

# 燃气轮机的技术和应用: 现状和展望

(哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036) 吉桂明 刘长和

**摘 要:** 综述了燃气轮机技术和应用的发展情况, 并较为全面、系统地介绍了燃气轮机技术各个领域取得的进展, 对其技术发展和应用的趋势作了分析。论述了燃机在我国的应用和发展前景, 探讨了开发并建立我国燃气轮机工业的对策。

**关 键 词:** 燃气轮机; 设计; 技术; 应用; 动力工程

中图分类号: TK47

文献标识码: A

## 1 前言

作为高效、节能、低污染的新型发动机, 半个世纪以来在动力工程中燃气轮机技术和应用得到了飞速的发展。过去十年燃气轮机技术又取得了长足的进步。先进的航空技术在工业、船用燃气轮机中得到了进一步的应用, 研制出许多新一代的高性能燃气轮机, 如 Rolls-Royce 公司的航改型 Trent 发动机单机功率高达 51.2 MW, 热效率高达 41.6%。为了适应电站应用, 重型燃气轮机的单机功率进一步飞速发展, 热效率有了明显的提高, 如三菱重工的 701G 燃气轮机功率为 334 MW, 热效率为 39.5%。

采用先进的燃蒸联合循环、间冷回热复杂循环、回注蒸汽的燃气轮机循环、燃气轮机燃煤技术的开发等已使燃气轮机的技术

和应用进入了一个崭新的时期。燃气轮机是动力工程中最理想的发动机之一。

## 2 技术发展的趋势

过去几十年燃机技术取得了引人注目的进步, 燃机的性能不断地得到改进, 工作和成果主要体现在四个方面:

(1) 通过航空技术的移植不懈地改进燃机参数并完善其零部件设计来改善简单循环燃机的性能;

(2) 在燃机热力循环方面进行开发研究, 其中最重要的一个方向是利用燃机排气的余热、回收其部分能量产生蒸汽供给汽轮机构成燃蒸联合循环动力装置, 或回注入燃机构成先进的程氏循环;

(3) 减少压缩功并利用排气余热的中间冷却回热式燃机;

(4) 以 IGCC 和 PFBC-CC 为代表的燃煤技术。

### 2.1 简单循环燃气轮机技术

#### 2.1.1 新型机组的研制

由于电站和海军舰艇推进等应用均要求高效率的燃气轮机, 近十年通过先进航空发动机的改装及其技术的移植已经研制出许多性能更为先进的燃气轮机<sup>[1]</sup>。

航改型单机功率和效率均有

了明显的增加。LM6000PC 型燃气轮机是 GE 公司 1985 年进入商业飞行服务的最先进的高旁路风扇发动机 CF6-80C2 的工业改型。LM6000 发动机采用了目前在材料、冷却和叶型设计等领域最新成果, 从而使它成为世界上第一台简单循环热效率首次超过 40% 的燃气轮机。

为了满足电站对大功率燃气轮机的需求, 世界上设计制造燃气轮机的各大公司从 1985 年起竞相研制了许多大功率燃气轮机。进入 90 年代重型燃机的功率和热效率又登上了新的台阶。这些燃气轮机移植了先进的航空发动机技术, 其中包括先进的压气机气动设计(如三维设计、受控扩压叶片的应用)、叶片的冷却设计、耐热合金材料、耐磨、热障涂层、新的加工技术等, 使它们均具有良好的性能指标。这些燃机涡轮的进口温度高达  $1426\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 压比为 20~30, 输出功率为 180~330 MW, 其简单循环热效率提高到 38%~39.5%, 在回收排气余热构成燃蒸联合循环时其热效率高达 58%~60%。

#### 2.1.2 高温燃气轮机的研制

为了完善燃气轮机装置, 提高燃气初温是一种最有前途的方法, 因为燃气初温决定了装置的效率和比功。目前已研制出燃气初温高达  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  的高温燃气轮

