

IGCC 电站中气化炉控制系统研究

韦思亮, 倪维斗, 刘尚明

(清华大学 热能工程系, 北京 100084)

摘要: 从 IGCC 电站中的气化炉工作特点分析入手, 确定了气化炉控制系统基本结构, 并根据气化炉的动态特性, 对气化炉控制系统进行了设计。仿真结果表明, 气化炉中两个主要环节之间的耦合性较小, 可以利用文中的控制系统来完成气化炉主要的控制任务。

关键词: 整体煤气化联合循环(IGCC); 气化炉; 控制系统

中图分类号: TK472 文献标识码: A

1 引言

在整体煤气化燃气—蒸汽联合循环(Integrated Gasified Combined Cycle, 简称 IGCC)电站中, 负荷的不断变化会导致气化炉工况的不断变化, 如气化炉的温度会产生一定的波动。为了避免这些变化给气化炉正常工作和 IGCC 电站中其它的部件, 如燃气轮机带来危害, 同时保证气化炉在最佳的工作条件下运行, 必须对气化炉进行控制。

本文作者在充分考虑 IGCC 电站负荷控制的基础上, 对 IGCC 电站中气化炉的工作特点进行分析, 提出 IGCC 电站中气化炉控制系统的控制目标, 并以 Shell 气化炉为对象, 根据气化炉温度、煤气热值的动态特性, 对气化炉控制系统进行设计。

2 气化炉控制系统的控制目标

任何控制系统在设计前, 都要对受控对象需要进行控制的参数, 即控制目标进行研究。气化炉控制系统也不例外, 对于气化炉本身来讲, 有两个主要控制目标: 气化炉温度和煤气热值。

2.1 气化炉温度控制

在气化炉中, 煤的气化反应过程十分复杂, 要经

历很多复杂的化学反应^[1], 这些化学反应都有自己特定的化学反应温度。如:



在低于 1 200 °C 的条件下进行, 而反应



则在温度高于 1 300 °C 的条件下进行, 其它的化学反应也都有自己的反应温度。为了保证气化过程的正常进行, 必须将气化炉的温度控制在一定的范围内, 而不同的气化炉都有各自不同的理想工作温度。

另外, 温度是煤气化后得到煤气成分的决定性因素^[2], 而煤气成分则决定了煤气的品质。从以上两点不难看出温度控制对于煤气化过程的重要性。

2.2 煤气热值控制

煤气热值是煤气品质的一个衡量标准, 是由煤气的成分所决定的, 因此煤气热值的控制即煤气成分的控制。当 IGCC 电站的外界负荷需求改变, 或煤的品质有所改变时, 煤气的热值就会产生一定的波动, 而煤气热值的波动会对常规联合循环部分所发出的功率有一定的影响。同时, 由于燃气轮机燃烧室一般是为具有特定热值的煤气所设计的, 因此当煤气的热值发生太大的变化后, 势必会影响到燃气轮机燃烧室的燃烧效率, 从而对整个 IGCC 电站的效率带来损害。

为了保证电站的功率以及电站的效率, 保证常规联合循环部分所使用的煤气品质, 必须对气化后产生的煤气热值进行控制。

3 气化炉控制系统的方案选择

为了更加合理地对气化炉控制系统进行设计, 必须从整个 IGCC 电站的调控角度和气化炉本身的

动态特性两个方面进行研究。

3.1 煤气流量的控制

同其它常规燃煤电站一样, IGCC 电站的输出功率要随着外界功率需求的改变而进行相应的调节, 而 IGCC 电站输出功率的改变则以一定的形式反应在气化炉的负荷上。为了简化起见, 可以将整个 IGCC 电站按照图 1 的方式进行简单的划分。

