

国外热电冷三联产的现状和前景 ——热电联产工程系列报告之四

强国芳

(哈尔滨七〇三研究所)

【摘要】 本文在前面三个系列报告^[1-3]的基础上,着重讨论热电联产工程及技术的新发展——热电冷三联产。对热电冷三联产的基本概念和应用实例进行了介绍。对国内有关工作作了评述和展望。

关键词 热电联产 区域供热和制冷 热泵 吸收式制冷机

分类号 TM116

1 前言

热电冷三联产乃是热电联产(两联产)的最新发展。当不供电时就变成区域供热和制冷(DHC),它也属于热电冷三联产讨论的范畴。

简单地说,在热电两产的基础上,或是利用蒸汽或热水为热源,使吸收式制冷机投入运行,或是利用发动机驱动离心式冷冻机来制冷,以满足用户对热、电、冷的各种需求,就发展成了热电冷三联产。近10多年来,热电冷三联产在国外开始取得了普及性的发展,其应用领域涉及到工业、城市建设和改造以及各种民用场合,国内也已开始起步。

热电冷三联产工程的发展是受以下各项因素影响的:

(1)地区夏季和冬季气温是否已有空调和取暖的客观需要;

(2)地区热网建设是否已有一定基础和规模;

(3)地区电力供应是否比较紧张而且价格较为昂贵;

(4)地区的天然气或其它燃料能否在合理价格下充足供应;

(5)国家或地区对环境保护是否高度重视并有严格的规定;

(6)国家或地区在有关燃料和电力、热等方面的价格及税收等所制订的政策、法规以及财政贷款等具体办法是否有利;

(7)国家或地区在往复式发动机、蒸汽轮机、燃气轮机、锅炉、垃圾焚烧炉、吸收式及其它形式的制冷机和热泵、热交换器、蓄热器、蓄冷器、燃料电池、太阳能电池、环保设备、波纹管等相关设备以及控制、计测技术等方面是否有相当的可靠性和性能水平。

热电冷三联产是很广泛的概念,所用的发动机可以是往复式的,也可以是各种形式的蒸汽轮机和燃气轮机或其联合循环装置。而发动机的燃料也是多种多样的——可以是天然气、煤、油、木材甚至各种城市垃圾和地

