

MCFC—燃气轮机联合循环系统模拟与优化

陈跃华, 曹广益, 翁一武

(上海交通大学 燃料电池研究所, 上海 200030)

摘 要: 熔融碳酸盐燃料电池(MCFC)工作温度较高,其高温排气可由燃气轮机利用,组成联合发电系统。文中分别建立了MCFC和底层循环的计算模型,利用该模型详细分析了影响联合发电系统性能的重要参数。结果表明:将MCFC工作温度取为650℃可以得到最佳性能和最高的电堆寿命;联合发电系统中应取较低的燃料气利用率;在一定的透平初温下,燃气轮机存在一个对应于功率最大的最佳压缩比。根据上述结果计算出了各参数的最优值,最后对优化后系统进行仿真得出结果:MCFC与燃气轮机组成联合发电系统,发电效率达到57.0%(LHV),使用燃气轮机可提升整体发电效率约10%。

关 键 词: 熔融碳酸盐燃料电池; 燃气轮机; 联合发电

中图分类号: TK474.7; TP391.9 文献标识码: A

1 引 言

熔融碳酸盐燃料电池(Molten Carbonate Fuel Cell)工作温度较高(600~650℃),天然气、煤气、石油气和沼气等经重整后都可以作为其燃料气;且由于工作温度高,不需使用贵金属作为催化剂,可大大降低系统成本^[1];更重要的是其高品位的废热可以和其它装置组成各种联合循环系统,从而可较大幅度地提高系统发电效率。在各种联合循环系统中,和燃气轮机组成联合发电装置是其最佳选择;一方面,燃气轮机技术已趋完善,联合装置效率可达60%~70%(燃料的低热值)。另一方面,其污染物排放量很低(NO_x和CO),可以满足环保方面的要求^[2]。由于以上诸多优点,MCFC和燃气轮机联合发电系统受到了国内外多家研究机构的重视,国外已有试验电站在运行,国内研究机构研究主要集中在电池材料和电池制备等问题上,对于联合系统的整体性能分析与优化研究还不是很多。

本文以一个采用内部重整的MCFC与GT组成的联合发电系统为研究对象,分别建立MCFC和底层循环的模型;对影响总体系统性能的重要参数进行了详细的分析,采用数值仿真找到了关键参数的最优取值;最后采用MATLAB的Simulink工具箱对优化后的系统进行仿真,得到了总体系统的各项性能指标。

2 系统描述

高温燃料电池—燃气轮机联合循环的结构各种各样,典型的联合循环结构包括顶层循环和底层循环。顶层循环是指燃料电池取代燃烧室和发电机,燃气轮机用于电厂的平衡;通常顶层循环要求燃料电池内部的流动及工作处于一定的压力状态下。底层循环是指燃料电池使用燃气轮机的排气作为其空气源,燃料电池用于电厂的平衡;底层循环中燃料电池内部的流动及工作处于常压状态下^[3]。通常MCFC与燃气轮机联合发电系统采用底层循环。图1是一个典型的MCFC/GT底层循环发电系统。

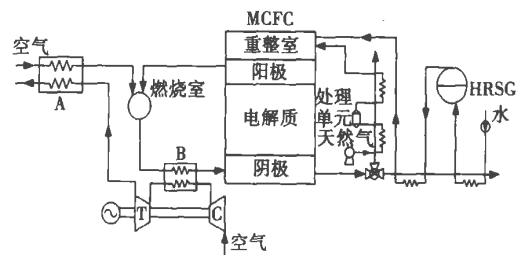


图1 MCFC与GT联合发电系统

MCFC使用的燃料是天然气,工作在常压下,采

用内重整的方式,即重整反应在 MCFC 阳极室内进行。由于目前实际使用的天然气中都含有硫,必须将硫含量降低到约 10^{-7} 。这通常采用铝和氧化锌床来处理,在图中该单元用“处理单元”表示。为了获得更高的电池效率,采用电池的阴极排气来预热燃料气。图 1 中使用了一个阀门来将阴极排气分为两个部分。一部分用来在余热锅炉(Heat Recovery Steam Generator)产生重整反应所需蒸汽,一部分用来预热燃料气。

