

IGCC 关键技术及其热力学与经济评价

张 勇 闫媛媛

(陕西科技大学 机电工程学院 陕西 西安 710021)

摘 要:介绍了整体煤气化联合循环(Integrated Gasification Combined Cycle,简称 IGCC)发电技术的工艺流程及其目前发展水平、气化技术以及煤气净化系统等关键技术,重点分析了关键技术之一的核心设备—气化炉,从原理、工艺与结构方面对其进行了说明并探讨了部分气化炉存在的问题及改善措施。通过与超临界、天然气联合循环等发电技术对比对该系统的经济性进行了评价,并评估了该系统的热力学性能。最后从 IGCC 系统、气化技术和煤气净化系统等角度提出了 IGCC 今后的发展需要,进一步提高各子系统性能与整体的集成度,发展方向也更加多元化,以追求更低耗能和环保。

关 键 词:IGCC; 气化炉; 热力学评估; 经济分析

中图分类号:TK112 文献标识码:A

引 言

煤是推动社会经济发展的主要物质能源之一,但随着社会的发展,环境、能源等问题日益突出,其清洁利用便得到高度关注。在众多的洁净煤电技术中,始于西方国家的 IGCC 整体煤气化联合循环(Integrated Gasification Combined Cycle,简称 IGCC)技术集成煤气化、煤气净化和燃气蒸汽联合循环发电技术,实现了能的梯级利用^[1]。对于我国来说,主要的发电形式是燃煤发电,这样的煤炭消费特点造成环境严重污染和能源利用率低等问题。IGCC 技术洁净环保、燃料适应广以及易于多联产等特点为其在我国发展奠定坚实的基础。

IGCC 技术一被开发出来就受到广泛的关注,各国专家学者都做了大量的研究工作。高全娥介绍 IGCC 技术的工艺、设备与主要特点,并分析了一些关键技术,最后对 IGCC 技术存在的问题提出了一些建议^[2];董明声等人对世界上的 IGCC 电站进行了统计并简要介绍了主要电站的性能参数^[3];施强等人从节能减排方面分析了 IGCC 技术的特点^[4];

焦树建介绍、分析并展望了 IGCC 的一些关键技术^[5];王辅臣等人介绍了煤气化技术国内外发展现状并分析了其主要趋势^[6]。本研究介绍了 IGCC 技术的工艺流程及发展情况,并粗略统计了目前已建和处于发展中的 IGCC 项目,分析了其核心设备气化炉的发展近况,并对该系统进行了经济分析和热力学性能评估。

1 IGCC 技术及其发展

1.1 IGCC 技术

IGCC 发电技术兴起于 20 世纪石油危机时期,其工艺流程大致是将煤等含碳燃料经干燥等处理加压送入气化炉中气化生成粗煤气,然后通到煤气净化系统进行除尘、脱硫等再送入燃气轮机燃烧发电,排出的尾气再送入余热锅炉加热给水以生成过热蒸汽和气化过程中生成的蒸汽共同带动蒸汽轮机发电,实现煤气化净化燃气蒸汽联合循环发电,其典型工艺流程如图 1 所示。

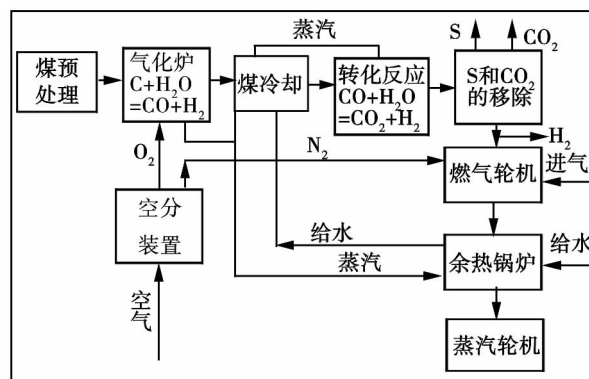


图 1 典型 IGCC 系统工艺流程图

Fig.1 Chart showing the process of a typical IGCC system

1.2 IGCC 技术发展概况

IGCC 系统主要由气化炉、空分装置、煤气净化

收稿日期: 2013-01-30; 修订日期: 2013-03-06

作者简介: 张 勇(1966-),男,陕西西安人,陕西科技大学硕士生导师。

系统、燃气轮机、余热锅炉和蒸汽轮机等组成。目前,燃气轮机的初温已提高到 1 400 ℃ 以上,蒸汽轮机也发展到三压循环,均已比较成熟。煤的气化与净化成为研究重点,其总体装置发展情况如表 1 所示。

