

新一代能源环境动力系统

金红光*

(中国科学院工程热物理研究所,北京 100080)

[摘要] 概述了能源环境动力系统的趋势及其发展潜力,介绍了一种新颖的能源环境动力系统,旨在探索可以同时解决能源与环境两个重大问题的研究方向。

[关键词] 能的品位,化学链燃烧,大气温室效应,系统综合集成,总能系统

1 能源环境动力系统的进展

在发展能源动力系统方面,许多先进国家都依靠科学技术,大幅度地提高了能源利用水平。其发展过程可分为如下两个阶段:第一阶段,以推动工业革命的 Rankine 循环为代表,不断提高各种简单循环的初参数,如蒸汽轮机已上升到超临界参数,使热转功的效率从不到 10% 提高到 43%;第二阶段,近二十多年来,人们利用能的梯级利用原理,突破了单一循环的局限性,将各具特色的简单循环被有机地结合成联合循环,其中燃气、蒸汽联合循环的广泛应用,促使能源动力系统达到一个新的水平,系统的热效率进一步上升到约 60%。

进一步,在环境方面人类面临着地球环境效应问题的挑战。为了控制温室气体(CO_2 、 NO_x 等)的排放,目前主要对策为调整能源结构,尽量采用低碳燃料(天然气、核能、可再生能源)。另一对策则是依靠能源科学技术的发展,在提高能源转换效率的同时开拓 CO_2 分离、处理及利用技术。但是问题在于现有的 CO_2 分离过程本身能耗大,这不仅意味着额外增加了单位发电量的 CO_2 排放量,而且大幅度地降低了动力系统的效率。换言之,目前的技术,虽然能够分离 CO_2 ,但从能源效率与经济性来看,几乎是不可行的。

2 同时解决能源与环境两大问题的方向

以往的环境技术往往与能源技术相对独立,两

者各自发展。基于能的品位梯级利用原理及系统综合优化集成理论,能源动力系统已从简单热力循环逐渐发展成复合热力循环,如注蒸汽循环(程氏循环)、Kalina 循环、湿空气循环(HAT)等。这些热力循环的共性在于以燃气循环为顶循环,并有效地回收燃气轮机排气热能,组成了复合热机循环。

值得注意的是,能源动力系统(包括上述的复合热力循环)中,能的品位损失最大的过程发生在燃烧过程,燃烧过程的改善是大幅度提高动力系统效率的关键所在,但这一点尚未引起人们的足够重视。目前为止,主要方法仅限于提高循环初温(T_1),可减少燃烧过程的品位损失,达到提高热机效率的目的。更富有创新性的思路则着眼于能的释放机理,如图 1 所示,降低燃烧过程释放侧的品位,从 A_2 降到 A_2' 水平,可大幅度减少能的释放侧与接受侧(A_1)之间的品位差,更有效地减少燃烧过程能的品位损失。例如,燃料电池(电化学方法)或部分氧化燃烧等新的能量释放方法也是以此原理降低品位损失。因此,未来的重点方向是如何有效减少燃料化学能释放(燃烧)过程中的品位(火用)损失。

与此同时,为了解决环境问题,化工领域常常利用化学反应和催化剂分解等方法脱除 SO_x 、 NO_x 、 CO_2 。其思路基本上局限于在流程尾部(尾气)脱除有害物质,根本的解决办法应在污染物质的产生前或产生过程中脱除(在流程的上游)。如上所述,燃烧过程不仅是品位损失最大之处,也是污染物的产

