

# 典型中国无烟煤燃烧特性研究

杜梅芳 (哈尔滨师范大学)

张忠孝 (哈尔滨电站设备成套设计研究所)

[摘要] 本文介绍了中国无烟煤的基本特性和对其着火、燃尽情况的研究结果,可供设计、运行部门参考。

关键词 无烟煤 着火特性 燃尽特性

分类号 TK16

## 1 引言

中国煤炭资源丰富,煤种繁多、煤质复杂。褐煤、烟煤、贫煤、无烟煤和油页岩都有丰富的贮量,其中无烟煤占贮量的14%,合理、高效地利用无烟煤是十分重要的。利用实验室专项试验设备对典型的中国无烟煤燃烧特性进行了研究。本文给出这些煤种的着火特性和燃尽特性以及在实际大容量锅炉上的运行实绩。

## 2 实验设备

1. 煤质工业分析仪
2. 煤质元素分析仪
3. 煤灰成分分析仪
4. 热分析仪
5. 比表面积测定仪
6. 着火指数测定装置
7. 管式沉降炉

## 3 试验结果和讨论

### 3.1 中国无烟煤的基本特性

中国无烟煤遍及全国27个省、市、自治区,主要在华北地区和西南地区。山西省无烟煤贮量占全国无烟煤贮量的47.5%,贵州占20%,其余分布在其他省区。从成煤年代来看福建无烟煤年代最久远,其挥发份最低,燃烧亦最困难;四川省的松藻、芙蓉无烟煤是最年轻的无烟煤,它们的燃烧特性也最好。表1给出了典型中国无烟煤的基本特性数据。从表1可以看出,我国南部无烟煤(福建、贵州、广州))比晋东南、西南无烟煤偏劣。福建加福无烟煤挥发份只有3.71%,发热量为22425kJ/kg,在无烟煤中偏低;广州典型的曲仁无烟煤不但挥发份低(8.17%),而且灰份高达44.01%,发热量只有17958kJ/kg,是灰份含量最高的无烟煤;晋东南、松藻无烟煤挥发份在10%左右,发热量较高在27500kJ/kg以上,灰份在20%以下,是较好的动力用煤。六种煤中,加福、松藻无烟煤灰熔点偏低。

① 收稿日期 1993-10-11 收修改稿 1993-12-22  
② 本文联系人 张忠孝 男 35 高工 150046 哈尔滨市动力区旭升街1号

表 1 典型中国无烟煤的基本特性

煤种	加福	金竹山	织金	曲仁	晋东南	松藻
省区	福建	湖南	贵州	广州	山西	四川
W %	0.50	0.22	1.02	0.24	0.66	0.64
V %	3.71	10.08	7.24	8.17	10.66	9.49
A %	29.82	20.97	12.97	44.01	17.59	18.61
C %	64.46	70.67	77.42	47.89	74.13	71.95
H %	1.14	2.93	2.76	1.94	3.15	2.94
O %	2.21	3.63	2.88	4.20	2.64	2.54
N %	0.54	1.12	1.14	0.80	1.19	1.21
S %	1.33	0.46	1.81	0.92	0.64	2.11
Q kJ/kg	22 425	27 104	29 816	17 952	28 317	27 612
$t_1$ °C	1 320	71 500	71 450	71 500	71 500	1380
$t_2$ °C	1400					1420
$t_2$ °C	1440					1440

### 3.2 中国无烟煤的着火特性

煤的着火特性对于煤粉锅炉设计和运行极为重要,特别是无烟煤,其着火特性不仅决定煤粉火焰的稳定性,而且还直接影响火焰的传播速度和燃烧的后发展。煤的着火特性通常是用可燃基挥发份来判别,即随着可燃基挥发份的增加,着火变得容易。但是,对于同一类煤,特别是无烟煤,可燃基挥发份相近的煤着火特性往往表现出很大差别。因此,近年来国内外都在积极探索新的评价煤着火特性的方法。到目前为止已经开发了六种测量着火的方法。分别测量煤的热自燃着火温度和强迫点燃着火温度。这里主要介绍用着火指数测定无烟煤气流着火温度。它是一定量的煤粉气流着火的最低炉膛温度(壁温)

