

先进微型燃气轮机的特点与应用前景

翁一武, 苏明, 翁史烈

(上海交通大学 动力机械与工程教育部重点实验室, 上海 200030)

摘要: 先进微型燃气轮机是一类新型热机, 作为一种清洁高效、低成本高可靠的供能系统, 得到了高度关注和迅速发展。文中结合国外微型燃气轮机的研发及应用情况, 叙述了先进微型燃气轮机的技术进展及特点, 对以微型燃气轮机为核心的小型分布式能源系统和微型燃气轮机—燃料电池混合系统进行了探讨, 展望了微型燃气轮机在我国的应用前景。

关键词: 微型燃气轮机; 分布式发电; 冷热电联供; 燃料电池

中图分类号: TK14 TM911

文献标识码: A

1 引言

先进微型燃气轮机 (Advanced Microturbine) 是一类新近发展起来的小型热力发动机, 其单机功率范围为数十至数百千瓦, 基本技术特征是采用径流式叶轮机械 (向心式透平和离心式压气机), 在转子上两者叶轮为背靠背结构, 回热器一般为高效板翅式, 一些机组还采用空气轴承, 不需要润滑油系统, 这样结构更简单。先进微型燃气轮机设计概念是将燃气轮机和发电机设计成一体, 整台燃气轮机发电机组的尺寸显著减小, 重量减轻, 优点明

显。微型燃气轮机转子和发电机转子同轴, 整个燃气轮机发电机组只有一个运动部件, 可靠性大大加强, 做到了几乎免维护。因此微型燃气轮机具有强大的生命力, 现在国外有多家公司在研制和生产这种燃气轮机, 国内有关部门也已规划组织研发。

近几年来, 各国对 1 000 kW 以下的微型燃气轮机的研究和开发, 以及市场销售成为一个热点, 其原因主要如下:

(1) 电力系统摆脱了原有的集中控制方式, 分布式供能系统得到迅速发展, 并开始广泛使用。随着全球范围内的能源与动力需求结构特别是电力系统的放松控制 (Deregulation) 以及环境保护等要求的变化, 微型燃气轮机得到了电力、动力等有关部门的高度重视, 特别是在美国、欧洲等国家发展迅猛。

(2) 科学技术的进步已使微型燃气轮机的经济性、污染物排放、可靠性以及使用寿命等指标都大大提高, 可以与大型火电机组相比较。先进微型燃气轮机具有尺寸小重量轻、燃料适应性强、低燃料消耗率、噪音低振动小、污染排放低、维护费用低廉、不需用水冷却等一系列先进技术特征,

可以广泛应用于小型分布式发电及冷热电联供。

(3) 微型燃气轮机在某些特殊的应用领域、特殊的应用环境 (例如军事基地、边陲地区以及对供能稳定安全有特殊要求的部门) 的需求也是对微型燃气轮机发展的驱动力。微型燃气轮机在军民用交通运输 (混合动力汽车) 以及陆海边防方面均具有优势, 受到美、俄等国家的关注, 因此, 从国家安全看发展微型燃气轮机也是非常重要的。

本文结合国外微型燃气轮机的研发及应用情况, 叙述了先进微型燃气轮机技术, 对以微型燃气轮机为核心富有前景的应用方向: 小型分布式能源系统和微型燃气轮机—燃料电池混合系统进行了探讨, 展望了微型燃气轮机在我国的应用前景, 提出了我国微型燃气轮机发电机组研发的关键技术及应采用的技术方法。

2 先进微型燃气轮机的发展及特点

微型燃气轮机的雏形可追溯到 20 世纪 60 年代, 但作为一种新型的小型分布式能源系统和电源装置的发展历史则较短。1995

收稿日期: 2002-06-10; 修订日期: 2003-02-12

基金项目: 国家重点基础研究发展规划基金资助项目 (G1999022303); 国家自然科学基金资助项目 (50176031)

