

# 混煤燃烧特性的试验研究及 燃烧特性指数的确定

邱建荣 郭嘉 曾汉才 马毓义

(华中理工大学煤燃烧国家实验室)

〔摘要〕 采用热天平、沉降炉和一维燃烧炉对混煤的燃烧特性进行了测定。根据热重分析试验结果,初步提出了混煤的挥发分释放特性指数 $P$ 及燃尽指数 $C$ 。这两个集合判别指标。运用两指标进行判别与实际的燃烧过程基本吻合。

关键词 混煤 混合比 热重分析 着火特性 燃尽特性

## 0 引言

随着电力工业的迅速发展,火力发电用煤量越来越大,由于运输能力不足及劣质煤储量较多等方面的原因。越来越多的电厂开始燃烧混合煤。而以往主要均是对单一煤的燃烧进行研究,提出的各种判别指数也是以单一煤的试验研究为基础的<sup>〔1〕〔2〕〔3〕</sup>。然而,混煤的性能与单一煤不同,运用这些指数难以准确判别混煤的煤质特性。本文对几种不同的单一煤及其混合煤的燃烧特性进行了试验研究,根据试验结果,确定了混煤的挥发分释放特性指数及燃尽指数,为燃烧混煤的大型电站锅炉的设计及运行提供了科学依据。

## 1 混煤的热重分析特性

### 1.1 试验方法及结果

本试验是在美国 LECO 公司生产的 MAC-500 型工业分析仪上进行的,工作气氛为  $N_2$  或  $O_2$ ,加热速率为  $50\text{ C/min}$ ,试样重量为  $1\text{ g}$  左右,工作温度从室温到  $950\text{ C}$ 。

通过对几种单一煤及其不同比例的混合煤进行热解燃烧试验,得到了不同煤种的 TG 及 DTG 曲线。典型曲线如图 1 所示。

另外,我们将燃烧曲线 TG 上  $800\text{ C}$  所对应的失重率定义为初始燃尽率  $f_1$ ,此时煤中大部分可燃质烧掉,煤样开始失重至开始恒重的时间定义为燃尽时间  $\tau$ , $\tau$  时刻所对应的煤样失重百分数称为该煤样的总燃尽率  $f$ 。而煤样的后期燃尽率则为  $f_2 = f - f_1$ 。表 1 列出了一些代表性煤种的燃尽特性参数。

收稿日期 1992-12-23

本文联系人 邱建荣 女 26 博士研究生 430074

表 1 燃尽特性参数一览表

煤种	晋城	潞安	临汾	晋,潞 3,1	晋,潞 1,1	晋,潞 1,3	晋,临 3,1	晋,临 1,1	晋,临 1,3
$f$ (%)	19	24.8	29	22.8	23.5	24.8	26	26.3	30
$f_1$ (%)	32.06	58.92	63.01	43.53	52.42	55.87	32.5	44.51	51.62
$\tau$ (min)	150	102	93	146	131	120	157	149	128

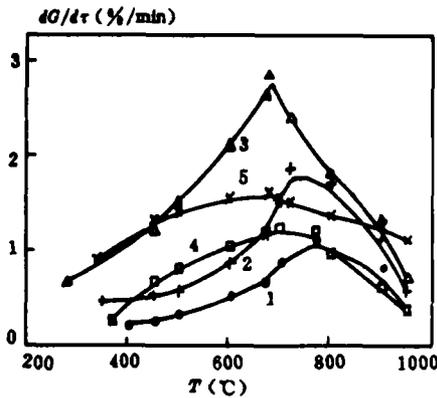


图 1 热解 DTG 曲线

1 晋城无烟煤 2 潞安贫煤 3 临汾  
烟煤 4 晋,潞为 1,1 5 晋,临为 1,1

### 1.2 试验结果分析

#### 1.2.1 挥发分析出特性

由热解 DTG 曲线可以看出,对于单一煤,一般来说,灰分含量相差不多时,随着挥发分含量的增加,挥发分释放较早,初析温度  $T_i$  低,释放最大速率  $(dG/d\tau)_{max}$  较高,其对应的温度  $T_{max}$  较低,释放较为集中,半峰宽较窄。

混煤与单一煤相比,其挥发分初析温度  $T_i$  与混合煤中性能较优的那种煤相近,表明混烧时是性能较优的煤先着火。混煤的挥发分最大释放速率  $(dG/d\tau)_{max}$  及其对应的温度  $T_{max}$  受两种组合煤各自的品质及其相对含量的影响较大,随着较优煤的含量增大,

$(dG/d\tau)_{max}$  相应增大,  $T_{max}$  较低。混煤的半峰宽远远大于两种单一煤,表明混煤的挥发分释放在中温区相当平缓,从而也说明两种煤混烧时其着火并不是同步进行的。