阳极排出气离开电堆后,主要包含有未被氧化的燃料气、 CO_2 和水蒸气。其中,可燃气体在燃烧室和加入的空气一起燃烧,燃烧后气体经过冷却至理想的温度值,再进入电堆的阴极。这当中释放的热量可以由底部循环利用(即在热交换器 B 中)。燃气轮机内的压缩空气在热交换器 B 中被加热至 $1\ 100\ ^\circ\text{C}$,然后膨胀做功。燃气轮机排出气仍然有较高的温度,可用来预热加入燃烧室的空气(在热交换器 A 中)。如果经过了热交换器 B 后燃气轮机中压缩空气的温度达不到透平要求值,可以往燃烧室加入附加的天然气,或者降低燃料气的利用率以提高气体温度。

3 系统仿真模型

3.1 MCFC 模型

3.1.1 MCFC 内部的电化学反应

MCFC 电堆采用天然气(主要成份为甲烷)为燃料,在阳极的重整室和水蒸气发生重整反应,该反应为强吸热反应,一般应在 $800\ ^\circ\text{C}$ 以上进行。但在 MCFC 阳极,反应产生的氢气立刻发生氧化反应,提供了重整反应所需的热量,从而使得重整反应可以在 $600\sim 650\ ^\circ\text{C}$ 进行。MCFC 内发生的主要反应如下^[1,3]:

重整反应:

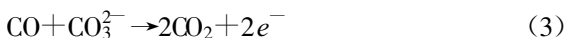


重整气中的一氧化碳和水蒸气发生置换反应,又可生成一部分氢气:

置换反应:

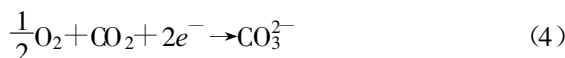


一氧化碳还可以被碳酸根部分氧化,这是一个慢反应:



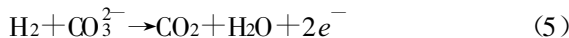
在阴极,氧气与二氧化碳还有电子反应生成了碳酸根离子:

阴极反应:



碳酸根离子通过电解质从阴极传送到阳极。在阳极,氢气与碳酸根离子发生氧化反应,生成二氧化碳并释放出电子至外电路。

阳极反应:



3.1.2 电池电压

电堆的理想可逆电压 E_r 可由 Nernst 方程求得^[1,4]:

$$E_r = \frac{RT}{2F} \ln K_T - \frac{RT}{4F} \ln \left[\frac{(p_{\text{H}_2\text{O}})^2 p_0}{(p_{\text{H}_2})^2 p_{\text{O}_2}} \right] \quad (6)$$

其中: R —燃料气体常数; T —电池操作温度; F —法拉第常数; K_T —温度 T 下总反应的平衡常数; p —各种反应物的分压。右式的第一项表示了温度对电池电压的影响;第二项则表示反应物与产物的压力对电池电压的影响。在实际的电池里,实际输出电压 E 是小于理想可逆电压 E_r 的。电压降是由于一些不可逆的极化造成的。极化损失包括 3 种:欧姆极化(V_{ohm})、活化极化(V_{act})和浓差极化(V_{conc})。这些极化随着电流密度的增大而增大,从而降低了电池电压。实际的输出电压为:

$$E = E_r - V_{\text{ohm}} - V_{\text{act}} - V_{\text{conc}} \quad (7)$$

其中:

$$V_{\text{ohm}} = iR_e \quad (8)$$

$$V_{\text{act}} = A \ln(i/i_0) \quad (9)$$

$$V_{\text{conc}} = -B \ln(1 - i/i_L) \quad (10)$$

式中: i —电流密度; i_0 —交换电流密度; i_L —限制电流密度; R_e —电池阻抗。由于 MCFC 工作在较高的温度下,极化损失主要是欧姆极化。根据 Nernst 方程,在 $650\ ^\circ\text{C}$ 工作的 MCFC,理想电压为 $1\ 030\ \text{mV}$,实际电压在 $700\sim 900\ \text{mV}$ 之间。