收稿日期 1994-11-10

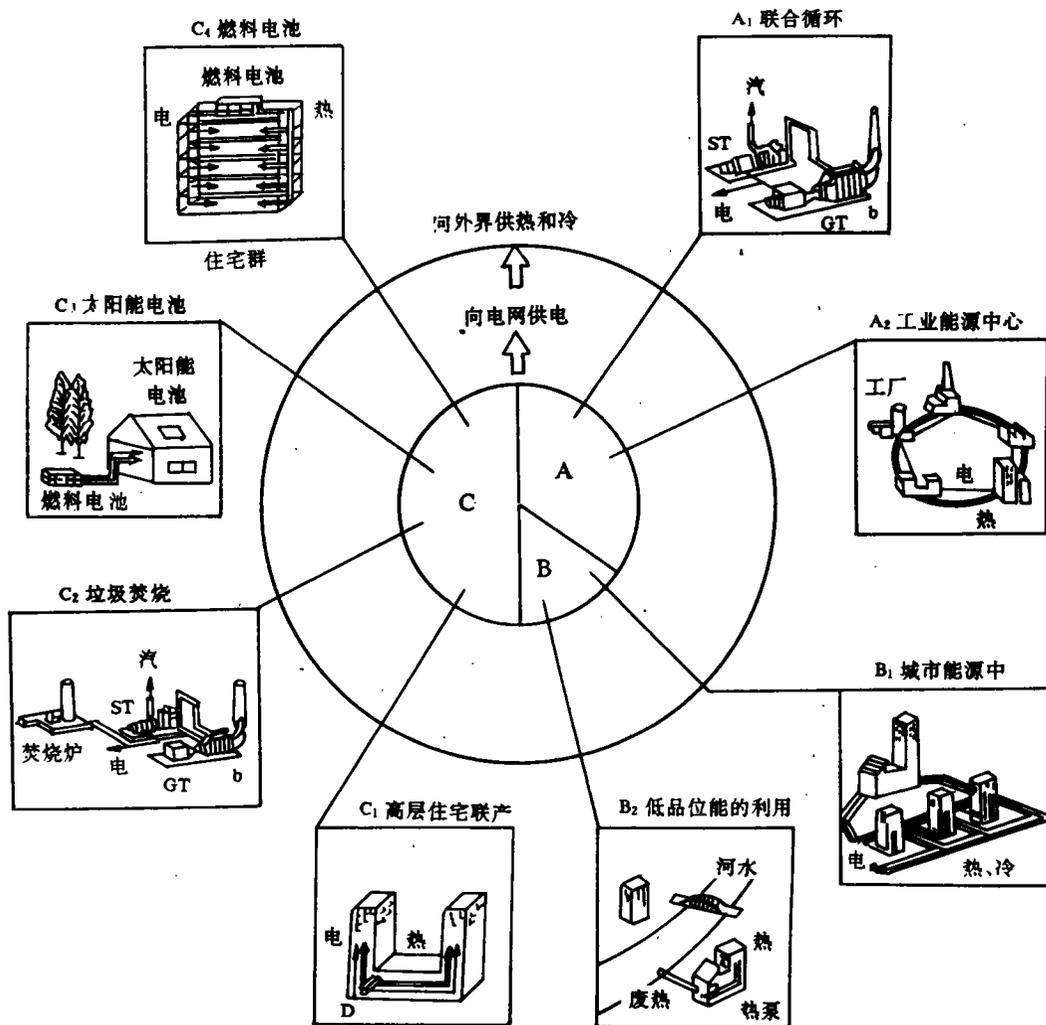


图1 各种形式的热电冷三联供示意图

A—工业领域 B—城市发展 C—民用场合 D—活塞发动机 b—锅炉 ST—汽轮机 GT—燃气轮机

热等。作为一种示意,图1示有目前已经和将来可能采用的各种三联供的形式^[4]。

由图可见,三联供的主要应用领域有三:

(1)工业领域中的三联供

工业领域中有关水泥厂、造纸厂、制药厂、食品加工厂、纺织印染厂、橡胶厂等本身的工艺过程就需要一定数量和参数的蒸汽,而且热负荷一般比较稳定。有时它们还因需

用压缩空气和制冷(冷冻及空调)而消耗一定的电力。实现热电冷三联产则可以达到节电和节能的目的。如果原先以工业锅炉单纯供热,则可以按文献[3]、[5]中介绍的方案来实现三联产。

如果原先已是热电联产,还可以在汽轮机前面加装燃气轮机,而利用其排气来加热给水,或用来改进锅炉燃烧,或使其排气在余

热锅炉中产生蒸汽驱动汽轮机而取代原有的蒸汽锅炉。有了蒸汽或热水,就可以制冷。

工业领域中实现三联产的一个途径是建设小规模“工业能源中心”。特别是对开发区、工业区和新建的工业城(园)来说,通过集中的“工业能源中心”,向工厂供热,为居民制冷,给全区提供电力,有节电节能及改进环保的多重效果。

