

# 泥炭燃烧的研究

张靖波 李学恒 姜秀民 孙 键 秦裕琨 吴少华

(东北电力学院)

(哈尔滨工业大学)

**摘要** 在泥炭的基础燃烧试验和一台 1 t/h 泥炭流化床锅炉的研制与运行实践的基础上,提出了采用流化床燃烧技术燃用泥炭的方法,本文着重介绍了泥炭的燃烧特性,并提出了该型锅炉设计中的几个关键问题。

**关键词** 泥炭 燃烧 流化床 锅炉

**分类号** TK 229. 66

## 0 前言

泥炭属于一种低品位化石燃料,在我国储量较为丰富,列世界第三位。我国的泥炭资源大多分布于三江平原、大兴安岭、两湖平原、西藏东部和甘肃省的南部。这些地区泥炭资源丰富,常规能源资源很贫乏,且运输困难,因此,大规模开发泥炭能源对这些地区的经济发展及人民生活水平的提高意义十分重大。

由于泥炭中水份、灰份均较高,发热值很低,使

泥炭的燃烧较为困难,研究表明,充分利用流化床锅炉燃用劣质燃料的优势,开发燃烧泥炭的流化床锅炉是开发利用泥炭能源的最佳选择。

## 1 泥炭的燃料特性

我国的泥炭大都属于草本和木本泥炭,含碳量较低,水份可高达 70%。经自然干燥后,水分仍达 30%~40%。泥炭的低位发热值约为 7300 kJ/kg,堆积密度为 350~550 kg/m<sup>3</sup>,真实重度约为 830~1800 kg/m<sup>3</sup>。泥炭的元素分析见表 1。

表 1 泥炭的燃料特性

	V <sup>r</sup> (%)	C <sup>r</sup> (%)	H (%)	O <sup>y</sup> (%)	N <sup>y</sup> (%)	S <sup>r</sup> (%)	W <sup>y</sup> (%)	A <sup>y</sup> (%)	Q <sub>hw</sub> (kJ/kg)
吉林榆树城发泥炭	75.09	16.39	1.76	10.44	1.03	0.14	30	40.24	5435.3
靖宇九里半甸子泥炭	72.72	26.39	2.90	15.73	1.22	0.12	30	23.64	9318.5
甘南玛曲曼日玛泥炭	73.65	22.74	2.23	12.74	1.21	0.28	30	20.8	7897.1
甘南夏河美武泥炭	73.76	21.7	2.4	12.93	1.24	0.34	30	31.39	7705.9

## 2 泥炭的燃烧试验研究

燃料的着火与燃烧特性主要指标有:挥发份、发热值、碳与挥发份比值及反应活化能等。一般认为挥

发份是煤的主要特性指标,但单一采用挥发份指标来判断着火与燃烧特性是不够准确的,因为没有考虑到挥发份的释放特性和煤中灰份对它的影响,也没有考虑到挥发份的组分对发热量的影响。为了准确地反映泥炭的着火与燃烧特性,现采用挥发份释

放曲线与燃烧分布曲线表示。燃烧分布曲线包括了燃烧的三个主要过程,即挥发份析出过程、挥发份着火燃烧的三个主要过程,即挥发份析出过程、挥发份着火燃烧过程及固定碳的着火与燃烧过程。因而热解试验还能全面反映燃烧的整个过程。

2.1 泥炭气相热解产物的色谱分析

泥炭的热解试验条件为:加热速度  $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;泥炭样重 250 mg;温度范围为室温至  $700^{\circ}\text{C}$ ;通氧量为  $220\text{ l/h}$  试验结果如图 1所示。由图 1可见,在  $200^{\circ}\text{C}$  以前泥炭析出内在水份和所吸附的气体及  $\text{CO}$  和  $\text{CO}_2$  等;然后开始热解,析出  $\text{CO}$   $\text{CO}_2$  和微量焦油气;  $250\text{--}350^{\circ}\text{C}$  时对大量析出焦油气,主要是  $\text{CH}_4$  与其同系物,此外还有不饱和烃,同时还有大量  $\text{H}_2$   $\text{O}_2$  和  $\text{CO}_2$  析出。

