

# PG9171E 型燃气轮机变工况计算模型的建立

夏 迪, 王永泓

(上海交通大学 叶轮机械研究所, 上海 200030)

**摘要:** 为了建立 PG9171E 型燃气轮机变工况计算模型, 必须根据电厂提供的原始数据建立该机型的压气机特性。由于现有基线估算方法的建立未包含高压比压气机实验数据, 故一般只被应用于压比小于 11 的压气机特性估算, 而 PG9171E 型燃气轮机的压气机压比已接近 12。为了解决这个问题, 在压气机特性计算过程中首次提出分段计算法, 计算结果表明: 该方法的精度能够满足实际应用要求。在变工况计算模型的燃气热力性质计算方面, 根据热力性质表<sup>[2]</sup>, 归纳出空气、CH<sub>4</sub> 燃气、C 燃气和水蒸气的热力性质通用关系式, 简化了燃烧室燃用重油时的湿燃气焓值和对数压比值的计算过程, 变工况计算模型的计算结果与燃气轮机实测参数进行比较, 表明上述改进方法在实际应用中能够满足建模精度的要求。

**关键词:** 压气机特性; 燃气热力性质; 变工况计算模型

中图分类号: TK39

文献标识码: A

## 符号说明

$P_0$ —大气压力;	$H_c$ —压气机焓降;
$P_1$ —压气机进气压力;	$H_2$ —压气机出口焓;
$P_2$ —压气机排气压力;	$M_a$ —压气机空气流量;
$P_3$ —涡轮进口压力;	$M_f$ —燃料流量;
$\sigma_{in}$ —进气压损;	$N$ —燃料氢碳摩尔比;
$\sigma_B$ —燃烧室总压恢复系数;	$M$ —燃料摩尔分子量;
$\sigma_{out}$ —排气压损;	$\rho$ —燃料密度;
$\pi$ —压气机压比;	$Q_L$ —燃料低热值;
$\pi_t$ —涡轮膨胀比;	$NE$ —发出功率;
$T_1$ —压气机入口温度;	$T$ —温度;
$T_2$ —压气机出口温度;	$P$ —总压;
$T_{33}$ —燃烧室出口温度;	$W$ —质量流量;
$T_3$ —涡轮进口温度;	$f$ —油气比;
$T_4$ —涡轮排气温度;	$CPM$ —压气机特性图;

 $\eta_c$ —压气机效率; $\eta_g$ —发电机效率; $\eta_B$ —燃烧室效率;

TPM—涡轮特性图;

 $\eta_t$ —涡轮效率; $W_c$ —压气机耗功; $\eta_m$ —涡轮机械效率; $W_T$ —涡轮发出功率

## 引言

近年来我国发电行业快速发展, 引进了美国 GE 公司的 PG9171E 型燃气轮机。随着机组的运行, 对机组状况的评估也越来越受到重视。国内外大量研究和实践表明: 基于燃气轮机部件特性的机组变工况计算模型, 在相当程度上可以反映机组的实际运行状况。为了评估机组运行多年之后的性能水平, 必须尽早建立起一套相应的变工况模型, 但由于该模型核心的机组部件特性的各种原因, 获取代价高昂。为了解决这个问题, 本文试图根据传统的基线估算法来建立起机组部件特性。但实际应用时发现基线估算法的压气机压比不能超过 11<sup>[1]</sup>, 否则误差太大。为此, 本文在基线估算法的基础上提出了分部计算法。在燃气热力性质计算方面, 本文推导出了空气、CH<sub>4</sub> 燃气、C 燃气和水蒸气的焓值及对数压比值的计算通用公式<sup>[2]</sup>。

## 1 循环计算

表 1 列出了 9E 机组的有关数据, 图 1 为循环计算程序的框架。基于循环计算结果, 本文进行了压气机特性的计算和燃气的热力性质计算。

表1 循环计算过程所需已知数据

数 值	
大气压力/ MPa	0.1009
压气机空气流量/ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	1440000
进气压损/ Pa	186.314
压气机进口温度/ K	294.5
压气机冷却抽气系数	0.12
压气机排气压力/ MPa	1.1892
压气机出口温度/ K	620.2
燃烧室总压恢复系数	0.97
燃烧室效率	0.99
燃料氢碳摩尔比	1.75
燃料摩尔分子量/ $\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$	1000
燃料低热值/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	44750
燃料密度/ $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.8654
燃料流量/ $\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$	31507
透平导叶前冷却空气质量	0.106
涡轮排气温度/ K	804.67
排气压损/ Pa	686.42
涡轮机械效率	0.99
发电机效率	0.98
发电机输出功率/MW	110.4

