

焦载热部分气化燃煤联合循环系统性能分析*

徐向东 钊 丽

(清华大学热能工程系)

摘要] 文中提出的一种新型燃煤联合循环发电技术,载热部分气化联合循环技术,经近几年的研究及运行实验,得到不断完善。最近,作为这种系统的改进型式——焦载热部分气化联合循环已被提出,其焦载热炉及气化炉部分已在清华电厂投建,并进行冷态调试。本文在载热循环基础上,通过改变煤气成分等参数对焦载热系统进行分析,得出结论认为煤气质量及流率的影响对整个联合循环系统极为关键。

关键词 载热气化 焦载热部分气化 性能分析

分类号 TM 611.3

0 载热气化系统

1992年,清华大学热能系申报了差速循环流化床和飞灰造粒回燃两项专利,与此同时,对载热气化技术进行了深入研究。在此工作基础上,载热部分气化联合循环技术作为一种易于实现的新型燃煤联合循环发电技术被提出来,并于同年申报了专利。该系统简图如图 1所示^[1]。

载热部分气化燃煤联合循环主要有以下特点:(1)煤在固体颗粒载热炉膛中部分气化,其主要热源为循环灰所携带的热量;(2)焦炭剩余物燃烧为加热物料、压缩空气和产生蒸汽提供热量;(3)压缩空气在低速换热区加热。

其关键技术问题有差速内循环流化床燃烧锅炉结构、煤的气化技术、流化床空气埋管加热技术以及煤气净化系统等。

1 焦载热气化系统

载热气化系统存在的若干问题,其中主要有差速床中煤气化室产生的煤气数量少且质量不高。究其原因是由循环流化床出来的热灰作为气化热源,温度偏低,释放的热量少,难以保证产生高质量的煤

气。针对这个问题,对载热气化系统作了如下改进,其系统简图如图 2示。

(1)取消差速床中的煤气化室。

(2)在差速床外设置单独的气化炉,以热焦作为煤的气化热源。

焦载热气化系统主要包括差速循环流化床^[1],焦载热气化炉,燃气轮机及蒸汽轮机等部分。在焦载热气化炉中,发生以水蒸气为气化介质的水煤气反应。气化后的产物是湿煤气,其主要成分为 CO和 H₂O,经过文氏管湿法净化系统,进入燃气轮机燃烧室。气化炉的排烟进入锅炉上部烟道,排渣管与锅炉的传热床相通。锅炉产生的主蒸汽进入蒸汽轮机,发电作功。

经过改进的焦载热气化系统,流化床式气化炉以水蒸气作为气化介质,以热焦作为气化热源,温度可达 900—950℃,大约 45%或更高的煤能量转化成中热值煤气。与原有系统相比,以热焦为热源代替热灰,可使床温提高 50℃,并使煤的气化率提高 5%。