3.2 底层循环模型

底层循环系统包括一个压缩机、一个燃烧室、一个透平和两个热交换器。如图 1 所示,空气经压缩机提高压力,从燃烧室出来的高温气体在热交换器 B 中将压缩空气加热,热空气在透平内膨胀做功,最后透平排气进入热交换器 A 用于预热进入燃烧室的空气。

将底层循环分为两个部分,一个是燃料供给系统,包括一个燃料阀和一个驱动装置;二是燃气轮机系统^[3]。

燃料供给系统传递方程:

$$V_{fc} = \frac{k_f}{\tau_f s + 1} \frac{a}{bs + c} U \quad (11)$$

式中: k_f 、 τ_f —驱动装置的增益和时间常数; a 、 b 、 c —燃料阀参数; U —控制器输出信号; V_{fc} —往燃烧室加注的燃料气流量。

燃气轮机力矩函数为:

$$T = k_{HHV}(V_{fc} - 0.23) + 0.5(\Delta\omega) \quad (12)$$

其中: k_{HHV} 和 0.23—典型的燃气轮机能量/燃料流量特性, 力矩与燃料流率呈线性关系, 当燃料流率为 23% 时输出能量为零, 当燃料流率达 100% 时, 输出为额定功率; ω —燃气轮机转速。燃气轮机输出功率为:

$$P_{GT} = T\omega.$$

本文中使用的透平入口气温度为 1 100 °C, 底层循环应该控制好进入燃烧室的燃料流量使得透平入口气达到指定温度, 并使燃气轮机工作在最大功率下。

3.3 系统效率

进入系统的能量, 除了转化为了 MCFC 和燃气轮机的发电量, 还有一些热损失以及辅助设备消耗了一部分。具体来说, 其中燃烧室热损失 2%; 每个热交换器热损失 2%; 电池热损失 2.9%; DC/AC 逆变器效率 98%; 其它如水泵、吹风机和压缩机等也要消耗部分能量。本文中所给出的系统总体有效发电量是去除了以上所述的各种损失和消耗的, 而系统的发电效率 η 为系统总体有效发电量与系统总能量输入(以燃料的应用低位热值来计算)之比^[9], 即:

$$\eta = \frac{W_{MCFC} + W_{GT} - W_{COMP}}{Q_{LHV}} \quad (13)$$

4 性能分析及优化

4.1 工作温度

工作温度对 MCFC 电动势有较大影响。首先,

从平衡常数方面考虑, 平衡常数 $K = \frac{P_{CO}P_{H_2O}}{P_{H_2}P_{CO_2}}$ 随温度增加而增大。由于 K 随温度增加而增大, 即 CO 和 H₂O 分压增大导致气体的平衡组分改变, 从而 E_r 随温度的提高而减小。

虽然 E_r 随温度的提高而减小, 但从极化的方面考虑, 电池运行时, 温度提高时极化减小, 最终结果是电池电压升高。测量表明阴极的极化电压高于阳极, 并且当温度升高时, 阴极极化的减小更为显著。

以下给出一个参考的电池性能与温度的关系^[1]:

$$\Delta V_T (\text{mV}) = 2.16(T_2 - T_1) \quad 575 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T \leq 600 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta V_T (\text{mV}) = 1.40(T_2 - T_1) \quad 600 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T \leq 650 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta V_T (\text{mV}) = 0.25(T_2 - T_1) \quad 650 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T \leq 700 \text{ } ^\circ\text{C}$$

由上式可看出, 随着温度的升高, 电池性能有所提高。但超过 650 °C 后, 性能提升不明显。同时, 高温下的蒸发和材料的腐蚀使电解质的损失增加。因此, 将工作温度取为 650 °C 可以得到最佳性能和最高的电堆寿命。