注: 表中粗体字为可测参数, 其余各参数根据文献[3~5]选取。

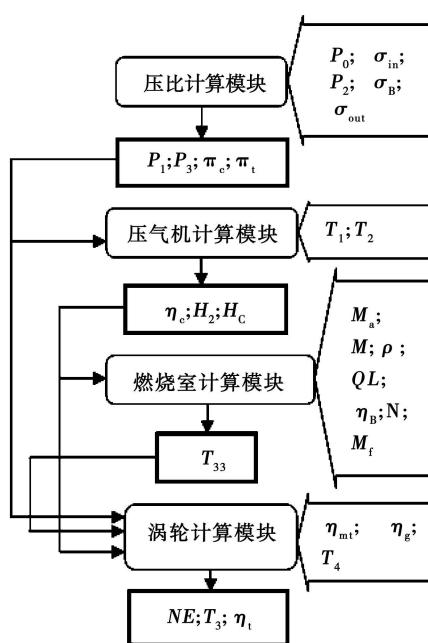


图1 循环计算结构框图

## 2 压气机特性线分段计算法

目前比较实用的压气机特性计算方法是 NASA 公布的基线估算法<sup>[1]</sup>, 该方法是通过已收集到的 8 台多级轴流压气机的实验数据总结而成的, 对压比在小于 11 的压气机来说, 按照该方法计算得出的压气机特性线具有一定的实际意义和准确性。基线估算法的计算程序分 3 个步骤: 首先计算各转速下的最高效率点, 称为“基准点”, 由其连成的最高效率线称为“基线”, 沿这条线上的各点称为“基点”; 然后, 确定压气机的失速极限线, 该线上的点称为“失速极限点”; 最后, 计算沿各等转速线上的各点, 从失速极限到最大流量, 确定等转速特性。本文中 PG9171E 型燃气轮机的压气机压比为 11.8, 超出了基线估算法建立时的实验数据范围, 在用基线估算法进行计算时存在较大误差, 本文提出一套新的适合于高压比压气机特性的计算方法, 结果显示该方法可行, 而且不影响特性线的准确性。

### 2.1 分段计算特性

本文提出的分段压气机特性计算方法即将压气机分为压比相同的 AC 和 BC 两部分, 如图 2 所示, 然后分别求取 AC 和 BC 的压气机特性; 通过插值计算再将 AC 和 BC 两部分的特性合二为一, 以达到计算高压比压气机特性的目的。在最后合并过程中, 压气机总流量根据 AC 部分流量确定, 总效率根据 AC 和 BC 两部分效率特性求得。

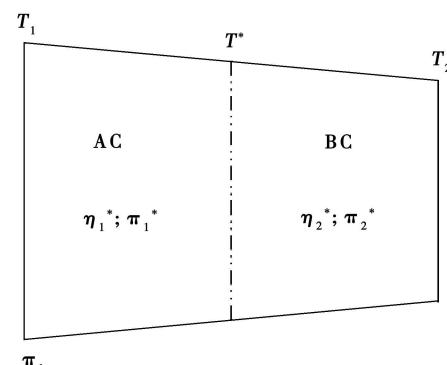


图2 压气机特性分部计算示意图

已知设计工况下压气机压比  $\pi_c$ , 压气机入口温度  $T_{1d}$  和压气机出口温度  $T_{2d}$ , 就可根据  $\pi_c^n = T_{2d}/T_{1d}$  求出压气机设计工况的多变指数  $n$ ; 取压比  $\pi_{1d}^*$  作为分段计算中 AC 和 BC 部分的分割点, 可求得该点温比为:  $T_d^*/T_{1d} = (\pi_{1d}^*)^n$ ; 已知温比和压

比, 可求得前半部压气机 AC 的效率为:  $\eta_{1d}^* = \frac{(\pi_{1d}^*)^{(K-1)/K} - 1}{(T_d^*/T_{1d}) - 1}$ 。给定压气机 AC 部分设计工况下的进口温度  $T_{1d}$ 、进口压力  $P_{1d}$ 、入口流量  $GD$ (kg/s)、压比  $\pi_{1d}^*$  和效率  $\eta_{1d}^*$ , 就可估算出 AC 的特性<sup>[1]</sup>。根