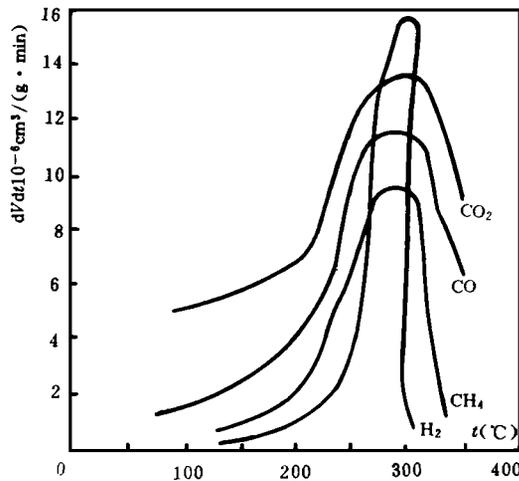


图 1 泥炭热解产物析出速度同温度的关系

通过与其它煤种的比较可得如下结论:

- 2.1.1 泥炭挥发份析出总量低于煤,主要原因是泥炭试样含水份额高;
- 2.1.2  $250^{\circ}\text{C}$  时挥发份几乎全部析出完毕,而一般煤在  $850^{\circ}\text{C}$  时才完成这一过程。因而可以说泥炭着火容易;
- 2.1.3 泥炭挥发份中碳、氢元素比例低,因而其发热量低。

2.2 泥炭的热解试验

将 100 克泥炭试样均匀分布在坩埚底部,加热炉以每分钟  $20^{\circ}\text{C}$  的速度升温,同时记录泥炭试样重量、炉温、试样与炉温的变化,最后在原始记录的曲

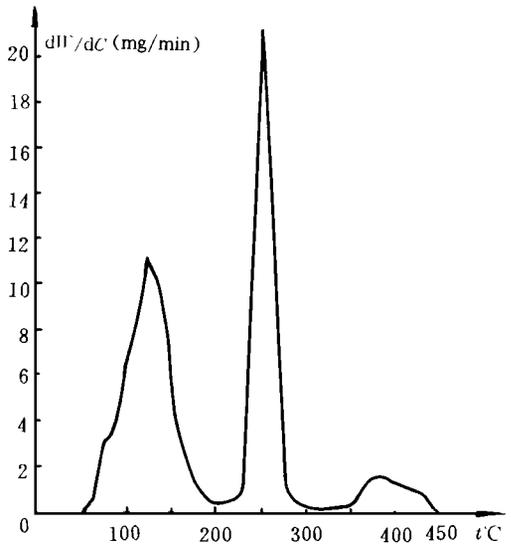


图 2 泥炭的燃烧速度分布曲线

线上,取各段时间间隔适量差与该时间间隔之比值,即各时刻的失重速度。以失重速度为纵坐标,以时间为横坐标绘出泥炭燃烧速度分布曲线。如图 2所示。

泥炭的着火燃烧特点可以归纳为:

- 2.2.1 水份蒸发段 在  $200^{\circ}\text{C}$  之前蒸发出大量水份,蒸发速率最高达  $11\text{ mg}/\text{min}$ ;
- 2.2.2 挥发份析出着火段 炉温达  $200^{\circ}\text{C}$  时,挥发份开始大量析出;  $230^{\circ}\text{C}$  时析出速度加快;  $330^{\circ}\text{C}$  时挥发份析出过程结束;炉温在  $250^{\circ}\text{C}$  时挥发份析出速率达到最大值为  $23\text{ mg}/\text{min}$ ;
- 2.2.3 固定碳着火燃烧段  $350\text{--}450^{\circ}\text{C}$  时,固定碳着火,并燃尽;
- 2.2.4 泥炭水份含量大,因而在燃烧过程中可以看到有明显的吸热蒸发段;
- 2.2.5 开始反应温度低,约  $200^{\circ}\text{C}$ 。而煤一般在  $330\text{--}430^{\circ}\text{C}$  左右开始反应;
- 2.2.6 泥炭具有疏松多孔的结构特性,因而挥发份析出速率很高,是煤的 2~ 5 倍左右;
- 2.2.7 泥炭的燃尽温度较低,约为  $450^{\circ}\text{C}$ 。而一般煤约在  $900^{\circ}\text{C}$  左右时才能燃尽;
- 2.2.8 泥炭燃尽时间短,泥炭试样在每分钟加温  $20^{\circ}\text{C}$  的条件下只需 23 分钟,而其它比较煤种约需要 45 分钟。