机。提高燃气初温与完善结构材料、涡轮叶片采用耐高温合金和热障涂层(TBC)以及通流部分采用有效冷却技术有关。

### 2.1.2.1 蒸汽冷却技术<sup>[2~3]</sup>

与空气冷却比较,采用蒸汽冷却具有许多优点:显著减少了压缩功的消耗,具有更好的热物理性质。

1995年推出的GE MS9001H燃气轮机第一级动叶进口温度为1426℃。四级涡轮的第一、二级为蒸汽冷却,包括第一、二级涡轮的静叶和动叶及第一级涡轮机匣。

由于采用蒸汽冷却,蒸汽冷却的H型比空气冷却的G型联合循环功率增加60MW(从420MW增至480MW),效率提高2%(58%增至60%),NO<sub>x</sub>排放减少一半。三菱重工最新型的高性能W501G燃机的燃烧室和涡轮部分中间的过渡段采用了蒸汽冷却,涡轮进口温度(TIT)高达1500℃。

### 2.1.2.2 定向结晶和单晶高温合金材料<sup>[2~3]</sup>

在当前开展的先进涡轮系统(ATS)计划中,高温燃机正在日益增多地应用定向结晶和单晶超耐热合金。得到应用的IN738、CM247是典型的定向结晶(DS)合金。501G型燃机4级涡轮采用了定向结晶的第1和第2级静叶和动叶。CMSX-10是近期开发出的第三代单晶高温合金,是当今镍基合金中承温最高者(能在1024℃工作),其铸造性能、抗蠕变性能、耐热腐蚀性能优良。CMSX-10含6%镍,2%~3%铬,并含有适量的钨、钛和钼。最先进的Trent航改机就采用了CMSX-10合金。GE公司ATS

计划的MS9001F/G燃机第一级涡轮叶片为单晶精铸叶片,第2~4级叶片为定向结晶铸造叶片。正在研制的501ATS燃机第一级静叶和动叶使用CMSX-4单晶镍基合金,以便提供更高的抗蠕变和抗疲劳强度。

### 2.1.2.3 热障涂层<sup>[4]</sup>

工业燃机涡轮进口温度已提高到1500℃,但是,用来制造涡轮叶片的合金材料承温约为1000℃,即使是CMSX-10,也只能承温1204℃。所以,在定向结晶和单晶合金上采用合适的涂层是一种经济而有效的方法。

当前许多涂层都是双层覆盖涂层,外层是铝化物,内层是MCrAlY(M是镍、钴或二者的组合物)。由氧化钇和氧化镁稳定的二氧化锆多孔层组成的热障涂层具有低的导热性,可使金属表面温度降低100℃。

由等离子体喷涂的TBC在热力和机构循环负载下,容易剥落而寿命有限。80年代开发的电子束物理蒸汽沉积(EB-PVD)工艺喷涂的TBC的抗剥落寿命比等离子体喷涂的TBC高7倍。

高性能的单晶合金与先进的气冷叶片设计、精湛的精密铸造技术和先进的热障涂层工艺相结合,已使燃机涡轮进口温度约提高300℃。

### 2.1.3 顺序燃烧<sup>[5]</sup>

ABB公司1994年推出的新型高效GT24和GT26型燃机采用了顺序燃烧系统(SCS)。两个环形燃烧室由第一级涡轮叶轮隔开。2/3的燃料在上游燃烧室(EV)中与空气预混并点火燃烧,驱动空气冷却的第一级涡轮。剩余1/3燃料在第二个燃烧室(SES)中与空气预混点火燃烧,联

合的热燃气驱动后面的4个涡轮级。并未求助于过高的涡轮进口温度,通过使用顺序燃烧,GT24/26型燃机就取得了很高的效率和比功。简单循环效率高达到38.3%,联合循环效率超过58%。此外,通过利用三列可转导叶控制空气流量,GT24/GT26两个独立的燃烧室保持了部分负荷下的高效率和低排放。在50%负荷下,GT24/GT26系统的效率约比基于常规燃机的联合循环电站效率高15%。

### 2.1.4 XONON燃烧系统<sup>[6]</sup>

加利福尼亚州Mountainview的催化燃烧系统公司推出XONON燃烧系统,能使NO<sub>x</sub>排放低于3mL/m<sup>3</sup>。该系统已在川崎重工的1.5MW M1A-13A燃气轮机进行了示范试验。