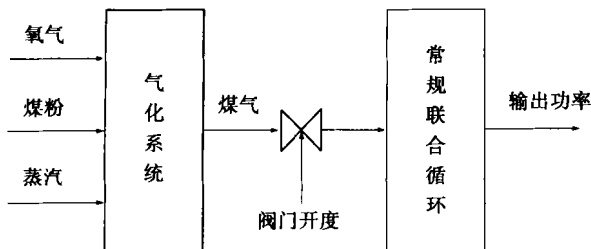


图 1 IGCC 电站的简单划分

从图中可以看到, 煤气是气化系统和常规联合循环部分之间的唯一联系, 也是常规联合循环部分的输出功率, 即 IGCC 电站输出功率的物质和能量来源, 气化炉所产生的煤气流量决定了 IGCC 电站的输出功率。因此当 IGCC 电站的外界负荷需求改变后, 进入常规联合循环部分的煤气流量——气化炉的产气量必须得以调节, 从而使 IGCC 电站的输出功率发生改变, 以满足外界的负荷需求。

由于气化炉产气量的调节过程直接影响着整个 IGCC 电站负荷的调整过程, 因此产气量的调节应该通过 IGCC 电站的负荷控制系统来实现, 而不应该由气化炉控制系统来完成。

3.2 减小气化炉控制系统与 IGCC 负荷控制系统间的耦合

由于气化炉控制系统和电站的负荷控制系统都是通过对气化炉的输入量进行调节达到各自的控制目的。因此, 两个控制系统之间会存在一定的耦合。

在 IGCC 电站中, 所有的控制过程都应该以负荷的调节为根本前提^[3]。因此在进行气化炉控制系统和电站的负荷控制系统的设计时, 必须首先满足负荷控制的需要。在此基础上, 对气化炉的控制系统进行调节, 并且尽量减小气化炉控制系统对负荷控制系统的影响, 实现气化炉温度和煤气热值控制的局部化。

同样, 为了保证气化炉控制系统对温度、煤气热值的控制效果, 同时降低气化炉控制系统的复杂程度, 也应该尽量减小 IGCC 电站的负荷控制系统对

气化炉工况的影响。

3.3 Shell 气化炉的动态特性

作者对 Shell 气化炉进行了机理模型的建立^[4], 得到了 Shell 气化炉主要的动态响应过程, 并对其传递函数进行了整理, 如表 1 所示。由于水蒸气量对煤气的热值影响十分微小, 因此可以忽略。

表 1 Shell 气化炉温度、煤气热值传递函数

动态环节	传递函数
温度—氧气量	$G_{T-O_2} = \frac{25(164s+1)}{(128s+1)(50s+1)}$
温度—煤量	$G_{T-C} = \frac{-19.8(184s+1)}{(108s+1)(60s+1)}$
温度—水蒸气	$G_{T-H_2O} = \frac{-2.8(300s+1)}{(158s+1)(15s+1)}$
热值—氧气量	$G_{HV-O_2} = -\frac{1.8}{10s+1}$
热值—煤量	$G_{HV-C} = \frac{1.75}{10s+1}$

3.4 Shell 气化炉控制系统的确定

考虑到 Shell 气化炉的动态特性, 同时减小气化炉控制系统与 IGCC 电站负荷控制系统之间的耦合, 可以按照表 2 所示的方案对气化炉控制系统和电站负荷控制系统进行确定。

表 2 控制系统输入量与输出量的选择

输入量	输出量	执行的控制系统
氧气量, 煤量, 水蒸气	煤气量	电站负荷控制系统
煤量(O/C)	煤气热值	气化炉控制系统
水蒸气量	气化炉温度	气化炉控制系统

根据前面的论述, 气化炉煤气量的调节工作应由电站负荷控制系统来完成, 同时电站负荷控制系统的工作对气化炉工况的影响应该尽量减小。

为了便于比较, 将 Shell 气化炉温度和煤气热值对氧气量和煤量的阶跃响应过程在图 2 和图 3 中表示出来。从图中可以看出, 氧气量和煤量对气化炉温度和煤气热值的动态影响基本上呈相反的趋势。因此, 当 IGCC 的电站负荷控制系统在对气化炉的负荷进行调整时, 如果保持气化炉输入量之间的配比关系, 则气化炉的温度和煤气热值受到的影响将会很小。

为了保证气化炉的输入量之间保持一定的比例, 电站负荷控制系统需要以某一个输入量作为基准对另外的输入量进行调节。由于水蒸气在气化炉的输入中只占有很小的比例, 因此一般不选用水蒸气量作为测量基准。由于在工程实际中, 氧气量要

