

并联型化工动力多联产系统主导因素与变工况特性

冯 静, 倪维斗, 李 政

(清华大学 热能工程系, 北京 100084)

摘 要: 多联产系统以电力为主要的产品之一, 因而在运行时必然要面对变负荷的问题。本研究从变负荷的角度考虑如何设计多联产系统以满足电网的要求。通过详细的仿真分析, 提炼出影响并联多联产系统变负荷能力的两个主导因素: 设计动化比和合成单元容量盈余度。以四象限图的形式展示主导因素与系统变负荷能力的关系, 并进一步分析系统在变负荷运行时的特性。分析结果揭示了联产系统变负荷运行时发电单元和化工单元的负荷分配规律及系统热效率随电负荷的降低而提高。

关 键 词: 多联产系统; 变负荷; 甲醇合成; 四象限图; 主导因素

中图分类号: TK01; TQ54 文献标识码: A

引 言

以煤气化为核心的多联产系统是将发电与化工合成过程集成耦合的先进能源系统, 现在即将进入工业示范阶段, 而现有的对多联产系统的研究多是针对系统设计、优化以及机理方面, 对系统的运行、操作和控制等方面还几乎没有开展相关的研究, 远不能满足工业界的需求。本文作为这方面工作的一个起步, 从变负荷运行的角度去分析多联产系统特

有的设计问题及变负荷运行时的特性规律。

以电力为主要产品之一的多联产系统在实际运行时必然要面对电网调峰的问题, 系统变负荷运行的问题在设计初期就必须予以考虑。多联产系统的产品都以合成气为原料, 因而可以通过调节合成气在发电和化工产品合成间的分配比例实现所需要的发电单元负荷, 而不用改变气化单元(操作灵活性较差、投资比例高)的运行工况。在这样的变负荷策略下, 多联产系统的操作灵活性和变负荷运行的经济性相比纯 IGCC 电站都有所改善。

在之前的工作中对电力、甲醇联产的并联多联产系统的变负荷特性进行了案例分析, 并联多联产系统结构示意图如图 1 所示, 对设计案例在多联产系统变负荷策略下的变负荷能力及部分负荷性能进行了计算。在此基础上, 希望得到多联产系统变负荷的普适性规律。鉴于影响联产系统变负荷能力的参数很多, 但每个参数的影响力不同, 为了得到一定的普适性规律, 本文采用主导因素的方法。将影响力最主要、最显著的参数提炼出来, 并对一些影响实质相同的参数进行合并, 从而确定主导因素。基于主导因素, 分析基于变负荷考虑的多联产系统特有

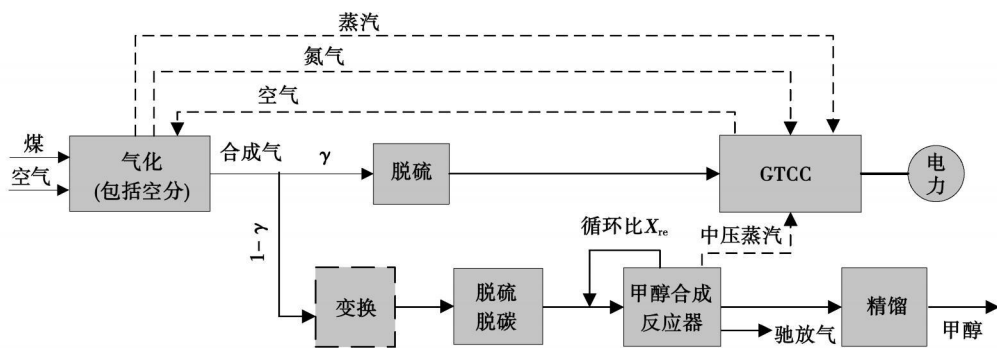


图 1 并联结构多联产系统基本结构示意图

收稿日期: 2007-10-30; 修订日期: 2008-03-07

基金项目: 国家重点基础研究发展计划基金资助项目(2005CB221207); 国家自然科学基金重大研究计划基金资助项目(No. 90210032)