(2) 城市建设和改造中的三联产

建设规模较大的“城市能源中心”,通过地下管道,向市内各重要建筑物供热、供冷和供电,是城市三联产的主要途径。图2示有伦敦市三联产工程的地下管道简图。

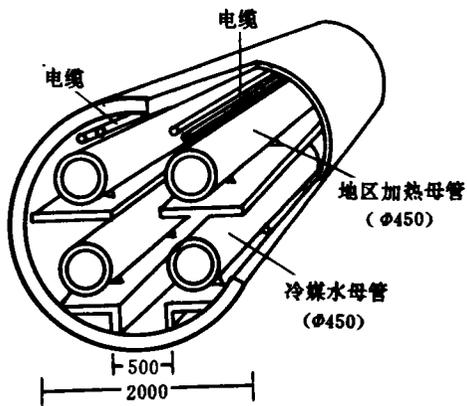


图2 伦敦市三联产工程的地下管道

实际上,这主要是现有热电厂的扩建和改造。热电厂的蒸汽(热源)通过一级管网输向由各种换热和制冷设备组成的“冷暖站”(溴化锂吸收式制冷机是通常采用的制冷设备)。然后,由二级管网将“冷暖站”产生的冷水或热水输向用户的风机盘管实现空调或取暖。为保证正常运转、监控或调节,需配有完善的控制和计量系统。

实施热电冷三联产对热电站来说具有众多好处。特别是夏季由于热负荷不足,而电负荷大增,利用吸收式制冷空调则“削平”了用

电的高峰,“填齐”了热负荷的波谷,既节电,又节能,还带来了环保效益。从后面的数据可以看出,这方面的效果既显著又较“平衡”。

对城市来说,也可以利用垃圾焚烧炉来获得蒸汽,或者邻近油气田和大型焦化厂、钢铁厂的地区在汽轮机的前面前置燃气轮机,以兼得较好的环保效益。在人烟稠密而又有众多未被利用的低品位热能的地方,利用热泵先提高其品位然后加以利用使之产生一定规格的蒸汽或热水,也可以实现三联产。

(3) 各种民用场合中的三联产

各种民用场合,象高层住宅、宾馆、医院、体育场馆、休闲中心、集体宿舍以及火车站、轮船码头和飞机场等各种建筑和场所,对设施齐全、生活舒适有较高的要求。在这些地方实行独立的封闭式的三联产是大有可为的。在这种民用场合中,由于所需功率往往不太大,可以根据热、电、冷负荷的大小和比例,选择合适的往复式发动机或其它机型。

2 英国的热电冷三联产

我们先介绍英国两个规模较大、投资可观、周期较长的三联产项目。由于在文献[5]中已有报道,此处仅做些补充。

由于英国的燃料供应比较充足,价格低廉,因此区域供热比较落后。自70年代以来,情况才有所改变。

2.1 伦敦市的三联产工程

伦敦市的三联产工程是1990年开始的,1994年初首次实现商用大厦和重要建筑的集中供冷。该工程共为90MW,首期32MW(1994年完成),二期32MW(1996年完成),三期则视经济能力而定。燃料以天然气为主,油为备用。主机是采用芬兰的 2×18 缸Wärtsilä Vasa 46GD多燃料发动机,其热效率高达45%(电机效率在97%以上)。在夏季,

100%的燃料中,45%发电,45%供冷及热(少量热水),10%为损失。而在冬季,同样为10%的损失,45%的电和45%的热。由于采用了先进的SCR技术,NO_x排放物减少90%(SO₂也下降90%)。

2.2 曼彻斯特机场的三联产工程

它是世界最大的20个机场之一。1989年决定建设电功率9.4 MW的三联产装置,向原有的两个候机楼和1993年4月投入的新候机楼(耗资5亿英镑)供电和热水。冬天取暖,夏季则把多余的热用于吸收式制冷。

机场用电量为7 MW,新候机楼投运后共需电约15~18 MW,原来两个候机楼的热需求为2 MW(夏季)和6 MW(冬季)。由于热、电负荷之比值约为1:2,故在众多方案中选用两台往复式发动机,燃料也是重油或天然气。整个三联供工程合同额为690万英镑,设备还包括容量为5.9 MW的两台余热锅炉(供应140℃的热水),2×4 MW的双燃料常规锅炉。设备使用寿命超过20年。两台往复

机还可向外界提供2.6 MW的低品位热量。该三联产装置一年约发电72 000 MW·h(259.2 TJ),而供应的热量则相当于购置178.5 TJ的天然气。年总产值约180万英镑(含吸收式制冷每年可节电价值5万英镑)。实行三联产后,每年可减少CO₂排放物5万吨,SO₂排放物1000吨。所以,经济效益和环保效益十分显著。