即为着火指数。用着火指数高低来评价煤粉气流着火的难易程度。表 2 给出了 8 种无烟煤可燃基挥发份、着火指数和电厂的运行实绩。由表 2 可以看出韶关电厂燃烧的曲仁无烟煤,可燃基挥发份为 15.22%;焦作电厂燃烧的晋东南无烟煤,可燃基挥发份为 11.90%;按照传统的判别方法,曲仁无烟煤比晋东南无烟煤着火容易,稳定性要好,但是两种煤在相同的 HG-670/140-10 型锅炉上燃烧,焦作煤的燃烧稳定性明显优于曲仁煤。焦作无烟煤的最低稳燃电负荷 60%,曲仁无烟煤的最低稳燃电负荷 70%。这一实际结果只有用表 2 中着火指数来解释,晋东南无烟煤着火指数为 850°C,曲仁无烟煤着火指数为 890°C;晋东南无烟煤着火指数比曲

表 2 煤的着火特性和实际锅炉燃烧情况比较

煤种	电厂名称	单机容量 (MW)	煤可燃基挥发份 (%)	着火指数 (°C)	最低稳燃电负荷 (%)	机械未完全燃烧热损失 (%)
曲仁	韶关电厂	200	15.22	890	70	3~5
松藻	重庆电厂	200	13.48	840	90(液态排渣)	4~6
晋东南	焦作电厂	200	11.90	850	60	2.5~3.5
金竹山	金竹山电厂	125	11.10	910	满负荷间断投助燃油	12~15
来阳	来阳电厂	200	10.13	905	满负荷间断投助燃油	
阳城	阳城电厂	300	9.88	940	满负荷间断投助燃油	
龙岩	漳平电厂	100	5.74	960	满负荷间断投助燃油	7~15
加福	永安电厂	100	5.26	980	满负荷带助燃油	8~12

仁无烟煤低 40℃。正好解释了实际运行结果。图 1 给出了可燃基挥发份和着火指数相关图。从图 1 中可见,随着可燃基挥发份的增加着火指数总的趋势下降,但是,在某一段区域着火指数并不表现出明显的规律,因此,评价煤的着火特性需要依靠实验数据和实际运行效果的反馈,最终给出正确的判别结论。

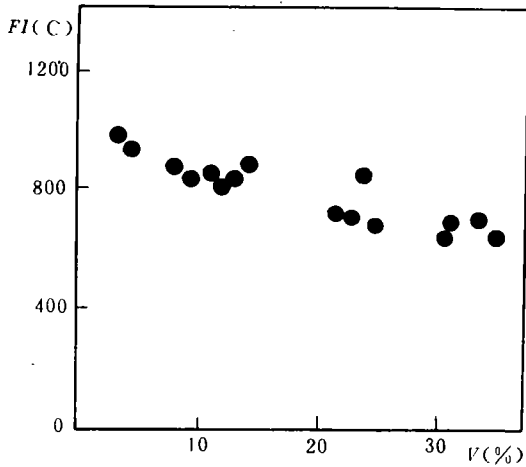


图 1 煤粉气流着火指数与挥发份相关图

### 3.3 中国无烟煤的燃尽特性

煤的燃尽特性直接影响着锅炉运行的经济性,准确地评价无烟煤的燃尽特性是无烟煤锅炉设计的关键之一。先前的许多研究认为:用焦碳反应动力学参数、煤焦比表面积、煤的热分析相对燃尽时间能较准确地预报煤的燃尽性能。煤反应动力学参数是由管式沉降炉在温度范围 1 200 K 到 2 000 K 之间、加热速度 10°K/S 的条件下测量的,热力条件与实际锅炉炉内热力条件接近。表 3 典型中国无烟煤化学动力学参数。

由表 3 可以看出同一类无烟煤其反应特性有很大的差别。这就造成了燃尽性的差别。为了进一步研究无烟煤的燃尽特性,我们又进行了煤焦比表面积测定,所谓煤焦比表面积是在规范条件下,除去煤中的水份和挥发份的残余物。即:焦碳和灰份的混合物。大量的试验结果表明煤焦的比表面积越大越容易燃