* 1999 年度国家杰出青年科学基金获得者。
国家自然科学基金资助项目。
本文于 2000 年 8 月 7 日收到。

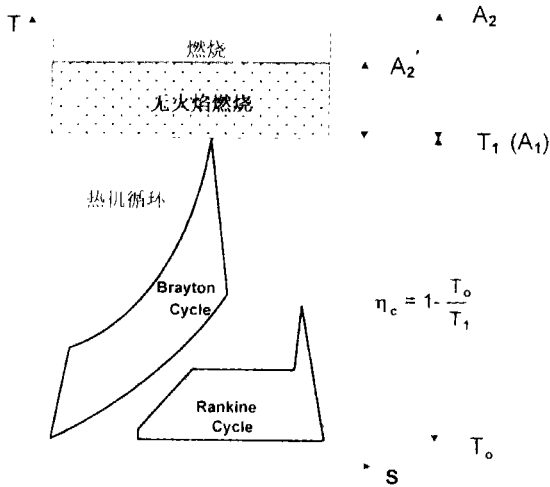


图1 新颖能量释放方法

生源。由此可见,燃烧过程不仅具有同时解决能源与环境问题的潜力,而且也是解决上述两大问题的突破口^[1]。

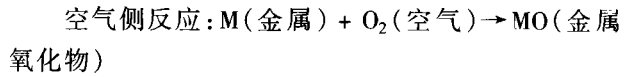
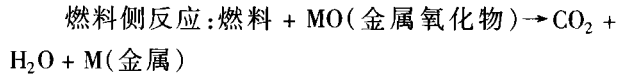
总之,新一代能源环境动力系统将是基于工程热力学和化学环境学的有机结合,注重能源与环境的领域交叉。为了突破常规燃烧过程中用能品位差及引起环境生态污染(产生SO_x、NO_x、CO₂等)的问题,需探索能量释放新机理,开拓出新颖燃烧方法及第三代能源环境动力系统。这一研究将使能源环境动力系统从热力循环的复合化走向学科领域的复合化。

3 新一代能源环境动力系统的提出

基于能的品位梯级利用概念与化学环境学,本

文作者提出了新一代燃气轮机联合循环^[2],该热力循环在高温段应用化学链燃烧(Cheical-Looping Combustion),在中、低温段采用高效的空气湿化方法(Saturation for Air),从而把工程热力学和化学环境学两个学科有机地结合起来,提出了新颖的高效、低污染的化学链燃烧与空气湿化燃气轮机联合循环(CLSA)。

图2给出了新一代CLS A动力系统的概念性流程图。该系统中的化学链燃烧是将传统的燃烧反应分解为两个气固化学反应:



燃料侧反应是燃料与固体金属氧化物反应(MO),生成二氧化碳、水和固体金属(M);空气侧是前一个反应中生成的固体金属与空气中的氧反应,回复到固体金属氧化物(MO)。金属氧化物(MO)与金属(M)在两个反应之间循环使用,并起到传递氧的作用。这种能量释放机理是通过燃料与空气不直接接触的无火焰化学反应,突破了自古以来的火焰燃烧概念。另外,空气进入空气侧反应器之前被加湿,反应器的高温排气作为燃气轮机的工质,经燃气轮机透平膨胀作功。由于空气与燃料不直接接触,燃气轮机排气处于清洁状态,排气中的水分可用冷却方法回收,并加以再循环利用。

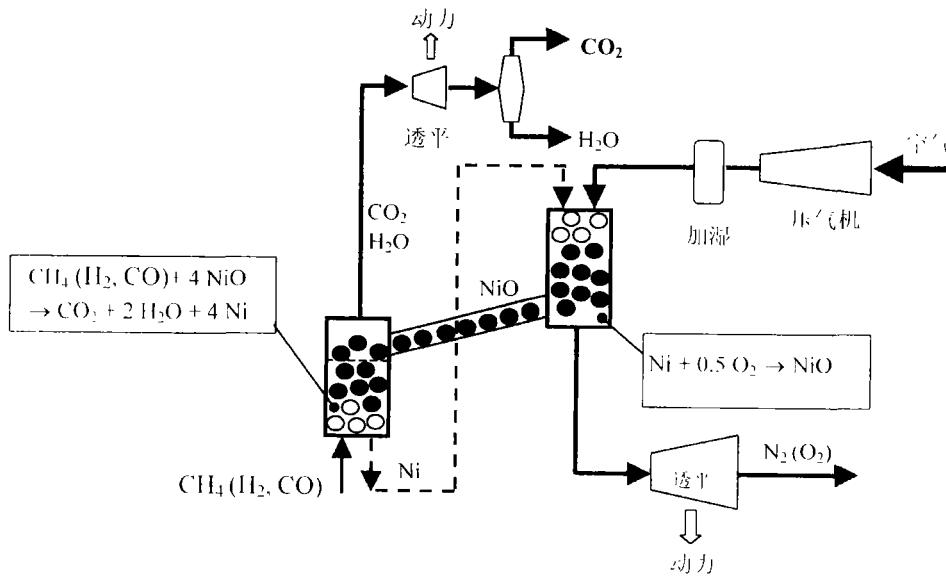


图2 化学链燃动力系统的概念性示意图

4 新型能源环境系统特点

4.1 新一代高效动力系统

从热力学能的品位观点来看,燃烧过程为热力系统中工质(载能体)作功能力损失最大的过程;从环境学角度看,燃烧过程又是环境污染物(SO_x , NO_x , CO_2 等)的生成源。因此,同时解决能源利用与环境污染问题的最大潜力在燃烧过程。打破传统燃烧方式是解决能源与环境问题的创新性突破口。