作者简介: 翁一武, 1963 年, 浙江杭州人, 上海交通大学教授, 博士生导师。

21004-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

年在美国动力年会上, Allied Signal、Capstone 与 Elliott 公司展示了 25 ~ 75 kW 微型燃气轮机样机, 其后发展迅速, 每年均有样机推出。目前已有多种产品进入市场, Honeywell (Allied Signal) 公司的 75 kW 产品, Capstone 公司的 30 kW 和 60 kW 产品, Elliott 公司有 45 kW 和 80 kW 产品, Ingersoll Rand (Northern Research and Engineering Company) 有从 30 ~ 250 kW 范围的几种微型燃气轮机产品, GE 有 75 ~ 350 kW 的产品, 英国 Bowman 公司有 35 ~ 200 kW 的产品。其它公司如 Allison Engine Company, Williams International, Teledyne Continental Motors, 欧洲 (Volvo 和 ABB) 和日本 (Toyota, IHI 和川崎) 公司也已经开发出微型燃气轮机产品, 并开始进入国际市场。

目前国际市场微型燃气轮机产品的主要性能指标 (见表 1):

带有回热、变频、高速电机等设施, 微型燃气轮机的效率达到 25% ~ 29% 左右 (研制目标 40%); 冷热电 (Cooling, Heating, Power) 能量利用率达 70% ~ 90%; 污染物排放 NO_x 不高于 9×10^{-6} ; 功率范围为数十至数百千瓦。

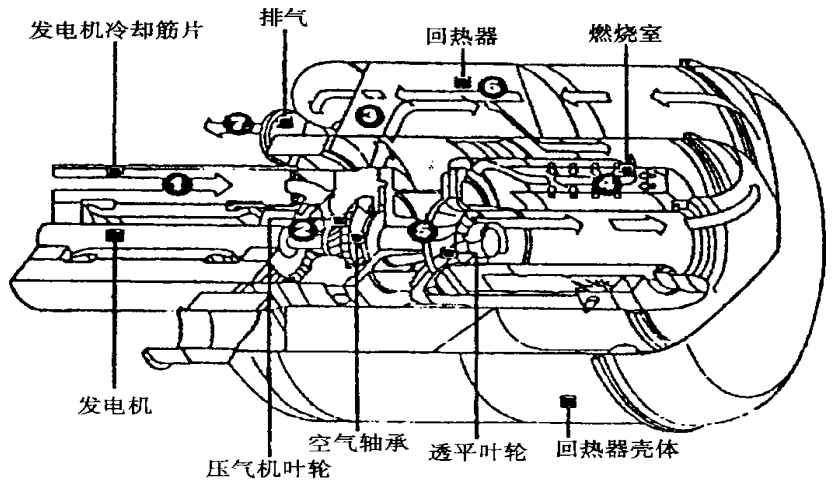


图 1 Capstone 微型燃气轮机发电机组

图 1 为 Capstone 微型燃气轮机发电装置的部件示意图, 其主要部件包括离心式压气机、单筒形燃烧室、向心式透平、回热器以及发电机。

微型燃气轮机以径流式叶轮机械为技术特征, 采用回热循环大大增加了微型燃气轮机的竞争力。微型燃气轮机发电机具有 4 项主要特征:

(1) 微型燃气轮机: 这种非常小的高速燃气轮机是采用了简单的径向设计原理, 与大型的工业用燃机复杂的轴向设计相比更加简单可靠。恒温运行排除了使用高成本的尖端材料。与往复式内

燃机相比, 维修成本更低, 振动更小, 排放更低, 结构更紧凑。微型燃机的主要性能是单级径向压缩机、低排放环型燃烧器、单级径向透平、压比 4 : 1、空气轴承 (或双润滑油系统轴承)。

(2) 高速交流发电机: 发电机和微型透平燃机同一根轴, 由于它非常小可以装进燃机机械装置中, 组成一个紧凑的高转速的透平交流发电机。这种装置不需要减速箱, 交流发电机同样又可做为一个启动电动机, 以进一步减少发电机组的体积。