作者简介: 冯静(1980-), 女, 内蒙古人, 清华大学博士研究生。

的设计问题,并给出具有一定普适性的系统设计参数取值与系统变负荷能力的关系的四象限图,以作为联产系统初期设计的参考。此外,对联产系统在变负荷运行时的特性规律进行分析。

1 适应变负荷的并联多联产系统的设计四象限图

适应变负荷的多联产系统意味着在降低发电单元负荷时要提高合成单元负荷,以保证昂贵的气化、空分单元维持在最佳满负荷工况稳定运行。但合成单元接收发电单元在降低发电负荷时多余的合成气的能力受其最大稳定运行负荷的限制(空速限制在设计空速的 120% 以下^[1])。为增大发电单元的变负荷范围,一种方案是在系统设计时给予合成单元一定的容量盈余,也即在系统设计工况下,合成单元没有工作在额定负荷。因而,合成单元容量盈余度是决定系统变负荷能力的重要参数,是系统设计的一个关键。另一个重要的设计参数是发电单元和合成单元的规模比例。显然合成单元容量的相对比例越大,多联产系统的变负荷范围就越大。表 1 中列出了适应变负荷的多联产系统设计相关的参数。设计的目标是使系统满足产品输出要求和电网对系统调节电负荷能力的要求。

表 1 适应变负荷的并联多联产系统的设计参数

| 定义或备注 | |
|---|---|
| 系统总功率输出 E_e / MW | 系统设计工况下发电单元总功率输出 |
| 系统设计甲醇输出 P_{msd} / 万 $t \cdot a^{-1}$ | 系统设计工况下化工单元甲醇产品输出 |
| 设备额定甲醇输出 P_{mcd} / 万 $t \cdot a^{-1}$ | 化工单元设备额定甲醇输出(包括容量盈余) |
| 设计动化比 λ_0 | 系统设计工况下,发电单元总功率输出与合成单元甲醇低热值能量输出的比值 |
| 设计分流比 γ_0 | 系统设计工况下,送往发电单元的合成气占气化单元生成的总合成气量的比例 |
| 合成单元容量盈余度 ρ | $(P_{mcd} - P_{msd}) / P_{msd}$ 下标 e, m 分别代表发电和化工单元, π_{emin} 为发电单元最低稳定运行负荷百分数,表征多联产系统调节电负荷能力的大小 |

影响系统调节电负荷能力的参数很多,基于对案例分析的结论和大量的模拟计算、公式推导,提炼出设计动化比 λ_0 和合成单元容量盈余度 ρ 是决定系统性能 π_{emin} 的主导因素。设计分流比 γ_0 也是重要的设计参数,但其对变负荷能力的影响实质与动化比相同,因而不作为主导因素。为了更好地展示和便于使用主导参数与系统设计目标间的关系,将表 1 中参数间的关系用图 2 所示的四象限图的形式表达。通过该图可以得到满足产品输出要求和变负荷能力要求的包括主导因素在内的系统设计参数取值。例如图 2 中系统 S1,根据市场、投资等情况选定 30 万 t/a 甲醇和 250 MW 发电量为“出发点”,向左,在纵坐标上得到设计分流比 γ_0 为 0.6;通过第二象限曲线得到设计动化比 λ_0 为 1.2;向下,在第三象限按选定的最低电负荷百分数($\pi_{emin} = 80\%$)得到合成单元容量盈余度 ρ 为 11%;最后通过第四象限得到合成单元的额定容量为 33.3 万 t/a 。下面详细说明各象限的内容。

1.1 第一象限:产品输出与设计分流比的关系

在第一象限展示系统产品输出与设计分流比 γ_0 的关系。鉴于厂用电率估计的不准确性,在分析中采用发电单元的总功率输出 E_e 表征发电单元的规模,图中包含 4 种发电规模: 250、300、400、500 MW。

