

F-T 燃料/电联产系统集成特性分析

岳 晨, 史翊翔, 蔡宁生

(清华大学 热能工程系, 热科学与动力工程教育部重点实验室, 北京 100084)

摘 要:建立了煤气化炉、F-T 合成反应器和发电单元的模型, 对基于煤气化的单纯 IGCC 发电系统、F-T 燃料合成系统及 F-T 燃料/电联产系统进行了热力性能计算, 并对 F-T 燃料/电联产系统的集成特性进行分析。分析结果表明, F-T 燃料/电联产系统方案可通过降低余热锅炉内平均换热温差改善热能的梯级利用, 提高联产系统的能量利用率; 简化了尾气循环工艺流程的 F-T 合成单元, 易于气化单元和发电单元的压力匹配, 且可有效拓宽化电比的调节范围, 最高达到 2.3。

关 键 词:煤气化; 燃料/电联产系统; F-T 合成; 发电单元; 集成特性

中图分类号: TK16

文献标识码: A

引 言

基于煤气化的联产系统以其综合能量利用率高、污染排放低等优势已成为当今洁净煤技术领域的一个重要研究方向^[1~3]。近年来, 国内外研究者已对基于煤气化的甲醇(CH_3OH)、二甲醚(DME)、费托(简称 F-T)燃料和氨等化工品生产系统以及以上过程与发电系统耦合集成的联产系统进行了大量理论分析^[4~10], 证实采用联产系统方案能够改善单产系统方案的能量利用率、减少污染排放并降低产品成本, 但已有研究多侧重于单产与联产系统性能的比较。而从系统整体热力性能、部件单元匹配和化电比调节灵活性等方面对联产系统集成特性的研究, 对其实际应用推广仍有指导价值。

本文以基于煤气化的 F-T 燃料/电联产系统为研究对象, 从系统整体热力性能、部件单元压力匹配和化电比调节灵活性等方面研究了联产系统的集成特性。

1 主要部件单元建模

基于煤气化的 F-T 燃料/电联产系统主要由

煤气化及净化、F-T 合成和发电 3 个部件单元组成。

1.1 煤气化炉建模

气流床煤气化炉以规模大、碳转化率高等优势已成为当前最有发展前景的煤气化技术之一^[11]。本文采用 Gibbs 自由能最小的热力学方法对气流床煤气化炉建模, 建模方法参见文献[12]。

1.2 F-T 合成反应器建模及验证

1.2.1 模型描述

浆态床 F-T 合成反应器以结构简单、处理气量大等优势成为了目前主流的 F-T 合成反应器形式^[13~15]。图 1 为浆态床 F-T 合成反应器, 通过在反应器中加入液态石蜡, 将催化剂粉末悬浮分散在石蜡中, 合成气从反应器底部以气泡的形式进入, 在催化剂表面发生反应。F-T 合成属于强放热反应, 采用浆态反应器易于维持反应器温度恒定, 保持催化剂活性并保证合成转化率。F-T 合成产物包括轻烃、柴油馏分和重油等。

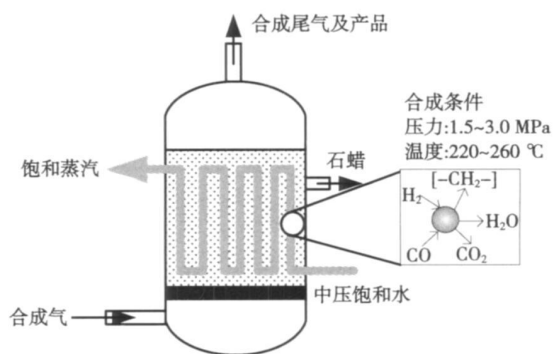


图 1 浆态床 F-T 合成反应器

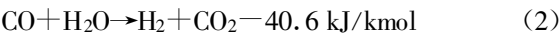
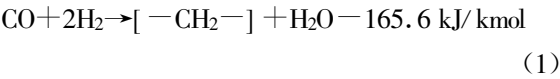
针对系统水平模拟需求, 利用 F-T 集总反应动力学和 Anderson-Schulz-Flory (ASF) 产物分布方法对浆态床 F-T 合成反应器建模^[13]。用 $[-\text{CH}_2-$