2.3 泥炭的反应动力学参数

泥炭和比较煤种的活化能及频率因子示于表 2

中,从表 2 可以看到泥炭的反应动力学参数与扎赉诺尔褐煤最为相近。

表 2 泥炭与比较煤种的反应动力学参数

煤种	活化能 kJ/mol	频率因子 $\text{min}^{-1}$
扎赉诺尔褐煤	26.03	4.75
大同烟煤	32.24	16.45
夏庄	45.21	55.69
泥炭	20.79	1.65

### 3 泥炭流化床锅炉设计中的几个关键问题

我们已成功地设计了一台  $1 \text{ t/h}$  燃用泥炭的流化床锅炉,并于 1994 年 10 月投入运行,该炉安装于甘肃省甘南藏族自治州合作火柴厂,为生产用炉。这也是我国第一台燃用泥炭并投入运行的流化床锅炉。点火投运后,甘肃省节能服务中心对其进行了全面的测试,测试结果表明采用流化床燃烧技术燃烧泥炭是可行的,设计是成功的,各项设计指标均已达到,锅炉的最大出力为  $1.13 \text{ t/h}$ ,锅炉热效率为  $65.7\%$ ,燃用泥炭的低位发热值为  $7560 \text{ kJ/kg}$ 。

该炉运行中存在的主要问题可归纳为:

a. 飞灰含碳量较高,其最大值为  $7\%$ 。我们认为主要是由于流化风速偏高,且炉膛高度不足造成的;

b. 炉温较难控制。实际运行表明炉温对颗粒粒度和水份很敏感。由于无专用合适的破碎设备,泥炭颗粒尺寸变化较大,约  $0\text{--}50 \text{ mm}$ 。颗粒粒度较大时,密相区温度升高;颗粒较细时,悬浮室温度升高较快,最高时炉膛出口温度可达  $1100^\circ\text{C}$ 。如密相区温度急剧下降,则有灭火可能。

c. 由于泥炭本身的吸水性,加之当时气候潮湿,多雨,少阳光,所以泥炭很难自然干燥。运行表明当泥炭水份超过  $50\%$  时,燃烧温度急剧下降,温度很难控制,几乎无法正常燃烧。

针对运行的成功经验和出现的问题,在此给出泥炭流化床锅炉设计中应注意的几个关键问题。

#### 3.1 关于燃烧方式的选择

由于泥炭密度较小,流化风速和床料的选择对燃烧的组织最为关键。如风速过高,泥炭小颗粒必然被立即吹出炉膛,造成较大的扬析损失;如过小,又

不能正常流化。所以燃用泥炭的异比重流化床的床料应尽量选择较轻的颗粒。

如前所述,我国泥炭大多属于草本和木本泥炭,外形如同草根连接的土块,入炉干燥后还原成细小的纤维状颗粒,加之比重较小,所以很难被分离下来。因而燃用泥炭的流化床锅炉不宜采用循环燃烧技术,而应采用鼓泡床(沸腾炉),但应保证颗粒在炉膛内燃尽。

#### 3.2 燃烧的组织

为保证高效燃烧,应从提高密相区燃烧温度和延长泥炭颗粒在燃烧室的停留时间这两方面入手。由于泥炭几乎不结焦,所以燃烧室温度应尽可能地高,以保证泥炭尽快完成水份蒸发过程并着火燃烧。高的燃烧室温度还可增加蓄热量,这对燃烧高水份的泥炭是十分有利的。

在延长停留时间方面,可通过适当增加炉膛高度并在炉膛出口设置燃烬室来实现,实践表明采用东北电力学院的专利技术,即在炉膛出口由水冷壁管形成燃烬室并兼作分离器,是十分有效的,尽管该装置在分离方面没有明显的效果,但由于其中是绝热的,所以作为燃烬室作用是显著的。其中的温度最高时达  $1100^\circ\text{C}$ ,比悬浮室上部高出  $30\text{--}50^\circ\text{C}$ ,这说明它对细颗粒和挥发份的燃尽是有利的。