比煤量容易测量, 因此可以选用氧气量作为测量基准。

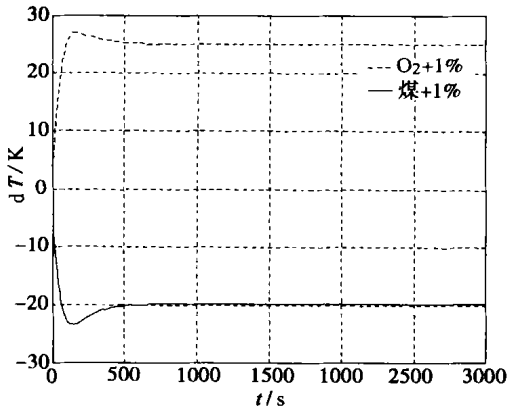


图 2 Shell 气化炉温度动态响应曲线

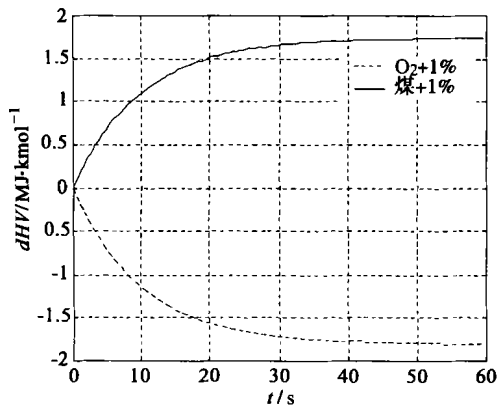


图 3 Shell 煤气热值动态响应曲线

而水蒸气量的改变只对气化炉的温度有明显的影响, 煤气的热值基本上保持不变。同时, 计算结果表明, 煤气量基本上不会受到水蒸气量改变的影响。因此, 采用水蒸气量对气化炉温度进行控制后, 不会对其它两个变量的控制构成影响。

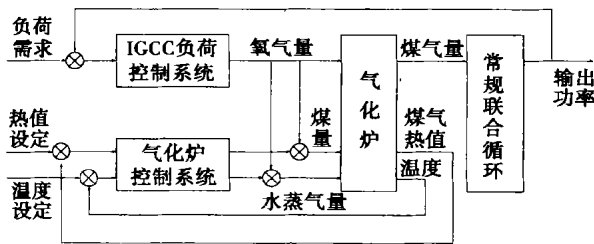


图 4 气化炉控制系统、电站负荷控制系统总体结构示意图

由于电站负荷控制系统采用氧气量作为基准对负荷进行控制, 而水蒸气对煤气的热值并没有明显

的影响, 因此, 能够对煤气热值进行控制的变量只有一个——煤量。

综合上面的分析, 可以这样对气化炉控制系统进行总结: 电站负荷控制系统按照比例关系对气化炉的三个输入量进行调整, 气化炉本身的控制系统则在此基础上, 通过调整水蒸气量对气化炉温度进行微调; 通过改变煤量, 调节煤气热值。图 4 即气化炉控制系统和 IGCC 电站负荷控制系统之间关系示意图。

4 气化炉控制系统的方案选择

本文作者根据 Shell 气化炉的温度、煤气热值对水蒸气量与煤量的动态响应及温度控制器和煤气热值控制器的 PID 参数进行了整定, 结果如表 3 所示。同时对氧气(空气量)阶跃 10% 时, Shell 气化炉温度和煤气热值的闭环响应过程进行了仿真, 如图 5 至图 8 所示。