有两个同甲醇产品输出相关的设计参数:系统设计甲醇输出 P_{msd} 和合成设备额定甲醇输出 P_{mcd} 。第一象限的横坐标为 P_{msd} 。

1.2 第二象限:设计分流比与设计动化比的关系

在第二象限给出与产品输出对应的设计动化比。根据设计动化比和设计分流比的定义,可以推得以下关系式:

$$\lambda_0 = (\eta_e / \eta_m) \times (1 / (1 - \gamma_0)) - \eta_e / \eta_m$$

式中: η_e 、 η_m —发电单元和合成单元的热效率(定义为各单元产品输出与输入合成气的低热值能量的比值)。

根据上式, λ_0 与 γ_0 的对应关系还与两个子系统的效率有关。 η_m 在合成工艺确定后受规模和负荷的影响不大,而 η_e 在发电单元选用不同级别的燃气轮机时有一定的差异。图 3 对比了选用两种不同效率等级的发电单元的联产系统设计参数 γ_0 — λ_0 关系曲线的差异。图中两条曲线的 η_e 分别为 52% 和 58%。结果显示两条曲线的差异虽然随着 λ_0 的增大而增大,但整体数值差别不大。在 $\gamma_0 = 0.8$ 时,

用两种效率计算得到的 λ_0 分别为: 3.47 和 3.87, 故而不将 η_e 作为影响系统变负荷能力的主导参数, 在展现具有一定的普适性规律的四象限图中忽略效率差异的影响, 认为 γ_0 是 λ_0 的单变量函数。在图 2 中选择了 $\eta_e=57\%$ 进行计算, 在仅作为系统初步设

计时, 可以直接使用, 若需要更加准确的数据, 可以用定义计算 λ_0 , 并使用下面的关系式修正 γ_0 :

$$\gamma_{0图} / (1 - \gamma_{0图}) (1 - \gamma_{0实际}) / \gamma_{0实际} = \eta_{e实际} / \eta_{e图形}$$