XONON系统由4个部件组成。第一个是贫预混预燃室,用来把空气加热到要求的催化器进口温度。第二个是燃料喷射和燃料-空气混合部分,给XONON催化组件提供良好混合均匀的燃料-空气混合物。在那里,一部分燃料无火焰地燃烧。最后,其余燃料直接在催化器组件下游的均匀燃烧区内燃烧。整个过程是在低于NO<sub>x</sub>形成点的温度下完成的。

GE Power Systems将加速XONON燃烧系统在GE重型燃机中商业化的进程。

### 2.1.5 向压气机内喷水<sup>[7~8]</sup>

向压气机通流部分内喷水是提高燃气轮机性能的有效方法之一。在喷入0.5%~2%水时,燃气轮机输出功率增加7.5%~14%,效率增加3.5%(相对值)。如果考虑到喷水,设计时使压气机级的流量系数最佳,则相应的

功率增加为 8.5%~17%, 效率增加 4%~6.5%(相对值)。

1998 年美国 GE 公司推出中间冷却的 LM6000 航改型燃气轮机。对于具有较高压比压气机的双转子燃气轮机, 水雾中间冷却能显著提高燃气轮机的性能, 在较热的环境温度下尤为明显, 可使输出功率增加 20%, 效率提高 4%(相对值)。鉴于其优异的性能, LM6000 Sprint 燃机一经面世就迅即在美国和英国电站得到应用。

## 2.2 中间冷却回热式(ICR)燃气轮机<sup>[9]</sup>

减少舰用燃气轮机的燃油消耗, 尤其是减少其在低负荷下的耗油率一直是燃机设计者追求的目标。研制 WR-21 的目标是用于下一代战舰, 取代 LM2500 发动机, 使采用该发动机的战舰年燃油消耗较美国海军现役的 LM2500 发动机舰船减少约 30%。

中间冷却减少了高压压气机的耗功, 并增加了回热器的效率。回热回收了排气的余热明显增加了装置的效率。中间冷却器、回热器、可变几何动力涡轮是使 WR-21 较 LM2500 降低耗油率增加功率的关键。

由于中间冷却、回热再加上可变几何的动力涡轮, WR-21 整个功率范围内的耗油率曲线极为平坦。在 50% 额定输出功率下, 耗油率仅比 100% 输出功率时增加 4.15%。

## 2.3 先进的程氏循环<sup>[10]</sup>

由美籍华人程大猷提出的程氏循环(蒸汽回注式)燃气轮机从 1976 年面世以来已在电力生产和联合生产中得到广泛应用。当前先进的程氏循环(ACC)蒸汽回注方案使此技术攀登上新的台

阶。

ACC 设计包括利用燃气轮机排气产生过热蒸汽的余热锅炉。蒸汽被注入燃气轮机, 在其中与空气和燃料混合, 增加了通过燃气轮机的质量流量(增加输出功率), 并允许燃气轮机以更高的涡轮进口温度工作(提高效率)。可行性研究表明, 西屋公司的 W501D5 燃机在 32℃ 环境温度下, 简单循环输出功率为 105 MW, 热效率为 32%, 当采用 ACC 时功率可增加到 180 MW, 效率提高到 46%。

## 2.4 燃蒸联合循环<sup>[1-2,5]</sup>

### 2.4.1 联合循环电站

由于轻、重型燃机技术合流, 从部分航空技术的移植到部件按比例放大(如 MS9001G/H 型燃机的压气机是由 CF6-80C2 航机高压压气机按 3 倍比例放大再加 4 级构成共 18 级, 4 级涡轮也均为航空改型), 基于先进燃气轮机的联合循环装置输出功率和热效率均有了很大提高。