据  $\pi_{1d}^* = \pi_{2d}^* = \sqrt{\tau_c}$ , 可知  $\frac{T_{2d}}{T_d^*} = \frac{T_d^*}{T_{1d}} = (\pi_{1d}^*)^n$ ,  $\eta_{1d}^* = \eta_{2d}^* = \frac{(\pi_{2d}^*)^{(K-1)/K} - 1}{(T_{2d}/T_d^*) - 1}$ 。将 AC 部分的出口温度  $T_d^*$  给定为后半部压气机 BC 部分的进口温度, AC 部分的出口压力  $P_d^* = P_{1d}^* \pi_{1d}^*$  给定为后半部压气机 BC 部分的进口压力, 其它参数同 AC 部分特性计算给定值, 可求出 BC 部分特性<sup>[1]</sup>。

## 2.2 特性重组

已知 AC 和 BC 两部分的特性, 假定压气机运行

压比为  $\pi$ , 入口折合转速为  $\bar{n} = \frac{n/\sqrt{288}}{(n/\sqrt{288})_d}$  (式中下

标 d 是指设计点参数), 则可根据 AC 压比  $\pi_1^* = \sqrt{\pi}$  在 AC 部分的特性线中插值求得效率  $\eta_1^*$  和压气机入口折合流量  $G$  (即重建所用的压气机总折合流量)。根据  $\pi_1^*$  和  $\eta_1^*$ , 可求出 AC 进排气温比  $\tau_1^* = T^*/T_1 = 1 + ((\pi_1^*)^{(K-1)/K} - 1)/\eta_1^*$ , 并可进一步求出 BC 部分的折合转速:

$$\begin{aligned}\bar{n}^* &= \frac{n/\sqrt{288}}{(n/\sqrt{288})_d} = \frac{n/(\sqrt{288} \cdot \sqrt{T_1^*})}{[n/(\sqrt{288} \cdot \sqrt{T_1^*})]_d} \\ &= \bar{n} \frac{1/\sqrt{\frac{T_1^*}{T_1}}}{1/(\sqrt{\frac{T_1^*}{T_1}})_d} = \bar{n} \frac{(\sqrt{\tau_1^*})_d}{\sqrt{\tau_1^*}}\end{aligned}$$

已知 BC 部分的折合转速  $\bar{n}^*$  和压比  $\pi_2^* = \sqrt{\pi}$ ,

可求出 BC 部分的效率  $\eta_2^*$  和温比  $\tau_2^* = T_2/T^* = 1 + ((\pi_2^*)^{(K-1)/K} - 1)/\eta_2^*$ 。已知总温比  $\tau_c = \tau_1^*$ 。  $\tau_2^*$ , 就可以求出压气机总效率  $\eta_c = \frac{(\pi_1^* \cdot \pi_2^*)^{(K-1)/K} - 1}{\tau_c - 1}$ 。

给定不同的 AC 入口折合转速和压气机总压比, 就可以根据上述方法求取相应的总折合流量  $G$  和总效率  $\eta_c$ , 并可据此绘制出整台压气机的特性图, 如图 3 所示, 图中失速极限线也是根据 AC 和 BC 特性重新计算得到。表 2 为图 3 插值计算结果与燃气轮机循环计算结果的比较 (其中流量比较是将特性图的折合流量插值结果转换为质量流量与循环计算结果相比较), 由表 2 可见, 分段计算法的精度较高, 能够达到实用要求。