表 1 IGCC 系统总体装置发展^[7]

Tab.1 Evolution of the all-inclusive devices of IGCC systems^[7]

| | 第一代 | 第二代 | 第三代 |
|---------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 实现年代 | 20 世纪 80 年代 | 20 世纪 90 年代 | 21 世纪初 |
| 气化供煤方式 | 水煤浆 | 水煤浆或干粉 | 干煤粉 |
| 煤气净化方法 | 常温湿法 | 干或湿法 | 高温干法 |
| 蒸汽循环 | 单压 | 双压再热 | 三压再热 |
| 燃气轮机进口温度/℃ | 1 066 | 1 288 | 1 427 |
| 投资/ \$ · kW ⁻¹ | 2 000 ~ 3 000 | 1 400 ~ 1 700 | 900 ~ 1 300 |
| 供电 (HHV) | | 40 ~ 45 | 50 ~ 53 |
| 效率/ % LHV | 30 ~ 35 | 42 ~ 47 | 52 ~ 55 |
| 代表项目 | Cool Water 100 MW Louisiana 州 160 MW | 美国 Tampa、 Wabash River 荷兰 NUON 西班牙 Elogas | 美国 Vision 21 英国 HatField 中国 GreenGen 欧盟 HypoGen 澳洲 ZeroGen |

1.2.1 国外 IGCC 的发展

国外部分 IGCC 项目情况和在建项目如表 2 所示。

表 2 部分国外 IGCC 项目一览表^[3,7-10]

Tab.2 List of a part of IGCC projects in foreign countries^[3,7-10]

| 建成时间 | 项目名称 | 国家 | 容量/MW | 燃料 | 气化炉 | 目的 |
|------|----------------|-----|-------|------|--------|---------|
| 1972 | Lünen | 德国 | 170 | 煤 | Lurgi | 试验 |
| 1985 | Leuna | 德国 | 170 | 渣油 | GSP | 试验 |
| 1984 | Cool Watet | 美国 | 100 | 煤 | Texaco | |
| 1987 | LGTI | 美国 | 160 | 煤 | Destec | |
| 1994 | Demkolec | 荷兰 | 253 | 煤 | Shell | 发电 |
| | Wabash River | 美国 | 260 | 煤 | Destec | |
| 1995 | Schwarze Pumpe | 德国 | 60 | 煤/废料 | GSP | 发电 + 甲醇 |
| | TECO Tampa | 美国 | 250 | 煤 | Texaco | 发电 |
| 1996 | El Dorado | 意大利 | 40 | 油焦 | | 热电 |
| | ILVA | 意大利 | 550 | 煤气 | 炼钢高炉 | 发电 |

续表 2

| 建成时间 | 项目名称 | 国家 | 容量/MW | 燃料 | 气化炉 | 目的 |
|------|----------------------|-----|---------|------|---------|-----------------------|
| | Pinon Pine | | 100 | 煤 | KRW | |
| 1997 | Eastman Chemical Co. | 美国 | 350 (净) | | Texaco | 发电 + 甲醇 |
| | Elogas | 西班牙 | 350 | 渣油 | Prentlo | 发电 |
| 1998 | Pernis | 荷兰 | 110 | | Shell | 热电 + H ₂ |
| | API Energia | 意大利 | 280 | 渣油 | Texaco | 发电 + 蒸汽 |
| 1999 | FIFE Electric | 苏格兰 | 120 | 垃圾 | BGL | 发电 |
| | ISAB Energy | 意大利 | 512 | 沥青焦油 | Texaco | 热电 + H ₂ |
| | Sarlux | | 550 | | | |
| 2000 | Total Confreville | 法国 | 365 | 渣油 | | |
| | Exxon Baytown | 美国 | 240 | 石油焦 | | 热电联产 + H ₂ |
| | Exxon | 新加坡 | 180 | 重油 | | |
| 2001 | Negishi | 日本 | 433 | 沥青渣油 | | 发电 |
| | AGIP Petroli | 意大利 | 250 | | | 发电 + H ₂ |
| 2002 | ANPC | 日本 | 342 | 渣油 | Texaco | 发电 |
| | GSK | | 550 | | | |
| 2003 | Stainforth HatField | 英国 | 740 | 煤 | Shell | 发电 + CCS + EOR |
| 2005 | Piemsas Basgue | 西班牙 | 800 | 沥青 | Texaco | |
| 2006 | Sanazzaro | 意大利 | 250 | 渣油 | Shell | |
| 2007 | Vresova | 捷克 | 400 | 煤 | HTW | |
| | Nakoso | 日本 | 220 | 煤 | MHI | 发电 |
| 2008 | CCP | 日本 | 250 | 煤 | | |