循环流化床锅炉由于有飞灰回燃系统,所以燃用劣质燃料时没必要像煤粉炉一样增加炉膛的高度,这也是 CFB 锅炉在经济性方面更适于燃用劣质燃料的特点之一。但燃用泥炭时,由于增设飞灰回燃系统没有必要,所以炉膛高度应比常规 CFB 锅炉高一些,这样有利于泥炭的一次燃尽。

#### 3.3 水份的控制

泥炭本来发热值就很低,水份增加时,其发热量会进一步降低,若维持蒸发量不变,则锅炉的燃煤量就需增加,这样送入炉内的水份也会更多,使炉内的燃烧温度下降,可导致灭火。另外水份增加会影响锅炉的出力。对于泥炭这样的劣质燃料,绝大部分蒸发吸热是由尾部对流受热面来完成的。如入炉水份超过设计值时,炉内吸热量降低,而原来布置的对流受热面无法承担所需的传热量,因为对流传热低于炉膛的传热系数。这样锅炉就达不到设计出力。

文献 [3] 中认为影响煤粉炉设计的燃料的主要特性是结焦性,但对 CFB 锅炉来说影响最大的特性是水份的变化。因为入炉水份的变化会改变炉内温

度场和烟气量,从而会改变整个燃烧工况和吸热量的分配。实际运行表明,入炉泥炭的水份应控制在43%以下。

泥炭吸水性较强,本身的物理结构决定了自然凉晒干燥有一定的困难,且不适于大规模利用,所以应发展挤压成型脱水或化学药剂脱水技术。这样即可控制水份又可控制颗粒粒度,有利于燃烧的组织。

国外已开发成功泥炭开采车,脱水、成型一次完成。我国如要大规模开采用泥炭能源,类似这样的技术是必不可少的。

#### 3.4 颗粒粒度

如前所述,泥炭如同草根连接的土块,破碎后即成细粉状,粒度很难控制,流化床锅炉虽可燃用宽筛分燃料,但终究有个限度,加之如果入炉泥炭颗粒的分布不稳定,则炉温难以控制,不利于燃烧的组织 and 运行,也不利于大型化。所以挤压成型技术是大规模燃用泥炭的关键技术。

## 4 结论

### (1)泥炭作为能源大规模开发利用在技术经济

上是可行的。

(2)鼓泡床锅炉可以满足燃烧泥炭的要求。

(3)泥炭流化床锅炉的设计在燃烧的组织 and 受热面的布置上有别于一般的燃煤流化床锅炉,关键在于保证较高的燃烧温度。

(4)大规模开发利用泥炭能源的关键在于脱水成型技术的发展。

### 参 考 文 献

- 1 姜秀民,孙健.吉林甘南泥炭的燃烧特性.第六届中国动力工程学会会议论文集,1992 496~499
- 2 李学恒,张靖波,姜秀民等.低温燃烧炉内双级分离特种用途流化床锅炉的研制.第三届国际煤燃烧会议论文集.北京:科学出版社,1995 433~438

作者简介 张靖波 1963年生 高级工程师,从1990年开始从事煤燃烧技术的研究与锅炉设计工作,现主攻方向为循环流化床锅炉和泥炭燃料的燃烧技术,作为主要参加者现已完成省、部级科研项目二项,完成10余台锅炉的设计工作,并已独立(第一作者)发表论文12篇。现为哈尔滨工业大学在职博士研究生,并于1996年10月赴英国帝国理工大学研修一年,主要从事煤燃烧方面的研究。(132012 吉林市东北电力学院能源工程设计研究院)

## 设备维护

# 转子在原位修补涡轮轮盘

据“Gas Turbine World”1996年11-12月号报道,美国田纳西河流域管理局(TVA)的Allen燃气轮机电站首次在GE Frame 7B燃气轮机上进行了转子在原位修补涡轮轮盘的作业。

总部在宾夕法尼亚州利默里克市的Sermatech公司制定了一种涡轮轮盘现场修补工艺,它不需要拉出转子或拆卸整个机组,只需要拆除上半部涡轮机匣和压气机出口机匣,并拆去全部涡轮动叶。