$$\eta_{e图形} = 57\%$$

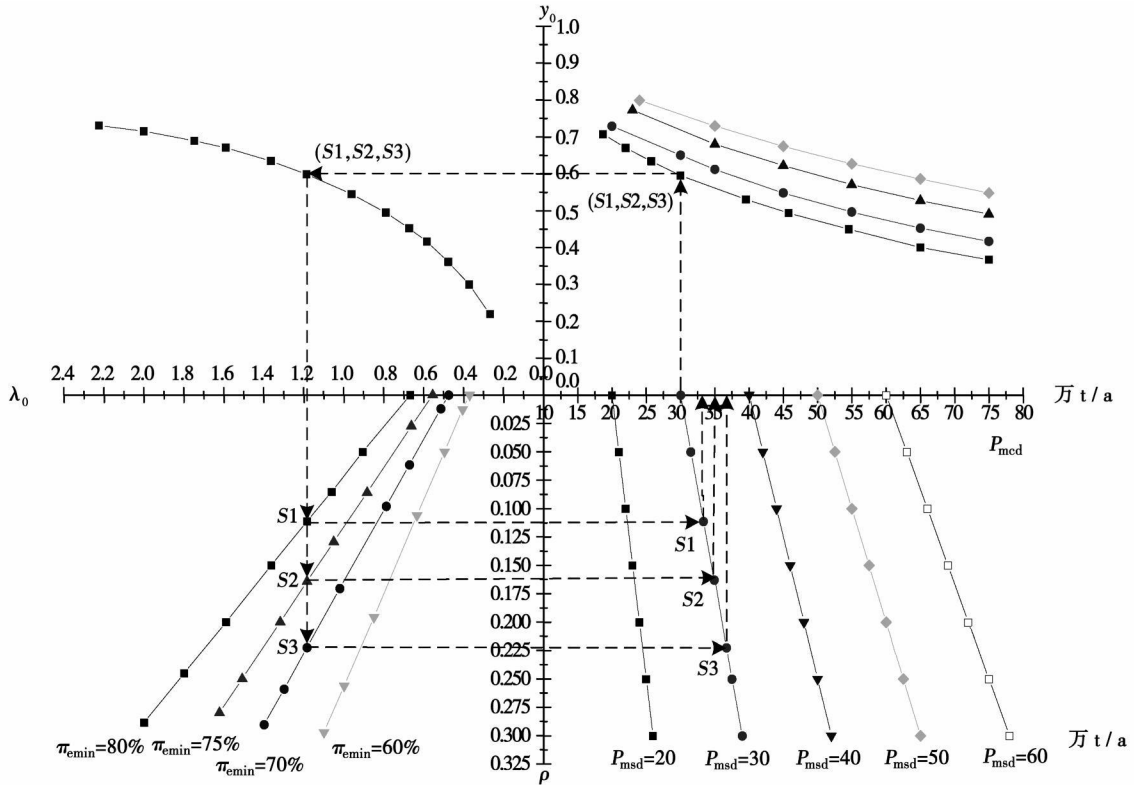


图 2 电力、甲醇并联联产系统的设计四象限图

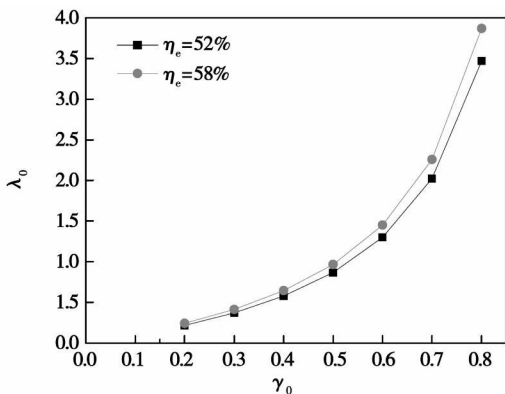


图 3 发电单元效率对 γ_0 与 λ_0 关系的影响

1.3 第三象限: 设计动化比、化工单元盈余度和最小电负荷

第三象限表达两个主导因素和系统变负荷性能的关系, 目的在于在系统设计动化比 λ_0 和最低稳定负荷百分数 π_{\min} 确定时, 得到需要的合成单元容量

盈余度 ρ 。本文计算了 $\pi_{\min} = 80\%$ 、 75% 、 70% 和 60% 4 种情况。

1.4 第四象限: 化工单元设备额定容量

在前文中已经说明了定义联产系统设计甲醇输出 P_{msd} 与合成设备额定甲醇输出 P_{mcd} 的缘故。只有确定了合成设备的额定容量才能进一步设计合成设备的硬件尺寸和合适的操作参数。 P_{mcd} 与 P_{msd} 共用一个坐标轴, 两个参数间和盈余度 ρ 具有以下简单的关系:

$$P_{mcd} = (\rho + 1) \times P_{msd}$$

为更清楚说明图 2 的使用和方便后面的分析, 利用图 2 设计 S2 和 S3 系统。2 个系统与 S1 系统的产品输出规模相同, 都是年产甲醇 30 万 t、发电 250 MW 的电力、甲醇并联多联产系统, 但电网对变负荷能力要求更高, 分别要求发电侧最低稳定运行负荷为 75% 和 70%。根据对产品规模的设计, 从第一象限的曲线上可以得到两个系统的设计分流比的

取值为 $\gamma_0=0.6$, 对应的设计动化比 $\lambda_0=1.2$ (与 S1 相同)。对 S2 系统, 从第三象限得到需要设计合成单元的容量盈余为 16%, 也即需要设计合成单元的设备额定容量为 35 万 t/a。对 S3 系统, 从四象限图上得到 $\rho=22\%$, 合成单元的设备应设计额定容量为年产甲醇为 37 万 t。若要系统的最低电负荷达到 60%, 需要合成单元的容量盈余度大于 30%, 此时由于化工单元设备投资的加大, 系统的经济性可能受到较大的影响, 具体的影响程度需要作进一步的分析。