尽。图 2 给出了煤焦比表面积和热分析相对燃尽时间的相关图。

表 3 典型中国无烟煤化学动力学参数

序号	煤种	活化能 $E(\text{J/mol})$	频率因子 $A[\text{g}/(\text{cm}^2\text{sMPa})]$
1	加福	85 172	97.51
2	龙岩	55 524	9.38
3	金竹山	61 404	21.91
4	曲仁	52 461	12.04
5	晋东南	77 115	54.58
6	松藻	56 844	14.80
7	阳泉	55 126	12.73
8	来阳	82 035	88.72

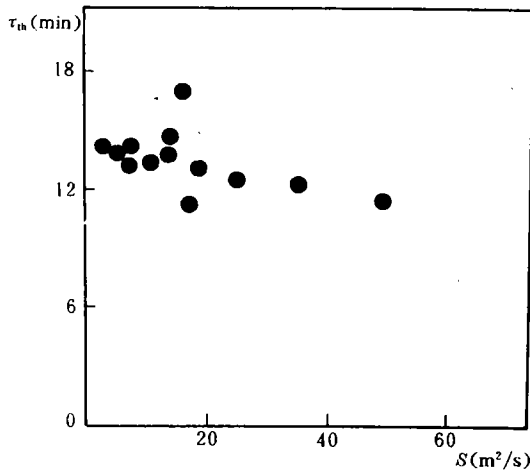


图 2 煤焦比表面积和热分析相对燃尽时间关系

由图 2 可见同一类无烟煤的燃尽特性差别较大。总的趋势是随着煤焦比表面积的增加燃尽时间缩短。个别煤种也表现出跳跃现象。进一步的试验是用热分析仪对各种无烟煤进行热重分析,图 3 是 5 种无烟煤的分析结果。福建加福无烟煤最难燃尽,晋东南无烟煤要比其它无烟煤燃尽特性好。图 4 是各种煤的可燃基挥发份与燃尽性相关图。由图 4 看出低挥发煤难于燃尽,在挥发份 30% 左右的烟煤也有很难燃尽的现象。估计这是由于挥发份释放后,煤焦烧结收缩,比表面积大量减小的结果。为了验证试验结果,我们将试验结果和实际电厂燃烧情况做了对照研究,表 4 给出了这些对照结果。