本文中的新一代高效动力系统(CLSA)与先进的燃气-蒸汽联合循环相比,热效率可大幅度地提高。热效率提高主要有两个因素:一是在CLSA系统中分离和回收二氧化碳都不需要额外的能耗和降低系统效率,而通常二氧化碳分离回收方法(如吸收法,吸附法,膜分离,深冷法等)需要大量的能耗(相对17%—34%),不仅产生更多的二氧化碳,又大幅度地降低热力系统的效率(约10个百分点)^[3-5];另是该系统将化学链燃烧与湿空气方式有机地结合起来可进一步提高系统的效率,约7—8个百分点^[6]。因此,与1200℃级的分离二氧化碳的燃气蒸汽联合循环相比,此系统效率高出17个百分点,可称之为新一代燃气轮机联合循环。例如,不分离二氧化碳的燃气蒸汽联合循环(效率为48%),其二氧化碳的生成量为0.41 kg- CO_2 /kWh;在分离二氧化碳后,生成的二氧化碳则增加为0.52 kg- CO_2 /kWh,发电效率降低10个百分点(效率为38%)。而CLSA系统分离二氧化碳同时又将提高发电效率到55%。因此,二氧化碳的生成量仅为0.36 kg- CO_2 /kWh。

4.2 根除 NO_x 的新途径

迄今为止,有关 NO_x 的研究可分为两类:一类是将已生成的 NO_x 采用化学方法来分解;另一类是改善燃烧器和燃烧条件,可在一定程度上减少 NO_x 的生成。由于后者可以减少污染物的生成量,优于前者,可是并没有彻底解决这一问题。但是化学链燃烧中一方面由于燃料与空气不直接接触,空气侧反应不产生燃料 NO_x 。另一方面,由于无火焰的气固反应远远低于常规的燃烧温度,可控制热 NO_x 的生成。实验结果也证实了上述不产生 NO_x 的现象^[7]。通过这种新的能量释放方式根除 NO_x 的生成(而不是某种程度的减少),对解决环境污染问题是一个重大突破。

4.3 回收 CO_2 的新概念

目前,一些先进国家对地球温室效应问题日益关注,主要对策是转向采用低碳或无碳燃料,另一对

策为提高能源利用率以及开发控制二氧化碳的技术。分离和回收 CO_2 主要有物理、化学、深冷、膜分离等方法,由于这些方法中二氧化碳常常被氮气稀释,分离过程将伴随着大量的甚至系统无法承受的能耗。而在CLSA系统,由于燃料与空气不接触,燃气侧的气体生成物为高浓度的二氧化碳和水蒸汽,并未被氮气稀释。为此,采用简单的物理方法,将排气冷却,使水蒸汽冷凝为液态水,即可分离和回收 CO_2 ,无需常规的 CO_2 分离装置^[8]。图3为CLSA系统与常规的 CO_2 分离发电系统的比较。由于CLSA系统不需要分离过程,可节省大量能耗,有效地回收 CO_2 。