从表中可以看到 IGCC 的发展速度。目前,已大型化商业示范的 IGCC 电站有五座(Wabash River、TECO Tampa、Nuon Buggnum、Puertollano 和 Nakoso) 美国占其中两套。随着美国对 IGCC 技术的重视及投入,其电站发电功率逐步提高,燃料的范围也从煤扩展到重油等,并不断尝试降低排放、节约水资源;在碳捕获封存方面也有所突破,并示范研究化工联产、水汽联产和热电联产等。美国已掌握 IGCC

核心技术。

同时 欧洲以及其他国家也对 IGCC 技术的发展做出了巨大贡献。这些国家大多拥有自己的技术 ,比如荷兰有自己的壳牌气化 ,日本也有自主研发的三菱气化;在气化炉的采用上 ,他们同时采用水煤浆进料和干粉进料的气化炉;在燃气轮机方面改善了以往只燃用混合气的情况 ,也可单独燃烧天然气;气化和燃气轮机技术的完善使燃料可选范围扩大到油渣、沥青等;发电能力越来越强;同时还追求高环保、高效与高可靠性。

续表 2

| 建成时间 | 项目名称 | 国家 | 容量/MW | 气化炉 | 目的 |
|----------|------------------------|------|--------------------|---------------|-------------------------------|
| 2010 | Orlando | 美国 | 285 | Transport | 发电 |
| | AEP | | 600 | | |
| 评估 重构 | FutureGen | | 275 | 未知 | 电氢联产 + 近零排 |
| 2012 | Nuon Magnum | 荷兰 | 750 | Shell | 发电 |
| | Centrica Teesside | 英国 | 800 | 未知 | 发电 + EOR |
| 2013 | Powerfuel HatField | | | 740 | Shell |
| | Edwardsport Mesaba | 美国 | 618 600 | GE E - Gas | 发电 + CCS 发电 + EOR |
| 2014 | RWE Zero | 德国 | 360 | 高温温克勒炉 | IGCC + CCS |
| | Taeann No. 1 | 韩国 | 300 | Shell | 发电 |
| 2015 | Vision 21 | 美国 | | | 电力 + 化学品 + 燃料 + 合成气 + 氢 + CCS |
| | HYPOGEN | 欧盟 | 192 | | 电氢联产 + 近零排放 |
| 2012 | ZeroGen ^[9] | 澳大利亚 | 120(一期) 450(二期) | Shell | IGCC + CCS |
| 2017 | Nuon Magnum | 荷兰 | 1200 | Shell | 发电 + 碳捕获 |
| 2020 | Alberta EPCOR | 加拿大 | 270 | SFG - 500 | IGCC + CCS |

1.2.2 国内 IGCC 的发展

国家 863 计划重大项目华能天津 250 MW 示范电站于 2012 年 12 月 12 日投产 ,这是我国首座

IGCC 电站 ,采用了我国自主研发的两段式干煤粉加压气化炉^[11];大唐在天津、深圳的 IGCC 热电厂项目和在深圳的多联产项目都已报批 ,其东莞 IGCC 改造项目已运行;国电山东烟台 IGCC 示范项目 ,因引进全套国外设备使造价太高并且效益难以短期实现被取消 ,其在海门和海南的 IGCC 项目分别处于编制和可研中;中电廊坊 IGCC 项目已开展;中国神华内蒙 IGCC 项目也已报批;山东兖矿泰化工的 IGCC 多联产示范项目已运行^[3]。