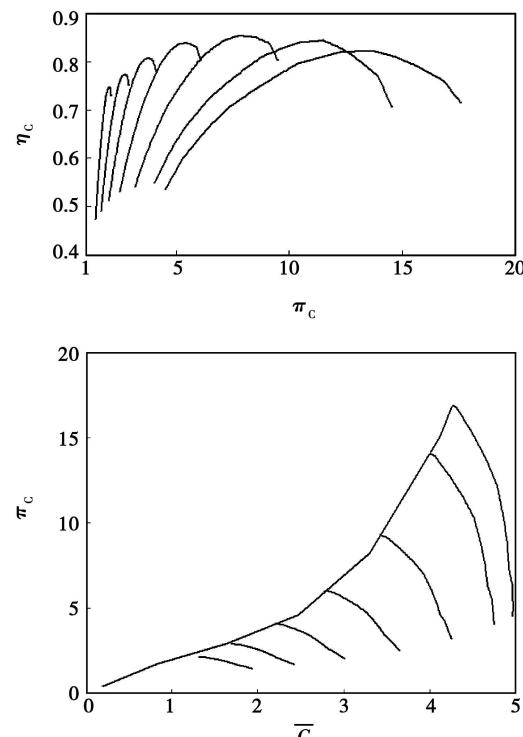


图 3 分段计算法所得压气机特性曲线

表 2 特性线插值计算结果与燃气轮机循环计算结果比较

折合转速	压比		效率	误差 / %	流量 / kg·s⁻¹	误差 / %
1	11.804	循环计算	0.842 275		1.44E+6	-0.006 25
		特性插值	0.841 864	-0.048 820 237	1.43991E+6	
1	9.709	循环计算	0.826 8		1.47E+6	0.298 426 5
		特性插值	0.828	0.145 1	1.4744E+6	
1.034	12.434 2	循环计算	0.833 682		1.472E+6	0.157 360 7
		特性插值	0.834 225	0.065 090 353	1.47432E+6	

### 3 燃气热力性质计算及通用式的提出

在燃气热力性质计算方面, 分别采用了文献[2, 6]的方法。基于文献[6]的燃气热力性质计算是在标准燃料 C<sub>8</sub>H<sub>16</sub>燃气的基础上乘以系数进行校正, 而文献[2]则是在文献[6]的基础上将不同碳氢组成的烃燃料假定为一定比例的 CH<sub>2</sub> 和 C 混合燃料, 燃气也相应地分为 CH<sub>2</sub> 燃气和 C 燃气, 分别计算好 CH<sub>2</sub> 燃气和 C 燃气的热力性质后, 就可按照先前假定的比例计算出整体燃气的热力性质。由于适用于各种燃料的热力性质计算, 并且还适用于喷水后的湿燃气热力性质计算, 该方法目前被广泛采用, 并在应用过程中被证明是准确和有效的。

本文归纳出空气、CH<sub>2</sub> 燃气、C 燃气和水蒸气的焓值及对数压比值的计算通用式, 并与湿空气和烃燃气热力性质图表进行比较, 所推导出的通用式精度符合要求, 适用于今后的燃气热力性质的计算, 有助于减少该计算的工作量。

根据文献[2]的方法, 燃烧室燃用重油的反应方程为:

$$\beta = \frac{((1+\frac{n}{4})(1+x)I_1M_a - Y_W R_W - Y_W(H_{WH} - H_{WL}) - (1+\frac{n}{4})(1+x)HA)}{(\frac{n}{2}(2+\frac{3}{2}x)HI + (1-\frac{n}{2})(1+x)HJ - (1+\frac{n}{4})(1+x)HA - H_U \eta_B)} \quad (3)$$

根据式(3)得出  $\beta$  后, 湿燃气的对数压比值和

焓值可按下式进行计算:

$$\lg \pi_{n,\beta} = \frac{(M_{O_2} + M_{H_2O} + \frac{3}{2}xM_{N_2})\frac{n}{2}\beta \lg i + (1-\frac{n}{2})\beta(M_{CO_2} + xM_{N_2})\lg j + (1+\frac{n}{4})(1-\beta)(M_{O_2} + xM_{N_2})\lg a + Y_W M_{H_2O} \lg wh}{(M_{CO_2} + M_{H_2O} + \frac{3}{2}xM_{N_2})\frac{n}{2}\beta + (1-\frac{n}{2})\beta(M_{O_2} + xM_{N_2}) + (1+\frac{n}{4})(1-\beta)(M_{O_2} + xM_{N_2}) + Y_W M_{H_2O}} \quad (4)$$

$$i_{n,\beta} = \frac{\beta \frac{n}{2}(2+\frac{3}{2}x)HI + \beta(1-\frac{n}{2})(1+x)HJ + (1-\beta)(1+\frac{n}{4})(1+x)HA + Y_W H_{WH}}{(M_{CO_2} + M_{H_2O} + \frac{3}{2}xM_{N_2})\frac{n}{2}\beta + (1-\frac{n}{2})\beta(M_{O_2} + xM_{N_2}) + (1+\frac{n}{4})(1-\beta)(M_{O_2} + xM_{N_2}) + Y_W M_{H_2O}} \quad (5)$$