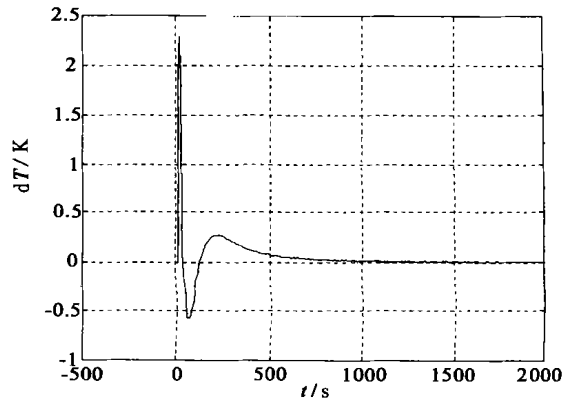


图 5 Shell 气化炉温度的闭环响应

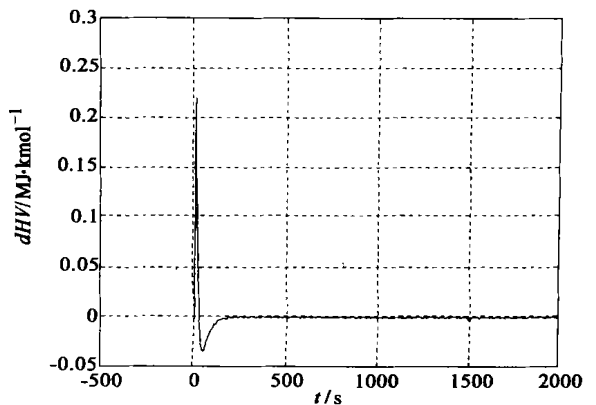


图 6 Shell 气化炉煤气热值的闭环响应

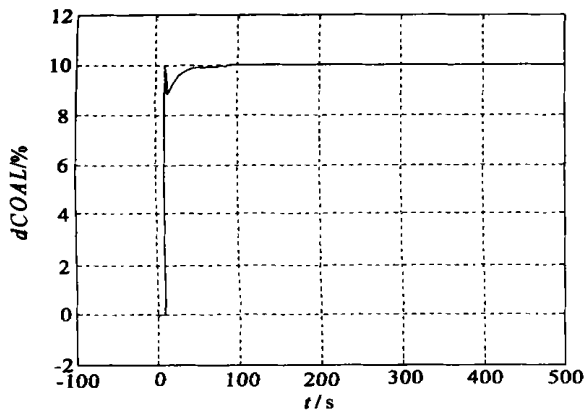


图7 Shell 气化炉煤输入量的闭环响应

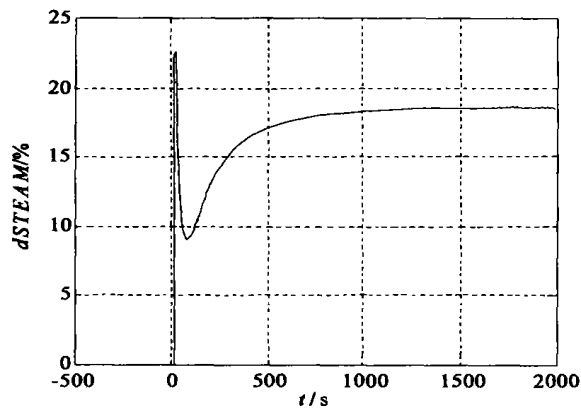


图8 Shell 气化炉水蒸气输入量的闭环响应

表3 Shell 气化炉 PID 控制器参数选择

控制器	K_p	T_i
温度控制器	5	50
热值控制器	5	30

(渠源 编辑)

从以上闭环响应过程可以看出,两种气化炉的控制系统对输入量和输出量进行了很好的控制,实现了温度控制和热值控制的目标。

5 结束语

本文以 Shell 气化炉为研究对象,对 IGCC 电站中气化炉的控制目标进行了分析,根据气化炉的动态特性,在满足 IGCC 电站负荷变化要求的前提下,设计了符合联合循环运行要求的气化炉控制系统,并对气化炉控制系统的工作过程进行了仿真。结果表明:气化炉中温度和煤气热值之间的耦合度不大;同时,利用文中所提出的气化炉控制系统,可以完成对气化炉温度和煤气热值的控制任务。

参考文献:

[1] PIKE A W, DONNEM S, DIXON R. Dynamic modeling and simulation of the air blown gasification cycle prototype integrated plant [A] . **International Conference on Simulation [C]** . IEE, 1998. 354—356.
 [2] 焦树建. 整体煤气化燃气—蒸汽联合循环(IGCC)[M] . 北京: 中国电力出版社, 1996
 [3] 韦思亮, 刘尚明, 倪维斗. IGCC 协调控制系统研究初步 [J] . 燃气轮机技术, 2000, 13(3): 19—22.
 [4] 刘尚明, 王陪勇, 韦思亮, 等. IGCC 气化站动态模型 [J] . 燃气轮机技术, 2001, 14(2): 27—31.