(3) 高效回流换热器: 高效低成本耐用的热交换器用来增加燃

表 1 国外微型燃气轮机的主要性能

生产厂家	Capstone	Allied Signal	Bowmen	Elliott	IHI 日产	NREC	Honeywell
产品型号	C30	AS75	TC80CG	TA45 60 80	Dynajet2. 6	Power work	Parallon75
额定功率/kW	30 60	75	80	45, 60, 80	2. 6	70	75
发电效率/%	25(±2)	28. 5	27	25~ 30	8~ 10	33	28. 5
转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	96000	65 000	99 750	110000	100 000	60 000	65 000
压比	3. 2	3. 7	4. 3	4. 0	2. 8	3. 3	3. 7
燃料耗率 $\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$	9. 3	22. 2	17. 3	15. 6	1. 4	18. 4	22. 2
燃料类型	天然气、柴油	天然气、柴油	天然气、柴油	天然气、柴油	柴油	天然气、柴油	天然气、柴油
排(进)温度/ $^{\circ}\text{C}$	270(840)	250(920)	300(680)	280(920)	250(850)	200(870)	250(930)
$\text{NO}_x (\times 10^{-6})$	<9	9~ 25	< 9	< 25		< 9	9~ 25
噪声/dB	65(10m)	65(10m)	75(1m)	65(10m)	55(10m)		65(10m)
寿命/h	40000	40 000		54000	40 000	80 000	40000

气轮机的效率,使其达到可以和往复发电机组系统竞争的程度,其功能是先预热燃烧室需使用的空气,减少燃料消耗。回流换热器采用不锈钢制成外壳,寿命长,效率可达 90%,燃气轮机的效率则可从 18% 达到 30%。

(4) 功率逆变控制器: 透平交流发电机的电力输出频率是 1 000 ~ 3 000 Hz, 必须转换成 50 或 60 Hz, 一个由微型处理机控制的功率调解控制器可进行输出频率转换, 也可调解成其它输出频率, 以便提供不同质量和特性的电能。功率调解控制器可根据负荷的变化调节转速, 也可根据外部电网负荷变化运行, 或可做为独立系统运行, 还包括远程管理、控制和监测。

由于微型燃气轮机系统有以上显著的特点, 使得微型燃气轮机的应用很广, 可以用于分布式发电及冷热电联供系统, 汽车混合动力系统和微型燃机—燃料电池联合系统等。

美国、日本和欧洲国家都在进一步强化新一代微型燃气轮机系统的研究、开发和演示。美国

国家能源部(DOE)已制定了 2000 ~ 2006 年度财政计划项目“先进微型燃气轮机系统”, 该项目共投资 1.63 亿 USD, 研制微型燃气轮机系统的功率范围从 25 ~ 1 000 kW 之间, 带回热的微型燃气轮机, 效率和寿命都有很大的提高。新一代微型透平系统主要是针对实现以下几个性能目标:

高效率——燃料—电力转化效率至少达到 40%;

环保优势——对于天然气系统, 在实际工作范围 NO_x 排放低于 7×10^{-6} ;

耐用性——大修间隔 11 000 h, 设计寿命达到 45 000 h;

经济性——系统成本低于 500 USD/kW, 单位电力成本与其他形式(包括公共电网)相比具有竞争力, 可以选择多种燃料: 天然气、柴油、乙醇、掩埋垃圾产成的气体, 以及微生物法得到的液体或气体形式的燃料。

国内科技部制定了先进微型燃气轮机系统研发的目标, 要求在 2002 ~ 2005 财政年度研制的微型燃气轮机整机技术指标达到设计功

率 100 kW, 本体发电效率带回热时不低于 29%, NO_x 排放(折算含氧量 15%, 干基)燃用天然气时低于 9×10^{-6} , 燃用轻柴油时小于 35×10^{-6} , 噪声小于 65 dB(10m), 系统连续可靠运行 400 h(平均负荷率不低于 80%), 热电联供热效率达到 80% 以上, 工艺达到小批量生产要求。技术经济指标不低于国际市场上 2000 年的水平, 产品在国际市场上具有竞争力。