式中:  $\lg \pi_{n,\beta}$ —燃料系数为  $\beta$  时的 CH<sub>n</sub> 燃气对数压比值;  $i_{n,\beta}$ —燃料系数为  $\beta$  时的 CH<sub>n</sub> 燃气焓值, kJ/kg。  $M_{CO_2}$  取 44.01 为二氧化碳千摩尔公斤质量,  $M_{H_2O}$  取 18.02 为水蒸气千摩尔公斤质量,  $M_{N_2}$  取 28 为氮气千摩尔公斤质量,  $M_{O_2}$  取 32 为氧气千摩尔公斤质量。 $\lg i$ —CH<sub>2</sub> 燃气对数压比值;  $\lg j$ —C 燃气对数压比值;  $\lg a$ —纯空气对数压比值;  $\lg wh$ —水蒸气

对数压比值。

根据湿空气和烃燃气热力性质图表后的附表, 本文列出空气、CH<sub>2</sub> 燃气、C 燃气和水蒸气的焓值及对数压比值的通用式:

$$\frac{i}{\lg \pi} = A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3 + E \cdot T^4$$

式中各系数如表 3 所示。

表 3 燃气热力性质通用计算式系数

系数	A	B	C	D	E
1 100~1 800 K	$i_{\beta=1}^{\text{CH}_2}$	-2 414.426	32.56023	0.00227	-
	$\lg \pi_{\beta=1}^{\text{CH}_2}$	1.53337	0.00604	-9.54E-07	-
	$i_{\beta=1}^C$	-3 128.775	33.85356	0.00191	-
	$\lg \pi_{\beta=1}^C$	1.75236	0.00618	-9.92E-07	-
	$i_{\beta=0}$	-1 596.58	0.29264	0.00158	-
	$\lg \pi_{\beta=0}$	1.67899	0.0055	-8.88E-07	-
	$i_{\beta=0}^{H_2O}$	600.5834	29.44177	0.00595	-
	$\lg \pi_{\beta=0}^{H_2O}$	-2.7688	+0.01562	-8.17E-06	1.872E-09
	$i_{\beta=1}^{\text{CH}_2}$	219.25522	27.84084	0.0044	-
	$\lg \pi_{\beta=1}^{\text{CH}_2}$	-3.69013	0.02635	-3.34E-05	2.452E-08
250~1 100 K	$i_{\beta=1}^C$	-7.50945	28.11388	0.00459	-7.2E-12
	$\lg \pi_{\beta=1}^C$	-3.39366	0.02594	-3.22E-05	2.347E-08
	$i_{\beta=0}$	396.8553	26.74238	0.00316	-6.86E-12
	$\lg \pi_{\beta=0}$	-3.45262	0.02563	-3.33E-05	2.469E-08
	$i_{\beta=0}^{H_2O}$	600.5834	29.44177	0.00595	-
	$\lg \pi_{\beta=0}^{H_2O}$	-3.71218	0.0211	-1.82E-05	9.03E-09

现将两种方法计算结果比较如表 4 所示。

表 4 通用式计算比较

	燃气温度/K	燃料中氢碳摩尔比	燃料摩尔系数	焓/kJ·kg <sup>-1</sup>	公式计算误差/%
图表插值	1 370.95	2.35	0.00472346	1 481.68	
通用式计算	1 370.95	2.35	0.00472346	1 481.7105	0.00206
图表插值	1 000	1.5	0.5	1 079.55	
通用式计算	1 000	1.5	0.5	1 080.204	0.0606
图表插值	1 000	3	0.5	1 101.32	
通用式计算	1 000	3	0.5	1 103.563	0.2037

由表 4 可见, 通用式的计算结果与燃气的热力性质表的查询结果基本相同, 由此可知, 本文所推导出的燃气热力性质通用计算式适用于今后燃用重油的湿燃气热力性质计算, 并能简化计算过程。

#### 4 PG9171E 型燃气轮机变工况程序

根据第 2 节中计算所得的压气机特性, 并应用上文提出的热力性质通用计算式, 建立了 PG9171E 型燃气轮机的变工况计算程序, 如图 4 所示。给定油量、入口温度、入口压力、转速、压气机和涡轮特性曲线后, 变工况程序可以计算出真实机组上相应测点的测量参数估算值。表 5 显示变工况输出结果与真实测量值非常吻合, 这说明本文提出的压气机特性计算方法和燃气热力性质通用式的计算精度符合

