

# 东滩煤矿3层煤自然发火特性的实验研究

孟祥军<sup>1,2</sup>

(1. 山东科技大学资源与环境工程学院, 山东 青岛 266510; 2. 兖州煤业股份有限公司东滩煤矿, 山东 邹城 273512)

**摘要:**结合东滩煤矿的现场实际,采用ZRM-15型煤自然发火实验装置对东滩矿煤样进行了历时78 d的煤自然发火实验,模拟了从常温至452.7℃煤自燃的全过程,掌握了煤自燃高温区域的发生、发展及其动态变化过程和指标气体体积浓度随温度的变化趋势。实验结果表明:实验装置内煤体高温点动态变化的总趋势是由煤体中上部向下部移动。氧化初期,距供风表面一定距离的炉体中上部温度变化较快;随着煤氧化时间加长,温度变化较快的区域不断向进风侧移动,高温点最终移至供风侧煤体表面,形成明火。

**关键词:**煤自燃;实验模拟;全过程;指标气体

中图分类号:TD75

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2011)04-0017-05

## Experimental Features of Spontaneous Combustion in 3rd Seam of Dongtan Colliery

MENG Xiangjun<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China; 2. Dongtan Colliery, Yanzhou Coal Mining Group Co. Ltd, Zoucheng, Shandong 273512, China)

**Abstract:** Combined with practical conditions of Dongtan colliery, an experiment of spontaneous combustion of coal samples lasted for 78 days was conducted by using the ZRM-15 experimental apparatus, simulating the whole process of coal spontaneous combustion from normal temperature to above 452.7℃, and mastering the generation, development and dynamical change of high temperature zone induced by coal spontaneous ignition and the dynamical change trend of volume and concentration of the indicative gas with the temperature. The results showed that the whole trend of dynamical change at high temperature point was moved from upper part to lower part in coal body. During initial period of oxidation, the temperature change rate at upper part of the furnace above the air supply point was higher. Along with lengthening of coal oxidation, the region with higher change rate of temperature would continuously move toward the side of air intake and the high temperature point would finally move to the surface of coal body at the side of air intake, forming the naked light.

**Key words:** coal spontaneous ignition; experimental simulation; whole process; indicative gas

煤自燃是一种非常严重的自然灾害<sup>[1]</sup>。近20年,世界各主要产煤国家先后建立了模拟煤层自燃过程的大型自然发火实验台<sup>[2-6]</sup>。同时,国内的一些专家也开始从事这方面的研究,如:湘潭工学院李仁发等<sup>[7]</sup>建造了可以装90 kg碎煤的实验装置;淮南工业学院张国枢等设计研制了实验室内模拟煤炭自燃的实验装置及其参数测定系统<sup>[8-10]</sup>;20世纪80年代末,西安科技大学的徐精彩等<sup>[11]</sup>自行设计建造了我国第一个大型煤自然发火实验台,装煤量0.85 t;90年代以后,在此基础上,又建造了一系列的煤自然发火实验台,并利用这些实验台对煤低温阶段的自燃过程进行了大量实验研究<sup>[12]</sup>,以实验所获取的最短自然发火期、临界温度、放热强度和耗氧速度等为基础,对氧化性、放热性等煤自燃的影响因素及煤自燃过程中的一些特性参数<sup>[13]</sup>进行了研究,取得大量研究成果。

收稿日期:2011-05-23

基金项目:山东省科技发展计划项目(2010GSF10808)。

作者简介:孟祥军(1963—),男,山东金乡人,研究员,主要从事煤矿安全生产方面的工作。E-mail:sdustwg@163.com。

本研究利用 15 t 大型煤自然发火实验台对不同条件下煤的温度变化率和煤温的关系进行定量测定,对各种指标气体的体积浓度在不同温度变化情况进行了细致分析,并研究了自燃过程中煤的氧化性和放热性等因素与煤温之间相互影响、相互作用的动态变化规律,对东滩煤矿的自燃火灾防治具有十分重要的意义。

## 1 实验装置

煤自然发火是由于煤与氧接触时发生化学吸附和化学反应放出热量,当放出热量大于散发的热量时,煤温上升而导致发火<sup>[12]</sup>。煤低温自然发火实验就是该过程的模拟,即在实验条件下,依靠煤自身氧化放热升温,考察其煤温、氧气消耗量、一氧化碳产生量以及乙烯的变化规律<sup>[13]</sup>。

本研究中,自然发火实验装置模拟现场散热情况及漏风状况,以井下温度(15~30℃)作为实验起始温度,利用煤氧化放热引起自然升温,连续检测实验炉内各点煤样温度、气体浓度的变化情况,研究煤的低温氧化放热特性,为预测煤的自燃倾向性及自然发火期提供依据。

