

# CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 混合发电系统研究

段立强, 和彬彬, 杨勇平

(华北电力大学 电站设备状态监测与控制教育部重点实验室, 北京 102206)

**摘 要:** 基于顶层循环的 SOFC/MGT 混合发电系统, 提出了 CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 混合发电新系统: 经电池堆阳极产物分离出氢气后采用纯氧燃烧, 用冷凝的办法除去水蒸气, 从而捕获 CO<sub>2</sub> 气体。阴极产物与分离得到的氢气则在另外的后燃室燃烧。结合案例分析了该混合发电新系统的性能, 研究了 CO<sub>2</sub> 液化温度对系统的影响。与其它 CO<sub>2</sub> 准零排放发电系统相比, 本研究提出的 CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 混合发电新系统具有更高发电效率。研究结果将为 CO<sub>2</sub> 准零排放发电系统的研究提供有益参考。

**关 键 词:** 固体氧化物燃料电池; 微型燃气轮机; 混合发电系统; CO<sub>2</sub> 准零排放

中图分类号: TM911 文献标识码: A

## 引 言

温室气体引发的全球变暖问题受到人们的广泛关注, 如何提高能源利用效率和减少 CO<sub>2</sub> 的排放成为新世纪能源动力系统研究的重要课题<sup>[1~3]</sup>。分离与处理 CO<sub>2</sub> 要在它未被其它气体(氮)稀释时进行, 否则相关能耗将无法承受<sup>[4]</sup>。SOFC 与传统的燃烧反应不同<sup>[5]</sup>, 燃料发生电化学反应时不需要与氧化剂直接接触混合, 因此便于实现在 CO<sub>2</sub> 被其它气体稀释前进行分离。捕获 CO<sub>2</sub> 会消耗能量, 但由于 SOFC/MGT 混合发电系统本身的发电效率高, 捕获 CO<sub>2</sub> 后仍有望保持在较高的发电效率。本研究工作是对典型的顶层循环 SOFC/MGT 混合发电系统进行了改进, 提出 CO<sub>2</sub> 准零排放的 SOFC/MGT 混合发电新系统。该发电系统对电池堆阳极产物分离氢气后采用纯氧燃烧, 然后用冷凝的办法除去水蒸气, 从而捕获 CO<sub>2</sub> 并用系统余热制冷, 使 CO<sub>2</sub> 在低温下液化, 减少 CO<sub>2</sub> 气体压缩时的耗电损失。另外, 把纯氧燃烧的热量传至做功的气体工质, 并回注蒸汽保

证透平进口气体温度不超出允许范围及增加透平做功量。该 SOFC/MGT 混合发电新系统比采用传统方法捕获 CO<sub>2</sub> 的 CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 混合发电基准系统具有更高的发电效率。

## 1 系统方案说明

### 1.1 系统方案概述

为便于对比分析, 选取采用常规化学吸收法分离烟气中 CO<sub>2</sub> 的准零排放 SOFC/MGT 混合发电系统作为准零排放系统的基准系统, 如图 1 所示。基准系统采用典型的 SOFC/MGT 顶层循环布置, 发电系统的烟气直接采用氨水吸收法分离 CO<sub>2</sub> 从而实现 CO<sub>2</sub> 准零排放。

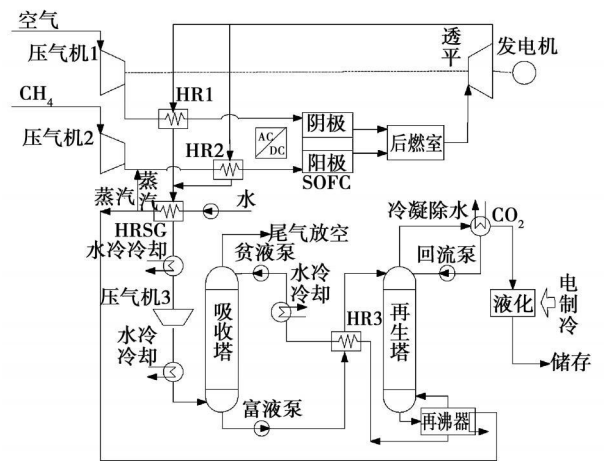


图 1 CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 混合发电基准系统

本研究提出的 CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 混合发电新系统, 如图 2 所示。CO<sub>2</sub> 准零排放新系统是在 SOFC/MGT 顶层循环布置的基础上改进得出。