2 IGCC 关键技术进展

2.1 气化炉

气化炉是气化技术的核心设备 ,按结构分主要有固定床、流化床和气流床。气化主要过程是煤经热解发生燃烧气化反应生成主要成份是 CO 和 H₂ 的粗煤气。

2.1.1 固定床气化炉

鲁奇加压气化固定床炉最早被开发出来 ,煤粒直径 5 ~ 50 mm ,反应温度 1 400 °C ,碳的转化率接近 100% ,用于 IGCC 系统的有加压气化 Lurgi 炉(鲁奇加压气化炉)和 BGL 炉(液态排渣气化炉 British Gas Lurgi) 。Lurgi 第一代自 20 世纪 40 年代开发出来 ,现已发展到第四代 ,采用碎煤进料与气化剂逆流自然式反应、固态排渣。针对单炉生产能力小且结构复杂、煤气中还含有焦油和酚等成份使煤气净化更复杂的这些问题发展的 BGL 炉 ,采用碎煤熔渣和焦油等回炉气化技术 ,气化强度明显提高^[12]。

2.1.2 流化床气化炉

流化床进料煤粉粒度小于 6 ~ 8 mm ,煤层温度 1 038 °C 左右 ,气化流速较高 ,燃烧和气化时加入脱硫剂(石灰石或白云石) ,可脱除大部分 SO₂ 和 H₂S。流化床有温克勒炉(Winkler) 、高温温克勒炉(High Temperature Winkler ,HTW) 和 U - Gas 炉等 ,前两者已用于 IGCC 项目。

德国莱茵褐煤公司的 HTW 气化采用的是温克勒炉的改善气化工艺 ,可适合高灰劣质煤 ,碳的转化率 96%。美国 U - Gas 气化炉 ,采用灰融聚技术 ,低温低压气化使炉子相对耐用 ,但存在结渣和回火等问题 ,由于结渣会引起回火现象 ,所以可以从煤质和炉内的温度控制方面改善结渣问题。U - Gas 基础上改进的 SES(褐煤工艺气化技术) 气化系统 ,炉底采用两个灰渣冷却器排走较大颗粒灰渣 ,增两套旋风分离器回收利用较细灰粉以提高碳的转化率 ,投

产初期存在粉尘污染、管线堵塞和运行周期短等问题,运行周期短主要是由前两者等原因造成,所以公司投产以后从煤仓的排放、煤的输送和气化炉结构 3 个方面改进以降低污染,改变排灰系统管子的结构来疏通排灰,改进后的炉子运行效果好多了,文献 [13] 对该技术进行了介绍。先进加压循环流化床技术—传输集成式气化 (TRIG) 是 KBR 公司根据其流化催化裂化 (FCC) 技术开发的,采用双混合器、双旋风分离器加速固体循环和气体流速,较高的热质传递速率以提高生产能力与碳的转化率^[14],该炉正进行商业化推广。

中国科学院山西煤炭化学研究所中心射流原理和灰融聚技术为基础,自主研发了灰熔聚流化床粉煤气化技术。该技术以碎煤为原料,所以煤种适应性较强,采用旋风分离器捕获再气化随煤气流走的细粉使碳的转化率达 90%^[12]。

2.1.3 气流床气化炉

目前,气化炉中采用最多的是气流床,炉内温度 1 500 °C 左右,煤粒直径 100 μm 左右,有湿法和干法两种进料方式,碳的转化率为 98%,煤种适应性较强,有利于大型化。美国 Texaco、E - Gas、荷兰 Shell 和德国 Prenflo 均已用于 IGCC 电厂^[5]。Texaco 和 Shell 是气流床两种进料的典型代表,前者采用水煤浆单喷嘴进料、炉底液态排渣没有飞灰再循环技术,结构与控制系统简单,但存在冷煤气效率偏低、烧嘴运行周期短与拱顶部分易结渣等问题。后者采用干法进料、对置燃料喷嘴和液态排渣工艺、膜式水冷壁结构代替前者的耐火砖结构,寿命较长、煤种适应性强(包括烟煤、无烟煤以及石油焦炭等)、综合性能较好,但结构太复杂其造价与维修费用很高^[15]。Prenflo 炉原理与 Shell 类同。