### 1.1 炉体结构

炉体呈圆柱形,内径 280 cm,装煤高度 200 cm,由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。主要参数如下。

- 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 m<sup>3</sup>, 最大装煤量 15 t。
- 5) 监测点分布: 层间距 0.2 m, 径向间距和横向间距均为 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。

表 1 实验台各测点布置表

Tab. 1 The layout table of measuring points in laboratory bench

r/cm \ Z/cm	0	20	60	120	层号
	测点号	测点号	测点号	测点号	
220	12,1	12,2	12,3	12,4	十二
200	11,1	11,2	11,3	11,4	十一
180	10,1	10,2	10,3	10,4	十
160	9,1	9,2	9,3	9,4	九
140	8,1	8,2	8,3	8,4	八
120	7,1	7,2	7,3	7,4	七
100	6,1	6,2	6,3	6,4	六
80	5,1	5,2	5,3	5,4	五
60	4,1	4,2	4,3	4,4	四
40	3,1	3,2	3,3	3,4	三
20	2,1	2,2	2,3	2,4	二
0	1,1	1,2	1,3	1,4	一

炉体内层为 120 mm 厚的耐火砖保温层,顶部、底部和周边中间层是用 4 mm 钢板做的 100 mm 厚水层,水层外是 120 mm 厚的聚胺酯泡沫绝热层,炉体外层是 120 mm 的红砖层。 $\phi 8$  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。炉内温度测点分布及编号见表 1。

### 1.2 风流监控系统

由无油气体压缩机提供的风量经过稳流阀进入流量计恒定达到风量控制。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气,湿度调节箱出口的风流再进入温度调节箱,使风流温度与煤体环境温度相同,这样,进入煤体的风流湿度及温度均能

得以控制。风流监控系统如图1所示。把测得的气体体积浓度反馈给监控软件,软件据此调节实验台供风量的大小。

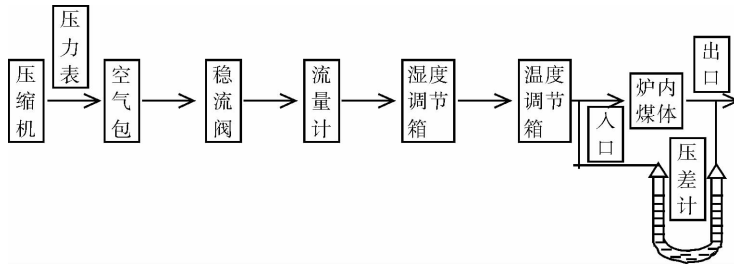


图1 风流监控系统图

Fig.1 The airflow monitoring system

### 1.3 气体采集与分析

气样数据采集可人工采集,也可以使用束管自动进样采集。束管的炉内部分用 $\phi 2$  mm 不锈钢管,炉外部接 $\phi 2$  mm 的耐高温聚四氟管。自动采集时,系统通过气泵和束管自动抽取炉内的气样,送至气相色谱仪分析气体成份和体积浓度,并保存分析结果。气样检测采用GC-85型自动气相色谱仪。

每天检测各取气测点的气体变化情况,主要监测 $O_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ 、 $CH_4$ 、 $C_2H_6$ 、 $C_2H_4$ 、 $CH_2$ 、 $N_2$  8种气体的体积浓度。并通过采用微量气体浓缩吸附装置,使气相色谱仪对乙烯等指标气体的最小检知体积浓度扩大10~20倍。

## 2 实验过程与结果分析

实验中,采集东滩煤矿3层煤15 t,并将煤样破碎至粒度小于30 mm,边破碎边装炉。当启动温度控制及监测系统,供入一定流量的空气,标志着实验即开始启动。由自动控温系统,跟踪炉内煤体的温度变化情况,调节控温水层与外层煤体的温差不超过 $2^\circ C$ ,连续监测煤体内的温度和气体变化情况。

### 2.1 实验条件

破碎煤样的频度和实验条件分别如表2和表3所示。

表2 煤样筛分试验结果表

Tab.2 The results of coal sample screening experiment

粒度/mm	+6	+4,-6	+2,-4	+1,-2	-1
频度/%	13.51	10.2	24.09	17.92	33.72

注:表中“+”表示未通过该筛,“-”表示通过了该筛。

表3 实验条件表

Tab.3 The experimental conditions

煤样	平均粒径 $d_{50}$ / mm	实验煤高/ cm	煤重/ kg	煤样体积/ $m^3$	块煤密度/ ( $g/cm^3$ )	容重/ ( $g/cm^3$ )	孔隙率	供风量/ ( $m^3/h$ )	起始温度/ $^\circ C$
东滩煤矿	2.7	200	13 790	12.3	1.45	1.12	0.23	0.4~6.0	31