2 系统变负荷运行的性能分析

在上一节中以四象限图的形式分析了如何根据系统产品输出要求和电网对变负荷能力的要求来对系统相关的设计参数取值。在本节主要分析设计完成的系统在变负荷运行时的特性, 其目的在于认识系统负荷改变时, 其主要性能参数随负荷的变化规律。多联产系统采用独特的调节电负荷策略, 因而其部分负荷的特性也不同于一般的电站。以下将以上一节设计的 3 个系统为案例, 分析系统分流比与负荷变化的关系、变负荷时的 2 种产品间的负荷分配, 以及系统效率随负荷的变化。

2.1 电力、甲醇生产的负荷分配

多联产系统的负荷调节策略的实质是产品间的负荷互补, 也即通过提高甲醇合成单元的负荷来达到降低发电单元功率输出的目的。图 4 中 π_e 、 π_m 分别为发电单元和合成单元在系统变负荷运行时的负荷百分数, 右侧纵坐标为变负荷时系统的分流比 γ 与设计值 γ_0 的比值。结果显示, 在系统设计工况下, 3 个系统的发电单元都工作在额定工况下, 而甲醇合成单元都工作在部分负荷下, S1、S2 和 S3 合成单元的负荷分别为 90%、86% 和 82%。受合成单元最大稳定运行负荷的限制, 不同的 ρ 设计下, S1 系统发电单元只能实现 $\pi_{emin}=80\%$; S2 系统的 π_{emin} 为 75%; S3 系统牺牲了更多合成单元的设备能力 (系统设计工况下工作在 82% 的负荷), 使得发电单元的 π_{emin} 达到 70%。 π_{emin} 对应的合成单元的负荷都为最大负荷 115%, 对应的分流比分别降为设计值的 81%、76% 和 72%。

2.2 系统变负荷运行时热效率特性

电力和甲醇的能量品位不同, 但目前还没有公认的可以很好评价联产系统能量效率的指标, 因而本文采用热效率定义: (电力输出+甲醇低热值能量

输出)/煤低热值能量输入。按此定义, 联产系统净热效率随着负荷的变化出现与常规电站完全相反的趋势: 随着电负荷的降低, 系统热效率提高。原因是由于甲醇合成系统的能量转换效率高于目前技术水平的纯 IGCC 系统, 因而联产系统降低发电负荷、增加合成负荷时, 整个系统的热效率提高。图 5 展示了 3 个系统的热效率随发电单元负荷的变化曲线, 3 条曲线同样重合与同一条曲线。曲线上有一个转折点, 这点之后的电负荷减小时, 联产系统净热效率增加的速率减慢。其原因可以用图 5 中上方的发电单元效率随负荷变化的曲线解释。发电单元的燃气轮机联合循环采用了 IGV 可调的等 T3 负荷调节策略, 因而, 在 IGV 可调的负荷范围内, 发电单元的热效率有略微的提高, 而超出 IGV 的调节范围, 发电单元热效率迅速下降, 这致使整个联产系统的净热效率因为甲醇合成比例的增加而增加的速率减缓。但是鉴于甲醇和电的能量品位的不等价性, 不能简单说系统在降低电负荷时性能提高。

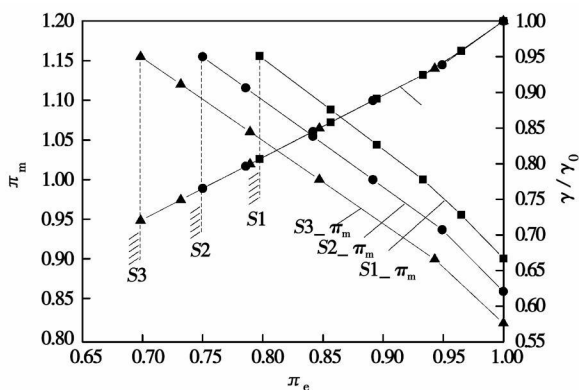


图 4 联产系统变负荷时电力、甲醇的负荷分配($\lambda_0=1.2$)