E - Gas 是 Texaco 的改进型,能适应多种类型给料,采用两段式进料使多余的水煤浆转化利用,20 世纪 70 年代已工业化。我国华东理工大学也成功开发多喷嘴对置式水煤浆气化炉,采用 4 个对称喷嘴在气化炉内形成射流撞击优化的气化效果,其可用率和可靠性尚待验证。这两种炉子都解决了 Texaco 单喷嘴设计冷煤气效率低的问题。

我国西安热工所自主研发的两段式干煤粉加压气化炉上炉膛布置 2 个二次煤粉和水蒸气进口,下炉膛布置 4 到 6 只煤粉烧嘴,此设计冷煤气效率、热效率以及排渣性能都较好,已成功用于我国华能天津 IGCC 示范项目。

此外,清华大学非熔渣—熔渣氧气分级煤气化、

日本三菱公司干法供料两段气化空气鼓风机流床气化炉 (MHI) 以及美国非混合型的燃料处理器也都很有发展潜力。

2.2 粗煤气净化系统

与常规火电厂相比,IGCC 技术是将来自气化炉的煤气通过除尘、脱硫等净化后再送往燃气轮机以发电,降低了污染物的排放。常规电厂采用湿法脱硫装置 (FGD) 效率 95%; IGCC 电厂采用先进的煤气净化系统,目前脱硫效率 98% ~ 99%。煤气净化系统有两个工艺:除尘与脱硫,现有两种净化系统:常温湿法和高温干法。一般情况下,前者初次除尘采用旋风分离器回收部分飞灰再利用,用文丘里管除尘器再次除尘以脱去较细颗粒和飞尘, MDEA (N - 甲基二乙醇胺) 法脱硫,技术已成熟。后者的净化温度在 500 ~ 600 °C,是前者两倍多。采用高温除尘技术和高温干法脱硫技术还处于研发中。目前 IGCC 电站均采用常温湿法净化系统^[16]。

IGCC 技术还有一个特点就是能实现 CO₂ 捕获与封存 (CCS),该技术是将进入燃气轮机前煤气中的 CO 在转化反应器中与水蒸气反应以生产富 H₂ 再通往燃气轮机以达到洁净燃烧的目的,然后利用吸附、低温以及膜系统等技术捕获 CO₂,再用地质封存、CO₂ - EOR 和 CO₂ - ECBM 等技术将 CO₂ 永久封存或再利用。目前,该技术还处于实验开发阶段^[17]。

3 技术经济性分析

技术经济性评估是发展先进电站前期重要的研究内容,在国外经济性评价方法有美国电力研究所 (EPRI) 的 TAG 模型,美国能源部 (DOE) 的 IGCC MODEL 模型等^[18]。国内也有修正模型用于评估 IGCC 的技术经济性。

在 DOE2007 年洁净煤计划中评估了 IGCC、亚临界煤粉燃烧 (PC Sub)、超临界煤粉燃烧 (PC Super) 和天然气联合循环发电 (NGCC) 等技术,结果显示 IGCC 投资成本和发电成本的增加率最低^[19]。在其最后的报告结果显示,GE、E - Gas 和 Shell3 种气化在有碳捕获时电功率总体成本平均为 2 496 \$ /kW,比无碳捕获平均增加了 26.3%。与上面三种发电方式对比,IGCC 技术 CO₂ 减排成本最低,比最高的 NGCC 节约了 53.8% 的资金;有碳捕获时,IGCC 电厂标准污染物排放最低,工厂总成本和电力成本都比较适中,分别为 2496 \$ /kW 和 10.63

\$/kW^[19]。

IGCC 系统的设备投资和电价均较高但效率较好、成本追加少且有最佳的环保性能。所以加快 CCS 技术的研究、设备与材料国产化和低成本原料开发,仍是目前提高整体经济性的主要方向。