收稿日期: 2008-08-18; 修订日期: 2008-12-15

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)基金资助项目(2006AA05A108)。

作者简介: 岳 晨(1979-)女, 陕西泾阳人, 清华大学博士研究生。

一] 表示 F-T 合成反应生成的各类烃, F-T 合成反应器内主要发生的两类反应可以表示为^[13]:



反应器模型的基本假设如下:

(1) 催化剂颗粒均匀分布在浆液中, 反应器内浆液密度均匀;

(2) 浆态床 F-T 合成反应器内压力、温度恒定;

(3) 浆态床 F-T 合成反应器内液相为全混流, 气相为均匀活塞流。

沿反应器高度方向的主要物质平衡关联式为:^[4]

$$\frac{dN_i}{dz} = A(1 - \epsilon_G)Dr_i(1 - FDAC)$$

(3)

式中: $i = [-\text{CH}_2-]$, CO_2 ; N —物质的摩尔流量, kmol/s ; Z —反应器高度, m ; A —反应器横截面积, m^2 ; ϵ_G —含气率, D —催化剂装填量, kg/m^3 ; $FDAC$ —催化剂活性因子, 其定义为催化剂失活后的平均反应速率与新鲜催化剂上的平均反应速率之比。反应速率 $r_{[-\text{CH}_2-]}$ 、 r_{CO_2} ($\text{kmol}/(\text{kg} \cdot \text{s})$) 采用催化剂 LP33/81 的宏观反应动力学模型计算 (操作温度为 523 K)^[13~14]:

$$r_{[-\text{CH}_2-]} = \frac{0.0339P_{\text{H}_2}^{1/2}P_{\text{CO}}}{(1 + 1.185P_{\text{CO}} + 0.656P_{\text{CO}_2})^2}$$

(4)

$$r_{\text{CO}_2} = \frac{0.0292(P_{\text{CO}}P_{\text{H}_2\text{O}} - P_{\text{CO}_2}P_{\text{H}_2}/86)}{(P_{\text{CO}} + 3.07P_{\text{H}_2\text{O}})^2}$$

(5)

式中: P_{CO} 、 P_{H_2} 和 P_{CO_2} —CO、H₂ 和 CO₂ 的分压力, MPa。

利用 ASF 分布模型对 F-T 合成产品烃摩尔含量的计算关系式为^[13]:

$$\frac{w_n}{n} = (1 - \alpha)^2 \alpha^{n-1}$$

(6)

$$\alpha = 0.75 - 0.373 \sqrt{-\log(S_{c5+})} + 0.25S_{c5+}$$

(7)

$$S_{c5+} = 1.696 - 0.00241T - 0.0876 \frac{[\text{H}_2]}{[\text{CO}]} + 0.0181([\text{H}_2] + [\text{CO}]) + 0.00781P_{\text{total}}$$

(8)

式中: w_n —含碳原子数为 n 的烃的摩尔分数; $[\text{H}_2]$ 、 $[\text{CO}]$ —H₂、CO 的摩尔浓度; P_{total} —反应器操作压力, MPa; S_{c5+} —产品烃 c5+ 所占的质量分数。模型对 C₁~C₄ 的计算误差较大, 重新为 C₁~C₄ 分配的摩尔比例为: 76%、16%、4%和 4%^[13]。

1.2.2 模型验证

表 1 为本文验证用 F-T 合成反应器的结构和基本工况操作参数^[14]。

表 1 F-T 合成反应器结构和基本工况操作参数

数值		数值	
反应器高度/m	30	操作温度/K	523
反应器直径/m	8	操作压力/MPa	3
浆液高度/m	24	表观气速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	0.15~0.40
催化剂密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1 975	原料气中 CO ₂ 含量/%	5
浆液中催化剂的质量含量/ $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.2~0.4	原料气中惰性气含量/%	5
液相石蜡的密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	657	原料气 H ₂ /CO 比	0.67

图 2 中曲线所示为文献^[14] 和本模型计算得到的 $X_{\text{CO}+\text{H}_2}$ 转化率与表观气速关系的结果对比, 模型计算结果是基于催化剂活性因子 $FDAC$ 为 1, 利用 C₁₅H₃₀ 来替代 $[-\text{CH}_2-]$ 得到的, 模型预测最大误差为 8.3%。