收稿日期: 2009-06-11 修订日期: 2009-10-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(5066010 50476069); 国家重点基础研究发展计划(973)基金资助项目(2009CB219801); 教育部创新团队支持基金资助项目(IR10720)

作者简介: 段立强(1973-), 男, 山西平遥人, 华北电力大学副教授。

主要思想是使用陶瓷质子膜分离出阳极产物中的氢气,使之与阴极产物混合燃烧。其它含碳产物不与阴极产物混合,而采用纯氧燃烧,然后捕获其中的CO<sub>2</sub>,同时采用多项提高发电效率的措施。

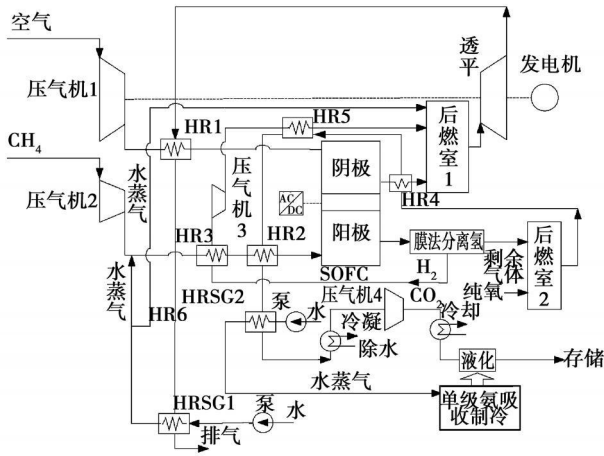


图 2 CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT混合发电新系统

### 1.2 基准系统说明

#### 1.2.1 CO<sub>2</sub> 准零排放基准系统流程

系统选用以甲烷与空气为原料的管式固体氧化物燃料电池。采用内部重整使甲烷反应生成所需的氢气,空气由压气机压缩然后经换热器加热后进入SOFC阴极。甲烷气体由压缩机压缩后与余热锅炉产生的水蒸气混合,经换热器加热后进入SOFC阳极。空气与混合燃料在电池堆发生电化学反应后,阳极与阴极的产物进入后燃室,其中可燃成分完成燃烧,燃气进入透平膨胀做功。透平排气分为两部分,一部分进入换热器1(HR1)预热空气,另一部分进入换热器2(HR2)预热燃料混合物,然后均进入余热锅炉生产水蒸气。余热锅炉排出的烟气经水冷降温后由压气机增压,再次冷却后从吸收塔底部进入吸收塔,烟气被从塔顶喷射的氨水溶液吸收CO<sub>2</sub>后放空。吸收了CO<sub>2</sub>的吸收剂经富液泵抽离吸收塔,与贫液热交换后进入再生塔中解析再生。富液热解产生贫液被引到吸收塔顶部,开始下一次吸收。富液热解的CO<sub>2</sub>经冷凝除水后得到较纯的CO<sub>2</sub>气体,然后由电制冷机制冷冷却液化,最后储存。

#### 1.2.2 CO<sub>2</sub> 吸收液的选择

目前,常用的吸收液有氨水、醇胺溶液、强碱溶液等。由于SOFC/MGT混合发电系统燃空比较低,烟气中的氧气含量很高,CO<sub>2</sub>的含量较低,本研究所选算例烟气中O<sub>2</sub>摩尔百分比为15.2%,CO<sub>2</sub>摩尔