3 微型燃气轮机的应用

3.1 冷热电联供系统

目前, 以天然气为原料的小型、微型容量的新型分布式能源技术设备和冷热电联供设施, 将能源利用效率和环保标准提高到一个全新的层次。这一能源系统将会从根本上改变目前发电、供热和制冷互相分离, 通过大型电力、热力设施, 从高压、中压到低压的自下而上的传统能源系统。

微型燃气轮机迅速发展是与分布能源的市场需求密不可分的, 微型燃机单纯发电效率不算很高, 但冷热电共生的能量利用率甚至超过大型机。图 2 为 Bowman 公司的微型燃气轮机冷热电联供系统, 发电机组效率为 21.2%, 全系统效率可达 81%。

与电站相比, 微型燃气轮机具有以下优势: (1) 没有或很低输配电损耗; (2) 可避免或延缓增加的输配电成本; (3) 利用燃机产生的热烟气进行高效率的热电联产; (4) 适合多种热电比的变化, 可使系统根据热或电的需求进行调节, 从而增加年设备利用率; (5) 用户可自行控制; (6) 可进行遥控和监测区域电力质量和性能; (7) 非常适应对乡村和发展中

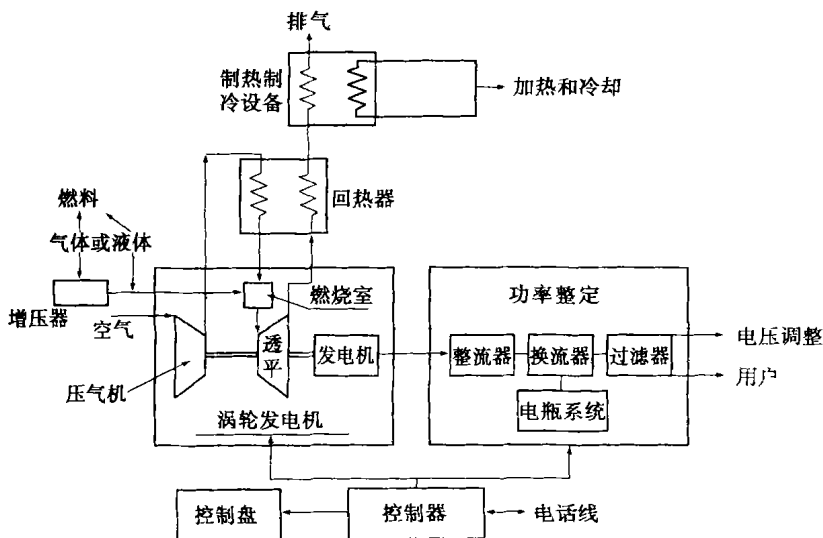


图 2 Bowman 公司的 TG35 微型燃气轮机冷热电联供系统

区域提供电力; (8) 在成本增加很小的情况下可增加装机容量; (9) 土建和安装成本低; (10) 大量减少了环保压力。

分布式发电的发展为微型燃气轮机技术发展和市场扩展提供了极好的平台。目前, 美、英等国电力市场已从控制发电转向分布式发电的竞争。小型发电厂在分布式电网中的应用, 已成为一种日益增长的可行选择。这种发电方式能够增加电网机动性, 降低送电损失和成本, 改善电力质量。同时这种发电方式是一种非常可靠的供能系统。

在分布式发电应用领域, 微型燃气轮机将直接与柴油机发电进行竞争。与内燃机发电相比, 微型燃气轮机发电有明显优越性, 燃气轮机具有较低的循环寿命成本, 维修简单, 污染物排放低于柴油机, 利于环境保护, 可以相信, 随着微型燃气轮机技术的进一步发展, 其优势将更加明显。