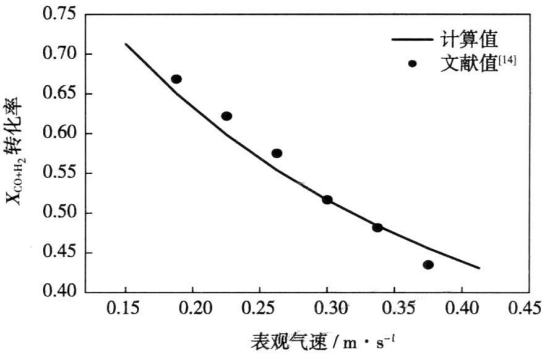


图 2 $X_{\text{CO}+\text{H}_2}$ 转化率与表观气速关系

1.3 发电和其它部件单元建模

发电单元的主要设备包括燃气轮机、余热锅炉 (HRSG) 和蒸汽轮机。本文利用等熵效率模型对燃气轮机和蒸汽轮机建模, 利用 ϵ -NTU 法对余热锅炉换热过程建模^[6]。除煤气化、F-T 合成和发电单元外, 基于模块化建模思想采用平衡级原理对空气精馏分离塔进行建模; 采用相平衡吸收原理对 SELEXOL 脱硫、脱碳工艺流程建模^[7]。

2 系统方案

为了研究多联产系统的性能, 先分析与联产系统相关的分产系统。

图 3 为分产系统 1, 即基于煤气化的单纯发电的 ICCG 系统工艺流程。除煤气化和发电单元等系

统关键部件外,系统还包括空气分离和粗煤气净化(包括酸气提浓、硫回收和尾气处理)等大量辅助单元。由于现有 IGCC 系统存在整体工艺流程复杂、能量利用率低、气化炉等部件成本高等问题^[1],目前世界范围内以煤为原料的单纯发电的商业 IGCC 系统供电效率最高尚未超过 45%(低位热值),而且发电成本高^[17]。

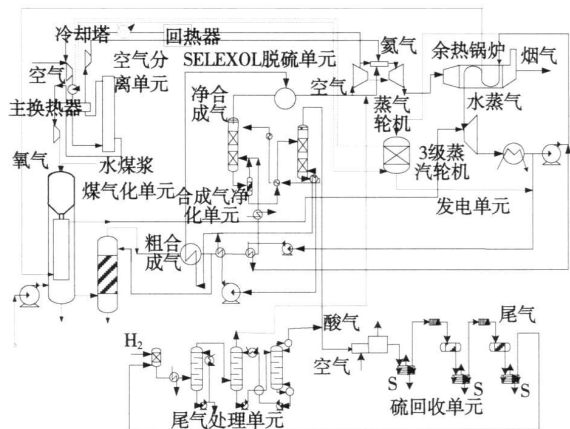


图 3 基于煤气化的单纯发电的 IGCC 系统工艺流程

图 4 为分产系统 2,即基于煤气化的 F-T 燃料合成系统的工艺流程^[13]。整个系统主要包括煤气化、F-T 合成、发电三大部件单元及一些辅助单元(空气分离、合成气净化、硫回收和尾气处理单元等)。由于一次通过转化率低, F-T 合成单元出口尾气①需要再循环进入 F-T 合成反应器;少量的弛放气②被送入发电单元发电(发电量主要用于满足系统内部功耗,少量剩余电量送电网)。

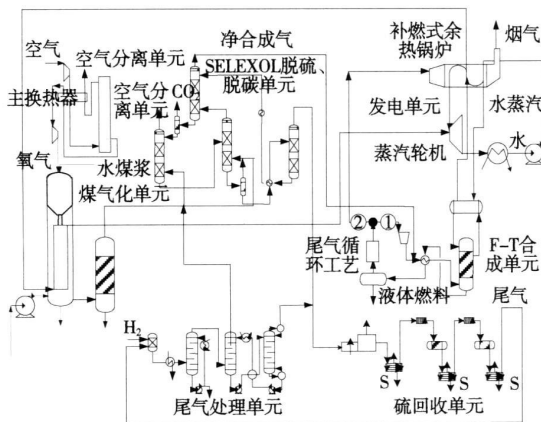


图 4 基于煤气化的 F-T 燃料合成系统工艺流程

图 5 为 F-T 燃料合成系统中 F-T 合成单元的工艺流程。可以看到, F-T 合成单元的工艺流程比较复杂,除 F-T 合成反应器外,还包括流程复杂的合成尾气循环工艺(CO_2 分离单元、轻烃回收和甲烷重整单元等)^[8]。现有的尾气循环工艺不仅导致 F-T 合成单元自身工艺流程复杂,而且可能会引起系统的能耗和经济成本的增加。此外,由于 F-T 燃料合成系统副产大量高、中压饱和蒸汽的操作参数很低,在实际中利用率低,对水资源和热能的浪费也较为严重^[13]。