百分比为2.16%。氧气会使胺氧化降解成热稳定性盐<sup>[10]</sup>,所以不适合使用醇胺溶液。而强碱溶液的再生热耗较大。所以选用氨水吸收法,氨水吸收效率高,速度快且热耗低,不足是存在氨气挥发问题。

### 1.3 新系统说明

#### 1.3.1 CO<sub>2</sub> 准零排放新系统流程

将电池堆阳极产物中的氢气采用陶瓷质子膜进行分离后,使剩余气体在后燃室2中进行纯氧燃烧,燃烧产物在换热器4、换热器5、换热器2中分别对电池堆阴极产物、氢气及混合燃料进行预热,然后进入余热锅炉2生产蒸汽驱动单级氨吸收制冷机制冷。余热锅炉出口的气体经过水冷冷却后除去水蒸气得到较纯的CO<sub>2</sub>气体,CO<sub>2</sub>经压气机4压缩后再次经水冷冷却,然后由制冷机制冷液化,最后储存。分离得到的氢气经混合燃料冷却后,进入压气机3加压,再经预热后与阴极气体在后燃室1中燃烧,燃室1出口气体进入透平做功,透平出口气体预热压气机出口空气,然后进入余热锅炉1生产蒸汽,该蒸汽一部分供燃料电池阳极的重整反应用,另一部分回注到后燃室1中,保证后燃室的燃烧温度不超过透平进口最高允许温度930℃。

改进系统中氢气分离采用了先进的陶瓷质子膜技术,陶瓷质子膜分离混合气体中的氢气具有能耗低,纯度高的优点,如文献[11]所示。

#### 1.3.2 新系统为提高效率采取的措施

为了提高系统的效率,准零排放新系统采取了多项措施:

(1) 分离阳极产物中的不含碳的可燃物氢气,使其到后燃室1中燃烧,同时把燃烧室2的热量传到后燃室1进口的气体中,这样可以提高燃烧室1的燃烧温度。有利于增加透平做功量。同时,分离氢气后减少了纯氧的用量,可降低制氧能耗。

(2) 本研究算例所选透平允许的最高进口温度为930℃,所以采用回注蒸汽保证透平进口烟气温满足要求,同时增加透平做功工质流量,提高透平的做功量。

(3) 燃烧室2的燃烧产物除了CO<sub>2</sub>只有水蒸气,采用冷却水冷却使混合气体中水蒸气冷凝的方法除去水蒸气。冷凝生产的热热水作为余热锅炉给水。

(4) 回收余热用来制冷,使CO<sub>2</sub>在低温下液化,可以降低CO<sub>2</sub>的液化压力,减少CO<sub>2</sub>压缩的耗功损失。

## 2 系统参数说明

### 2.1 CO<sub>2</sub> 准零排放基准系统主要参数

空气压气机 (压气机 1) 的压比 3.8 效率为 78%, 空气流量为 0.925 kg/s, 透平效率为 80%, 透平进口最高允许温度 930 °C; 透平排气管道压损 2%; 微燃机轴系机械损失为 1%; 微燃机电流逆变器效率为 98%; 换热器压力损失取 3%; 燃料为 CH<sub>4</sub>; 燃料压气机 (压气机 2) 压比为 3.85 效率为 78%; 电池单体面积 260 cm<sup>2</sup>, 连接器厚度 0.015 mm, 电解质厚度 0.015 mm, 连接器宽度 0.3 mm, 阳极厚度 0.01 mm, 阴极厚度 0.15 mm, 电池直径 1.9 mm, 电池堆压损为 5%; SOFC 的 DC/AC 电流变换器的效率为 98.5%; 后燃室压力损失 6%; 空气换热器的端差为 50 °C; 燃料预热器的传热端差为 200 °C; 余热锅炉节点温差大于 10 °C, 生产压力为 0.38 MPa, 温度为 151.85 °C 水蒸气; 烟气进入增压风机前先冷却至 40 °C, 增压后再冷却至 40 °C, 进入吸收塔的压力为 0.3 MPa, 吸收塔顶喷淋吸收液氨水质量浓度为 3.4%, 温度为 40 °C<sup>[12]</sup>。再生塔的压力为 0.86 MPa, 电制冷机 COP 取为 5, 忽略各种泵的耗电损失。电池推的数学模型见文献 [13], 吸收塔与再生塔的数学模型见文献 [14]。