4 热力学性能评估

通过利用各种热力学数据,对系统各部分选用适合的热力学模型,计算得到体系中各部分热力学性能的参数评估方法。

王颖等人用 Thermo Flex 软件建立 200 MW 级 IGCC 系统模型^[20],计算出系统整体性能参数,比较不同气化参数下气化炉性能与 IGCC 系统的效率,并对不同气化条件下有效气体体积含量、冷煤气效率和比煤耗等进行了分析,最后得出:气化温度对系统性能影响较大;可以通过提高水煤浆浓度和氧气浓度提高冷煤气效率和系统效率。Antonio 等人用专有仿真代码(GS)工具对比氧气气化和空气气化 IGCC 电厂的热力学性能^[21],分析变化的气化温度和传递到水冷壁的热量,得出空气气化 IGCC 净效率达 48.91%,比基于 Shell 气化炉的电厂高 1.65%。肖云汉等人根据质量和能量守恒原理,用 Aspen Plus 和 Gatecycle 软件分别建立气化、颗粒移动、脱硫、硫重获、热回收和燃气联合循环模型^[22],讨论影响 IGCC 电厂热力学性能的关键参数高温干法脱硫的温度、氧浓度以及 H₂S 去除效率得出,与常温湿法净化相比高温干法净化 IGCC 净效率提高了 1.77%。江丽霞等人基于系统总能概念,根据热力学定律建立了 IGCC 系统热力学性能评估模型^[23],并指出在相关技术进一步提高的情况下,IGCC 效率有望达 50%~58%。通过热力学性能分析为 IGCC 系统的设计与运行提供参考数据,对出现的问题进行针对性的改进,保证 IGCC 电厂稳定运行。

5 结 论

(1) 在气化技术、高温净化系统和燃气蒸汽联合发电技术等不断提高的同时,还应进一步完善整个系统的集成度,形成统一、高效的 IGCC 系统。并且,为满足化工生产多元化以及能量梯级利用的要求,提高系统的综合利用效率,形成热、电、气等多联产以及废料再利用将是 IGCC 技术今后的重要

方向。

(2) IGCC 系统是集热力发电、节能环保和煤化工技术于一体的热能动力系统,所以要不断改进各关键设备并深入研究其匹配性能,提高 IGCC 电厂运行的整体可靠性。

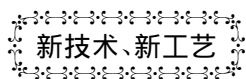
(3) 为进一步提高效率、降低成本,气化设备应继续向大容量、高性能、低投资和燃料范围广等方面研发;随着工业技术和环境要求的提高,煤气净化应继续推进热效率高、投资低的高温干法煤气净化系统,争取尽快商业化。

参考文献:

- [1] 朱 军. 我国 IGCC 发电技术的发展[J]. 陕西电力, 2006, 34(1): 46-48.
ZHU Jun. Development of the IGCC power generation technology in China [J]. Shaanxi Electric Power 2006 34(1): 46-48.
- [2] 高全娥. 整体煤气化联合循环-IGCC 技术综述[J]. 能源与节能 2012, 12(87): 33-33.
GAO Quan-e. A survey of the integrated coal gasification combined cycle [J]. Energy Source and Energy Conservation 2012, 12(87): 33-33.
- [3] 董明声, 王震华, 刘 勃, 等. 世界上的 IGCC 电站工程概览[J]. 燃气轮机技术 2009 22(1): 15-19.
DONG Ming-sheng, WANG Zhen-hua, LIU Bo, et al. A survey of the IGCC power plant projects in the world [J]. Gas Turbine Technology 2009 22(1): 15-19.
- [4] 施 强, 乌晓江, 徐雪元, 等. 整体煤气化联合循环(IGCC)发电技术与节能减排[J]. 节能技术 2009 27(153): 18-21.
SHI Qiang, WU Xiao-jiang, XU Xue-yuan, et al. IGCC power plant technology and energy conservation and emissions reduction [J]. Energy Conservation Technology 2009 27(153): 18-21.
- [5] 焦树建. IGCC 的某些关键技术的发展与展望[J]. 动力工程, 2006 26(2): 153-179.
JIAO Shu-jian. Development and prospects of some key technologies for IGCCs [J]. Power Engineering 2006 26(2): 153-179.
- [6] 王辅臣, 于广锁, 龚 欣, 等. 大型煤气化技术的研究与发展[J]. 化工进展 2009 28(2): 173-180.
WANG Fu-chen, YU Guang-suo, GONG Xin, et al. Research and development of large-scale coal gasification technology [J]. Progress in Chemical Industry 2009 28(2): 173-180.
- [7] 许世森. IGCC 现状与发展[R]. 西安: 西安热工所 2006.
XU Shi-sen. Status quo and development of IGCC [R]. Xi'an: Xi'an Thermodynamic Research Institute 2006.
- [8] 李现勇, 孙永斌, 李惠民. 国外 IGCC 项目发展现状概述[J]. 电力勘探设计 2009(3): 28-33.
LI Xian-yong, SUN Yong-bin, LI Hui-min. Brief description of the current status of the development of IGCC projects in foreign countries [J]. Electric Power Prospecting & Design 2009(3): 28-33.
- [9] Chris Wheeler. ZeroGen Project: low emission power [C]//Tianjin: 5th Clean Energy Forum-Coal Gasification 2009.