3.2 微型燃气轮机—燃料电池联合发电系统

微型燃气轮机可以直接与未来的先进发电方式—燃料电池实现混合发电, 例如采用固体氧化物燃料电池(SOFC)或熔融碳酸

盐(MCFC)与微型燃气轮机(MGT)结合, 其联合装置发电效率可达60%以上, 而 NO_x 排放低于 1×10^{-6} 。这是目前世界上最为先进的高效洁净发电方式之一。

1997年以来, Siemens Westinghouse Power Corporation进行了有关试验。2000年1月, 采用新型燃料电池SOFC系统与一台NREC的50 kW微型燃气轮机联合运行, 功率可达250 kW。这一系统于2000年在加州大学的国家燃料电池研究中心进行广泛的试验。图3为Siemens Westinghouse Power Corporation的微型燃气轮机燃料电池混合发电系统图。据报道, 另一座320 kW的SOFC—GMT联合电厂在2001年在德国投运。

燃料电池(SOFC)置于压气机和透平之间, 进行顶层循环, 其作用相当于燃烧室, 燃料在燃料电池中发电后, 温度高达 1000°C , 图3所示的混合系统就是一种顶层循环。微型燃气轮机的排气温度接近 600°C 和MCFC燃料电池的工作温度相当, 恰好可以作为MCFC燃料电池的入口气体, MCFC燃料电池相当于低

层循环。

此外, 微型燃气轮机用于汽车混合动力装置(为电动车提供动力以及为蓄电池补充电力), 已成为21世纪“混合动力汽车”的新模式。

4 我国微型燃气轮机的发展前景

微型燃气轮机及分布能源系统需求在生活质量和环保标准较高的发达国家首先表现出来, 在建筑楼宇、医院、商住小区等相继应用, 如美国Maryland办公区能源系统, 日本阳光计划的连锁店功能系统等。美国新建楼宇要求采用分布式冷热电供能系统(CHP)的达到50%(专家预测到2010年美国20%的新建商用建筑使用冷热电联供, 到2020年50%的新建商用建筑使用冷热电联供)。

国内微型燃气轮机及分布能源系统需求的总走势与国外相似, 因经济发展水平而有所滞后, 但上海、北京、南方地区的需求已经出现, 如广东番禺南沙科技园、上海浦东国际机场, 北京天然气控制中心大楼、中国科技促进大楼也已规划了微型燃气轮机能源系统。2002年上海市科委规划了天然气能源岛研究项目。由上海交通大学在紫江科技园区软件大楼进行微型燃气轮机冷热电联供示范研究, 为面积 4000m^2 的楼宇提供冷热电, 计划在2004年初投入使用。

据美国盖乐普公司1999年的调查, 估计我国的微型燃气轮机需求量约在1500~1900台之间。最近由于西气东输和取暖标准法规的修改, 上海地区高档楼宇和商住小区的微型燃气轮机分

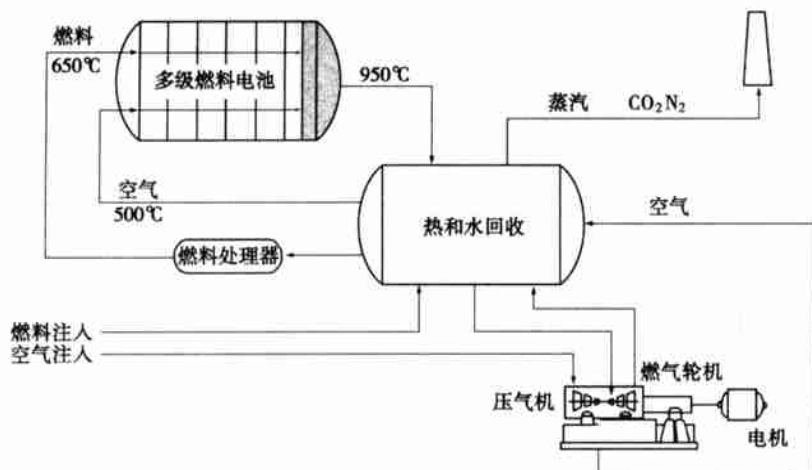


图3 微型燃气轮机与燃料电池(SOFC)混合系统

布能源需求表现得更为积极。此外,我国在冷热电分布能源必需的吸收式制冷机的研制、生产中达到较高水平,因此微型燃气轮机和吸收式制冷机组合的能源系统有可能打入国际市场。