### 2.2 CO<sub>2</sub> 准零排放新系统主要参数

空气压气机、燃料压气机、透平、燃料电池等设备的参数均与基准系统相同。膜分离后的氢气压力取为 1 标准大气压, 分离膜出口的氢气在压缩前先被冷却到 200 °C; 氢气压气机 (压气机 3) 的压比为 3.4 效率为 78%; CO<sub>2</sub> 压气机的效率为 78%。混合燃料在换热器 3 与换热器 2 中的压力损失分别为 1% 与 2%, 烟气在换热器 4 与换热器 2 中的压力损失分别为 1% 与 2%, 其它换热设备的气体压力损失均为 3%, 换热器 4 与换热器 5 的传热端差为 30 °C; 分离氢气后的其它气体在分离膜中压力损失为 5%。回注蒸汽保证后燃室 2 的燃烧温度为 930 °C; 余热锅炉 2 生产压力为 0.5 MPa, 温度为 180 °C 的蒸汽, 该蒸汽驱动单级氨吸收制冷机生产温度为 -50 °C 冷能, 热力系数 COP 为 0.28<sup>[13]</sup>。余热锅炉 2 出口烟气为 130 °C, 冷凝除水后的 CO<sub>2</sub> 出口温度为 30 °C, 冷却水进口温度为 15 °C, 出口温度为 90 °C。CO<sub>2</sub> 压缩后重新采用水冷冷却至 30 °C。改进后系统的空气流量、燃料流量保持不变。其它未说明参

数与基准系统取为相同。

## 3 准零排放新系统性能分析

### 3.1 与基准系统的对比分析

CO<sub>2</sub> 液化温度为 -45 °C 时 (吸收塔压力为 0.86 MPa, CO<sub>2</sub> 液化压力恰好为 0.833 6 MPa, 对应的液化温度为 -45 °C), CO<sub>2</sub> 准零排放新系统与 CO<sub>2</sub> 准零排放基准系统的对比情况如表 1 所示。由表可知, CO<sub>2</sub> 准零排放新系统的发电效率为 52.13%, 效率比基准系统效率高 14.86 个百分点。经对比分析, 新系统电池堆发电量与基准系统相同, 压气机 1 与压气机 2 耗功与基准系统相同。不同之处是新系统透平的做功减少, 且增加了 CO<sub>2</sub> 与氢气的压缩耗功。而基准系统有烟气压缩与电制冷机耗电损失。

表 1 新系统与基准系统的热力性能对比

	基准系统	改进后
空气流量 / kg · s <sup>-1</sup>	0.925	0.925
燃料流量 / kg · s <sup>-1</sup>	0.012	0.012
压气机 1 耗功 / kW	160.07	160.07
压气机 2 耗功 / kW	3.65	3.65
压气机 3 耗功 / kW	125.81	3.63
后燃烧室 1 燃烧温度 / °C	930	930
后燃烧室 2 燃烧温度 / °C	—	988.74
电池堆工作温度 / °C	820	820
电池堆发电量 / kW	247.02	247.02
透平做功 / kW	270.52	239.38
压气机 4 耗功 / kW	—	6.50
制冷机制冷量 / kW	—	17.01
制冷机耗功 / kW	2.94	—
HRS <sub>G1</sub> 排烟温度 / °C	209.60	149.85
回注蒸汽量 / kg · s <sup>-1</sup>	—	0.007
脱碳后系统总效率 / %	37.27	52.13