#### 1.2.2 燃尽特性

从图及表中可看出,着火性能好的混合煤,其初始燃尽率较高,表明挥发分的析出和着火加速了煤中碳的燃烧。但是初始燃尽率高的混煤,其后期燃尽率不一定高,而且其燃尽时间有可能较长,对于两种性能差异越大的煤组合而成的混合煤,这种状况越明显。这主要是由于性能差异较大的煤混烧时,较优煤的燃烧引起的抢风使较劣煤处于缺氧状态,从而抑制了较劣煤的后期燃尽。

## 2 混煤燃烧特性指数的确定

### 2.1 挥发分释放特性指数 $P$

由上述试验结果分析可知,影响混煤挥发分析出特性的主要因素有挥发分初析温度  $T_i$ , 挥发分最大释放速率  $(dG/d\tau)_{max}$  及其对应的温度  $T_{max}$ , 挥发分的释放量及挥发分含量等,其中:

(1)  $T_i$  主要反映了混合煤中较优煤的着火品质,  $T_i$  越小,表明较优煤的着火性能越佳;

(2)  $(dG/d\tau)_{max}$  及  $T_{max}$  表征了挥发分释放的猛烈程度及快慢。反映了两种煤总的品质及各自的相对含量。一般来说,  $(dG/d\tau)_{max}$  越大,  $T_{max}$  越小,表示两种煤混烧时总的挥

发分释放性能较优。

(3)  $\Delta G_{T_1-850}$  代表挥发分的释放量,其定义是  $T_1$  到  $850^\circ\text{C}$  之间释放的挥发分量,它反映了两种煤各自的挥发分释放性能及其相互影响程度。 $\Delta G_{T_1-850}$  越大,表明组成混煤的两种煤的性能较优,好煤挥发分的释放促进了较劣煤挥发分的释放。及之亦然。

(4)  $KV$  表征煤的等效挥发分含量,其值越大,煤的挥发分释放特性越佳,通过多次试验发现,单一煤的挥发分品质最好,取  $K = 1$ ;性能相近的煤组成的混合煤次之,如无烟煤混贫煤时,取  $K = 0.9$ ;性能差异较大的煤混合后挥发分品质较差,如无烟煤与烟煤相混时,取  $K = 0.8$ 。

综合上述各参数,我们初步提出了混煤的挥发分释放特性指数  $P$

$$P = KV \cdot (dG/d\tau)_{\max} \cdot \Delta G / (T_s \cdot T_{\max})$$

$P$  越大,表示煤的挥发分释放特性越好,煤的着火性能越佳。

根据此定义计算得到了本文试验煤种的  $P$  值,如表 2 所示。

### 2.2 燃尽指数 $C_b$

由热重分析试验结果可以看到,混煤与单一煤不同,着火性能好时,不一定燃尽性能好,因此,我们有必要分别考虑混煤的着火与燃尽特性,而不能笼统地用现有的某一个特性指标来表征混煤的燃烧性能。

表 2 试验煤种着火燃尽特性一览表

煤种	晋城	潞安	临汾	晋,潞 1,3	晋,潞 1,1	晋,潞 3,1	晋,临 1,3	晋,临 1,1	晋,临 3,1	
工业分析 (%)	$V^l$	8.50	13.71	21.38	12.71	11.8	11.0	18.6	16.0	13.32
	$Q^l$	4.56	1.48	1.80	1.91	2.39	2.88	2.11	2.46	2.81
	$A^l$	20.61	20.31	28.53	22.17	25.63	27.55	28.24	28.48	29.21
	$fc$	66.09	59.37	46.83	63.21	60.18	58.57	51.06	53.06	54.66
$T_s$ ( $^\circ\text{C}$ )	450	395	350	350	355	357	350	354	362	
$(dG/d\tau)_{\max}$	1.0	1.85	2.85	1.54	1.21	1.154	1.92	1.6	1.31	
$T_{\max}$ ( $^\circ\text{C}$ )	775	705	695	675	660	700	680	680	690	
$\Delta G$ (%)	6.16	12.32	21.6	12.32	9.2	9.75	15.4	13.84	10.8	
$P \times 10^{-4}$	0.975	11.77	53.88	9.16	5.06	4.44	18.50	11.90	6.27	
$f_1$ (%)	19	24.8	29	24.8	23.5	22.8	30	26.3	26	
$f_2$ (%)	32.06	58.92	63.01	55.87	52.42	43.53	51.62	44.51	32.50	
$\tau_{(\min)}$	150	102	93	120	131	73	128	149	157	
$C_b$	4.06	14.33	19.65	11.55	9.40	6.80	12.10	7.86	5.38	

