

STIG 的新进展

闻雪友 (哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔提要〕 燃气轮机回注蒸汽是一项有吸引力的发电技术,本文简要地介绍了这一领域内的最新总体进展情况。读者尚可从该技术在世界上的现实发展这一角度来审视我国发展该项技术的必要性。

主题词 燃气轮机 兰金循环 布雷顿循环 发展

前 言

在燃气轮机中回注蒸汽(Steam injected Gas Turbines)并不是全新的思想,首先是在地面燃气轮机上用于控制排放物中的NO_x的含量,以后又发展到用于增大功率和提高效率。美国国际动力技术公司程大猷先生于1976年提出《双工质平行—复合循环热机》发明专利(又称程氏循环)后真正引起商业兴趣,1985年1月国际上第一套回注蒸汽的商用机组正式投入商业运行,自此至今的短短几年内,STIG装置获得了相当迅速的发展。

目前,燃气轮机装置在热电联供和中心电站中应用较广。然而,简单循环燃气轮机因其部分负荷效率低,限制了它更广泛地用作基本负荷机组,相对较低的纯发电效率也限制了它更广泛地用作尖峰中心电站。STIG技术在很大程度上克服了这些缺点,它的高效率、热—电匹配的灵活性和投资成本低使它在热电联供和中心电站供电方面具有很强的竞争力。

1985~1989年间

典型的STIG装置

国际上第一套双工质商用机组于1984年

11月在美国加州大学安装验收完毕,1985年1月该程氏循环热电联供装置投入商业运行。它由一台Allison 501—KH燃气轮机和余热锅炉组成。Allison 501—KH系由Allison 501—KB5按喷注蒸汽运行的要求修改而成,喷注用的过热蒸汽用两根管子分别接到燃烧室的前、后排环形注汽管上,注入环管燃烧室,注汽量约9000kg/h。在采用STIG装置后,功率由原先的3400kW增加到5400kW,热效率由原来的27%提高到37%。

1985年8月由美国通用电气等五家公司在美国辛普森造纸厂的LM5000燃气轮机热电联供装置上成功地进行了喷注蒸汽试验,改进了功率和效率。利用此次所获经验,于1986年12月生产了首台喷注蒸汽的LM5000STIG燃气轮机,安装在美国格罗国际蛋白技术公司的联合发电厂内。LM5000STIG的蒸汽注入方式有其独特的特点,分高压蒸汽系统和低压蒸汽系统。高压蒸汽系统中约有相当于4%空气流量的蒸汽从燃料喷嘴注入燃烧室主燃区,这对抑制排放物中的NO_x含量有很好的作用。此外,约有相当于3%空气流量的蒸汽从压气机出口的扩散机匣处注入。在低压蒸汽系统中约有相当于5%空气

量的低压蒸汽从低压涡轮导向叶片中注入,通过叶型叶盆上的排汽孔进入燃气主流,宛如通常的空冷叶片。

LM 5000 STIG 80的功率由LM 5000的33 210kW增加到46 890 kW,热耗由9896 kJ/kW·h(9380 BTU/kW·hr)降至8624 kJ/kW·h(8174 BTU/kW·hr)。LM 5000 STIG 120功率已达51 620kW,热耗降至8342kJ/kW·h(7 907BWTU/k·hr)。

美国GE公司也已将LM 2500改成回注蒸汽的LM 2500 STIG 40,其功率由原来的21 450kW增加到27 013kW,热耗由9981 kJ/kW·h(9460 BTU/kW·hr)降至8754 kJ/kW·h(8297 BTU/kW·hr)。

日本川崎重工株式会社把功率为1000kW的工业小燃气轮机MIA-01改为M1A-01-CC程氏循环后,功率增加到1750kW,发电效率由18%增加到26%。该装置已于1988年4月运行,它具有单管回流式燃烧室,曾对注汽喷咀三种不同的注汽方向对排放物(NO_x、CO、HC)以及燃烧室熄火特性的影响进行了试验。现在,川崎正在开发以MIA-13型(系M1A-01的发展)为基础的M1A-13CC程氏循环系统,功率将从1240kW增加到2370kW,发电效率预计从22%提高到33%。

近年来英国Ruston公司在TB 5000和Tornado发动机上也已提供了注蒸汽的选择。Ruston公司根据注蒸汽的目的而决定在发动机上装设什么系统。如仅需降低NO_x,并不需要额外功率,则仅装设一次注汽系统,在燃烧室头部以汽/燃料约1:1的比例注入。如主要为提高功率,附带地进行NO_x的控制,则在主燃区下游的掺混区中汽/燃料以大约3:1的比例进行二次喷注。如提高功率和控制NO_x两者皆需,则两个喷注系统同时装上。

Tornado注蒸汽后功率从6190kW提高

到7200kW,效率从31.7%提高到32.2%,它的第一套装置1988年在日本某炼油厂运行。TB5000注蒸汽后功率从3660kW提高到4470kW,效率从25.5%提高到26%。Ruston公司选择的注汽量很小,因而离相应于最佳效率的汽/气比较远,故效率之增长甚微。

Stewart & Stevenson公司正在进行LM 1600 STIG发电机组的工作。TG1600-STIG 50型中余热锅炉产生22.7t/h喷注蒸汽,ISO条件下出力为16 900kW,热耗8938 kJ/kW·h(8472 BTU/kW·hr),预计1990年可供60HZ发电机组。