基准系统未采用氨气吸收烟气中的 CO<sub>2</sub> 前的发电效率为 58.91%, 吸收后效率为 37.27%, 效率下降 21.64 个百分点。原因: 吸收液再生所需热量由烟气余热提供, 捕获 CO<sub>2</sub> 的能耗主要是烟气进入吸收塔前增压的耗电损失, 达 125.81 kW; 其次是电制冷的耗电损失, 电制冷耗电为 2.94 kW。

基准系统透平做功工质流量为 0.96 kg/s, 工质平均比热是 1.22 kJ/kg, 透平做功为 270.52 kW。新系统透平做功工质流量减为 0.89 kg/s, 工质平均

比热变为 1.17 kJ/kg，新系统透平做功为 239.38 kW，比基准系统透平做功降低 31.14 kW。若不分离氢气及采用传热与回注蒸汽等措施，透平做功势必严重降低。氢气分离后压力降低，要使其引入后燃室 1 中，需要重新增压，而氢气温度较高，压缩前需要先进行适当的冷却才能实现。经计算，氢气压缩耗功为 3.63 kW，为将捕获的 CO<sub>2</sub> 气体液化，需要将其压力提高，然后进行低温冷却使其液化。但是 CO<sub>2</sub> 气体即使在 -45 °C 的低温，其饱和压力也要达到 0.833 6 MPa，使其在 30 °C 时绝热压缩达到这个压力，需要耗功 6.5 kW。显然，如果采用的液化温度提高，需要将 CO<sub>2</sub> 气体压缩至更高的压力，压缩耗功将增加。

通过对比分析可知，新系统由于采用了多项可提高效率的措施，捕获 CO<sub>2</sub> 后系统做功降低较少，而基准系统由于采用氨水吸收法时烟气压缩时耗功损失较大，所以基准系统的发电效率远低于 CO<sub>2</sub> 准零排放新系统效率。采用化学吸收法时，系统更为复杂，且需要吸收塔与再生塔等复杂的设备，而新系统相对要简单的多，且分离膜单元并不复杂；另外，新系统需要的冷却水用量也明显小于基准系统，因此该 CO<sub>2</sub> 准零排放新系统更具有优越性。

### 3.2 CO<sub>2</sub> 液化温度对系统性能的影响

图 3 给出了 CO<sub>2</sub> 液化压力、液化潜热随液化温度的变化情况。由图可见：液化温度升高，液化需要的压力逐渐提高，这时需将 CO<sub>2</sub> 压缩到更高的压力，压缩耗功损失增加，压缩后的 CO<sub>2</sub> 气体通过冷却来液化，所需冷量主要部分是被 CO<sub>2</sub> 液化潜热放热消耗。CO<sub>2</sub> 液化潜热放热量随液化温度的升高显著降低。CO<sub>2</sub> 在不同温度下饱和压力与潜热数据如文献 [16] 所示。

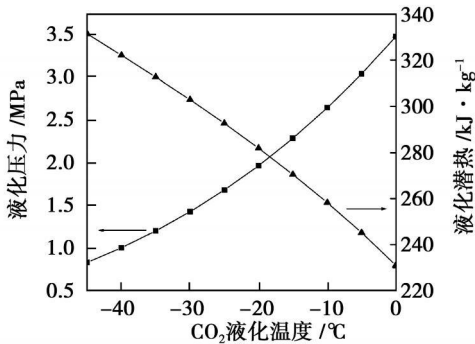


图 3 CO<sub>2</sub> 液化压力与 CO<sub>2</sub> 液化潜热随液化温度的变化

图 4 为 CO<sub>2</sub> 压缩耗功与 CO<sub>2</sub> 液化消耗冷量随液化温度的变化情况。可见，当 CO<sub>2</sub> 液化温度提高时，CO<sub>2</sub> 压缩耗功显著增加。由于余热锅炉 2 生产的蒸汽参数较高，可生产品位较高的冷能，从而可使 CO<sub>2</sub> 在较低的温度下液化。即采用余热制冷使 CO<sub>2</sub> 在低温下液化的办法可显著减少 CO<sub>2</sub> 压缩耗功损失。液化温度提高时，需要消耗的冷量会降低。本研究所选算例，所研究温度范围内，系统制冷机生产冷量是足够的。