2 系统配置

锅炉本体部分采用鞍山焦耐院设计的 35 t/h差速循环流化床锅炉,蒸汽轮机是由上海汽轮机厂制造的 125 MW 蒸汽轮机。经过对比、分析及论证^[2],

收稿日期 1997-02-03 本文联系人 徐向东 男 1947年生,教授 博导 100084 北京 清华大学热能工程系

* 本文为国家攀登 B项目

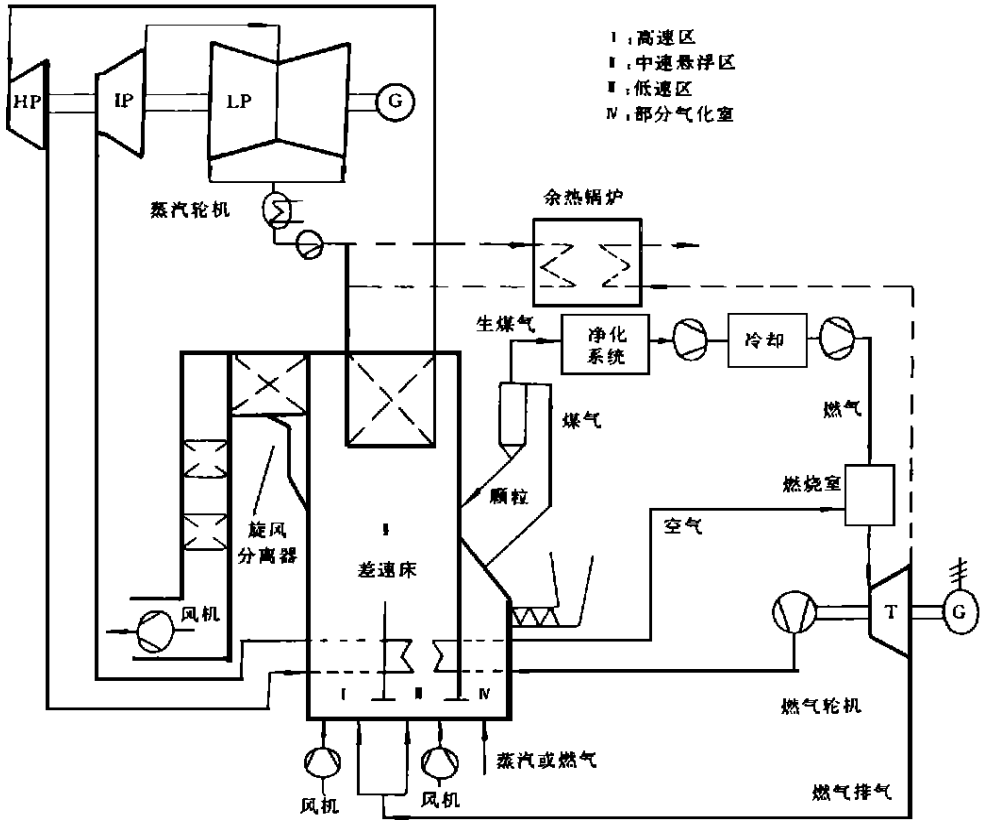


图 1 载热气化联合循环系统简图

在国内现有燃气轮机中,我们选择了由航机改型的

FT-8 燃气轮机,其数据列于表 1 中。

表 1 燃气轮机数据

参数(单位)	数 据
功率输出 (kW)	24 840
压比	20.3
压气机空气流量 (kg/s)	85.4
压气机效率	0.89
透平效率	0.92
燃烧室效率	0.97
燃烧室压力损失 (%)	1.0
透平出口压力损失 (%)	4.7
透平排气温度 (°C)	443.0
T ₃ 温度 (°C)	1 160

3 性能计算及分析

载热部分气化系统存在的若干关键技术问题,其中主要有煤气质量及流率的影响。采用焦载热气化,提高了煤气的产率及质量,从而提高了整个联合循环系统的效率。本文主要针对这一问题进行了详细的研究。

在原有的载热部分气化系统的计算中,通过对八种方案的对比^[3],从技术可行性及系统效率角度分析,优选了一种方案。这次,我们采用三种不同组分的煤气分别计算系统效率。将三种煤气的组分、热值及原主方案各值列于表 2 中作对比,系统效率见表 3。

表 2 三种不同煤气的组分(体积)及热值(干煤气)

	煤气I	煤气II	煤气III	原方案
H ₂ (%)	55	52.5	51.8	48.14
CH ₄ (%)	25	15	10	13.79
CO(%)	6	20.5	27	13.07
N ₂ (%)	10	7.5	7.5	2.833
CO ₂ (%)	2	3.5	3	15.71
C _n H _m (%)	2	1	0.7	6.457
H ₂ O(湿煤气)(%)	30	20	10	—
热值(kJ/kg)	17375	14500	13153	13322