趋势: ISTIG

在燃气轮机采用回注蒸汽技术的同时,再在低、高压压气机间采用间冷,这就是ISTIG装置。由于在压气机间设有中间冷却器,因而压气机的抽气温度要比相应简单循环时为低,再加上蒸汽有较高的载热能力,故汽-气混合物作冷却介质时允许燃气初温提高而叶片金属温度仍维持原有水平,这就使ISTIG具有更高的效率。以LM5000为例,简单循环对其燃气初温约为1205℃,在ISTIG装置中燃气初温可升到1355℃,据GE公司的分析,LM5000 ISTIG的效率将达47~48%,出力达110MW。表1中所列出的LM5000简单循环、LM5000燃-蒸联合循环、LM5000 STIG120循环及LM5000 ISTIG循环的对比会令人留下深刻的印象。

表1

	LM5000 简单循环	LM5000 燃-蒸 联合循环	LM5000 STIG120	LM5000 ISTIG
功率(kW)	33 210	50 300	51 620	~110 000
发电效率(%)	36.4	41.3	43.2	47--48

GE公司根据对ISTIG概念的估计,预期经3~4年的发展工作可建成LM 5000 ISTIG 机组。GE公司也正在考察LM1600 ISTIG的设计,在 ISO 条件下其连续发电功率达 40 000kW (简单循环时为 13 400kW),热效率接近50%。

与煤电站、核电站、联合循环电站的比较

根据美国对国内采用 ISTIG 经济性分析的报告表明,以天然气为燃料的 ISTIG 装置能与新的燃煤电站、核电站相竞争,甚至天然气价格有明显增加时亦如此。煤电站、核电站较低的燃料价格被其明显高的投资成本和较低的发电效率所抵偿。

此外,ISTIG装置的安装周期短、容量较小、高的可用率使它在用作公用电力事业方面具有灵活性。

在燃—蒸联合循环方面,现在的商用机组较好的是 250MW,效率 40%,投资成本 500美元/kW。正在建造的联合循环,燃气初温1200℃,效率45%,投资成本500美元/kW。与110MW的 ISTIG相比,投资成本接近,但效率要低2—3%。

表2对中心电站各种发电技术作了综合比较。

目前正在研究的最先进的联合循环发电装置可能是日本的一项国家计划:发展一型 122MW的带间冷、再热,有两个压气机、三个涡轮的复杂循环的燃气轮机,设计效率 47~48%,与ISTIG 在同一范围内。计划是联合五台机的余热锅炉蒸汽通往一个大的蒸汽轮机,以1000MW的联合循环功率达到 50%的效率,超过了第一代 ISTIG 的效率水平,然而这是以更高的投资、增加复杂性和更大的尺寸为代价的。

表 2 中心电站发电技术比较

	功率 (MW)	装置投资成本(美元/kW)	全负荷效率 (%)	建设周期 (年)	可用率 (%)
核电站	1200	2000	0.32	11	61.8
火电站	1200	1200	0.33	8	69.5
尖峰燃气轮机电站	150	300	0.29	3	80.6
联合循环	250	500	0.41	4	81.5
先进的联合循环	250	500	0.45	4	81.5
ISTIG	110	400--500	0.48	3	89.2

发展前景

在世界范围内,认为 STIG 装置无论在热电联供或中心电站的应用方面均有重大的潜在市场。

一个较明显的事实是,天然气已在近50个发展中国家应用(包括30个石油进口国),这些国家中天然气的价格在 0.19—1.33美元(0.20~1.44美元/MBTU),远低于美国 1984年的平均价 2.37美元/GJ(2.50美元/MBTU)。在这样低的天然气价格下,ISTIG 装置甚至可与电价最低的水电竞争。例如,巴西东南部一个新的水电装置的电价是3美分/(千瓦·小时),只要天然气的价格低于 2.18美元/GJ(2.30美元/MBTU),ISTIG 装置就可与之竞争。

一个新的动向是 IGI—STIG 装置,一种把煤气化器与带间冷的回注蒸汽的燃气轮机相结合的概念。煤气发生器可从燃气轮机压气机中的抽气来维持其气化过程,从余热锅炉中得到的蒸汽则维持其注汽过程。目前认为这一概念在技术上尚无不可克服之问题,只是化费甚大,估计要1.25—1.30亿美元。GE 公司已完成 IGI—STIG LM 5000 发电装置的初步设计评估,看来相当有希望。

STIG 装置的缺点是处理水的消耗问题,尽管对燃料节省与耗费处理水间的经济

性分析以及 STIG 装置与其它类型装置水耗的比较早已有定论,且结论是明确肯定的,但在这方面的研究工作仍在进行。一个例子是带自产除盐水的 STIG 装置的研究,除盐水藉多效蒸馏装置或多级闪蒸装置产生,而这些装置的外部热源则是利用排气余能。

ARC(航空航天研究公司)近年来已在 Allison 501—KG 上进行了直接烧锯末的运行试验,并计划用注蒸汽来提高出力和效率。在投资成本低的燃气轮机上用低成本的

生物燃料,再加上能大幅度提高功率的回注蒸汽技术,这种三合一的组合,无疑是这一领域中重要的发展努力。

在我国,已有多个厂、所、院、校在 STIG 方面进行了多年的研究工作。最近哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所和哈船院联合,在 S1A—02 工业小燃气轮机上完成了程氏循环改造,在国内首次实现了双工质平行—复合循环的整机运行和实验研究。

STIG 已成为一项突出的重要技术。

New Development of STIG

Wen Xueyou

(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

Abstract

Given in this paper are a brief description of recent general development in the field of electric power generation using superheated steam generated from gas turbine exhaust and injected back into the turbine combustor, which is an attractive new technique, and a discussion on the necessity to develop this technique in China.

Key Words: *gas turbine, rankine cycle, brayton cycle, development*

敬告读者

凡是本刊赠阅、交换和在编辑部订阅杂志的读者,请您速将您所在地区的邮政编码通知编辑部,以便及时将杂志给您邮去。

编辑部地址:哈尔滨市 77—7 信箱

邮政编码:150030 150030

本刊编辑部