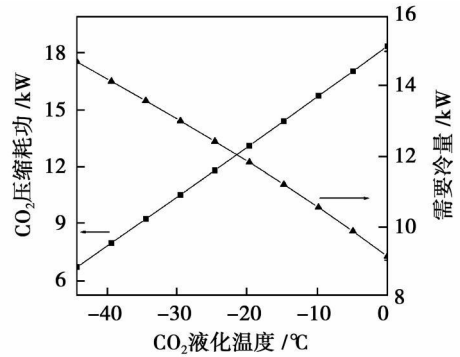


图 4 压缩 CO<sub>2</sub> 耗功与 CO<sub>2</sub> 液化消耗冷量随液化温度的变化

图 5 为系统发电效率与系统发电功率随 CO<sub>2</sub> 液化温度的变化情况。由于压缩 CO<sub>2</sub> 耗功随液化温度提高而增加，所以系统的发电功率随液化温度提高而减小，混合发电系统的发电效率随液化温度提高是逐渐降低的。

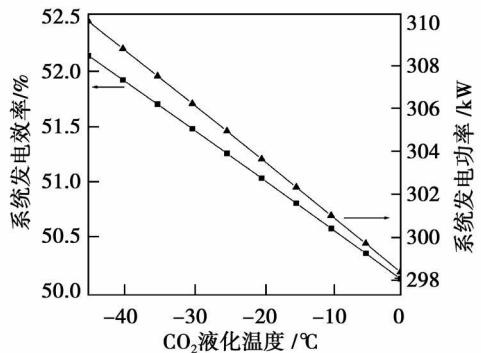


图 5 系统发电效率与发电功率随 CO<sub>2</sub> 液化温度的变化

### 3.3 与其它准零排放系统的对比

CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 混合发电新系统与它几种 CO<sub>2</sub> 准零排放的发电系统的发电效率的对比如表 2 所示。

表 2 新系统与其它 CO<sub>2</sub> 准零排放发电系统的对比

CO <sub>2</sub> 准零排放系统	发电效率 /%
CO <sub>2</sub> 零排放 SOFC/MGT 混合发电新系统	52.1
直接燃煤电厂燃烧后 MEA 法脱碳	25.7
直接燃煤电厂燃烧后氨法脱碳	27.8
IGCC 电厂燃烧前 MEA 法脱碳	34.2
IGCC 电厂燃烧前氨法脱碳	36.1

表 2 中其它几种 CO<sub>2</sub> 准零排放发电系统的数据源自文献 [17]。由对比可知, CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 混合发电新系统在效率上具有绝对的优势。比直接燃煤电厂与 IGCC 电厂采用效率较高的脱碳效率方式时分别高 24.3 个百分点与 16 个百分点, 如前所述亦比采用氨水吸收法的 CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 混合发电系统发电效率高 14.8 个百分点。

## 4 结 论

本研究基于顶层循环的 SOFC/MGT 混合发电系统的改进研究, 提出了 CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 混合发电新系统。并对该混合发电新系统的性能进行了分析。与采用氨水吸收法的 CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 混合发电系统相比, 本研究提出的 CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 新系统效率高 14.8 个百分点。研究结果将为研究更高效的 CO<sub>2</sub> 准零排放发电系统提供有益的参考。