表 3 系统效率

	煤气I	煤气II	煤气III	原方案
系统效率(%)	38.80	38.94	39.31	38.03

从以上计算中可以看出,当采用质量较高的煤气III时,系统效率可以提高 1.28 个百分点,这对整个联合循环系统性能的改进有相当的作用。

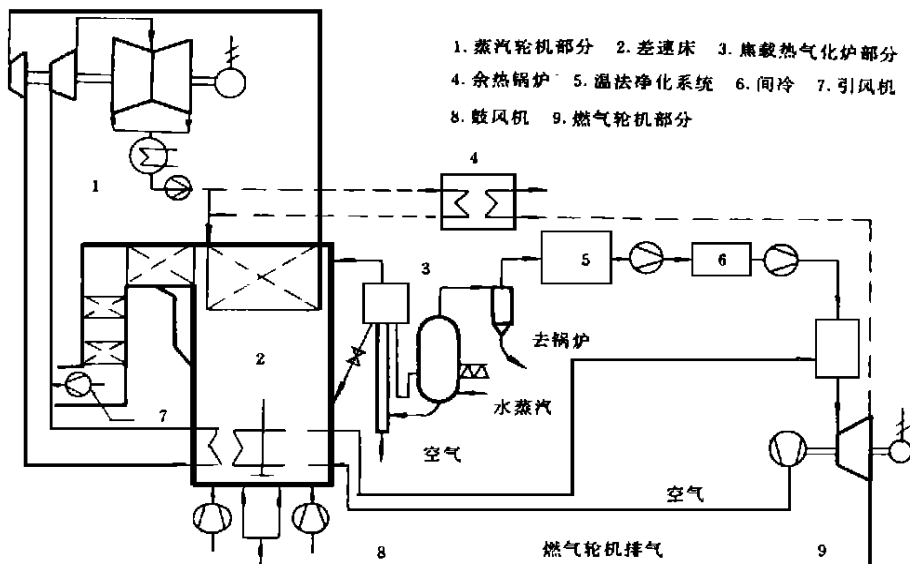


图 2 焦炭热部分气化燃煤联合循环系统简图

我们又以煤气III为例,改变煤气化率及给煤量,计算系统效率的变化,结果见图 3及图 4 由图可知,煤气化率及给煤量与系统效率接近线性关系;由此说明,整个系统对给煤量及煤气化率的变化反应非常敏感。

4 结论

焦炭热部分气化燃煤联合循环系统以载热部分气化联合循环为基础,对原有方案进行了改进。其中主要措施是把以热灰为气化热源的煤气化室变成以热焦为载热体的煤气化炉,提高了气化效率,进而提

高了整个联合循环的效率;综合原有方案中所采用的差速循环流化床,低速区空气埋管加热等技术,焦炭热部分气化燃煤联合循环的应用有着广阔的前景。

参 考 文 献

- 1 Xu Xiangdong, Zhu Weimin, Zhao Li. Analysis of a coal fired combined cycle with carried-heat gasification. Journal of Thermal Science, 1994, 13(4): 217- 224
- 2 钊 丽,徐向东,朱为民. 航空发动机用于地面燃煤差速联合循环的性能研究. 航空动力学报, 1996, 11(3): 253- 256

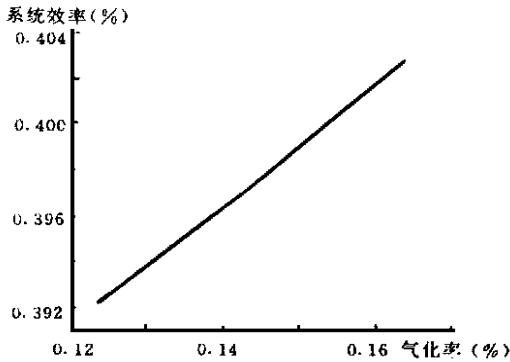


图 3 气化率对系统效率的影响

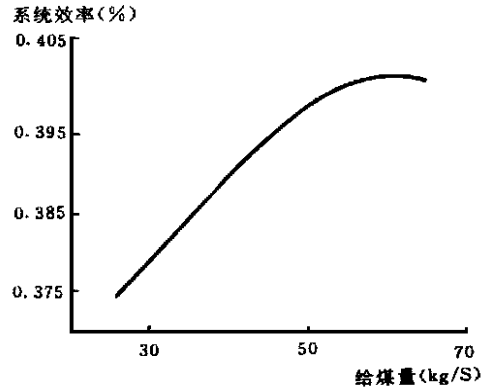


图 4 给煤量对系统效率的影响

3 徐向东, 钊丽, 朱为民. 载热气化燃煤联合循环能研

究, 热能动力工程, 1996, 11(3): 337~342

(上接 334页)

3 燃烧特征点试验结果

在上述试验条件下, 得到表 1 中各煤样燃烧特征点的试验结果, 见图 6~8

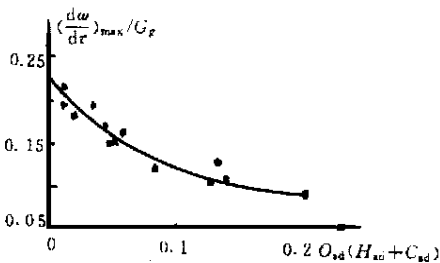


图 8 $(\frac{dw}{dt})_{max} / G_F$ 与 $O_{ad} / (C_{ad} + H_{ad})$ 的关系曲线

在热天平试验条件下, 煤粒的着火倾向于非均相着火, 颗粒比表面积越大, 越有利于着火。显然挥发份越高, 在热解期间形成的孔隙越多, 比表面积越大; 另外, 水份析出温度明显低于着火温度, 水份析出的结果和挥发份析出的结果一样, 均可使颗粒比表面积增加。煤的热值越高, 反应时消耗单位质量的可燃物放热量越大, 有利于提高颗粒表面温度。这些