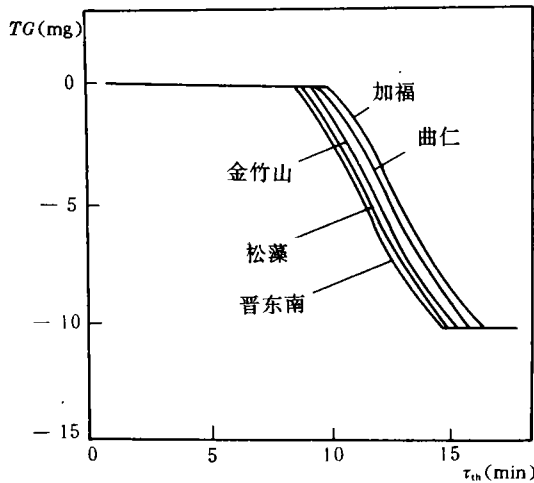


图 3 五种无烟煤的热重分析曲线

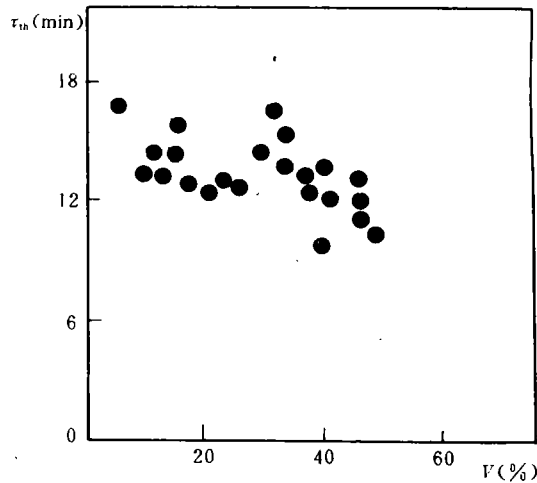


图 4 挥发份和热分析相对燃尽时间关系

表 4 中国无烟煤燃尽特性和实际运行结果对照

序号	煤种	电厂	机组容量(MW)	热分析相对燃尽时间(min)	飞灰含碳量(%)
1	晋东南	焦作电厂	200	15.15	6.89
2	松藻	重庆电厂	200	15.20	20.10
3	金竹山	金竹山电厂	125	15.63	25.15
4	芙蓉	豆坝电厂	200	14.85(液态排渣)	3.34
5	加福	永安电厂	100	17.40(油助燃)	13.27

从表 4 的实际电厂运行结果来看,试验室的试验结果和实际情况吻合较好。这就给我们提供了用试验室试验结果来考虑锅炉炉膛设计的新的依据。

#### 4 结论

1. 中国无烟煤着火特性比较困难。用相同规范条件下煤粉气流着火指数的大小来评价煤粉一次风气流着火情况,以及预报煤的燃烧稳定性可较好地指导锅炉设计。传统的用煤可燃基挥发份判别方法对相近煤种的着火特性判别往往产生错误的结果。

2. 同类无烟煤的煤焦比表面积和反应动力学参数可能有很大的差别,这是导致煤焦

燃尽特性不同的主要原因。建议在燃烧计算中根据具体的实验结果来选用燃烧动力学参数和反应表面积。

3. 热分析相对燃尽时间较好地反应了煤的燃尽特性。可根据其值的大小来考虑煤粉在锅炉中的停留时间。

4. 对于可燃基挥发份在 30% 左右的煤,其燃尽特性表现出反常的较难燃尽特性,主要是挥发份燃烧后的煤焦烧结导致的比表面积大大缩小的缘故,应予充分注意。

#### 参 考 文 献

- 1 何佩敦,赵仲琰,秦裕琨编著. 煤粉燃烧器的设计及运行. 北京:机械工业出版社,1987年12月
- 2 张忠孝. Experiment and study on the characteristics of

coal combustion with heating microscope. Coal combustion, 1987 年 9 月

3 Zhang MingChuan, Gaokelin, Wang Chunchang. on ignition Temperature of coal particles Measurement and prediction, coal combustion, 1987.

4 Essenhihg R H and Csaba J. Ninth Symp. on combustion, 1963: 111-125

5 张忠孝. 煤粉气流着火特性试验研究, 电站系统工程, 1991, (4)

6 张忠孝. Study and Development on Chinese coal combustion characteristics for power plant, Proceeding International Conference on power & Energy, 1990

.....



## CSI 全自动机器故障专家诊断系统及其应用

美国 CSI 工业系统有限公司基于许多机械振动专家几十年来机器故障诊断的经验, 经过对全世界几千用户无数次现场验证和不断扩充知识库, 最近推出了人工智能型全自动机器故障专家诊断系统, 能对旋转机械多达 67 类的机械故障进行诊断, 具有自动化程度高、分析速度快、诊断功能强和扩充性能好等特点。

该专家诊断系统的代号为 Nspectr I, 与 CSI 公司的机器预测维修软件 MasterTrend (MT) 配套使用, 既可用于离线诊断系统, 又可用于在线监控系统, 预测维修软件为专家诊断系统提供分析问题的机器异常报告及预测维修数据库, 两者结合自身的机器结构数据库和知识库, 采用正向推理分析技术, 自动完成特征参数提取, 按分析逻辑思考进行机器故障的综合分析和判断, 并按置信度的大小排列出可能引起机器振动的原因及显示导致结论的诊断规则。系统硬件可采用 IBM、XT、AT 或 PS2 微机或兼容机。

Nspectr I 专家系统在国内几家工厂的旋转机械上进行现场快速故障诊断, 所得的诊断结论和检修验证结果都比较吻合, 其故障诊断的准确性和实用性已得到充分证实, 以下为其应用的几个典型实例。