## 参考文献:

- [1] 李英杰, 赵长遂. 碳酸钙循环煅烧—碳酸化吸收 CO<sub>2</sub> 的热力学分析 [J]. 热能动力工程, 2008, 23(3): 306—310
- [2] 李振山, 房 凡, 蔡宁生. 高浓度 CO<sub>2</sub> 下 CaCO<sub>3</sub> 循环煅烧试验与模拟 [J]. 热能动力工程, 2007, 22(6): 642—646
- [3] 程文龙, 赵 锐, 陈则韶, 等. 对一种利用液化天然气冷能实现零排放的能量系统的评估 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(16): 102—106
- [4] 林汝谋, 段立强, 金红光. CO<sub>2</sub> 准零排放的 IGCC 系统探索研究 [J]. 工程热物理学报, 2002, 23(6): 661—664
- [5] 张克文, 李 军, 李国君, 等. 管式 SOFC 热电特性的三维数值研究 [J]. 热能动力工程, 2006, 21(6): 628—631
- [6] 陈启梅, 翁一武, 翁史烈, 等. 燃料电池—燃气轮机混合发电系统性能研究 [J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(4): 31—35
- [7] TANAKA K, WEN C, YAMADA K. Design and evaluation of combined cycle system with solid fuel cell and gas turbine [J]. Fuel, 2000, 79(12): 1493—1507
- [8] COSTAMAGNA P, MAGISIRI L, MASSARDO A F. Design and

part load performance of a hybrid system based on a solid oxide fuel cell reactor and a micro gas turbine [J]. Journal of Power Sources, 2001, 96(2): 352—368

- [9] CALISEA F, DENTICE M, D'Accadia PALOMBOA A, et al. Simulation and exergy analysis of a hybrid solid oxide fuel cell (SOFC)—gas turbine system [J]. Energy, 2006, 31(15): 3278—3299
- [10] 李小森, 鲁 涛. 二氧化碳分离技术在烟气分离中的发展现状 [J]. 现代化工, 2009, 29(4): 25—30
- [11] 段立强, 杨勇平, 林汝谋. 与 SOFC 整合的 CO<sub>2</sub> 准零排放 IGCC 新系统研究 [J]. 工程热物理学报, 2006, 27(5): 725—728
- [12] ANDREA CORTI, LIDIA LOMBARDI. Reduction of carbon dioxide emissions from a SCGT/CC by ammonia solution absorption: preliminary results [J]. Int J Thermodynamics, 2004, 7(4): 173—181
- [13] DUAN LIQIANG, HE BINBIN, YANG YONGPING. Study on SOFC-MGT hybrid cycle system with high efficiency // Proceeding of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition Q. Boston: ASME, 2008, 261—270
- [14] YE H, JAMES T, RESNIK KEVIN P, KATHY RYGLE, et al. Semi-batch absorption and regeneration studies for CO<sub>2</sub> capture by aqueous ammonia [J]. Fuel Processing Technology, 2005, 86(15): 1533—1546
- [15] 茅以惠, 余国和. 吸收式与蒸汽喷射式制冷机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1985
- [16] 解国珍, 姜守忠, 罗 勇. 制冷技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008
- [17] 高 健, 倪维斗, 李 政. 煤基发电系统燃烧前后氨水吸收 CO<sub>2</sub> 的对比 [J]. 热能动力工程, 2009, 24(1): 127—131

## · 书 讯 ·

### 《工业炉设计手册》

本手册论述了机械工厂及部分冶金工厂用工业炉的基本原理和设计方法, 详尽地提供了工业炉及其附属装置的结构类型和设计计算资料。主要内容有: 设计方法介绍, 传热计算, 燃料与燃烧计算, 钢材加热计算, 燃料消耗量计算, 炉前管道、排烟系统、炉用结构件、炉用机械、常用炉型、电阻炉及可控气氛炉设计、筑炉材料与炉衬设计, 热工测量与控制, 消烟除尘与噪声控制等, 并附有大量图表。全书采用了最新国家标准和统一的科技名词术语。