国内微型燃气轮机分布式供能系统的主要潜在市场:建筑楼宇、小区、医院;车站、机场、金融、信息中心等国家重要设施;化工、木材加工、纺织等工艺用电、用热、用冷和用汽;农业设施的冷、热、二氧化碳供给;边防基地,军事设施等国防部门;西部开发,边远地区供电;城市垃圾处理场沼气发电;通过模块式组装的微型燃气轮机群体中型电站;与燃料电池等先进技术联合发展下一代能源系统;汽车混合动力系统。

现在,国家有关部门对发展我国的微型燃气轮机相当重视,如科技部已多次进行研讨论证,并已初步决定进行我国的微型燃气轮机研制攻关,在“十五”末研制出达到国外先进水平的微型燃气轮机。

5 我国微型燃气轮机研究的主要工作

针对我国燃气轮机的研究现状,微型燃气轮机的研制要采用先进技术进行大量研究工作,具体内容如下:

微型燃气轮机总体设计技术研究。包括总体方案、节点参数和全工况性能;压气机、燃烧室、涡轮机及回热器等主要的热力参数匹配和最优化技术;旋转部件轴系稳定性研究,高效减噪音技术,紧凑、合理的结构设计,进气系统设计,外形设计。

高效高压比单级离心式压气机研制。采用全三维气动计算方法设计高效压气机叶轮及通流部

分(包括扩压器、涡壳),压比不小于 4,工质流量满足设计要求,设计效率 75%~78%,压气机样机经过全参数气动试验,以对其气动性能进行试验验证、修改和定型。

高效大膨胀比单级向心涡轮机研制。叶轮成形采用先进全三维设计技术,设计效率 82%~85%,燃气初温 850~900℃,出力满足设计要求。叶轮采用高温合金材料,并采用耐高温热障涂层及新型密封技术,涡轮机样机进行全参数模拟试验,以进行调整、改进和定型。

低 NO_x 排放高效燃烧室研制。燃烧室能兼烧气体燃料和轻质液体燃料,燃气出口温度 850~900℃,燃烧效率不低于 98%,火焰筒壁面不超温,出口温度不均匀度小于 10%,采用干式低 NO_x (DNL) 燃烧技术,NO_x 排放天然气时低于 9×10^{-6} ,烧轻柴油时低于 35×10^{-6} 。燃烧室经过全工况热态试验,以进行调整、改进和定型。

高性能紧凑式回热器研制。采用高换热系数、低流动损失的板翅式或三元无定向翅片管回热器设计计算技术,回热效率达到 75%以上,并达到最小容积和流阻,回热器具有良好抗疲劳、防泄漏和防沾污性能。回热度可变以适应分布式供能系统负荷变化需要。

数字控制系统的研制。包括控制策略和控制器(软件和硬件)研制,通过分析微型燃气轮机动态特性,制定控制参数和保护参数值,实现运行控制和系统保护,满足系统控制的各项要求。

高速发电机和变频系统研制。60 000 r/min 高速永磁发电机研制,1 000 Hz→50 Hz 高速变

频技术及电气系统配置,有关发电质量技术指标满足独立发电或并网发电要求。

高速高温空气轴承研制,设计转速 60 000 r/min,免维护。

微型燃气轮机产品总成、安装、调试或试验,包括微型燃气轮机台架试验和及热电联产分布式供能系统试验。

冷热电分布式供能系统设计和设备集成,包括微型燃气轮机与冷(热)机组的匹配和控制,分布式供能系统中协调控制策略研究。

微型燃气轮机核心部件制造工艺研究,包括压气机、涡轮机加工成型技术,燃烧室激光切割、等离子焊接技术,高温部件热障材料喷涂工艺,回热器薄板连续焊接工艺等。

6 结束语

微型燃气轮机在未来我国电力、动力等国民经济领域和国家安全等方面具有重要作用和战略意义,先进燃气轮机技术是 21 世纪能源动力系统中的核心关键技术,对于我国相关领域如能源、电力、航空、航天、舰船、车辆、军事等国民经济和国防建设中的高新技术发展和移植有着重大作用。