3 日本的热电冷三联产

日本,由于社会发达而资源缺乏,故对热电冷三联产工程十分重视。据报道,在80年代后半期中,日本对区域供热和制冷(DHC)的需求增长一倍,达到每年2500万GJ^[6]。本文只介绍东京新宿区的区域供热和制冷工程以及北海道札幌市地铁车站的制冷和供热系统。

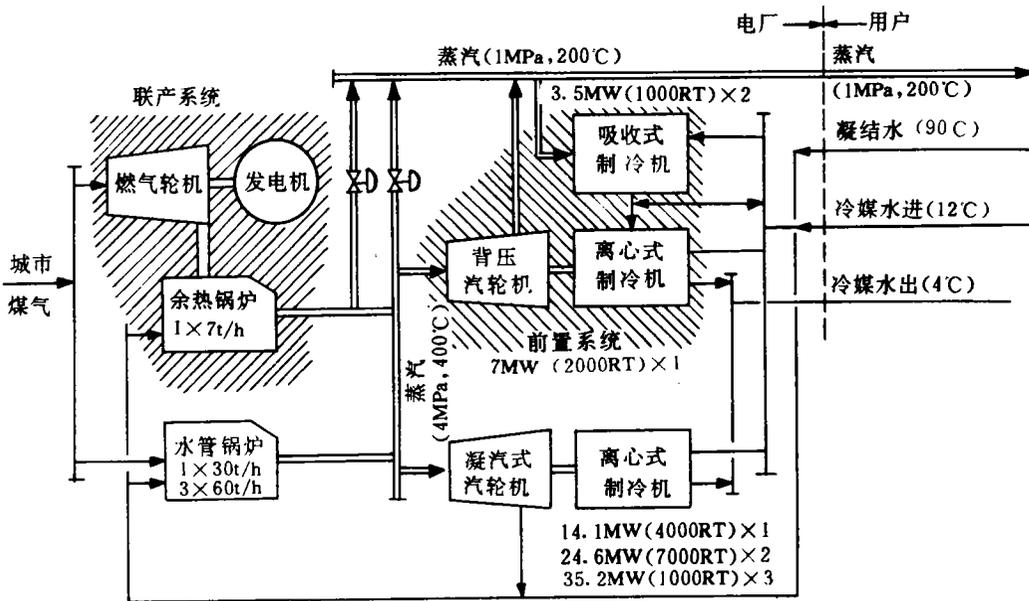


图3 东京新宿区域供热和制冷厂设备原理简图

3.1 东京新宿区的区域供热和制冷

由于东京市新建了新的市厅和 10 多座摩天大楼,日本东京煤气公司于 1991 年初投运了一座新的供热和制冷厂作为高效率、高性能的供热制冷中心,其总容量达 182.8 MW。到 1993 年,总容量扩充到 207.4 MW,成为世界最大的区域供热和制冷厂。

如图 3 所示,该厂原用城市煤气(46 000 kJ/m³)作为一次能源,通过 4 台水管锅炉(1×30 t/h,3×60 t/h,共 210 t/h)产生 4 MPa 和 400℃的蒸汽,推动一台抽汽凝汽式汽轮机(抽汽参数为 1 MPa,200℃,作区域供热用)。该汽轮机驱动六台离心式冷冻机(1×14.1 MW 供基本及中间负荷,2×24.6 MW,3×35.2 MW,供尖峰负荷)。

在新系统中,增加了改进的前置系统和向厂内辅机(冷冻机、泵、冷却塔等)供电的热电联产系统。前者(前置系统)为常年基本负荷系统,由一套背压汽轮机(初参数:4 MPa,400℃;排气参数:1 MPa,200℃)驱动的 7 MW(2000RT)双级离心冷冻机与以中压蒸汽为热源的 2 台 3.5 MW(1000RT)双级溴化锂制冷机所组成。与背压汽轮机并联的是蒸汽减压系统。冷媒水则经由吸收式制冷机进入离心式冷冻机组成串流系统。前置系统的主要参数示于表 1。