- [10] Chris Higman. European Coal Gasification Projects [R]. Tokyo: FutureGen Workshop 2008.
- [11] 贾科华. 国内首座 IGCC 示范电站投产 [OB/EL]. http://paper.people.com.cn/zgnyb/htm/2012-12/17/lontent_1162361.htm. JIA Ke-hua. The first IGCC demonstration power plant has been put into production [OB/EL]. http://paper.people.com.cn/zgnyb/htm/2012-12/17/lontent_1162361.htm.
- [12] 吴琼, 林伟宁. 典型煤气化技术概述 [J]. 山西化工, 2012, 32(4): 23-28.
WU Qiong, LIN Wei-ning. Brief description of the typical coal gasification technology [J]. Shanxi Chemical Industry, 32(4): 23-28.
- [13] 埃新斯气体有限公司. SES 气化系统褐煤工业气化技术介绍 [J]. 氮肥技术, 2011, 3(1): 21-24.
Aixinsi Gas Co. Ltd. Introduction of the industrial gasification technology for lignite in a SES gasification system [J]. Nitrogen Fertilizer Technology, 2011, 3(1): 21-24.
- [14] 游伟, 赵涛, 夏吴. KBR 传输集成式气化技术综述 [J]. 化肥设计, 2012, 50(1): 4-7.
YOU Wei, ZHAO Tao, XIA Wu. A survey of KBR transmission integrated type gasification technology [J]. Chemical Fertilizer Design, 2012, 50(1): 4-7.
- [15] 高丽. 壳牌煤粉加压气化的应用现状和存在问题探讨 [J]. 煤炭技术, 2010, 29(6): 221-223.
GAO Li. Current status of the application of Shell brand pulverized coal pressurized gasification and exploratory study of the existing problems [J]. Coal Technology, 2010, 29(6): 221-223.
- [16] 曹蕾, 周松锐. 整体煤气化联合循环粗煤气净化系统及设备 [J]. 现代化工, 2011, 31(4): 71-75.
CAO Lei, ZHOU Song-rui. Coarse coal gas purification system and equipment items for IGCC [J]. Modern Chemical Industry, 2011, 31(4): 71-75.
- [17] 王建秀, 吴远斌, 于海鹏. 二氧化碳封存技术研究进展 [J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9(1): 81-90.
WANG Jian-xiu, WU Yuan-bin, YU Hai-peng. Latest research findings in carbon dioxide sequestration technology [J]. Journal of Underground Space and Engineering, 2013, 9(1): 81-90.
- [18] 黄河, 何芬, 李政, 等. 中国整体煤气化联合循环电厂的经济评估模型 [J]. 动力工程, 2008, 28(4): 633-638.
HUANG He, HE Fen, LI Zheng, et al. Integrated gasification combined cycle economic estimation model of China [J]. Journal of Power Engineering, 2008, 28(4): 633-638.
- [19] DOE/NETL Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Power Plants [R]. Bituminous Coal and Natural Gas to Electricity final Report, Vol 1, US: Department of Energy/National Energy Echnology Laboratory, 2007.
- [20] 王颖, 邱朋华, 吴少华, 等. 气化参数对 IGCC 系统中气化炉性能的影响 [J]. 动力工程, 2009, 29(7): 694-698.
WANG Ying, QIU Peng-hua, WU Shao-hua, et al. Influence of the gasification parameters on the performance of the gasifiers in an IGCC System [J]. Power Engineering, 29(7): 694-698.
- [21] Antonio Giuffrida, Matteo C Romano, Giovanni Lozza. Thermodynamic analysis of air-blown gasification for IGCC applications [J]. Applied Energy, 2011, 88: 3949-3958.
- [22] Yunhan Xiao, Zhen Li, Bo Wang, et al. Thermodynamic performance assessment of IGCC power plants with various syngas clean-up processes [J]. Journal of Thermal Science, 2012, 21(5): 391-403.
- [23] 江丽霞, 林汝谋, 蔡睿贤. 整体煤气化联合循环系统特性分析研究 [J]. 工程热物理学报, 2000, 21(1): 20-22.
JIANG Li-xia, LIN Ru-mou, CAI Rui-xian. Characteristic analysis and study of an IGCC system [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2000, 21(1): 20-22.