由分析可知,影响混煤燃尽的主要特征

参数有初始燃尽率  $f_1$ ,后期燃尽率  $f_2$ ,燃尽时

间  $\tau$ , 其中,  $f_1$  反映了煤中可燃质的相对含量及煤的前期和中期燃烧特性,  $f_1$  越大, 煤的可燃性越佳;  $f_2$  反映了煤中炭的燃尽性能及两种煤的相互影响, 它与煤的含碳量, 碳的质量及掺烧比等因素有关,  $f_2$  越大, 表示混合煤的燃尽性能越佳;  $\tau$  反映了煤中炭的极限燃尽时间,  $\tau$  的大小与含碳量及碳的质量有关,  $\tau$  越大, 表示混煤达到最大燃尽率时所需时间越长, 煤的燃尽性能越差。

综合上述参数, 提出了混煤燃尽指数

$$C_0 = f_1 \cdot f_2 / \tau$$

$C_0$  越大, 表示煤样的燃尽性能越佳。表 2 列出了各试验煤种的  $B$  值

### 3 燃烧特性指数的试验验证

为了验证挥发分释放特性指数  $P$  燃尽特性指数  $C_0$  对实际燃烧过程的适用性。我们进行了沉降炉和一维炉燃烧试验。

图 2、图 3 分别为在沉降炉上测得的着火温度曲线及燃尽率曲线。图 4 为一维炉上测得的火焰曲线, 图 5 为一维炉上测得的最终燃尽率与燃尽指数的关系。

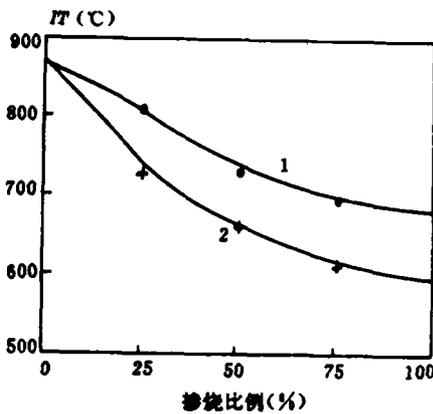


图 2 着火温度与混烧比的关系  
1 晋城无烟煤掺潞安贫煤  
2 晋城无烟煤掺临汾烟煤

从图 2 中可以看出, 混合煤的着火温度由低到高的顺序依次为临汾烟煤; 晋: 临为 1: 3; 晋: 临为 1: 1; 潞安贫煤; 晋: 潞为 1: 3; ..., 着火温度最高的为晋城无烟煤, 而挥发分释放特性指数  $P$  的顺序刚好从高到低。表明  $P$  越大, 着火温度越低, 着火性能越好。对照图 3 与表 2 发现,  $C_0$  越大则燃尽率  $B$  越高, 表明燃尽性能越佳。

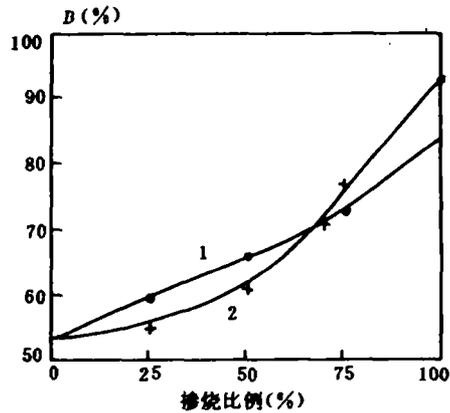


图 3 燃尽率与掺烧比的关系  
1 晋城无烟煤掺潞安贫煤  
2 晋城无烟煤掺临汾烟煤

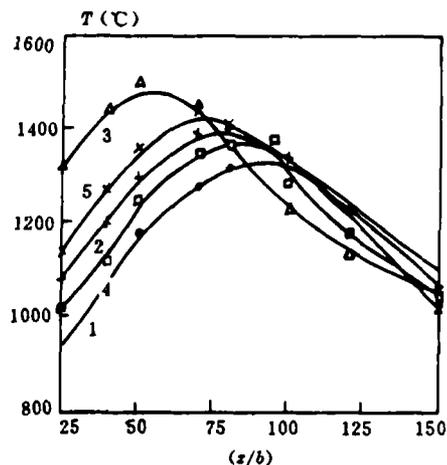


图 4 一维炉火焰温度曲线  
1 晋城— 2 潞安— 3 临汾— · —  
4 晋:潞 1:1 ○ 5 晋:临 1:1 △

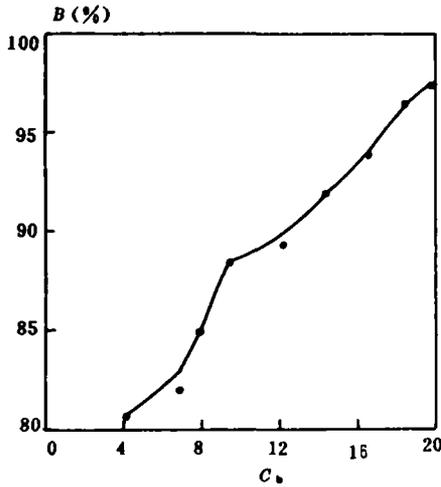


图5 一维炉煤粉燃尽率与 $C_0$ 的关系

从图4、图5可看出, $P$ 越大的煤,最高火焰温度越高,且距喷口较近,高温区域较宽,表明其着火性好; $C_0$ 越大的煤,其燃尽率越高,几乎呈单调增长的趋势,表明其燃尽性能好。