在利用先进的 Trent 航改型燃机构成联合循环装置时功率可从简单循环的 51.2 MW 增加到联合循环的 64 MW, 即增加了 25%(相对值), 效率从 41.6% 增加到 51.7%, 即增加了 10.1%(绝对值)。近 5 年推出的先进的大功率重型燃气轮机构成联合循环时, 效率均已达到 55%~60%。GE 公司 1997 年推出的 S109H 型联合循环装置的输出功率已达到 480 MW, 热效率高达 60%。与此形成对照, 300 MW、600 MW 汽轮机组的发电效率仅为 37%~40%。

### 2.4.2 COGAS 动力装置<sup>[11]</sup>

继在滚装式货船和巡洋舰上得到应用后, 燃蒸联合循环动力

装置最近将应用在 85000 载重吨的大型旅游船上, 该 COGES(燃气轮机和汽轮机联合的综合电力驱动装置)是基于 GE 公司 1998 年推出的最新型的“LM2500+”型船舶燃气轮机构成的燃蒸联合循环动力装置。取决于船上服务所需要的蒸汽数量, COGES 的热效率将达到 45%~50%。

如果考虑使用低压蒸汽, 则整个系统燃料能量的利用率高达 80%。分析表明, COGES 系统的综合性能将优于船用柴油机。

## 2.5 燃煤技术<sup>[12]</sup>

近年来, 世界上各发达国家正大力开发 IGCC(整体煤气化联合循环)和 PFBC-CC(增压流化床燃烧——联合循环)技术。

美国印第安纳州 Wabash 河电站成功示范了商业的 IGCC 装置。该 IGCC 项目是给原来的烧煤电站重新匹配动力, 生产 262 MW 电力并明显减少排放, 使热耗率约减少 20%。第二代 PFBC 系统可使涡轮进口温度超过 1150℃, 从而可使系统效率接近 45%。

西门子公司正在研制第二代 IGCC 装置, 它将由一台 300 MW 的 V94.3 燃机加一台 180 MW 汽轮机组成。该装置每天将耗煤 2545 吨, 净输出为 453 MW, 净效率为 51.7%。

## 3 应用

燃气轮机的应用领域极为广泛, 本文就船用、输气/油管线、电力生产方面的应用并结合我国的情况作一介绍。

### 3.1 电力生产

近十年来, 工业燃机技术进入了一个迅猛发展时期。航空燃

机技术向重型燃机的转移,大功率重型燃机的性能得到迅速提高。重型燃机联合循环单机功率已跃至400~480 MW,效率较传统汽电厂高15%~20%。此外,世界各国环保要求日益严格,常规燃煤电厂污染严重,更促使了高效率低污染燃机电站的建造。

近十年来,清洁煤技术、燃煤联合循环电站也获得巨大成功,IGCC和PFBC-CC电站已进入商业化运行阶段。

GE公司预测,1993年至2002年的十年间电站总装机容量总共增加618 GW,其中燃机电站288 GW,占46%,汽机电站为207 GW,只占33%。电力界预言:燃机联合循环电站将成为下个世纪电力生产的主要形式,燃机的研制将迎来一个新的高潮。

最近十多年我国也建成了许多简单循环和联合循环燃机电站,约装用200多台燃气轮机,总装机容量约7 640 MW。

可以预计,随着我国燃机技术的开发和应用,尤其是燃煤技术的开发,加上环保要求的日益关注,燃气轮机电站(包括热电联产装置),尤其是基于燃气轮机的联合循环电站将得到广泛的应用。

### 3.2 输气油管线的动力<sup>[13]</sup>

对于输气管线,约每隔100公里建立一个加压站。因为燃机造价低、投资小、重量轻、尺寸小便于运输、易于遥控和自动化,所以国外广泛地把燃气轮机用于输气、油管线,用作为压缩机和泵站的动力,用来泵送天然气和石油。