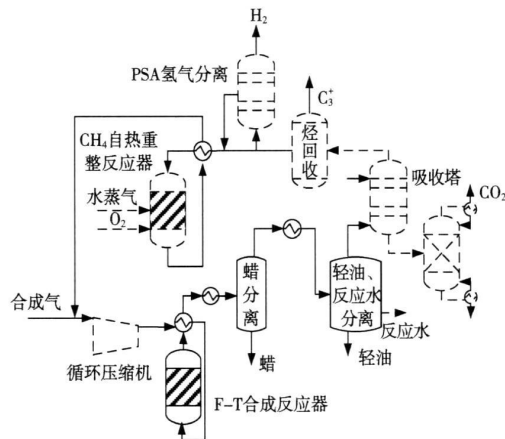


图 5 F-T 合成单元工艺流程

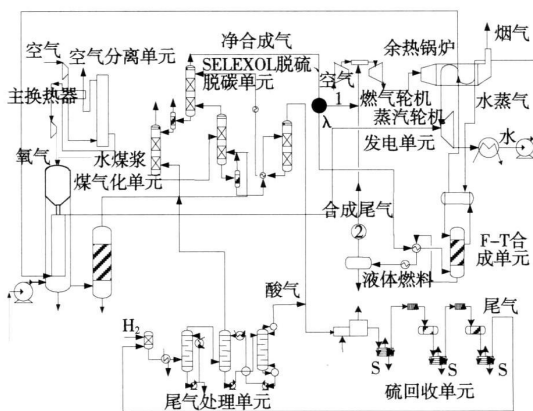


图 6 基于煤气化的 F-T 燃料/电联产系统工艺流程

改变单纯追求液体燃料产率最大化,以 F-T 燃料、电的综合能量利用率较高,污染排放较少和经济成本较低,即以联产的概念重新构建系统方案。通过断开图 4 中 F-T 合成单元的尾气回路①,去掉图 5 中 F-T 合成单元虚线框所示的 CO_2 分离、低碳烃分离和甲烷重整等部件,即采用一次通过方案简

化已有 F—T 合成单元的工艺流程。此外, 为增加 F—T 燃料产量与发电量的调节灵活性, 利用燃料分流比 λ (去化工单元合成气的摩尔流量与去发电单元合成气的摩尔流量之比) 调节去合成单元与发电单元的合成气量。

图 6 为联产系统 3, 即基于煤气化的 F—T 燃料/电联产系统工艺流程, 联产系统通过减少 F—T 合成单元尾气循环工艺的能耗, 可以增加发电单元的发电量, 从而可能改善能量梯级利用, 提高系统能量利用率。

3 各方案性能计算与比较分析

3.1 计算基础

为分析联产系统方案的节能效果, 对上述基于煤气化的单产和联产系统方案热力性能进行比较, 联产方案(系统 3)输出产品与单产方案(系统 1+系统 2)相同, 而且均采用水煤浆气流床气化炉。计算煤种为我国山东北宿煤, 其元素分析和工业分析如表 2 所示^[18]。表 3 为两方案主要部件单元的基本工况操作参数, 选取的部件单元操作参数主要来源于现有商业技术设备的实际运行数据^[4, 10, 17, 19~29], 环境温度为 298 K, 压力为 0.1 MPa。

表 2 计算煤种的元素分析和工业分析					
元素分析/ %	C _d	H _d	O _d	N _d	S _d
	77	5.2	4.9	1.3	3.0
工业分析/ %	M	A _d	FC _d	V _d	—
	8.0	8.6	49.2	42.2	—