后者(热电联产系统)是由石川岛播磨厂成套并由其提供一台 7 t/h 的余热锅炉。根据对电、热负荷情况进行计算机仿真研究,选用了美国 Allison 公司的 501—KB5 燃气轮机发电机组(4 MW,50 Hz)。一旦电网故障停止供电,它即刻投入以保证全厂正常运行。此时,蒸汽减压装置也自动投入。

在第二阶段,还将再投入一套 501KB—5 燃气轮机发电装置热电联产系统,使发电容量增至 8 MW,并再投入一台 24.6 MW(7000RT)的冷冻机,该计划于 1993 年完成。

高性能供热制冷系统的关键乃是其运行

的自动化和可靠性。由于冷、热负荷一年中随季节,一天中随时间的变化很剧烈,为在宽广的负荷变化范围内实现蒸汽平衡,前置系统的控制系统对背压汽轮机排汽、吸收式制冷机进汽以及中压蒸汽(1 MPa)减压系统进行调整。低负荷时优先采用吸收式制冷机以消耗多余的蒸汽。热负荷大时则优先采用离心式冷冻机组,使背压汽轮机可以发出足够的电力。此外,冷媒水的容量可以在(50~100)%范围内变化。

表 1 前置系统的主要参数

参数	单位	双级离心式	双级吸收式
制冷容量	MW	7(2000RT)	2×3.5(1000RT)
冷媒水进口温度	℃	7	8
冷媒水出口温度	℃	4	5
动力(热)源	kW	1600	4.6 t/h 蒸汽
冷冻剂、吸收剂		R-22	溴化锂溶液
主蒸汽压力	kPa	4.018	1.070
排汽压力	kPa	1.070	
主蒸汽温度	℃	400	200
容量可调范围		(100~10)%	(100~10)%
毛重	t	65	50

3.2 札幌市地铁车站的的供热和制冷

北海道札幌市地铁车站的的供热和制冷则是采用的热泵余热回收系统与能源中心的组合,这是比较经济、有效的方案^[7]。

如图 4 所示,由于地铁车站乘客众多,加上车辆及车站照明的散热,空气温度明显增高。安装在地铁车站通风控制室中的电动热泵先将此空气温度进一步增高(提高其品位),然后用它来把冷水加热到 40℃左右