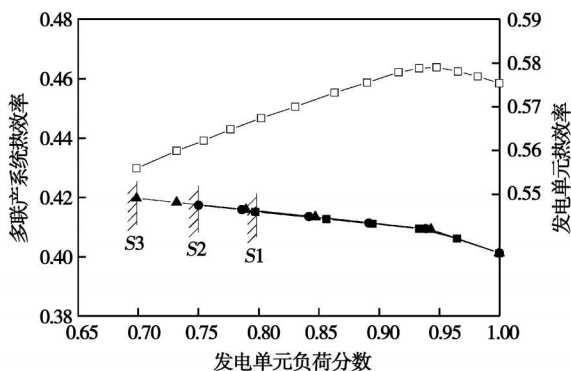


图 5 系统热效率随电负荷的变化

3 结 论

(1) 用主导因素来分析、设计能适应变负荷的多联产系统具有一定的普适性用途,是系统初步设计的一个有力工具。

(2) 设计动化比、合成单元容量盈余度是影响并联多联产系统变负荷能力的主导因素,是系统变工况考虑的重要设计参数。设计动化比通常由市场情况确定,因而合成单元容量盈余度的设计是使系统满足电网要求变负荷能力的关键。

(3) 用提炼出的主导参数构建的四象限图可以很好地展示多联产系统各设计参数和性能参数间的关系。根据对联产系统产品输出的规模要求和调峰要求,可以通过该图得到系统的设计分流比、合成单元容量盈余度的参考取值。

(4) 多联产系统在变负荷运行时,通过调节发电单元和化工单元的负荷分配来实现要求的发电负荷。基于热力学第一定律分析时,由于甲醇合成系统的能量转换效率高于目前技术水平的纯 IGCC 系统,在发电单元降负荷时,虽然发电单元效率下降,但联产系统的总热效率反而提高。但鉴于甲醇和电

力的能量品位不同,需要寻找更加合适的能量效率评价指标分析多联产系统。

在今后的工作中将进一步开展并联结构多联产系统的其它部分负荷特性以及串联结构、串并联结构多联产系统的变负荷特性的研究。

参考文献:

- [1] Commercial-scale demonstration of the liquid phase methanol(LP-MEOH™) process[R]. Topical Report No 11; U.S. Department of Energy, 1999.
- [2] COMMERCIALSCALE Demonstration of the liquid phase methanol(LP-MEOH™) process—public design report[R]. Air Products and Chemicals Inc. and Eastman Chemical Company, 2000.
- [3] 陈闯松,应卫勇,房鼎业,等.机械搅拌反应釜内三相淤浆床甲醇合成宏观反应动力学[J].燃料化学学报,1994,22(4):380—385.
- [4] 王德慧.现代燃气轮机热力循环分析及系统集成研究[D].北京:清华大学,2006.
- [5] 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.
- [6] 王云波.煤基甲醇电多联产系统集成优化和综合评价[D].北京:清华大学,2005.
- [7] 金红光,高林.煤基化工与动力多联产系统开拓研究[J].工程热物理学报,2001,22(4):397—400.

(编辑 单丽华)

新技术、新工艺

升级改进的 PGT25+G4 燃气轮机用于输气管线

据《Gas Turbine World》2008年3—4月号报道,作为现有的PGT25+燃气轮机升级改进的代替物,去年被安装在加拿大Alliance Pipeline运行的第一台商用的PGT25+G4超过了它的设计性能,可比较参数的额定值:

功率:从原来设计的31370 kW加大到34000 kW,轴输出功率增加9%。

效率:效率增加0.1%,从41.1%增加到41.2%。

压比:压比从23.6:1增加到24.4:1,质量流量从PGT25+的84.3 kg/s增加到88.9 kg/s。

PGT25+G4燃气轮机是PGT25+技术的升级改进,并具有6100 r/min高速直接传动,是专门针对石油和天然气应用,包括大型输气管线和陆上/海上生产设施而设计的。