### 2.2 实验过程

实验共历时78 d,分为自然升温、绝氧降温2个阶段。

自然升温:实验炉内最高煤温从 $21.8^\circ C$ 升至 $452.7^\circ C$ ,历时51 d。

绝氧降温:停止供风后,炉内最高煤温从 452.7 °C 降至 90.5 °C,历时 27 d,观测煤体的绝氧降温过程。

## 2.3 实验结果及数据分析

### 2.3.1 温度数据及分析

自然升温、绝氧降温过程中,温度变化率与煤温和供风量的关系如图 2 和图 3 所示。

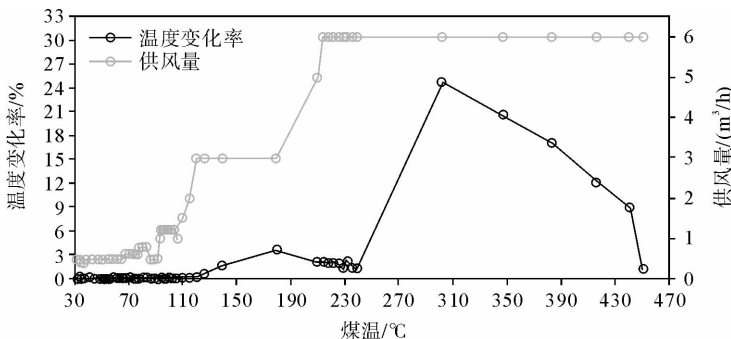


图 2 温度变化率与煤温和供风量的关系曲线图(自然升温)

Fig. 2 The relation among the temperature change rate, coal temperature and air intake (temperature rising by coal spontaneous combustion)

从图 2 和图 3 可以看出:

1) 实验初期煤样氧化升温较慢, 供风时间超过 21 d 后, 氧化升温开始加快, 对应煤温为 70~80 °C (临界温度); 供风时间超过 45 d 后, 氧化升温迅速加快, 对应煤温为 105~110 °C (干裂温度); 供风时间超过 50 d 后, 对应煤温为 210 °C (活性温度), 20 h 后煤温即可超过 380 °C (燃点)。

2) 随着煤体温度的升高, 在供风量适宜的情况下, 煤体升温速度加快。当煤温低于临界温度时, 为保证炉内的氧气供给充分, 增加供风量, 煤体升温速度会有所下降。而当煤温超过 100 °C 后, 加大风量, 高温点温度则会迅速上升。

3) 煤温超过 140 °C 后, 煤体升温速度加快, 超过 1 °C/h; 煤温超过 210 °C 后, 煤体升温速度急剧增加, 在供风充足的情况下, 不超过 1 d, 煤温即可超过燃点。

4) 从实验结果可以看出, 煤温在临界温度以下时, 实验炉内煤体氧化升温的适宜风量约为 0.6~1.5 m³/h; 煤温超过干裂温度后, 适宜的供风量大于 1.5 m³/h; 煤温超过 210 °C 后, 维持煤自燃升温所需的风量急剧增加, 适宜的供风量大于 5.0 m³/h, 为低温阶段的 5 倍以上, 煤温超过 380 °C (燃点) 后, 6.0 m³/h 的供风量已不能满足煤体继续快速升温的条件, 温度变化率急剧下降。

因此, 当煤矿井下出现自燃征兆时, 采用均压控制向火区的漏风量, 能使煤自燃升温速度下降, 延长自然发火期, 对抑制火势的发展有明显作用。

### 2.3.2 气体数据及其分析

自然升温、绝氧降温过程中, 实验炉顶部出口附近 12 号取气点处, 各种指标气体体积浓度及其对应的炉内最高温度如图 4 和图 5 所示。

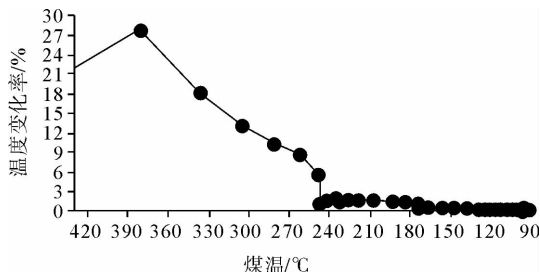


图 3 温度变化率与煤温和供风量的关系曲线图(绝氧降温)

Fig. 3 The relation among the temperature change rate, coal temperature and air intake (cooling by oxygen isolated)