实际应用要求。

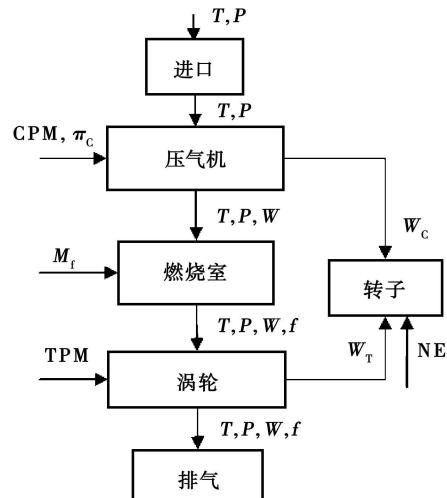


图 4 PG9171E 型燃气轮机变工况程序图

表5 计算参数与实测参数比较

		油量/ kg·s <sup>-1</sup>			
		5.090 25	7.325 78	8.035 23	9.246 79
NE/MW	实测值	40	70	80	100
	计算值	40.23	70.36	79.5	100.899
	误差/ %	-0.575	-0.514 29	0.625	-0.899
T <sub>4</sub> / K	实测值	643.705 6	678.15	710.372 2	772.038 9
	计算值	642	679.981 5	712.632	770.897
	误差/ %	0.264 96	-0.270 07	-0.318 11	0.147 906
P <sub>2</sub> / MPa	实测值	0.770 34	0.972 41	0.986 21	1.048 28
	计算值	0.774	0.970 41	0.979	1.039
	误差/ %	-0.475 11	0.205 675	0.731 082	0.885 26

## 5 结论

在PG9171E型燃气轮机变工况程序的建立过程中,提出用分段法建立压气机特性曲线,有效解决了基线估算法在高压比压气机特性估算时的精度问题;并在燃气热力性质计算过程中归纳出空气、CH<sub>4</sub>

燃气、C燃气和水蒸气的焓值及对数压比值的计算通用式,有效简化了燃用重油的湿燃气热力性质的计算过程。最后通过比较变工况计算模型的计算结果和机组实测参数,证明了上述方法的准确性。

该模型的建立有助于今后根据可测参数对PG9171E型燃气轮机进行性能评估,其评估结果将为电厂运行提供检修依据。

### 参考文献:

- [1] 秦鹏.轴流压气机气动设计[M].北京:国防工业出版社,1975.
- [2] 严家碌.湿空气和烃燃气热力性质图表[M].北京:高等教育出版社,1988.
- [3] 刘晨光,朱春媚.减压渣油热反应特性与原料组成的关系[J].石油学报(石油加工),1999,15(1):1—7.
- [4] 杨松鹤.GE公司重型燃气轮机系列发展分析[J].燃气轮机技术,2002,13(1):24—27.
- [5] BROOKS FRANK J. GE gas turbine performance characteristics[R]. GER-3567a USA:GE Power Systems, 1993.
- [6] 吴仲华.燃气的热力性质表[M].北京:科学出版社,1959.

(编辑 伟)

### 船舶燃气轮机

## WR-21发动机已装用于第二艘45型驱逐舰

《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2007年9月号报道,装用WR-21发动机的英国海军第二艘45型驱逐舰已于2007年在苏格兰BAE Systems的造船厂下水。

该舰排水量为8 000 t,长度为152 m,航速可超过27节,它是一艘执行多种任务的护卫战舰,尤其是提供了很强的防空能力。

每艘驱逐舰由两台Rolls-Royce WR-21船舶中间冷却回热式燃气轮机驱动,WR-21被设计成在整个适用的功率范围内能明显改进船舶燃气轮机的效率。WR-21是根据Rolls-Royce RB211和Trent系列商用航空发动机改型的。

WR-21平稳的燃料消耗,特别适用于电力驱动。对于机械系统,它既可以是巡航发动机,又可以是加速发动机,这就允许设计者重新审视推进系统的设计。与简单循环燃气轮机比较,它将使燃料消耗减少27%。