单产和联产系统方案的空气分离、合成气净化、余热锅炉工艺流程和工况操作参数的选取因使用情况而异。系统 1 的空气分离单元采用部分整体高压流程, 整体化程度为 0.16^[17]; 系统 2、3 的空分单元采用独立低压空分流程^[26]。系统 1 的合成气净化单元采用常温 SELEXOL 脱硫工艺, 出口净合成气中 H₂S 体积分数为 10 mL/m³^[23]; 系统 2、3 采用低温 SELEXOL 脱硫、脱碳工艺, 出口净合成气中 H₂S 体积分数为 0.1 mL/m³^[23]。系统 1、3 发电单元的燃气轮机模型采用 F 级燃气轮机。单产与联产系统方案余热锅炉内最小节点温差为 10 K, 排烟温度为 410 K, 其中系统 1 的中压蒸汽压力为 2.6 MPa^[24], 系统 2、3 余热锅炉中压蒸汽的压力与 F—T 合成反应器副产蒸汽的压力相同, 其中系统 2 选取补燃式余热锅炉(计算系统的合成尾气量较少, 因此仅采用蒸汽

轮机发电)。

表 3 主要部件基本工况操作参数	
主要单元设备	操作参数
低温空气分离	出口氧浓度为 95%, 氧气压压缩机出口压力 4.8 MPa
气流床水煤浆气化炉	压力 4 MPa, 温度 1 595 K
合成气净化	SELEXOL 合成气净化工艺
硫回收	Claus+SCOT 工艺技术, 硫回收率为 98%
燃气轮机	压气机压比为 16.1, 透平进出口温度为 1 561 K/973 K
余热锅炉+蒸汽轮机	三压再热循环 12.8 MPa/810 K/810 K, 蒸汽轮机背压 0.015 MPa
F—T 合成反应器	直径 3.5 m, 高 22 m, 操作压力 2.5 MPa, 温度 523 K

3.2 计算结果及分析

由于联产系统中电与化工品化学能的品位不同, 如果将其等同看待, 会得到对 F—T 燃料合成方案较有利的片面结论。为避免这种结论的出现, 利用相对节能率作为评价联产系统热力性能的指标。相对节能率 η_s 表示在与参照单产系统输出相同的情况下, 联产系统节约的输入能与参照单产系统的输入能之比。相对节能率 η_s 的计算式为:

$$\eta_s = \frac{F_p + F_c - F}{F_p + F_c} \tag{9}$$

式中: F_p —单纯发电的 IGCC 方案输入煤的低位总热值; F_c —F—T 燃料合成系统输入煤的低位总热值; F —联产系统输入煤的低位总热值。

表 4 联产与单产系统方案整体热力性能计算结果比较

性能指标	联产方案		单产方案	合计
	F—T 燃料/电联产系统	F—T 燃料/合成系统	IGCC 系统	
输入煤(LHV)/MW	3 349	1 675	1 980	3 655
液体燃料产量(LHV)/MW	722	722	—	722
燃气轮机发电/MW	563	—	585	585
蒸汽轮机发电/MW	562	249	345	594
系统净发电/MW	915	149	766	915
能量利用率/ %	49.6	52	38.7	44.8
相对节能率/ %	8.4	—	—	—

表 4 为联产与参照单产系统方案整体热力性能计算结果比较。在与参照单产方案输出产品相同的条件下, 由于联产系统方案 F—T 合成反应器移走反应热, 生产大量 4 MPa 饱和中压蒸汽的过程, 相当于承担了余热锅炉内中压蒸汽的蒸发换热段。由于

不受节点温差的影响, 联产系统方案余热锅炉内蒸汽与烟气的平均换热温差较小, 换热损失较少, 对烟气热量可以进行更充分的梯级利用。此外, 由于联产系统的 F-T 合成单元采用一次通过方案, 也较单产系统方案减少了甲烷重整、CO₂ 分离和尾气压缩机等循环工艺的能耗。因此与单产系统方案相比, 联产系统方案的输入煤量显著降低, 能量利用率提高 4.8 个百分点, 相对节能率提高 8.4 个百分点。

4 联产系统集成特性分析

4.1 发电单元与化工单元压力匹配特性

表 5 为基于煤气化的 F-T 燃料/电联产系统主要部件单元操作压力匹配情况。通过对世界范围内已有 IGCC 电站关键部件(气化单元和发电单元)操作压力进行分析, 可以得到单纯发电的 IGCC 用气化炉操作压力一般为 3~4 MPa, 燃气轮机燃料气入口压力为 2.4~2.8 MPa^[17, 19]。从操作压力匹配角度来看, F-T 燃料单产系统操作压力较低, 可以与基于煤气化的单纯发电的 IGCC 发电系统利用同一操作压力的气化炉, 且理论上不需要增加变压设备即可实现合成单元与发电单元的压力匹配。