仅以前苏联为例,自1964年在输气管线安装第一台增压燃机以来,到1993年上半年止沿其220 000公里输气管线已安装了

约5 000台燃气轮机,总功率约为5 000万kW。业已表明,前苏联生产的陆用燃机绝大部分(约90%)用于输气管线。

随着国民经济的蓬勃发展和人民生活水平的不断提高,我国对石油和天然气的需求日益增加。此外,由于对环境保护的日益重视,在能源结构中也增加了对污染小的天然气的需求。

我国将利用输气、油管线从哈萨克斯坦、土库曼和俄罗斯输入石油和天然气。

在1998年10月国家计委召开的“全国天然气利用规划工作会议”上,已就“西气东输”为主体的天然气东西横跨干线建设作出安排。最近报道,将投资550亿人民币建造从新疆到上海的天然气输气管线。该4 200公里长管线将穿过10个省市和自治区并将于2007年完成。大西北油气田的进一步开发,必将有更多的油气向工业基地或城市输送。

上述输气、油管线将应用大量的燃气轮机作为泵送动力装置。

### 3.3 舰船应用动力装置

#### 3.3.1 大型舰船

根据作者的统计,在1981~1990年的十年内世界各国建成服役的护卫舰、驱逐舰、巡洋舰和航空母舰共350艘,其中全燃气轮机主动力装置(COGOG, COGAG)占44.86%,柴燃联合动力装置(CODOG, CODAG和CODLAG)占31.43%,即大中型水面战舰有3/4装用燃气轮机动力装置。数据充分表明,装用燃气轮机是当代战舰主动力装置的发展趋势。

为了建立强大的海军,大力开发并应用舰船燃气轮机是我国

海军动力装置建设并使其现代化的必然趋势。

#### 3.3.2 民用船舶

继船用燃气轮机在高速渡船中取代柴油机得到大量应用后,大型旅游船和大型高速集装箱船应用燃机是船用燃气轮机在商船应用领域中的又一个重大突破。在商船推进领域中,船用燃气轮机正继续向船用柴油机的世袭地位挑战。展望我国沿海的客运,开发装用轮机的高速渡轮是具有广阔前景的。

## 4 我国的对策

综观世界各国开发并应用工业、船用燃机的情况,并结合我国的现状和需求,大力开发并应用工业、船用燃气轮机是我国动力工程建设并使其现代化的必然趋势。

我国近十几年燃机应用发展较快,我国的东南西北中(包括大庆、上海、库尔勒、洋浦)都在装用燃机。陆地如此,海上也是这样,先进的装用IM2500燃机的哈尔滨号和青岛号导弹驱逐舰已巡逻在万里海疆,由TF40燃机驱动的多艘高速渡船早已航行在香港地区。但是这些燃机,约98%以上,多达200多台均是从国外购买的。

电力工业、油一气产输、海军建设极需大量燃机。我国的燃机工业极为薄弱又很落后,当务之急是尽快开发并建立起本国的燃机工业,以满足大量的(数百甚至千台)需要。

#### 4.1 开发的途径

鉴于我国航空工业缺少可供改装的高性能航空发动机,因此我国燃机的开发和研制很难得益

于本国航空技术的移植和航空发动机的改装。

过去几十年虽自行研制并生产了几型工业用燃机, 但性能均较落后不能满足当代要求。

所以, 鉴于以往几十年的研制经验, 考虑到我国的具体情况, 作者认为我国开发研制工业、船用燃机的途径是:

#### 4.1.1 印度模式

BHEL(印度重型电气公司)从美国GE公司和德国西门子公司引进技术、许可生产工业燃机, 不仅满足本国需要而且还出口到亚洲、非洲的许多国家。

走从国外引进技术取得许可、制造和生产燃机的道路, 被世界上许多国家, 包括意大利、日本、韩国等广为采用。在引进基础上逐步走上合作或自行研制。

#### 4.1.2 上海压缩机厂模式

1997年上海压缩机厂与世界上最有名的压缩机制造者之一——Dresser-Rand建立生产压缩机的合资企业, 其产品不仅满足我国需要, 而且将推向国外市场。

利用国外先进技术, 引进外资开发、建立我国相应工业, 尤其是薄弱而又落后的工业, 乃不失为一明智而又极佳的举措!