(辉 编辑)



新技术、新工艺

用于军火弹药厂的 6 MW 热电联产装置

据《Gas Turbine World》2013 年 3-4 月刊报道, Lauren Engineering 公司获得了一个设计和施工合同, 建造位于田纳西州金斯波特霍尔斯登的军火弹药厂的 6 MW 热电联产装置。

供应的范围包括燃气轮机发电机组、余热锅炉和辅助系统, 加上用于安装新设备所需要的工程和施工服务。

该热电联产项目将生产多达 6 MW 的电力, 它将满足霍尔斯登军火厂至少 90% 的电力要求, 并提供 3 175 kg/h 的过程蒸汽。

Lauren 工程公司预期该项目将在 2013 年第二季度开始建造。

(吉桂明 摘译)

IGCC 关键技术及其热力学与经济评价 = **IGCC Key Technologies and Their Thermodynamic and Economic Evaluation** [刊 汉] ZHANG Yong ,YAN Yuan - yuan(College of Electromechanical Engineering ,Shanxi University of Science and Technology ,Xi'an ,China ,Post Code: 710021) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(5) . -443 ~ 448

Introduced were the process flow path of the IGCC power generation technology and its recent development ,gasification technologies and coal gas purification systems etc. key technologies with an emphasis being put on an analysis of the core equipment item-gasifier ,which had been considered as one of the key technologies. Its working principle , process and structure were described with some existing problems and corresponding remedies being discussed. Through a contrast with supercritical and natural gas combined cycle power generation technologies ,the cost-effectiveness of the system in question was evaluated with its thermodynamic performance being assessed. Finally ,the future development demands of the IGCC technology were put forward from the viewpoint of IGCC systems ,gasification technologies and coal gas purification systems etc. , further enhancing the performance of various subsystems and the overall integration degree ,and diversifying the development directions so as to pursue a lower energy consumption rate and better environmental protection. **Key words:** IGCC(integrated gasification combined cycle) ,gasifier ,thermodynamic evaluation ,economic analysis

串列叶栅流场特性的试验与数值模拟 = **Experimental and Numerical Study of the Flow Field Characteristics of a Tandem Cascade** [刊 汉] LIU Zhi-gang(College of Power and Energy Source ,Northwest Polytechnic University ,Xi'an ,China ,Post Code: 710072) ,LIANG Jun ,LING Dai-jun ,MA Chang-you(China Gas Turbine Research Institute ,Chengdu ,China ,Post Code: 610500) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(5) . -449 ~ 454

The performance and oil flow display test and numerical simulation of a tandem cascade and an independent rear row cascade were conducted under multiple operating conditions. The flow field characteristics of the tandem cascade and the influence of the front row cascade blades on the flow field of the rear row cascade blades were analyzed. An analysis of the test results shows that the tandem cascade can accommodate to a relatively wide attack angle variation range and a large gas flow turning angle but its loss increases by about 40% when compared with that of a single row cascade blade. The presence of the front row cascade blades makes the influence on the flow field in the rear row cascade blades by the attack angle variations decreased to a certain extent and the Mach number peak value on the suction surface lowered by 5% . It has been found through a comparison of the test results with the nu-