4.2 燃料利用率

燃料利用率对 MCFC/GT 系统的影响可分为两个部分来考虑。对于 MCFC, 在恒定电流密度的情况下, 随着燃料利用率的增加, 电池的工作电压下降; 但过低的燃料利用率会增加电池系统的内耗, 因此对于独立的 MCFC 系统, 通常燃料利用率控制在 75%~85%。而对于燃气轮机, 由于实际采用的透平对入口气温度 (Turbine Inlet Temperature) 要求较高, 一般超过 1 000 °C, 这比 MCFC 阳极排气温度高很多, 因此必须有燃料加到燃烧室中去提升 TIT。但由于燃气轮机的工作效率比 MCFC 低得多, 所以应尽可能减少通往燃烧室的附加燃料。这时可以选用较低的燃料利用率, 即使得较少的燃料在 MCFC 中发生反应, 从而有更多的未反应燃料进入燃烧室燃烧, 这样就可以提高 TIT^[7]。权衡考虑, 对于 MCFC/GT 系统, 应选用比独立 MCFC 系统低一些的燃料利用率。为了达到整个系统效率的优化需要借助数值仿真工具来计算燃料利用率的最优值。在图 2 中, 给出了仿真的结果。

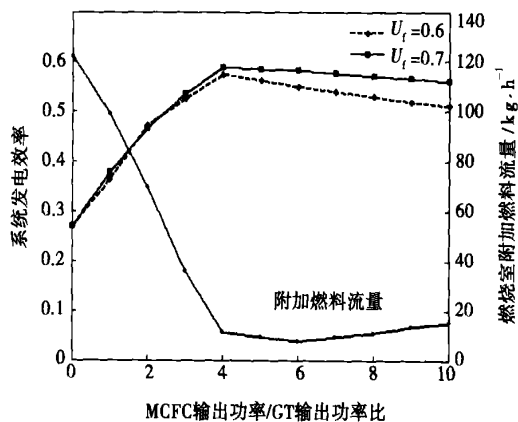


图 2 燃料气利用率对系统发电效率的影响

如图 2 所示,考察了两种较低的燃料利用率 $u_f = 0.6$ 和 0.7 。当 u_f 为 0.7 时可得到略高的系统发电效率。当 u_f 为 0.6 时, MCFC 输出功率/GT 输出功率约为 $4:1$ 时取得最高的效率 57.6% ; 当 u_f 为 0.7 时, 也在相同的功率输出比下取得最高的效率 58.5% 。如果考虑到成本因素, 在恒定电流密度下, 较低燃料利用率下的 MCFC 具有较高的输出电压, 这意味着可以节省对 MCFC 系统的投资成本。综上所述, 可得出最优的燃料利用率 $u_f = 0.6$ 。图 2 中还给出了当 $u_f = 0.6$ 时, 通往燃烧室的附加燃料流量值。可以看出, 当 MCFC 输出功率/GT 输出功率为 $4:1$ 时只需很少的附加燃料就可以提升 TIT 至 1100°C 。

4.3 压缩机压缩比

随着 MCFC 与 GT 输出功率比的上升, MCFC 提供的热量越来越多, 而燃气轮机所转换的热量却越来越少, 这样就会造成大量废热的产生, 这不是我们所期望的。在 MCFC 与 GT 输出功率比为 $4:1$, $u_f = 0.6$ 时, 经计算, 此时 MCFC 产生出来的热量比燃气轮机最大功率略高, 如果再提高 MCFC 与 GT 输出功率比就会造成浪费^[3]。因此最佳的 MCFC 与 GT 输出功率比为 $4:1$ 。此时燃气轮机应以尽可能大的功率工作以转化更多的热量, 而这需要将压缩机压缩比提升到一个合适的值来得到。由于文中参考的 MCFC 工作在常压下, 因此压缩机的压缩比只影响底层循环。图 3 给出了提高压缩机压缩比时对燃气轮机输出功率的影响。