利用了G4燃气发生器增加的流量和温度的优点,PGT25+G4的动力涡轮改为2级高速动力涡轮。

以6100 r/min额定速度运行,动力涡轮能够直接驱动离心式或轴流式气体压缩机,不需要增速齿轮箱。

动力涡轮基于已经得到证实的PGT25+开发的技术,并增强了机匣的冷却,从而使动力涡轮达到更高的可靠性。

该3703 km输气管线每天输送天然气3750万³。

(吉桂明 供稿)

late unsteadily, triggering the inception of a spike type rotating stall and resulting in a concrete embodiment of overflow from the blade tip leakage at the leading edge. However, when the outlet back pressure is relatively low, the unsteady behavior of the clearance leakage flow has all along been relatively stable. **Key words:** clearance leakage flow, non-steady, near-stall operating condition, unstable

某电站燃气轮机温控系统故障分析= **Fault Analysis of the Gas Turbine Temperature Control System of a Power Plant**[刊, 汉] / JIN Wei-wu (Wuxi Subsidiary, Harbin No. 703 Research Institute, Wuxi, China, Post Code: 214151), CHEN Cai-wang, HE Dong-lin, TIAN Ming-guan (Tarim Oil Field Sub-company, Southwest Tarim Power Company, Ze-pu Petroleum Base, China, Post Code: 844804) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(5). — 478 ~ 480

The authors have studied the fault phenomenon that has often befallen the gas turbine temperature control system of a power plant and performed a detailed analysis of the phenomenon in conjunction with a model for the above control systems. Through a comparison of the influence of various correction parameters of the above-cited model on control effectiveness, presented were the countermeasures for dealing with the faults of the control system in question. The tests under various operating conditions show that the countermeasures proposed can effectively eliminate the faults of the temperature control system, providing valuable experience for the commissioning tests and operation of gas turbine power plants of a similar type. **Key words:** gas turbine, temperature control system, fault

有隔热涂层的气膜冷却火焰筒壁温计算= **Wall Temperature Calculation of an Air-film Cooled Flame Tube with a Heat Insulation Coating**[刊, 汉] / LI Ming-jia, LIN Feng, LI Wei-shun (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), QU Zhe (Harbin Power Plant Engineering Co. Ltd., Harbin, China, Post Code: 150040) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(5). — 481 ~ 484, 515

With a thin-wall flame tube serving as an object of study, presented was a wall temperature calculation model and method for an air-film cooled flame tube with a heat insulation coating. By using the method in question, the wall temperature of the flame tube of an annular-tube combustor was calculated with the possible cause of a crack occurring to the primary main combustion hole of the flame tube being identified. In addition, the influence of the air-film cooling, heat insulation coating and its thickness on the radial and axial distribution of the flame tube wall temperature was also studied. The results of the study show that the maximum wall temperature of the flame tube at 946 °C can meet the design requirement for the maximum wall temperature of the flame tube. The wall surface temperature distribution gradient near the primary main combustion hole on the flame tube is relatively big, where a thermal stress concentration is liable to be located, providing an underlying basis for identifying the cause of any fault occurring to the flame tube. The air-film cooling and heat insulation coating can remarkably lower the wall temperature of the flame tube and effectively improve the wall temperature radial and axial distribution on the latter. The heat insulation coating thickness exercises a very small influence on the wall temperature of the flame tube. **Key words:** flame tube, heat insulation coating, air-film cooling, wall temperature calculation

并联型化工动力多联产系统主导因素与变工况特性= **Leading Factors and Off-design Operating Condition Characteristics of the Power Polygeneration System of a Parallel-type Chemical Engineering Unit**[刊, 汉] / FENG Jing, NI Wei-dou, LI Zheng (Thermal Energy Engineering Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(5). — 485 ~ 489

Electric power is one of the main products of a polygeneration system. Therefore, it will unavoidably encounter load variation problems during its operation. From a load variation viewpoint, the authors have mulled how to design a polygeneration system to meet the requirements of an electric network. Through a detailed simulation analysis, two leading factors influencing the load variation ability of the parallel polygeneration system have stood out, i. e. design power/chemical ratio and synthetic unit capacity surplus. The relationship of the leading factors and the system load variation ability was shown in the form of a four-quadrant chart. In addition, the characteristics of the system operating during load variations were further analyzed. The results of the analysis reveal the law governing the load distribution between a power generation unit and chemical engineering one during the load variation operation of the polygeneration system as well as the

fact that the thermal efficiency of the polygeneration system will increase with a decrease of the electric load. **Key words:** polygeneration system, load variation, methanol synthesis, four-quadrant chart, leading factor