修补时进行二步涂层,以便修补和保护轮盘的纵树形叶根部分。清洁以后,首先热喷涂上一层涂层,以便增大并在尺寸上修补轮盘非压力侧的燕尾接合面。其次涂上SermeTel 2F-1涂层,以便抑制进一步腐蚀。

这种方法可节省大量时间以及拆卸涡轮和更换轮盘有关的费用。对于典型的Frame型(Frame 5, Frame 7)及西屋公司的W 251和W 501型燃气轮机,可使因修理而停机的时间减少2到4周。

(思娟 供稿)

chanical Industry. **Key words** surge, anti-surge control system

太阳能吸附式空气取水器和太阳能制冷结露法空气取水器的热性能分析比较 = **An Analytical Comparison of Thermodynamic Performance of Solar-energy Adsorption-based Water Collector from Air and Solar Energy Refrigeration Dewfall-based Water collector from Air** [刊, 中] / Chou Qiaoli, Liu Zongyan, et al. (China National University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(4). - 253- 256

A thermodynamic performance is conducted of an adsorption type water collector from air and a refrigeration dewfall based water collector from air with a water collection expression being given. On the basis of the said expression a comparison has been made of the water collection rate of the above-cited two methods. **Key words** water collector from air, adsorption refrigeration, refrigeration dewfall method, water collection rate

泥炭燃烧的研究 = **A Study on Peat Combustion** [刊, 中] / Zhang Jingbo, Li Xueheng et al (Northeast Electrical Engineering Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(4). - 257- 260  
On the basis of peat basic combustion tests and the development and operation practice of a 1 t/h peat-fired fluidized boiler this paper proposes a method of firing peat by utilizing fluidized bed combustion technology. A detailed description is given of the peat combustion characteristics with some key issues in the design of such boilers being pinpointed. **Key words** boiler, fluidized bed, peat, combustion

煤粉粒子的发射率 = **The Emissivity of Pulverized-Coal Particles** [刊, 中] / Liu Linhua, Yu Qizheng, Tan Heping (Harbin Institute of Technology), Xu Wanli (Harbin University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(4). - 261- 266

On the basis of the classical Lorentz-Mie electromagnetic theory for isotropic and homogeneous spherical particles and by utilizing the experimentally measured complex refractive indices of pulverized-coal particles determined are the emissivity of pulverized-coal particles of twenty kinds of Chinese coals for power generation. The results of calculation show that the full wave-length emissivity of pulverized-coal particles is dependent on particle diameter, particle temperature and coal type and within a wide range of particle diameters radically deviates from the assumed value of 0.8 often given in technical literature. It has also been found that within a particle diameter range of 1- 20  $\mu$ m the emissivity of the pulverized-coal particles is often greater than 1.0. The reason why some pulverized-coal particles have an emissivity greater than 1.0 is given with an explanation of its physical meaning. For engineering calculation purposes the curves showing the variation of emissivity with particle diameter and temperature are given for twenty kinds of typical Chinese coals. **Key words** emissivity, particles, coal, electromagnetic theory

一类不可逆卡诺热机最佳效率和功率间的关系 = **Relationship between the Optimum Efficiency and Output Power of a Kind of Irreversible Carnot Heat Engine** [刊, 中] / Lu Ying, Tian Xinquan (Luoyang Teachers College) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(4). - 267- 269

Through the use of an irreversible Carnot heat engine model of Dulong-Petit nonlinear heat transfer rate and heat leakage derived is its basic optimization relation with the issue of the heat engine efficiency during its maximum output power being also discussed. **Key words** finite-time thermodynamics, Carnot engine, thermal resistance, heat leakage, basis optimization relation, optimum efficiency

斜齿圆柱齿轮瞬时啮合刚度及齿廓修形的研究 = **A Study on the Momentary Meshing Rigidity and Tooth Profile Modification of Helical Cylindrical Gears** [刊, 中] / Chand Shan, Xu Zhenzhong, Huo Zhaobo (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(4). - 270- 274

The paper presents a high-efficiency gear calculation model with gear basic effects being taken into ac-