我国的燃机制造业, 应该依照压缩机制造业的做法, 走与国外燃机制造者建立合资企业的道路。可供选择的合作者是美国GE、西屋公司、英国Rolls-Royce公司、德国西门子公司、瑞士ABB公司、乌克兰“机器设计”科研生产联合体、俄罗斯萨玛拉“劳动”科学生产联合体和涅瓦工厂等。最好是建立两个工厂企业, 一个是生产轻型燃机的企业, 产品主要面向船用、油气产输并兼顾发电。另一个是生产重型燃机的企业, 产品主要面向电力生产应用。

这很可能是发展我国燃机制造业的一条又快、又好、又省的道路。以这种方式建立、发展我国燃机工业, 产品不仅满足我国需要, 而且可打入国际市场。

#### 4.1.3 力量的组织

国家统一组织和领导, 把机械、电力、船舶、航空等工业部门组织起来, 形成整体力量, 统筹考虑开发应用。

### 4.2 开发的方针

#### 4.2.1 高起点

开发必须紧紧围绕我国电力生产、石油工业和舰船应用的要求。供需见面、供需结合。开发、引进、研制必须坚持高起点, 即要开发满足我国需要的具有当代先进性能水平的燃机。一方面要有高的性能指标(高效率、长寿命、高可靠性、良好的可维护性等)。另一方面其功率档次应满足使用的要求。

#### 4.2.2 一机多用、一机广用

考虑到我国的财力情况, 不可能, 也没有必要开发引进多种型号的燃机。开发的燃机应兼顾各方面的应用, 即做到一机多用、一机广用, 尽量覆盖更多的应用领域, 越多越好。只有这样, 才能使开发机具有足够的市场, 才能使开发机在众多的应用中考核其可靠性, 才能使开发机具有必要的生命力。

#### 4.2.3 开发机的功率档次

要做到一机多用、一机广用, 就应结合我国面临的使用对象并借鉴世界各国装用燃机情况, 对开发机的功率档次进行仔细而又精心的考虑。开发合适功率的轻型航改机, 用于输气、油管线和船用并兼顾电力生产。选择合适大功率重型机用于电力生产。

#### 4.2.4 通用性设计

少量引进几型先进机组, 然

后采用比例放大(scale up)得到其功率加大型(uprated version), 比例缩小(seale down)得到其功率减少型(derated version), 或利用引进机的燃气发生器改装得到功率减小型, 即利用通用性设计扩大引进成果, 得到多型适合我国应用的工业、船用型燃机。

## 5 结论

综上所述, 本文的结论如下:

(1) 燃气轮机的技术无论是简单循环、程氏循环、复杂循环还是联合循环都已日臻完善。作为一种高效、节能、低污染的发动机, 燃机在动力工程中必将得到日益广泛的应用。

(2) 燃机联合循环将成为21世纪电力生产的主要形式, IGCC为代表的燃蒸联合循环将是21世纪能源建设的重要方向。

(3) 输气、油管线和舰船动力是燃机应用的重要方面, 我国应大力加强此方面的开发应用工作。

(4) 为了满足电力生产、输气、油管线和海军建设的需要, 制订最佳的开发途径、正确的开发方针、组织力量建立起本国的燃机工业是我国动力工程应及早解决的一项紧迫任务。

(5) 本文提出了建立合资企业的开发途径, 并提出坚持高起点、一机多用、一机广用的开发方针以及通用性设计的技术途径。

### 参考文献:

- [1] Design performance specifications[M]. Gas Turbine World, 1999 - 2000 Handbook, 1999, 20: 46 - 87.
- [2] Farmer R, Fulton K. Design 60% net efficiency in Frame 7/9H steam-cooled CCGT[J]. Gas Turbine World, 1995, 25(3): 12 - 20.