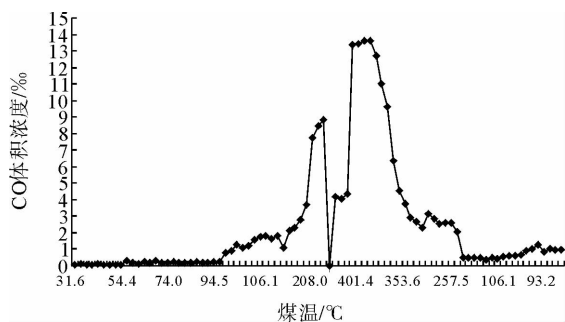


图4 CO体积浓度与煤温的关系曲线图

Fig. 4 The relation between volume concentration of CO and coal temperature of Dongtan coal samples

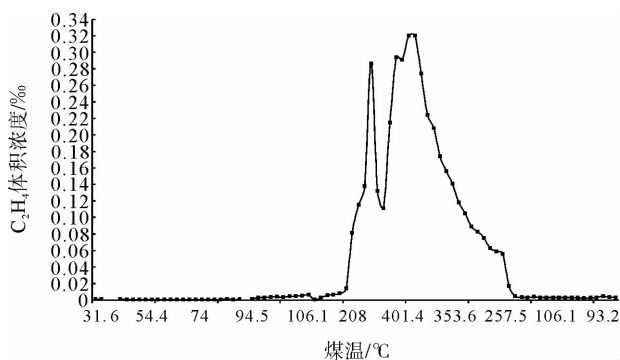
图5 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>体积浓度与煤温的关系曲线图

Fig. 5 The relation between the volume concentration of C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> and coal temperature of Dongtan coal samples

将自然发火实验台所测的各点温度、O<sub>2</sub>体积浓度、CO和CO<sub>2</sub>体积浓度分别代入相应的公式,可测算出东滩煤矿3层煤在不同温度时,煤样在新鲜风流中耗氧速度、CO和CO<sub>2</sub>产生率及放热强度。放热强度与煤温的关系曲线见图6;随着煤温的升高,放热强度不断增大;在某一煤温下,存在一个放热强度急剧上升的拐点。

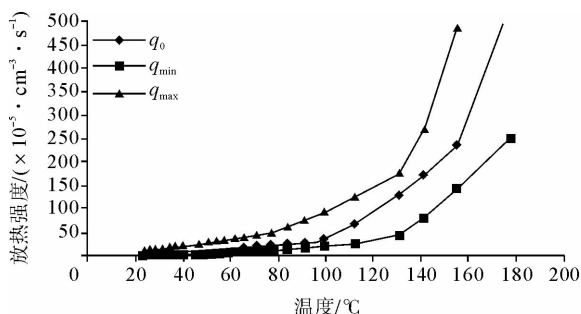


图6 放热强度与煤温关系图

Fig. 6 The relation between the intensity and coal temperature

### 3 结论

1)实验台内煤体高温点动态变化的总趋势是由煤体中上部向下部移动,即向进风侧

移动。氧化初期,距供风表面一定距离的炉体中上部温度变化较快;随着煤氧化时间加长,温度变化较快的点不断向进风侧移动,高温点最终移至供风侧煤体表面,形成明火。

2)东滩煤矿3层煤的导热性很差,当高温点煤温为300 °C时,距其20 cm的回风侧温度仅为100 °C,温差达200 °C,因此,煤层内部温度已到达着火点时,在煤体暴露表面却有可能察觉不到温度异常。

3)通过气体分析可知,气体指标能够反映出东滩3煤的特征温度及煤分子在自然升温过程中的变化情况,因此,可通过具体指标对煤的自燃程度进行预报,并以此为依据对煤自燃机理做进一步的研究。

#### 参考文献:

[1]王刚,程卫民,周刚,等.煤巷近距离高温点位置的红外探测技术[J].煤矿安全,2009(9):36-39.

WANG Gang, CHENG Weimin, ZHOU Gang, et al. Infrared detection technology of high temperature close point in coal roadway[J]. Coal Mine Safety, 2009(9): 36-39.

[2]路长,郑艳敏,余明高,等.吨量煤体的自燃过程实验模拟研究[J].火灾科学,2009,18(4):218-224.

LU Chang, ZHENG Yanmin, YU Minggao, et al. Simulative experiment on spontaneous combustion of tons of coal pile[J]. Fire Safety Science, 2009, 18(4): 218-224.

[3]LAZARA CHARLES P. Bureau of mines spontaneous combustion research[C]//Session Papers American Mining Congress Coal Conversion. Washington: American Mining Congress, 1991: 143-154.

[4]GOUWS M J, GIBBON G J, WADE L, et al. Adiabatic apparatus to establish the spontaneous combustion propensity of coal [J]. Mining Science & Technology, 1991, 13(3): 417-422.