表 5 F-T 燃料/电联产与单产系统主要单元操作压力匹配情况

	F-T 燃料/ 电联产	F-T 燃料 合成	IGCC
气化炉操作压力/MPa	3~4	3~4	3~4
合成反应器操作压力/MPa	2.5~3.0	2.5~3.0	—
燃气轮机燃料气入口压力/MPa	2.4~2.8	—	2.4~2.8
合成单元工艺	无尾气循环	带尾气循环	—
设备增加	无	—	—

4.2 联产系统化电比调节灵活性

化工品产量与发电量的调节范围是联产系统调节灵活性的重要方面。本文定义化电比 k 为化工品转化用合成气量与燃烧发电用合成气量之比, 其计算表达式为:

$$k = \frac{\lambda(1 - X_{CO+H_2})}{\lambda X_{CO+H_2} + 1} \tag{10}$$

式中: $k_{\lambda \rightarrow \infty}$ —通过化工合成单元的合成气摩尔流量远大于去发电单元的合成气量, 即代表一次通过串联联产系统方案; $k_{\lambda \rightarrow 0}$ —去发电单元的合成气量远大于去化工合成单元的合成气量, 即代表单纯发电的 IGCC 系统方案。利用 $k_{\lambda \rightarrow 0} - k_{\lambda \rightarrow \infty}$ 可以表示各种

形式的串、并联系统方案化电比调节范围。由于采用 Fe 基催化剂的 F-T 合成过程具有调节合成气组分的特点, 合成过程 X_{CO+H_2} 较高, 结合表 4 可以得到 F-T 燃料/电联产系统的化电比调节范围约为 0~2.3。

5 结 论

基于煤气化的 F-T 燃料/电联产系统可以改善单产系统的热力性能。在输出产品相同的条件下, 联产系统方案能量利用率和相对节能率均有大幅度的提高。基于煤气化的 F-T 合成与发电过程集成的联产系统优势主要体现在:

(1) 在化工单元工艺流程简化与改善整体热性能关系方面, F-T 燃料/电串联系统方案通过简化单产系统化工合成单元的尾气循环工艺降低能耗, 而且可以通过降低烟气与水蒸气的平均换热温差改善余热锅炉内低品位热能的梯级利用, 综合提高系统能量利用率和相对节能率;

(2) 在部件单元操作压力匹配方面, 基于煤气化的 F-T 燃料/电联产系统 F-T 合成单元更易于和气化单元、发电单元实现操作压力的匹配, 理论上不需要增加变压设备;

(3) 在系统化电比调节范围方面, 由于采用 Fe 基催化剂的 F-T 合成过程具有调节合成气组分的特点, F-T 合成过程 X_{CO+H_2} 高, 因此基于煤气化的 F-T 燃料/电联产系统的化电比调节范围较宽, 最高可达 2.3。

参考文献:

[1] YAMASHITA K, BARRETO L. Energyplexes for the 21st century: Coal gasification for co-production hydrogen, electricity and liquid Fuels [J]. Energy, 2005, 30(13): 2453—2473.

[2] 倪维斗, 李 政, 薛 元. 以煤气化为核心的多联产能源系统—资源/能源/环境整体优化与可持续发展[J]. 中国工程科学, 2000, 2(8): 59—68.

[3] 林汝谋, 金红光, 蔡晋贤. 新一代能源动力系统的研究方向与进展[J]. 动力工程, 2003 23(3): 2370—2376.

[4] 麻林巍. 以煤气化为核心的甲醇/电的多联产系统研究[D]. 北京: 清华大学, 2003.

[5] 陈 斌, 高 林, 金红光. 二甲醚/动力多联产系统初步研究[J]. 工程热物理学报, 2004 25(5): 741—744.

[6] 张向荣. 合成氨—动力多联产系统初步研究[D]. 北京: 中国科学院, 2006.

[7] WILLIAMS ROBERT H, LARSON ERIC D. A comparison of direct and indirect liquefaction technologies for making fluid fuels from coal [J]. Energy for sustainable development, 2004, (4): 103—129.