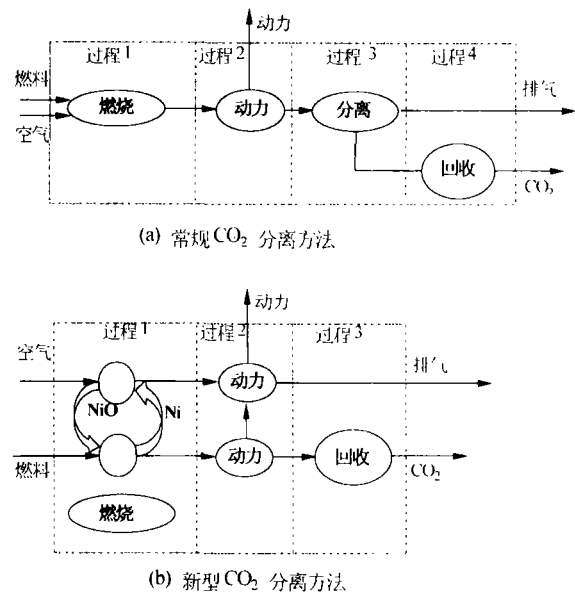


图3 CO_2 分离方法的比较

参 考 文 献

- [1] Jin H. Future research on exergy and its application: simultaneous resolution of energy and environment. *Procs. of ECOS99: Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Aspects of Energy Systems*, Tokyo, 1999, 114—115.
- [2] Ishida M, Jin H. A new advanced power-generation system using chemical-looping combustion. *Energy—The International Journal*, 1994, 19:415—422.
- [3] Riemer P. Greenhouse gas mitigation technologies, an overview of the CO_2 capture, storage and future activities of the IEA Greenhouse gas R&D programme. *J. of Energy Convers Mgmt.*, 1996, 37:665—670.
- [4] Akai M, Kagajo T, Inoue M. Performance evaluation of fossil power plant with CO_2 recovery and sequestering system. *J. of Energy Convers. Mgmt.*, 1995, 36:801—804.
- [5] Kimura N et al. The characteristics of pulverized coal combustion in O_2/CO_2 mixtures for CO_2 recovery. *J. of Energy Convers. Mgmt.*

1995, 36:805—808.

- [6] Jin H, Ishida M. Graphical exergy analysis of a new type of advanced cycle with saturated air. *J. of Heat Recovery Systems & CHP*, 1994, 14:105—116.
- [7] Ishida M, Jin H. A novel chemical-looping combustor without NO_x formation. *Ind. & Eng. Chem. Res., Journal of ACS*, 1996, 35:2

469—2 472.

- [8] Jin H, Ishida M. A new advanced IGCC power plant with chemical-looping combustion. *Proc. of Inter. Symposium on Thermodynamic Analysis and Improvement of Energy Systems*, Beijing: Beijing World Publishing Corporation, 1997, 548—553.

TREND OF NEW POWER GENERATION SYSTEM

Jin Hongguang

(*Institute of Engineering Thermophysics, CAS, Beijing 100080*)

Abstract This paper briefly introduced state of art of the energy and environmental problems, the potential for making breakthrough in this problem, and the development of a new generation power system. Furthermore, we have introduced a novel power generation system with chemical looping combustion, which has promising features of no NO_x formation and effective recovery of CO_2 together with high-energy efficiency.

Key words exergy, chemical-looping combustion, greenhouse gas control, system synthesis, total energy system

·资料·信息·

地球科学部在京召开第五次管理工作会

为了充分发挥地球科学部主要受资助单位在科学基金管理中的作用,总结交流基金绩效管理的经验,为科学创新营造良好的环境,地球科学部于2000年11月21—22日在北京昌平燕化集团培训中心召开了学部第五次管理工作会议。

本次会议有来自主要受资助单位的负责基金管理的同志;分管地学部工作的国家自然科学基金委员会领导和有关职能局领导及地学部在京的全体同志。国家自然科学基金委员会副主任马福臣在会上作了关于创新管理的重要报告,朱大保副局长介绍了国家自然科学基金委员会管理工作面临的形势、任务、问题及“十五”计划的思路。学部副主任柴育成、陆则慰分别就“地学部‘十五’期间基金资助工作的基本思路”及“努力完善基金项目国际合作与交流的管理工作”两个议题作了报告。地理、地质、海洋学科负责人也分别就学科管理中的一些思考及对创新管理的想法作了发言。另外,地学主要受资助单位南京大学、中国科学院地球物理研究所、中国科学院广州地球化学研究所、中国科学院南京地质古生

物研究所的代表就自然科学基金管理如何为科学创新营造良好环境、鼓励多出成果多出人才;对绩效管理的经验、存在问题及建议;对制约基金项目遴选和研究水平提高的问题及原因,从管理上改进解决的建议作了大会发言。另外还专门组织对以上问题进行分组讨论。

通过这次会议大家提高了对加强规范基金管理的认识,互相沟通和交流了对“十五”基金资助管理工作的想法,对项目绩效管理、同行评议、国际合作等基金项目管理中的问题提出了改进的意见和建议。受资助单位的基金管理人员,是基金管理队伍中不可缺少的组成部分,要真正全面做好基金项目的管理工作,就应该充分调动发挥基层基金管理人员的作用。大家认为通过学部管理会议这种形式,互相交流、沟通、共同探讨基金管理中存在的问题、解决办法,对改进和加强基金管理工作是十分重要的,建议管理工作会制度化、规范化。

(地球科学部 吕克解 供稿)