(下转第347页)

锅炉蒸发量  $D=10\text{ t/h}$ ; 工作压力  $P=1.25\text{ MPa}$ ; 过热蒸汽温度  $t''=350\text{ }^\circ\text{C}$ ; 设计效率  $\eta=80.86\%$ , 装在大连金州外资企业常荣、常盛合板有限公司。经测试, 燃烧效率达 99%, 锅炉热效率达 83%, 这两个主要技术指标已达到国际先进水平。该锅炉是辽宁省科委火炬计划和辽宁省机械委新产品计划项目, 于 1995 年 12 月荣获辽宁省优秀新产品银奖, 填补了国内空白。1996 年被国家经贸委列为国家级重点新产品试产计划。1998 年获得中国航天工业总公司部级科技进步二等奖。

### 参考文献:

[1] 别如山, 鲍亦令, 杨励丹, 等. SHF10-1.25/350 废木材流化床锅

炉的研制[J]. 工业锅炉, 1996(4): 2-4.

- [2] 杨励丹, 李海军, 鲍亦令, 等. 生物质在流化床中燃烧时的烧结现象[J]. 新能源, 1997, 19(8): 13-16.
- [3] Sabur D, Jenkins B M, Vafaei M. *et al.* Control of in-bed agglomeration by fuel blending in a pilot scale straw and wood fueled AFBC[J]. **Biomass and Bioenergy**, 1993, 4(2): 117-133.
- [4] Ganesh A, Grover P D, Lyster P V R. Combustion and gasification characteristics of rice husk[J]. **Fuel**, 1992, 71(8): 889-894.
- [5] Gubor B D, Oka S N, Ilic M S. *et al.* Biomass FBC combustion-bed agglomeration problems[C]. **Fluidized Bed Combustion**, ASME 1995, 1(1): 515-522.

(复 编辑)

### (上接第 343 页)

- [3] Sandler I. Hardware being readied for prototype testing in advanced turbine systems[J]. **Gas Turbine World**, 1998, 28(1): 36-41.
- [4] Movchan B A. EB-PVD technology in the gas turbine industry: present and future[J]. **JOM**, 1996, 11: 40-44.
- [5] Farmer R. Reheat GTs boost 250 and 365-MW combined cycle efficiency to 58% [J]. **Gas Turbine World**, 1993, 23(5): 18-23.
- [6] Sandler I. Commercial catalytic Combustion system on-line at California utility [J]. **Gas Turbine World**, 1998, 28

(6): 22-24.

- [7] Романов В И, Дикий Н А. Изотермиярование процесса сжатия воздуха в компрессоре и его влияние на характеристики двигателя азотурбинного типа [J]. **Теплотехника**, 1998, 20(6): 45-50.
- [8] McNeely M. Intercooling for LM6000 gas turbines [J]. **Diesel & Gas Turbine Worldwide**, 1998, 30(6): 42-45.
- [9] Fulton K. Marine WR-21 succeeds in 500-hour ICR production engine test program [J]. **Gas Turbine World**, 1997, 27(6): 22-26.
- [10] Farmer R. Superheated steam injection

rivals combined cycle power performance [J]. **Gas Turbine World**, 1998, 28(4): 12-17.

- [11] Gas Turbine Power for Cruisers [J]. **Diesel & Gas Turbine Worldwide**, 1998, 30(6): 38-39.
- [12] Wabash River Successfully demonstrates commercial IGCC [J]. **Modern Power Systems**, 1996, 16(7): 37-40.
- [13] Fulton K. Russian bomber and transport jets groomed for gas pipeline pumping [J]. **Gas Turbine World**, 1993, 23(3): 13-22.

(复 编)

### 简 讯

## 轴承视油杯断流处理

汽轮发电机组大都在轴承壳体上安装了便于工作人员监视轴承回油情况的视油杯, 用此帮助监督、判断轴承工作情况是否正常。

我厂 NO.3 机组在(开机或停机)低转速时, 有一部轴承视油杯中油流情况清晰可辨, 但在(工作转速)较高转速时, 视油杯中却不见油流。其原因分析有二:

1) 轴承顶间隙和两侧间隙过大, 因而耗油量增大, 泄压快, 回油从轴承两端相对开阔的间隙中捷径流回油室。压头不足便出现断流。

2) 机组转速(工作转速)较高情况下, 轴承回油量大, 流速高, 形成一定的射流抽吸作用, 使轴承回油压力降低。加之回油受到位于轴承上半连通视油杯进油孔的高频切割, 难以形成具有一定正压力的通往视油杯的回油路径, 致使回油从阻力最小处(轴承两端)排出。与此相反, 机组起动或停机过程, 因其转速较低, 轴承回油射流抽吸作用力小, 回油压力衰减的较少, 加之轴承上半通往视油杯的小油孔, 对轴承回油切割的频率低, 利于形成具有一定正压力的通往视油杯的油流形成连续油路。故此, 视油杯中可见油流。