上述试验结果表明,用本文提到的挥发分释放指数 $P$ 及燃尽指数 $C_0$ 来判别实际的着火燃尽过程是可行的。

## 4 结论

1 混煤的着火燃尽特性与单一煤不同,两种煤着火燃烧是交错平行进行的。其挥发分品质较单一煤差,挥发分释放比单一煤缓慢,着火性能受混合比及组分煤种影响较大;燃尽性能低于两种组合煤的平均燃尽性能。

2 根据不同单一煤及其混合煤的热重分析试验结果,综合考虑各因素和影响,提出了混煤的挥发分释放特性指数 $P$ 及燃尽指数 $C_0$ 这两个综合判别指标。沉降炉和一维炉的试验结果表明,运用该指标进行判别与实际燃烧过程基本吻合。

3 确定混煤的燃烧特性指数在国内尚属首次,因而还很不完善,尚需在今后的研究中进一步深入合理化。

## 参 考 文 献

- 1 陈建原,孙学信. 煤的挥发分释放特性指数及燃烧特性指数的确定. 动力工程, 1987. 5
- 2 刘文珍,陈孟丽. 动力用煤热分析特性指标的研究. 热力发电, 1991. 6
- 3 韩洪楹,王涤非,唐林. 用快速热天平研究煤的可燃性指标. 工程热物理学报, 1990. 3

(李乡复 编辑)

### 新设计

## 压气机后掠式叶片

据“Gas Turbine World”1992年9—10月号报道,由美国国防和防卫先进研究规划机构制定的综合性能涡轮发动机技术(IHPTET)包括了美国先进燃气轮机技术中的全部主要项目,该计划对美国今后军用宇航推进系统具有产生巨大变化的影响。

IHPTET的一项重要内容是采用先进的

压气机设计。研究表明,采用三维、计算机设计的后掠叶片压气机,只需要四级就能达到老式的具有17级轴流式压缩级的J79发动机同样的压比—12:1。此外,与直叶片设计比较,后掠式叶片还能使效率增加(3—5)%。(学奥 供稿)

# JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL ENERGY AND POWER

1993 Vol. 8 No. 4

---

- (169) **An Experimental Study of Mixed Coal Combustion Characteristics and Determination of Combustion Characteristic Indexes** ..... Qiu Jianrong, et al (*State key Laboratory of coal combustion Huazhong University of Science and Technology*)

By the use of a thermobalance, sedimentation furnace and a one-dimensional combustion boiler the combustion characteristics of mixed coal were determined. Based on the test results of a thermogravimetric analysis, the authors have tentatively proposed two comprehensive discrimination indexes, i. e. mixed coal volatile matter release characteristic index  $p$  and burn-up index  $C_b$ . The discrimination result obtained through the use of the above-cited two indexes has been found to be in basic agreement with that of an actual combustion process. **Key words:** *mixed coal, mixing ratio, thermogravimetric analysis, ignition characteristics, Burn-up characteristics*

- (174) **Combustion Model for Suspension Section Particles of Fluidized Bed With Fly Ash Circulation**..... Chen Xiaoping, et al (*Harbin Institute of Technology*)

In fluidized bed combustion boilers a suspension section not only serves as a heat transfer section but also plays its role as a combustion one. Relatively rough calculations of such type of combustion are available in past literature. Taking into consideration the specific condition of the above-cited suspension section the authors have set up a mathematical model to conduct numerical calculations. The authors' tests gave shown that the calculation results are in relatively good agreement with experimental ones. **Key words:** *suspension section, combustion of particles, mathematical model, fluidized bed*

- (179) **Experimental Research of a Pulverized-Coal Near-Wall-Jet Burner**..... Ma Xichen, et al (*Harbin Boiler Works*)

A new type of pulverized-coal firing device, the near-wall-jet burner is based on the theory of combustion aerodynamics and the use of combination property of jet flow and the non-contact guide-flow characteristics of a jet flow along a wall, resulting in a special velocity profile. The burner is capable of maintaining a stable flame and relatively free from slagging. The results of an experimental study have shown that it can burn anthracite with low volatile content ( $V^r = 10\%$ ) under cold air conditions and without the use of supporting oil. Efforts are being made to popularize such burners. **Key words:** *pulverized coal burner, experimental research*