均有利于煤粒的着火燃烧, 引入着火指数 F_3 :

$$F_3 = (V_{ad} + M_{ad}) \cdot Q_{net, ad} \times 10^{-7}$$

利用 F_3 综合着火温度 T_i , 如图 6, 可见规律性较好。

一般来讲, 煤分子结构中含氧官能团多, 煤容易燃烧, 最大燃烧速率对应的温度 T_{max} 相应减小。图 7 为 T_{max} 与 O_{ad} / C_{ad} 间的关系曲线。

在煤的组成中, 碳、氢成分含量越高, 煤的发热量越高, 相应的燃烧速率增加。图 8 为最大燃烧速率 $(\frac{dw}{dt})_{max} / G_F$ 与 $O_{ad} / (C_{ad} + H_{ad})$ 间的关系曲线。

4 结论

本文采用“零维燃烧模型”, 在升温速率为 $20^\circ\text{C} / \text{min}$ 条件下, 得到了一些典型动力用煤的燃烧特征点变化规律。

参 考 文 献

- 1 韩洪樵等. 用快速加热热天平研究煤的可燃性指标. 工程热物理学报, 1990, 11(3)
- 2 刘文珍等. 煤的热失重分析初探. 热力发电, 1982, (2)
- 3 朱群益. 煤粉热解, 燃烧热天平模型研究, 哈尔滨工业大学博士学位论文, 1996

作者简介: 朱群益 男 1962年生, 副教授, 现工作于哈尔滨工业大学动力系 主要从事热能动力工程领域研究。(150001 哈尔滨工业大学动力系)

船用大功率自动同步离合器试验 = **Experimental Design of High-power Automatic Synchronizing Clutches for Ships** [刊,中] /Wei Junbo (Harbin No. 703 Research Institute) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 351~ 353

On a high-power automatic synchronizing clutch test rig developed by the No. 703 Institute and by the use of a computer-based data acquisition system a series of tests involving the engagement/disengagement of a clutch under no-load conditions were completed, thereby providing test facilities and methods for carrying out an in-depth study of dynamic characteristics of marine high-power automatic synchronizing clutches. **Key words** automatic synchronization, clutch, test rig, test and measurement

焦炭热部分气化燃煤联合循环系统性能分析 = **Performance Analysis of a Coke Carried Heat Partial Gasification Coal-fired Combined Cycle** [刊,中] /Xu Xiangdong, Zhao Li (Tsinghua University) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 354~ 357

Heat carried partial gasification combined cycle pertains to a novel coal-fired combined cycle-based electrical power generation technology developed by the Thermal Energy Department of Tsinghua University. As a result of continuous study over the years and the operating experience accumulated therein the said technology has seen significant improvement. Recently, as an improved version of the system, coke carried heat partial gasification combined cycle has been proposed and the coke carried heat boiler and gasification boiler have already been built at the Tsinghua Power Station with a cold-state commissioning test performed. On the basis of the heat carried cycle and by changing gas components and other parameters an analysis is conducted of the coke carried heat system, which enables the authors to make the conclusion that the gas quality and flow rate play a key role in ensuring the high performance of the combined cycle system as a whole. **Key words** heat carried gasification, coke carried heat partial gasification, performance calculation

舰船锅炉总体方案的经济性和重量尺寸指标分析 = **An Analysis of the Economic Aspect and Weight-dimension Index for a Naval Boiler Comprehensive Scheme** [刊,中] /Chen Qiduo, Liu Changhe, et al (Harbin No. 703 Research Institute) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 358~ 360

Key words naval boiler, economic aspect, weight and dimensions

谐振子系统量子卡诺热泵的最佳特性参数 = **Optimal Performance Parameters of a Harmonic Oscillation Quantum Carnot Heat Pump** [刊,中] /Wu Feng, Sun Fengrui, Chen Lingen (Naval Engineering Academy) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 361~ 364

The optimum performance of a quantum heat pump is studied. Derived is the relationship between the quantum heat pump optimum pump heat rate π_0 and pyrogenicity ψ . Also obtained are the optimum performance parameters with π_m and E serving as objectives. **Key words** harmonic oscillation, quantum heat pump, optimum performance

高炉煤气集输系统计算机仿真 = **Computer Simulation of Blast-furnace Gas Gathering and Transportation System** [刊,中] /Lin Feng, Han Hongjia (Harbin No. 703 Research Institute) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 365~ 368

With respect to the blast-furnace gas gathering and transportation system of an iron and steel works a computer-based mathematical simulation technology is used based on the selection of schemes to forecast the system operating conditions after its commissioning and the specific features of pressure and flow rate employed by various end-users. Through a theoretical justification of the feasibility and reliability of the selected