我国曾研制和生产过小型燃气轮机,现这方面的工作仍在进行,具备了一定的经验和基础。目前需要研究的重点是高速发电机及其与燃气轮机整体化、高效板式回热器、空气轴承、逆变电源及控制系统。通过组织科研单位和高校攻关,研制出的国产先进微型燃气轮机将对我国经济发展作出应有的贡献。

参考文献:

[1] JON LANE. Run up to the millennium;

无电晕高温静电除尘技术的最新进展

杨亚平, 黄蕙芬, 魏启东

(东南大学热能工程研究所, 江苏南京 210096)

摘要: 无电晕静电除尘技术是一种在高温条件下, 以阴极的热电子发射使烟气中的粉尘荷电, 然后靠电场力的作用将粉尘捕集, 适合高温场合下应用的新颖除尘技术。本文介绍了它的最新研究成果。

关键词: 无电晕静电除尘; 性能试验; 阴极中毒

中图分类号: TU834.6 文献标识码: A

1 引言

无电晕静电除尘技术是利用某些表面逸出功较低的材料制成除尘器的平板式发射阴极, 而除尘器的收尘阳极则与常规电晕式静电除尘器基本相同。在高温烟气中, 位于荷电区的热阴极内部自由电子逸出材料表面产生热发射, 同时在极间电压的作用下, 它们沿垂直于烟气中流动的粉尘运动方向行进并与之相遇, 从而使粉尘荷电, 当荷电的粉尘受电场力作用定向运动到收尘区阳极板壁上面被捕集, 使得烟气得到了净化。

由此可见, 这种新颖除尘技术的开发中阴极材料的研制是关键, 它直接关系到该技术的性能优劣

和设备的使用寿命以及工业应用的前景等问题。

2 无电晕高温静电除尘技术的几个发展阶段

无电晕高温静电除尘技术由东南大学首创。十几年来, 我们对该技术进行了系统的探索试验和分析研究, 其中包括如下内容。

2.1 阴极材料筛选和制造工艺的研究

我们先由单一材料的筛选逐步发展到复合材料的研制, 曾开发出多种低逸出功的阴极材料。目前又研制成功一种在 850 °C 高温条件下常压空气环境中能产生电流密度(本文提及的电流密度均是指阳极板面电流密度)达 120 mA/m², 高压空气环境中(P=0.6 MPa)电流密度 92 mA/m² 的性能稳定、品质优良的复合阴极材料^[1]。采用该材料使得无电晕双区电除尘器的荷电区在极间电压低于 3 000 V 条件下可形成 10¹⁶~10¹⁷ 个/m³ 的自由离子密度。这样的粉尘荷电环境比常规电晕式静电除尘器(ESP)中的自由离子密度在 10¹⁴~10¹⁵ 个/m³ 的条件要优越 2

收稿日期: 2002-09-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(5860028)和(597760499)

作者简介: 杨亚平(1952-), 男, 江苏南京人, 东南大学副教授。

state of the power generation gas industry [J]. *Global Gas Turbine News*, 2000 (2): 234-242.

[2] LEE S LANGSTON. Gas turbine industry overview [J]. *Global Gas Turbine News*, 1999(2): 123-125.

[3] CAPSTONE TURBINE CORPORATION. Capstone low emissions micro turbine technology [R]. White Paper, 2000. 1-18.

[4] CAPSTONE TURBINE CORPORATION. Capstone low emissions micro turbine tech-

nology [R]. Product Datasheets, 2002. 1-11.

[5] Advanced microturbine system-program plan for fiscal years 2000 through 2006 [R]. U. S. DOE. Office of Power Technologies; 1-15.