中间冷却器位于低压压气机和高压压气机之间,冷却低压压气机出口的空气,降低了高压压气机进气温度,从而减少了高压压气机的耗功,导致发动机功率明显的提高。

回热器是从热排气回收并转移热能的热交换器,用它来预热燃烧空气,因此需要较少的燃料就能达到同样的输出功率。通过降低到回热器的进气温度,中间冷却器增强了回热器的效果,从而增加了热回收。

(吉桂明 供稿)

**我国电站锅炉煤粉直接点火技术的发展以及现状=Development and Status Quo of Utility-boiler Pulverized-coal Direct-ignition Technologies in China**[刊, 汉] / NIE Xin (College of Mechanical Engineering, Hangzhou University of Electronic Science and Technology, Hangzhou, China, Post Code: 310038), ZHOU Jun-hu, WANG Yang, CEN Ke-fa (National Key Laboratory on Clean Utilization of Energy Sources, Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(4). —333 ~337

The working principles and burner structures of various pulverized-coal direct-ignition technologies currently available in China as well as their development and application status are expounded along with the respective merits and demerits being pinpointed. Several omnipresent problems concerning the safety of the burners in question are summarized. To solve the contradiction between the operation safety and oil savings now troubling the power generation industry of China, two approaches were proposed: the first approach involves the adoption of multiple regulating means to reduce the pulverized-coal flow ignition heating, and the second is to integrate the use of direct-ignition technology with traditional ignition oil guns. It should be noted that high-temperature air direct-ignition technology enjoys a relatively high technical advantage due to its flexible regulating means. **Key words:** pulverized coal, oil saving, direct ignition, safe operation, ignition heat

**PG9171E型燃气轮机变工况计算模型的建立=Modeling for the Calculation of Off design Operating Conditions of a Model PG9171E Gas Turbine**[刊, 汉] / XIA Di, WANG Yong-hong (Turbo-machinery Research Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2008, 23(4). —338 ~343

To set up a calculation model for the off-design conditions of a PG9171E gas turbine, it is necessary to identify the compressor characteristics of the gas turbine in question on the basis of the original data provided by the power plant. As the current base-line estimation method was established without considering any experimental data of compressors at high-pressure ratios, in general, it can only be used for the estimation of compressor characteristics at a pressure ratio less than 11. However, the pressure ratio of the PG9171E gas turbine compressor has already approximated to 12. To solve this problem, a section-by-section calculation method was for the first time proposed for the calculation of compressor characteristics. The calculation results show that the accuracy of the above method can meet the requirement of practical applications. In respect of the calculation of the thermodynamic properties involved in an off-design condition calculation model, a general-purpose relationship for the thermodynamic properties of air, CH<sub>4</sub> gas, C gas and steam was induced based on the thermodynamic properties table No. 2. This simplifies the calculation process of wet combustion gas enthalpy and logarithmic pressure ratio values when the combustor operates on heavy fuel oil. A comparison of the calculation results of the off-design condition calculation model with the actually measured parameters of the gas turbine shows that the above-mentioned improved method can meet the requirement for the modeling accuracy in practical applications. **Key words:** compressor characteristics, combustion gas thermodynamic properties, off-design condition calculation model

**汽轮机凝汽器喉部流动性能的微型模化试验研究=Experimental Study of Micro-modeling of Flow Performances in the Condenser Inlet of a Steam Turbine**[刊, 汉] / ZHANG Lei-lei, CUI Guo-min, GAO Xiao-zhong, et al (Thermodynamic Engineering Research Institute, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2008, 23(4). —344 ~347

Under the precondition of ensuring an identical flow state and by using similarity theory and a method under which a model is subjected to a blowdown in a wind tunnel, established was a set of miniature modeling device for a condenser inlet. An experimental study has been conducted of the flow performances at the condenser inlet under different inlet-flow speeds. The test results show that the modeling test device in question can not only reduce the size of the model and the cost of testing, facilitating the conduct of the test, but also achieve a repeatability of the flow conditions in the condenser inlet. It can be used for the experimental study of the flow friction performance and flow conditions of any condenser inlet. **Key words:** condenser inlet, miniature-modeling device, flow friction, similarity theory

**随机参数汽轮机叶片频率的随机有限元分析=Stochastic Finite Element Analysis of Turbine Blade Frequencies at Random Parameters**[刊, 汉] / AN Li-qiang, WANG Zhang-qi (Mechanical Engineering Department, North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(4). —348 ~351