读者对象: 工业炉设计、研究、制造及维修人员, 大专院校有关专业师生。

2010年 5月出版

the denitration electricity price and putting forth corresponding policies in China. Key words: SCR (Selective Catalytic Reduction)-based denitration device; cost analysis; denitration electricity price; policies on electricity price

中国生物质气化联合循环发电系统的费用及容量选择 = Cost and Capacity Choice of a Combined Cycle Power Generation System Based on Biomass Gasification in China [刊, 汉] / JIA You-jian (College of Science, Kunming University of Science and Technology, Kunming, China, Post Code: 650055), YU Zhi (College of Technology, Zhongshan University, Guangzhou, China, Post Code: 510275), WU Chuang-zhi (Guangzhou Energy Source Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, China, Post Code: 510275) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(4), —441~444

On the basis of the biomass fuel supply chain of a 4 MW internal combustion engine-steam turbine combined cycle power generation system based on biomass gasification in China, established was a power generation process cost model for estimating the electric power cost of power generation systems. It has been found that the electric power cost is RMB 0.38 Yuan/(kW·h), slightly higher than the average on-line electricity price (RMB 0.25 to 0.35 Yuan/(kW·h)) and lower than the average market retailing price (RMB 0.50 Yuan/(kW·h)). On the basis of the fuel and power generation process cost model, the capacity/scale-based economic benefit of a biomass power plant was discussed. According to the state of the art and current status of biomass fuel (rice straw) supply in China, for a distributed biomass power generation system, a capacity ranging from 6 MW to 8 MW is a feasible choice. Key words: biomass gasification combined cycle; cost model; electric power cost; capacity/scale-based economic benefit

CO<sub>2</sub> 准零排放 SOFC/MGT 混合发电系统研究 = Study of a CO<sub>2</sub> Quasi-zero Emissions-based SOFC/MGT (Solid Oxide Fuel Cell/Micro Gas Turbine) Hybrid Power Generation System [刊, 汉] / DUAN Li-qiang, HE Bin-bin, YANG Yong-ping (Education Ministry Key Laboratory on Power Plant Equipment Condition Monitoring and Control, North China University of Electric Power, Beijing, China, Post Code: 102206) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(4), —445~449

On the basis of a top-level cycle SOFC/MGT hybrid power generation system, proposed was a novel CO<sub>2</sub> quasi-zero emissions based SOFC/MGT hybrid power generation system, adopt pure oxygen combustion after hydrogen has been separated from the product at the positive pole of the cell pile, then remove vapor by using a condensing method, thus CO<sub>2</sub> gas can be captured. The product at the negative pole and the hydrogen obtained from a separation were burned in a rear combustor. In combination with specific cases, analyzed was the performance of the system in question and studied was the influence of CO<sub>2</sub> liquefied temperature on the system. Compared with other CO<sub>2</sub> quasi-zero emissions based power generation systems, the novel CO<sub>2</sub> quasi-zero emissions based SOFC/MGT hybrid power generation system boasts an even higher power generation efficiency. The research results can offer useful and instructive reference for studying CO<sub>2</sub> quasi-zero emissions based power generation systems. Key words: SOFC (solid oxide fuel cell), micro gas turbine, hybrid power generation system, CO<sub>2</sub> quasi-zero emissions

生物质活性炭对亚甲基蓝的吸附平衡和动力学研究 = Study of the Adsorption Balance and Kinetics of Biomass Active Carbon Relative to Methylene Blue [刊, 汉] / LI Qian, HUANG Ya-jie, JIN Bao-sheng et al (College of Energy Source and Environment, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(4), —450~454

Methylene blue solutions at various concentrations in the active carbon adsorption water phase were used, which were prepared by using com-cores as the raw material. The initial concentration of methylene blue was within a range from 50 to 250 mg/L. The test conditions were as follows: the adsorption time was listed as 1 to 48 hours.