供给能源中心。在能源中心，由汽轮机来驱动空压机，后者使水温最终提高到 90℃后用作取暖及吸收式制冷机的热源。蒸汽则由燃用天然气的高压锅炉产生。能源中心中的吸收

式制冷机可向用户提供 7℃的冷水供空调之用(容量 600RT)。据报道,性能系数(COP)在夏季为 1.23,冬季为 1.10。

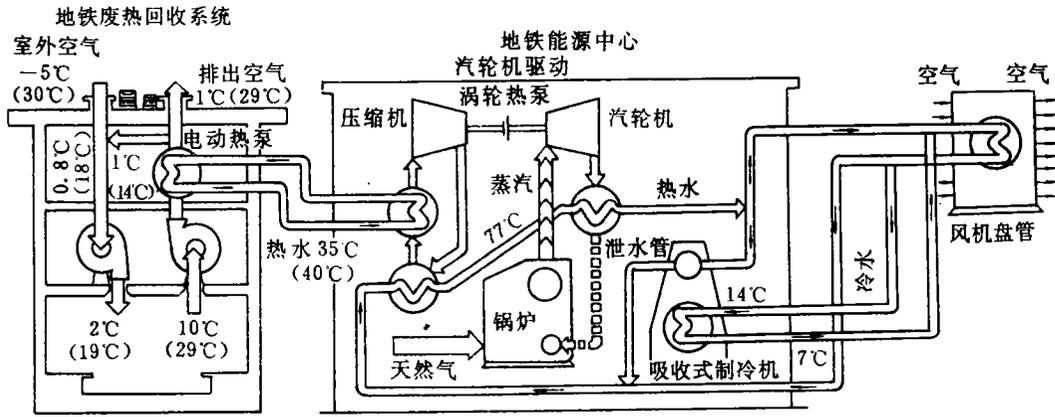


图 4 扎幌地铁车站的供热和制冷

()内为夏季的参数 性能系数(COP):夏季—1.23 冬季—1.10

扎幌市的能量回收热泵锅炉系统是 1982 年开始进行利用地铁废热的基础研究的。两年后开始研制 DHC 系统。1986 年正式开始建设,而于 1989 年 4 月起投入营运。根据最新信息,该系统供热方面因需求与原计划相差颇远,故尚未全部利用,估计还需 5—10 年时间才能对此系统作出正式评价。

4 结束语

以上介绍表明,近 10 余年来,各种类型和规模的热电冷三联产工程及其技术在英国、日本等国家取得了迅速的发展,其技术、经济和环保效益均是明显的。

借鉴国外的经验并结合中国国情,在一段时期内,我们宜积极推广以往复式发动机和各种背压、抽汽、凝汽式汽轮机以及吸收式制冷机为主机的三联产技术。在锅炉方面,带过热器的,利用发动机排气余热并可进行补燃的各型锅炉,也需相应发展。对热泵技术宜

加强研究,利用燃气轮机及其联合循环进行三联产,可在引进机组和装置方面进行工作。

我国由于改革开放的不断深入和国民经济与人民生活水平的发展和提高,三联产工程及其技术已在工业领域、民用场合和城市建设改造中开始起步。但在政策、法规以及经营管理和投资方面,我们还有不少工作要重视去做。

对热电冷三联供工程不仅需要加快试点,而且应该经常交流,这是热能动力工程中的一个新市场。

感谢浙江大学顾冕教授热情提供部分资料。

参 考 文 献

- 1 虞洪庆,叶兆谷,强国芳. 节能型向心式蒸汽轮机——热电联产工程系列报告之一. 热能动力工程, 1991(6)
- 2 强国芳. 英国和欧洲的热电联产——热电联产工程系列报告之二. 热能动力工程, 1994(3)

- 3 虞洪庆,叶兆谷,强国芳. 向心汽轮机与热电冷三联产——热电联产工程系列报告之三. 热能动力工程, 1995 (3)
- 4 Kiyomi Teshima. The current situation of gas turbine cogeneration in Japan and its trend in the future. Bulletin of GT-SJ, 1992, P. 9~16
- 5 强国芳. 国外热电冷三联供的状况. 热电冷联产学术交流会议论文汇编(内部), 武汉, 1994年10月
- 6 Irwin Stambler. Cogen loop improves flexibility of New Tokyo district heating and cooling plant. Gas Turbine World, 1990, 20(5)
- 7 Energy—conserving heat pump boiler system. Sapporo energy supply Co. LTD

作者简介:强国芳,男,1934年生,1955年毕业于上海交通大学动力机械系。1960年获捷克比尔森机电大学技术科学副博士学位,硕士研究生导师,教授级高级工程师。曾任哈尔滨七〇三研究所副所长、副总工程师、无锡分部主要负责人。热能动力工程编委会副主任。主要从事透平叶栅气动特性的测试研究。在国际国内著名杂志上发表过几十篇学术论文。并合著有“轴流式叶轮机械气动热力学(原理、设计与试验研究)”一书。

通讯处:510250 广州市工业大道76号

纤维金属内层改进了陶瓷涂层的性能

据“Turbomachinery International”1994年11—12月号报道,陶瓷能承受十分高的温度。陶瓷涂层广泛用于保护暴露于高温、磨蚀和腐蚀环境中的金属物质,但是陶瓷材料易受陶瓷之间热膨胀系数明显差别的损伤。