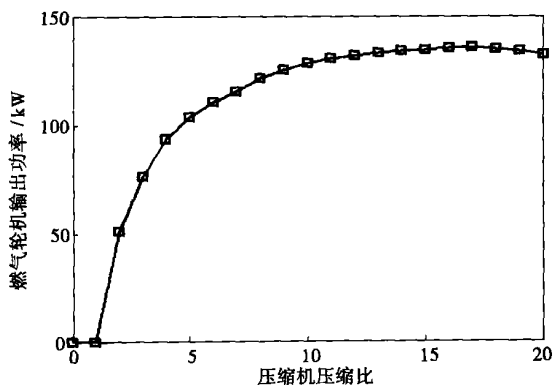


图 3 压缩机压缩比对燃气轮机输出功率的影响

如图 3 所示, 开始随着压缩机压缩比的提高, 燃气轮机输出功率上升很快, 但上升幅度越来越小, 在压缩比为 17 时取得了最大的输出功率, 继续提高压缩比反而造成输出功率的下降。由于压缩机提高压

缩比会消耗大量的能量, 不宜采用很高的压缩比, 综合考虑, 最后选取压缩比为 13 , 此时燃气轮机最大输出功率为 133.6 kW 。

4.4 优化后系统的仿真结果

使用 MATLAB 的 Simulink 工具箱对上述优化后的 MCFC/GT 联合发电系统进行了仿真试验, 采用了第 3 节所述的 MCFC 和底层循环模块, 得到的结果见表 1。总的来说, 整体系统发电量 628.7 kW , 其中 MCFC 发电量占总体的 78.86% ; 总发电效率为 57.0% , 相比单一燃料电池的 47.3% 的发电效率, 提高了约 10% 。因此, 发展 MCFC/GT 联合发电方式可提高能量利用率, 降低发电成本, 是一种很有前景的发电方式。

表 1 MCFC/GT 联合发电系统仿真结果

性能参数	数值
燃料气利用率	0.6
压缩机压缩比	13
系统最大发电效率/%	57.0
MCFC 最大发电效率/%	47.30
MCFC 入口燃料气流量/ $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$	231.9
燃气轮机入口燃料气流量/ $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$	13.22
MCFC 电压/mV	820
MCFC 电流密度/ $\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$	152
阳极排气温度/ $^\circ\text{C}$	675
单池有效工作面积/ m^2	1
电堆单池数目	400
MCFC/GT 发电量比	3.83
MCFC 发电量/kW	498.5
燃气轮机发电量/kW	130.2

5 结 论

本文研究了一个 MCFC/GT 联合发电系统, 建立了系统的仿真模型, 并采用 MATLAB 的 Simulink 工具箱分析了影响系统性能较大的几个变量, 并求出了最优的参数值, 结论如下:

(1) 联合发电系统结构采用底层循环, 这样可以使用在常压下工作的 MCFC。MCFC 工作在 650°C 时可以得到最佳性能和最高的电堆寿命。系统总发电量 628.7 kW , 其中 MCFC 占 78.86% ; 总发电效率为 57.0% , 使用了底层循环可提高总发电效率约 10% 。

(2)实际的透平入口气温度(TIT)较高,而MCFC阳极排气一般达不到这么高的温度,可向燃烧室提供燃料,还可以降低MCFC的燃料气利用率,使得更多的未反应燃料进入燃烧室燃烧以提高TIT;同时考虑到成本因素,选取最优燃料气利用率0.6。

(3)一般情况,提高压缩机的压缩比会提高燃气轮机的输出功率,但提高的幅度越来越小,且当压缩比高过一定值后,输出功率反而会下降。又考虑到压缩比越高,消耗的能量则越多,所以采用了较小的压缩比13。

参考文献:

- [1] 衣宝廉. 燃料电池—原理·技术·应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [2] 张会生, 刘永文, 苏 明, 等. 高温燃料电池—燃气轮机联合发

电系统性能分析[J]. 热能动力工程, 2002, 17(2): 118—121.