[8] GERALD N, SHEIDON J, KRAMER, et al. Design/ Economic of a once—through natural gas Fischer—Tropsch plant with power co—production[R] . California: Bechtel Corporation and Syncrude Technology Inc. 1997.

[9] DAVID GALLASPY, JOHN A YCOCK, BILL TRAPP. Gasification—based production of chemicals from Illinois coal standalone and IGCC co—production models[R] . Tennessee: Eastman Chemical Company, 2006.

[10] DAVID R BERG, BRIAN OAKLEY, SAMEERPARIKH, et al. The Business Case for Coal Gasification with Co—production[R] , Washington: Department of Energy, 2007.

[11] 许世森, 张东亮, 任永强. 大规模煤气化技术[M] . 北京: 化学工业出版社, 2005.

[12] 代正华, 龚 欣, 王辅臣, 等. 气流床粉煤气化的 Gibbs 自由能最小化模拟 [J] . 燃料化学学报, 2005, 33(2): 129—123.

[13] LAWRENCE V, ERIK S, JOHN H, et al. Baseline Technical and Economic Assessment of a Commercial Scale Fischer—Tropsch Liquids Facility[R] . Washington: Department of Energy and Scully Capital Services, Inc. 2007.

[14] GERARD P. VAN DER LAAN. KINETICS. Selectivity and scale up of the fischer—tropsch synthesis[M] . Netherland: Groningen University, 1999.

[15] 孙启文. 煤间接液化技术的开发和工业化[C] . 第三届中国国际煤化工及煤转化高新技术研讨会, 西安: 2006: 211—216

[16] KAYS W, LONDON A L. 紧凑式换热器[M] . 北京: 科学出版社, 1997.

[17] MARK C, PAMELA J, JOHN L, et al. Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants[R] , Washington: Department of Energy, 2007.

[18] 汪 洋, 于广锁, 代正华, 等. 气流床煤气化系统的热力学分析 [J] . 化学工程, 2007, 35(2): 75—78.

[19] TOMAS E. Major IGCC Projects World—Wide[R] . Sweden: Nykomb Synergetics AB Company, 2007.

[20] HITACHI. Simple cycle specifications[J] . Gas turbine world, 2004, 33(6): 17.

[21] Invensys Systems, Inc. PRO II(r) Casebook On—Line Documentation, Air Separation Plant[R] . California: Invensys Systems, Inc, 2006.

[22] 樊建明, 诸 林, 许小云. 克劳斯硫回收流程模拟及其工艺计算[J] . 江苏化工, 2004, 32(3): 53—55.

[23] 王开岳. 天然气净化工艺—脱硫脱碳脱水硫磺回收及尾气处理[M] . 北京: 石油工业出版社, 2005.

[24] 焦树建. 燃气—蒸汽联合循环[M] . 北京: 机械工业出版社, 2000.

[25] BUCHANAN T, DELALLO M, SCHOFF R, et al. Evaluation of Innovative Fossil Fuel Power Plants with CO₂ Removal Technical Report [R] . Washington: Department of Energy, 2002.

[26] 黄海涛. 鞍钢引进 APCI 35 000 m³/h 空分设备流程与参数[J] . 深冷技术, 1993, (4): 6—10.

(编辑 伟)

新技术、新产品

GE 油气公司为西气东输管线提供设备

据《Gas Turbine World》2008 年 11~12 月号报道, GE Oil & Gas (GE 油气公司) 提前完成了为西气东输管线扩建工程最终的 4 个压缩机组站中的 2 个站提供设备的工作。

中国的西气东输管线正在进行扩建工程, 将使西气东输管线的输气量从一年 120 亿 m³ 增加到 170 亿 m³。

该扩建工程是西气东输的重要工程。
在延川(音译)压缩机组站, 燃气轮机驱动的压缩机组于 2008 年 10 月 11 日第一次点火, 仅以 3 个月就结束了此项工程, 比以前在管线上的安装设备提高 46%。

在延川下游并靠近上海的定远(音译), 于 2009 年 10 月 30 日完成了类似设备的安装, 比以前在管线上的安装快了 40%。

新的延川和定远压缩机组站是 12 站管线扩建工程的一部分。
GE 公司正在提供总数为 22 台的 PGT25+燃气轮机驱动装置和 24 台 PCL800 压缩机。每台 PGT25+驱动装置包括 1 台由 GE Energy 制造的 LM2500+燃气发生器, 它在气动力学上连接到由 GE 油气公司制造的高速动力涡轮。