改进陶瓷附着的一种方法是使用金属和陶瓷之间的应变隔离器。一层烧结的二氧化金属纤维缓冲垫提供了一种柔顺的可吸收陶瓷和金属之间粘合层处应力的低模量结构。

这种中间柔顺的纤维金属垫允许陶瓷—金属复合物承受重复急剧的热冲击而不会使陶瓷涂层剥离。常常用二氧化锆作为纤维金属材料,这是因为它具有很低的导热率、高的溶化温度(4500F)和良好的耐热冲击性能。柔顺的纤维金属热障陶瓷主要应用于燃气轮机的高温部分。使用柔顺纤维金属层可使燃烧室表面温度降低500F,从而大大延长了燃烧室的寿命。

(学生 供稿)

国外热电冷三联产的现状和前景—热电联产工程系列报告之四=The Present Status and Future Prospects of Overseas Engineering Projects for the Triple Production and Supply of Thermal Energy, Electricity and Refrigeration—the Fourth in a Series of Technical Reports on Cogeneration Systems [刊,中]/Qiang Guofang(Harbin 703 Research Institute)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(5). -259-265

On the basis of three earlier reports by the present author this paper focuses on some engineering projects for the triple production and supply of process steam, electricity and refrigeration, a new technology evolving from conventional cogeneration systems. The basic concepts and some specific application examples of the said technology are presented along with a general review of the related research work currently conducted in China and a brief assessment of the development prospects. Key words: cogeneration, district heating and refrigeration, heat pump, absorption refrigerator

退役航空涡扇发动机地面应用的有效途径之一——再热燃气—蒸汽联合循环=Combined Gas-steam Turbine Reheat Cycle—an Effective Approach for the Ground Application of Out-of-commission Aero-turbofan Engines[刊,中]/Wu Haoshan, Tao Yue (Harbin 703 Research Institute)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(5). -266-271

Discussed in this paper is a combined gas-steam turbine reheat cycle with an out-of-commission aero-turbofan engine serving as the gas generator. The combustion gas of an inner duct after mingling with the air of an outer duct is heated in a reheat combustor and then enters a power turbine to do expansion work. With the help of a waste-heat boiler a certain portion of the gas turbine exhaust gas heat is recovered to produce steam for driving a steam turbine, rendering useful power. Through specific examples and calculations it is shown that the said cycle features high power output and significantly enhanced cycle efficiency. Key words: aero-turbofan engine, combined gas-steam turbine reheat cycle, waste-heat utilization

离心叶轮内部三元流场计算在实际工程中的应用=The Calculation of the Inner Three-dimensional Flow Field of a Centrifugal Turbine Disc and Its Engineering Applications[刊,中]/Ma Shengyuan, Zhao Yousheng, Liu Yuliang (Harbin 703 Research Institute)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(5). -272-278

By use of two kinds of relative stream surface theory and a finite differential method the mathematical solution of a centrifugal turbine disc inner flow field has been attained. Based on the calculation results the authors have identified the deficiency of the original turbine disc structural design and calculated the inner flow field of the newly improved turbine disc. Key words: flow field, numerical computation, turbine disc modification

EC-301 旋转叶轮整体结构应力分析=The Stress Analysis of a Rotating Turbine Disc Integral Structure[刊,中]/Zhou Chuanyue, Wang Xu(Harbin 703 Research Institute)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(5). -279-282

By way of the three-dimensional stress analysis of EC-301 closed type centrifugal turbine disc integral structure the authors have come up with a novel method of integral structure stress analysis for a rotating turbine disc by using general finite element analysis procedures and temperature-treated interference fit. Also given is a method for the identification of slackening out and the determination of a suitable interference fit between the turbine disc and the shaft. Key words: turbine disc, finite element, stress analysis

燃气轮机余热锅炉的设计特点=Design Features of Waste-heat Recovery Boilers for Gas Turbines[刊,中]/Chen Qiduo, Liu Changhe, Zhao Shiguang, Chen Bin, Sun Hongyu. (Harbin 703 Research Institute)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(5). -283-290