- [3] PIERO L, STEFANO U, UMBERTO D. Highly efficient electricity generation through a hybrid molten carbonate fuel cell-based loop gas turbine plant[J]. *Energy Conversion and Management* 2001, 42: 1657—1672.
- [4] PRAPAN K, SANKAR B, ATSUSHI T. Energy recuperation in solid oxide fuel cell (SOFC) and gas turbine (GT) combined system[J]. *Journal of Power sources* 2003, 117: 7—13.
- [5] FRANCISCO J. Study of molten carbonate fuel cell-microturbine hybrid power cycles[J]. *Journal of Power Sources*, 2002, 111: 121—129.
- [6] 卢立宁, 李素芬, 沈胜强, 等. 固体氧化物燃料电池与燃气轮机混合发电系统模拟研究[J]. 热能动力工程, 2004 19(4): 358—362.
- [7] PIERO L, ROBERTO B, UMBERTO D. Analysis and optimization of hybrid MCFC gas turbines plants[J]. *Journal of Power Sources*, 2003, 118: 108—117.

(何静芳 编辑)

理论研究

端壁漏泄流动对叶片冷却的影响

据《ASME Journal of Turbomachinery》2005年7月号报道,已对传统的冷却方式进行了改进,以便利用旁路绕过燃烧室的高压压气机空气冷却涡轮叶片。高压迫使冷却空气通过密封缝隙进入高温主燃气通路。在漏泄流动可以提供冷却好处的同时,它们也代表了气动力损失。

报道的试验和计算联合研究的结果展示了由沿第一级涡轮叶片平台发生的漏泄流动所带来的冷却好处。在被放置在低速叶栅风洞中的直列叶栅内试验了具有上游缝隙、中间通路缝隙和下游缝隙的比例放大的叶片。

结果表明,通过中间通路间隙的漏泄流动对叶片平台只提供小的冷却好处。增加通过中间通路间隙的冷却剂流量对改善叶片平台的冷却几乎没有什么收益。

不同于中间通路间隙,从上游缝隙的漏泄流动对平台表面提供了良好的冷却,特别是在平台的某些区域。尽管计算过度估算了冷却,还是观察到计算和试验结果之间很好的一致性。

(吉桂明 供稿)

传热传质过程和设备的有限时间热力学优化 = **Finite-time Thermodynamic Optimization of Heat and Mass Transfer Process and Relevant Equipment** [刊, 汉] / SHU Li-wei, CHEN Lin-gen, SUN Feng-rui (Postgraduate College under the Naval Engineering University, Wuhan, China, Post Code: 430033) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(2). — 111 ~ 114

The important significance of finite-time thermodynamic optimization to a heat and mass transfer process and relevant equipment has been expounded. From the standpoint of physics and engineering a broad overview is given of the present status of research in the above-mentioned arena. With focused attention a description is given of the performance optimization of theoretical and engineering cycle concerning distillation and separation processes as well as the performance optimization of chemical reactors from the following aspects: optimization methods (numerical optimization and optimal control theory), optimization objectives (minimum entropy generation, minimum average heat (work) consumption, maximum productivity, maximum exergy efficiency) and optimization results. Also explored is the development trend of the thermodynamic optimization of the heat and mass transfer process and relevant equipment. It is noted that the major development direction of the current non-adiabatic distillation thermodynamic optimization consists in the non-adiabatic distillation equipped with completely controllable heat exchangers, sequential heat exchangers and heat exchanger network incorporating heat engines. **Key words:** finite-time thermodynamics, optimization, heat and mass transfer process, non-adiabatic distillation, chemical reactor

高温空气燃烧若干因素对 NO_x 生成量的影响 = **The Impact of Several Factors of High-temperature Air Combustion on NO_x Generation Quantity** [刊, 汉] / ZHANG Fu-bao, LUO Yong-hao, HU Li-yuan, et al (College of Mechanical & Power Engineering under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(2). — 115 ~ 118