1. 四川维尼纶厂化工厂一甲醇车间合成气压缩机, 工况一直不稳, 故障不断。用该专家系统对采集到的 6 个轴承 11 个测点数据进行全自动诊断, 只花了 2 分钟时间, 给出了 4 条故障及相应的诊断置信度, 其中转子不平衡为 71%, 轴承松动为 67%, 检修结果确认为氧化物沉积造成转子不平衡和低压缸轴承松动。

2. 长岭炼油化工厂的透平空气压缩机, 曾发生过强振, 轴承损坏。采集的机器数据, 用专家系统和 486 微机分析仅用了 10 秒钟。从给出的诊断结论来看, 对机组运行的历史信号判断是准确的。关于压缩机转子动不平衡(置信度达 83%)的判断亦在装置年度大修中被验证, 发现转子不平衡量达 75 克之多。

3. 天津军粮城发电厂 200MW 汽轮发电#5 机组, 大修后起动过程中发生强烈振动, 最大振动达 100 $\mu$ m。CSI 专家系统诊断出轴承发生内摩擦, 轻微碰摩, 且转子存在动不平衡, 从实际情况来看, 此诊断结论与机组历次发生故障的情况相符, 正确并且比较全面。

(四川化工总厂 汪家铭供稿)

structural parameters as porosity, specific surface area, particle size, etc, which has been compared with that obtained on the basis of the test results supplied by Mr. Smith. **Key words:** *Pulverized coal combustion, pore structure and variation, pore model, coal coking reactivity*

(336) **A Study on the Combustion Characteristics of Typical Chinese Anthracite Coals.** Du Meifang (Harbin Teachers University)

This paper presents the basic characteristics of Chinese anthracite coal and some study results concerning their ignition and burn-out conditions, which can serve reference data and materials for relevant design and operational departments. **Key words:** *anthracite coal, ignition characteristics, burn-out characteristics*

(341) **An Experimental Study on a Barchan Dune Vortex Pulverized Coal Burner**……Wu Jin, Yang Shuichun, Hu Jangen (Zhejiang Electrical Power Engineering Institute)

This paper deals with the experimental study of the air flow field and combustion mechanism of a Barchan Dune (BD) vortex pulverized coal burner. Under the special action of the BD vortex generator there emerged at burner outlet a high-temperature nucleus and high-concentration pulverized coal region, which promotes the ignition and combustion of the pulverized coal, resulting in a speedy ignition of the pulverized coal and significant enhancement of its combustion stability. Practical applications have shown that the BD pulverized coal burner plays a key role in reducing start-up oil consumption during boiler ignition and enhancing the boiler low-load combustion stability, etc. **Key words:** *Pulverized coal combustion, Barchan Dune vortex*

(345) **A Technical Analysis of Crude Oil or Residual Oil-fired Heavy-duty Gas Turbines**……Luo Sid-ing (Electrical Power Company of Shengli Oil Field Management Bureau)

The author discusses and makes an analysis of the following issues: the adaptability of heavy-duty gas turbines to burn such low-grade fuels as crude oil, residual oil, etc, the damage mechanism of harmful elements in low-grade fuels with respect to gas turbines operating on such fuels, and special measures to be taken for crude oil and residual oil-fired gas turbines. **Key words:** *heavy-duty gas turbine, combustion, low-grade fuel*

(351) **A New Starting Point for Heavy-duty Industrial Gas Turbines**……Hou Yuhui, Zhou Shunjun (Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

The present paper development tendency of heavy-duty gas turbine technology with a description of the design features and performance of GT24 and GT26 gas turbines. A special mention should be made of the use of continuous combustion system, which enables the turbines to attain the contradictory aim of high efficiency and low emissions. High power output, good efficiency and low emissions specific to the above-cited two types of turbines have made them to be listed among the ideal candidates destined for simple cycle and combined cycle utility gas turbines. **Key words:** *gas turbine, design, power generating set*

(356) **The Real-time simulation of a Three-shaft Gas Turbine by Using a Parallel Digital Computer**……Zhang Bainian, Weng Shilie (Shanghai Jiaotong University)