根据以上分析, 对该轴承采取了如下措施:

1) 趁机组小修, 调整轴承间隙, 使其符合蓝图指标。

2) 在上半轴承瓦片回油槽处, 顺时针方向攻钻一只大致与水平线夹角成  $30^\circ$  左右的直径 5 mm 小孔, 以引导轴承回油顺轴颈转势不间断的通往视油杯。

轴承经此调整、小改, 视油杯再无断流情况发生, 达到了预期目的。

(王 金 明 稿)

大型汽轮机控制系统的技术现状及发展= **Technical Status Quo and Development Trend of Control Systems of Large-sized Steam Turbines** [刊, 汉] / WENG Yi-wu (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 333 ~ 335, 359

This paper describes the current technical level of control systems of large-sized steam turbines and analyzes some existing issues to be dealt with. With a variety of proposals offered for their resolution the author forecasts the development trend of the above-mentioned control systems. **Key words:** large-sized steam turbine, control system, digital electro-hydraulic control system

我国的燃气—蒸汽联合循环发电技术前景良好= **Bright Prospects for the Development of Gas and Steam Turbine Combined Cycle Plant-based Power Generation Technology in the People's Republic of China** [刊, 汉] / TU Shan, MAO Jing-ru, SUN Bi (Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, China, Post Code 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 336 ~ 338

In connection with the energy-source structure and energy policy of the People's Republic of China the authors point out that the construction of gas and steam turbine combined cycle plants represents a major and cost-effective avenue for enhancing electrical power generation efficiency and resolving environmental pollution-related issues. This is especially so in the case of an integrated gasification gas-steam combined cycle (IGCC) plant and a pressurized fluidized bed combustion combined cycle (PFBC-CC) plant, the two types of coal-fired combined cycle power generation technology universally recognized as having the best potential for further development. The present paper briefly covers the major aspects of each type of the above-mentioned technology. **Key words:** combined cycle plant, gas and steam turbine combined cycle plant, supercharged fluidized bed combined cycle plant, new energy sources, development

燃气轮机的技术和应用: 现状和展望= **Current Status and Future Prospects of Gas Turbine Technology and Its Applications** [刊, 汉] / Ji Gui-ming, LIU Chang-he (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 339 ~ 343, 347

Based on a broad overview of the recent developments of gas turbine technology and its applications the authors give a comprehensive and systematic account of the state-of-the-art advances of the said technology in various engineering sectors. Analyzed is the trend of its technical development and applications, specifically, likely advances and prospects of development in the People's Republic of China. Some decisive steps for the development and consolidation of the gas turbine industry in China are also proposed and briefly discussed. **Key words:** gas turbine, design, technology, applications, power engineering

燃生物废料流化床锅炉= **Biomass-fired Fluidized Bed Boilers** [刊, 汉] / BIE Ru-shan, LI Bing-xi, LU Hui-lin, et al (Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 344 ~ 347

This paper depicts the current status of development and utilization of biomass both at home and abroad and methods for the selection of biomass-fired boiler types. The measures adopted for resolving the agglomeration problems related to biomass-firing are proposed along with a brief description of a series of biomass-fired fluidized bed boilers developed by the Harbin Institute of Technology as well as their operation experiences. **Key words:** biomass, fluidized bed boiler, agglomeration

高温空气燃烧新型锅炉及特性分析= **A New Type of High Temperature Air-fired Boiler and An Analysis of Its Specific Features** [刊, 汉] / JIANG Shao-jian, PENG Hao-yi, AI Yuan-fang, et al (Department of Applied Physics and Heat Engineering, China National Southern University, Changsha, Hunan, China, Post Code: 410083) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 348 ~ 351