NO_x produced in large quantities by industrial production processes is a kind of important substance, which can lead to the formation of photochemical smog and acid rain. In view of this, the reduction of NO_x emissions is currently an important task facing us. One of the key techniques of high-temperature air combustion consists in the assurance of a low-oxygen environment to reduce NO_x generation amount. The authors in summing up a few key factors have come to the conclusion that a series of measures should be taken to achieve the aim of reducing NO_x emissions. These measures are: the adoption of diluents of a relatively high heat capacity, an increase in velocity of fuel and air jet flows, the use of a greater inclination angle for the fuel jet flow, an increase in the distance between fuel nozzle and air nozzle and the adoption of a higher fuel preheating temperature. Meanwhile, to achieve a complete combustion of the fuel, the air preheating temperature should be properly increased and the excess air factor also be slightly greater than 1. **Key words:** NO_x , environmental protection, combustion, high-temperature air combustion

MCFC-燃气轮机联合循环系统模拟与优化 = **Simulation and Optimization of a MCFC-Gas Turbine Combined Cycle System** [刊, 汉] / CHEN Yue-hua, CAO Guang-yi, WENG Yi-wu (Fuel Cell Research Institute under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(2). — 119 ~ 123

A molten carbonate fuel cell (MCFC) operates at a relatively high temperature. Its high-temperature exhaust gas can be

utilized by a gas turbine, thus giving rise to a combined power generation system. The authors have set up computation models for the MCFC and a bottom layer cycle respectively. With the help of these models a detailed analysis was performed of the major parameters having an impact on the performance of the combined power generation system. The results of the analysis indicate that with the operating temperature of the MCFC set at 650 °C it is possible to obtain an optimum performance and a maximum galvanic-pile service life. A relatively low fuel gas utilization rate should be selected for the combined power generation system. At a definite turbine initial temperature there exists for a gas turbine an optimum compression ratio corresponding to a maximum power output. On the basis of the above results the optimal value of various parameters have been calculated. Finally, through a simulation of the optimized system the following results were obtained: when the MCFC and a gas turbine were grouped to form a combined power generating system, a power generation efficiency amounting to 57.0% (based on a low heating value of fuel) can be achieved; the use of a gas turbine can lead to an enhancement of the integral power-generation efficiency by about 10%. **Key words:** molten carbonate fuel cell (MCFC), gas turbine, combined power-generation

基于逐级计算的汽轮机性能仿真模块的研究与应用 = **Research and Applications of a Steam Turbine Performance Simulation Module Based on Stage-by-stage Calculations**[刊, 汉] / CUI Ning, WANG Bing-shu, SONG Li-qin (North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(2). — 124 ~ 127

Under certain circumstances when it is not possible to obtain detailed geometric parameters and aerodynamic characteristics for a steam turbine stage-group one can on the basis of the calculation method for nodes in a fluid network consider the stage to be solved as pressure nodes and based on mass equilibrium calculate steam exhaust discharge pressure. In accordance with the work-doing principle of the turbine stage-group other status-parameters can be computed, and according to the design philosophy of mechanical work a relevant simulation algorithm has been prepared. The latter was employed in the project development of several sets of power station simulation system. General practice has shown that the steam turbine simulation module under discussion can accurately reflect the whole physical process of the simulation object and features fine static precision as well as outstanding dynamic response characteristics. It is a general-purpose simulation module of high practical value. **Key words:** steam turbine, stage group, simulation, module

基于煤种辨识的锅炉燃烧优化系统 = **Boiler Combustion Optimization System Based on Coal Type Identification**[刊, 汉] / DONG Jun-hua, XU Xiang-dong (Key Laboratory of Control and Simulation of Electrical System and Power Generation Equipment under the Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(2). — 128 ~ 131

Boiler combustion optimization is of major significance for enhancing energy utilization efficiency and for the protection and improvement of environment. The authors have come up with an optimization strategy based on the online identification of coal low heating value. By using the results of coal low-heating value identification and through the use of a positive balance method optimization parameters can be calculated for the online adjustment of air-coal ratio. A simulation has been finally performed. In case of a change in such factors as boiler load, coal type, etc the method under discussion can enhance thermal efficiency by 2%. Tests have shown that the method can ensure a timely adjustment of air-coal ratio under the precondition of ensuring boiler safe operation, thereby resulting in an optimized operation of the boiler. **Key**