采用增量法的 B CHP 系统经济性分析 = **Cost-effectiveness Analysis of a B CHP (Building Cooling, Heating and Power) System by Using an Incremental Method** [刊, 汉] / FU Lin, JIANG Yi (Building Technology and Science Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(5). — 490 ~ 493

On the basis of a comparison with the traditional energy source system versions, proposed was an incremental method for evaluating the cost-effectiveness of a B CHP (building cooling, heating and power) system. As a result, man-made interference factors, such as the heat and cooling energy prices etc. can be avoided, making the evaluation of the cost-effectiveness of the B CHP system more objective. In addition, the authors have also conducted a case analysis of the cost-effectiveness of the B CHP system employed on campuses. The results of the analysis indicate that a host of factors, such as the maximum utilization hours, operation efficiency, energy price and system capacity etc., exercise a major influence on the cost-effectiveness of a “cooling, heating power supply” cogeneration system. One is further led to believe that because such facilities, as stadiums and assembly halls etc. are characterized by few utilization hours and residential housings feature a low kilowatt-hour price, it is inappropriate for users of this category to employ the B CHP system. A proper capacity is favorable for enhancing the cost-effectiveness of the B CHP system. **Key words:** building cooling, heating and power (B CHP) supply, incremental evaluation, cost-effectiveness

循环流化床提升段径向气体混合的试验研究 = **Experimental Study of Radial Gas Mixing at the Riser Section of a Circulating Fluidized Bed** [刊, 汉] / YANG Jian-hua, YANG Hai-nui, YUE Guang-xi (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. — 2008, 23(5). — 494 ~ 499

On CFB (circulating fluidized bed) cold-state test rigs of three sizes, an experimental study has been performed of the law governing the radial gas mixing in the dilute-phase zone of a riser section. The above-mentioned three test rigs all have a riser section with a net height of 4.0 m and the section dimensions are respectively: a round tube with an inner diameter of 0.19 m, a square section of 0.3 m × 0.3 m and a rectangular section of 0.25 m × 0.5 m. With the sand of $d_p = 120 \mu\text{m}$ and $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$ serving as test bed material and CO_2 as a tracer gas, an experimental study was performed of such factors as visual fluidization speed U_g , particle concentration and dimensions of the riser section etc. which may influence gas mixing. It has been found that the presence of the particles could reduce the gas lateral-mixing speed. However, such an influence of the particles on the gas lateral-mixing is not unidirectional. For a given wind speed, there exists a particle concentration turning point. In case of a concentration less than the one at the turning point, D_r will decrease with an increase of the particle concentration. When the particle concentration is greater than the one at the turning point, D_r will increase with an increase of the particle concentration. During the present tests, the concentration at the turning point was $8 \sim 10 \text{ kg/m}^3$ and such a turning point should be one of a gas-solid flow pattern. The diameter of the riser section D_t exercises a major influence on D_r . According to the research findings of academics-predecessors, D_r will assume a linear increase with an increase of D_t . However, a more precise relationship can be determined only when further data have been accumulated. Compared with the particle concentration and the diameter of the riser section, the gas fluidization speed exercises a very small influence on D_r . **Key words:** circulating fluidized bed, riser section, radial gas mixing, experimental study

烟气脱硫塔内气固流动耦合特性探讨 = **An Exploratory Study of Gas-solid Flow Coupling Characteristics in a Desulfuration Tower** [刊, 汉] / PENG Zheng-biao, YUAN Zhu-lin (Education Ministry Key Laboratory on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(5). — 500 ~ 506

By adopting a numerical calculation method combining direct simulation Monte Carlo Method (DSMC) with Euler