(吉桂明 供稿)

China, Post Code: 110034) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(3). — 313 ~ 319

By using the proven commercial software Themoflex, a simulation was performed of an IGCC (integrated gasification combined cycle) demonstration unit rated at 200 MW, which is to be built in China. A mass and heat balance calculation of the unit was also conducted. By adopting an IGV (inlet guide vane) regulation mode during a load reduction featuring a constant T3 (temperature before a steam turbine), which is currently often used by combined cycle gas turbines, the authors have first analyzed the changes of T3, T4 (exhaust gas temperature) and QGe (gas turbine exhaust gas flow rate) caused by gas turbine off-design operating conditions under the present control mode and then calculated the influence of the change of T3, T4 and QGe on the efficiency, power output, fuel consumption of the system as well as on the main parameters at the steam side. As a result, the off-design characteristics of the IGCC system and a general law governing the change of its main parameters were obtained. A requisite analysis of the safety and cost-effectiveness of the system operating under off-design conditions was performed. It has been found that the regulation modes can directly affect the off-design performance of the IGCC system. To ensure the cost-effectiveness and safety of the IGCC system when it is operating under off-design conditions, the gas turbine should be controlled as much as possible within the IGV regulation limits. **Key words:** integrated gasification combined cycle (IGCC), gas turbine, load variation, off-design condition performance

F-T 燃料/电联产系统集成特性分析 = **An Analysis of the Integrated Characteristics of a F-T (Fischer-Tropsch) Fuel/Electricity Cogeneration System** [刊, 汉] / YUE Chen, SHI Yi-xiang, CAI Ning-sheng (Education Ministry Key Laboratory on Thermal Sciences and Power Engineering, Thermal Energy Engineering Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(3). — 320 ~ 325

Established was a model for coal gasifiers, F-T (Fischer-Tropsch) synthetic reactors and power generation units. A thermodynamic performance calculation was conducted of a coal-gasification-based pure IGCC (integrated gasification combined cycle) power generation system, a F-T fuel synthetic system and a F-T fuel/electricity cogeneration system, and the integrated characteristics of the F-T fuel/electricity cogeneration system were analyzed. The results of the analysis indicate that the F-T fuel/electricity cogeneration system can improve the stepped utilization of thermal energy by decreasing the averaged heat-exchange temperature difference in a waste heat boiler, thus enhancing the energy utilization of the cogeneration system. The F-T synthetic unit in the tail gas circulation process has been simplified, facilitating the pressure matching between the gasification unit and the power generation unit and also effectively expanding the regulation range of the chemical/electricity ratio up to 2.3. **Key words:** coal gasification, fuel/electricity cogeneration system, Fischer-Tropsch synthesis, power generation unit, integrated characteristics

负荷与燃尽风对 NO 影响的数值模拟 = **Numerical Simulation of the Influence of Loads and Burn-out Air Flow on Nitrogen Oxide** [刊, 汉] / GAO Zheng-yang, CUI Wei-chun, YANG Yi-li, SONG Wei (College of Energy Source and Power Engineering, North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(3). — 326 ~ 331

To study the concerted action regularity of loads and burn-out air flow on NO emissions, a numerical simulation was performed of the combustion process of a 1025 t/h pulverized coal boiler. The distribution characteristics of the in-furnace temperature, thermodynamic type NO and fuel type NO were analyzed under different operating conditions when the burn-out air flow was put into use and disused. The calculation results were compared with the actual measured ones. The research results show that for the boiler under investigation, the burn-out air flow can more effectively control the emissions of fuel type NO, and at 100% load, the effectiveness is more conspicuous. At 80% load, the burn-out air flow can also reduce the NO emissions of the thermodynamic type. At 100% load, the burn-out air feed has a notable influence on the O₂ and CO in the furnace, while at 80% load, the burn-out air flow exercises a more conspicuous influence on the temperature field. **Key words:** pulverized coal boiler, load, burn-out air flow, numerical simulation, nitrogen oxide

空气物理参数对电厂风量测量的影响 = **Influence of Physical Parameters of Air on Power Plant Air Flow Measurement** [刊, 汉] / QIN Le, LI Ming-liang, ZI Yun-jiang, YAN Zheng-bo (Electric Power Research Institute, Yunnan