[6] Fuel cell and gas turbine. A marriage of efficiency [R]. Siemens Research and Innovation, 2000. 1-15.

[7] 赵士杭. 新概念的微型燃气轮机的发展 [J]. *燃气轮机技术*, 2001, 14(2): 8-

13.

[8] 刁正纲. 微型燃气轮机走向商业化 [J]. *燃气轮机技术*, 2000, 13(4): 13-25.

[9] 关于小功率燃气轮机在 863 专项中立项的建议 [R]. 上海: 上海交通大学, 2002.

[10] 国家高技术研究发展计划(863 计划)重大专项可行性报告 [R]. 北京: 科技部能源办公室, 2002.

(渠源 编辑)

先进微型燃气轮机的特点与应用前景 = **Specific Features of Advanced Micro Gas Turbines and Their Application Prospects** [刊, 汉] / WENG Yi-wu, SU Ming, WENG Shi-lie (Institute of Mechanical & Power Engineering under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 111—115

A new type of heat engines, advanced micro gas turbines pertain to a category of clean, high-efficiency, low-cost and highly reliable energy supply system. They have attracted considerable attention from academics and witnessed to date a spectacular development. Concerning the worldwide research and development efforts as well as the current usage situation of these turbines, the authors have focused on their technical advances and features. Furthermore, an exploratory study was carried out of a small-sized distributed energy system with a micro gas turbine serving as its core and also of a hybrid gas turbine / fuel cell system. The usage prospects of micro gas turbines in China have been briefly evaluated. **Key words:** micro gas turbine, distributed power generation, cogeneration of cooling energy, process heat and electric power, fuel cell

无电晕高温静电除尘技术的最新进展 = **Recent Advances in the Technology of Non-corona High-temperature Electrostatic Precipitation** [刊, 汉] / YANG Ya-ping, WEI Qi-dong (Research Institute of Thermal Energy Engineering under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096), HUANG Hui-fen (Department of Electronics Engineering, Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 116—119

The technology of non-corona high-temperature electrostatic precipitation involves an innovative method of dust particle removal suited for use at elevated temperatures. It utilizes the cathode emission of thermal electrons to get the dust particles in flue gases electrically charged. The electrically charged particles are then captured and collected under the action of an electric field. The most recent results of research of the above-cited technology are presented in detail. **Key words:** non-corona electrostatic precipitation, performance test, cathode poisoning

循环流化床中气固两相流动特性的可视化研究 = **A Visual Study of the Gas-solid Dual-phase Flow Characteristics in a Circulating Fluidized Bed** [刊, 汉] / TIAN Zi-ping, ZHONG Zhi-qiang, CHEN Yong-guo, CHEN Jun (Institute of Mechanical & Power Engineering under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 120—124

Through the use of a charge-coupled device's function of fast image acquisition on a self-designed and built test rig obtained were the images of flow conditions in a fluidized bed under different airflow rates, followed by an effective processing of these initial images by using an image processing method. Furthermore, a series of phenomena were studied, including the turn-down flow adhered on a wall, gas local-diffusion coefficient, the profile of local voidage along the longitudinal and transverse axis, and the ascending velocity of bubbles. Also given is the fractal dimension of the boundary curve of bubbles during tests. As a result of the above, realized was the visualization of gas-solid dual-phase hydrodynamic characteristics in a circulating fluidized bed, thus fulfilling a fruitful attempt to use image processing techniques on a circulating fluidized bed. **Key words:** circulating fluidized bed, boiler, gas-solid two-phase flow, hydrodynamics, image processing, visual study

不同煤种燃烧生成多环芳烃的研究 = **A Study of the PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) Emissions Resulting from the Combustion of Different Ranks of Coal** [刊, 汉] / LI Xiao-dong, FU Gang, YOU Xiao-fang, YAN Jian-hua (National Key Lab of the Ministry of Education on Clean Utilization of Energy Sources and Environmental Engineering under the Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 125—127