新技术

日本将开发 48%效率 25MW IGCC

据《Gas Turbine World》2001年7~8月号报道,日本几个电力公司已与准政府机构——电力发展公司联合,形成一个公司来设计、建造并运行一个 250MW IGCC(整体煤气化联合循环)电站。

新公司—Clean Coal Power R&D(清洁煤电力研究所)将投资 1 亿日元。当前的预定计划要求对所提议装置进行可行性研究和环境评定,以便在 2003 财政年度内得到批准。

该项目时间表要求装置在 2007 年 3 月安装并运行,接下来是三年使用评定试验期。项目的总费用估计为 980 亿日元。

在它开始运行时,预期该装置每天约气化 1 600 t 煤,并以 46%~48%的煤对电效率生产电力。

在清洁煤电力研究开发中,东京电力公司持有最大股份,占 32.3%;关西电力公司持有 16.75%股份,中部电力公司持有 14.25%股份。

(思娟 供稿)

煤燃烧过程中汞释放的研究现状 = **Recent Advances in the Study of Mercury Release in a Coal Combustion Process** [刊, 汉] / WANG Quan-hai, QIU Jian-rong, WU Hao (National Key Laboratory of Coal Combustion under the Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 547 ~ 550

The average content of mercury in Chinese coals is higher than that found in coals of the United States and other countries, resulting in a relatively serious mercury-related pollution. The authors have summed up some study results concerning such pollution, focusing on the following aspects: distribution features of mercury found in coal, migration/transformation and emission characteristics as well as their control. **Key words:** mercury, coal, distribution law, migration/transformation, emission of pollutants

IGCC 电站中气化炉控制系统研究 = **A Study of the Control System of a Gasifier in a IGCC Power Plant** [刊, 汉] / NI Wei-dou WEI Si-liang, LIU Shang-ming (Department of Thermal Energy Engineering, Tsinghua University, Beijing, China Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 551 ~ 554

By way of analyzing the operating characteristics of a gasifier in an integrated gasification combined cycle (IGCC) power plant the basic configuration of a control system of the gasifier has been determined. On the basis of the gasifier dynamic characteristics a control system was designed. The results of its simulation indicate that the coupling factor between the two major links of the gasifier, namely, its temperature and syngas heating value, is relatively low. By using the control system designed by the authors it is possible to fulfill the main control aim of the gasifier. **Key words:** integrated gasification combined cycle (IGCC), gasifier, control system

部分煤气化结合流化床燃烧技术的联合循环(PGFBC-CC)发电系统参数分析 = **Parametric Analysis of a Partial Gasification and Fluidized Bed Combustion-based Combined Cycle (PGFBC - CC) Power Generating System** [刊, 汉] / YU Yan-fang, LIN Zhong-da, CAI Ning-sheng (Power Engineering Department, Southeastern University, Nanjing, China. Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 555 ~ 558

A relatively comprehensive parametric analysis was performed with respect to a typical partial gasification and fluidized bed combustion-based combined cycle (PGFBC-CC) power generating system and the main parameters influencing the system performance were identified. Furthermore, some beneficial measures and proposals have been put forward with a view to enhancing the performance of this type of power generating systems. **Key words:** partial gasification and fluidized bed combustion-based combined cycle system, power generating system, parametric analysis

超声波检测汽轮机中水蒸气湿度方法的探讨 = **Exploratory Study of an Ultrasonic Method for Detecting Steam Wetness in a Steam Turbine** [刊, 汉] / LI Kai, SHANG De-min (Department of Thermal Energy and Power Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 559 ~ 560, 564

The use of an ultrasonic method for detecting the two-phase flow wetness of wet steam is theoretically explored with an accurate analytical expression being obtained. The determination of sonic speed in a two-phase flow by the use of a pulse time-difference method features simplicity, rapidity and precision. The composition and operating principles of a wetness-detection ultrasonic device are predicted from an theoretical perspective. **Key words:** ultrasonic method, water steam, wetness, sonic speed, detection

热力学分析与经济理论结合的新探讨——从热力学定律中揭示其内含的经济理论 = **A New Exploratory Study on the Combination of Thermodynamic Analysis with Economic Theory - an Economic Theory Aimed at**