶段, 以有效的保障综放面正常回采;

b. 首先根据巷道的实际条件判断出巷道可能自燃的区域, 然后进行针对性的重点预测;

c. 通过实际运用, 证实这个方法可行, 能较准确地预测出巷道自然危险状况及最短发火期, 预测精度较高, 基本上能满足综放面安全生产的需要。

## 参考文献

- [1] 徐精彩. 煤炭自然过程研究[J]. 煤炭工程师, 1989, (5): 17—21.
- [2] 邓军, 徐精彩, 文虎. 采空区自然发火动态模型研究[J]. 湘潭矿业学院学报, 1998, 8(1): 11—16.
- [3] 徐精彩, 文虎, 邓军, 张辛亥. 煤自然极限参数研究[J]. 火灾科学, 2000, 9(2): 14—18.
- [4] 贝尔J.著, 李竞生, 陈崇希译. 多孔介质流体动力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983.8(第一版).
- [5] 邓军, 徐精彩, 张迎弟等. 煤最短自然发火期实验及数值分析[J]. 煤炭学报, 1999, 24(3): 274—278.
- [6] 邓军, 徐精彩, 李莉等. 煤的粒度与耗氧速度关系的实验研究[J]. 西安交通大学学报, 1999, 33(12): 106—107.
- [7] 邓军, 徐精彩, 王春耀等. 综放工作面巷道沿空侧松散煤体漏风强度测算方法研究[J]. 煤炭学报, 1999, 24(5): 502—506.
- [8] 邓军, 徐精彩等. 无煤柱综放面沿空巷道自然过程数值模拟[J]. 西安交通大学学报, 2000, 34(7): 16—20.

## Predicting techniques for coal spontaneous combustion in the gate close to gob of fully mechanized longwall top-coal caving face

DENG Jun<sup>1</sup>, XU Jing-cai<sup>1</sup>, WANG Hong-quan<sup>2</sup>, WANG Chun-yiao<sup>2</sup>

(1. Xi'an Science & Technology Institute, Xi'an 710054, China;

2. Yanzhou Mining Companies Group, Zoucheng 273500, China)

**Abstract:** According to the distribution of loose coal in the gates of fully mechanized longwall top-coal caving face, some sub-zones are divided. The mathematic model of coal spontaneous combustion is deduced. And the method of accounting the main parameters in above model is put forward. The method is used in the tailgate of workface 4308 in Dongtan Coal Mine for predicting spontaneous of loose coal. The results show that the accuracy of predicting spontaneous combustion of loose coal in the gates is already over 90%.

**Key words:** comprehensively mechanized top-coal caving face; coal gates; spontaneous combustion; prediction