

彼尔姆发动机制造联合体的燃气轮机技术

亚力山大·伊诺杰姆采夫, 达尼伊尔·苏力莫夫

(彼尔姆发动机制造联合体股份公司 管理公司, 俄罗斯 彼尔姆 614000)

关 键 词: 燃气轮机; 性能; 发电装置

“彼尔姆发动机制造厂股份公司”和“航空发动机股份公司”开发、批量生产的燃气轮机设备—燃气轮机装置及电站是最符合中国能源要求的。在上述两单位的基础上, 2003 年组建了彼尔姆发动机制造联合体。

彼尔姆生产的产品可靠性和质量高, 通过国际招标中的中标得以证实。例如: 彼尔姆燃气轮机增压装置, 用于连接俄罗斯和土耳其天然气管道“蓝流”压缩站。在建设新的天然气管道压缩站“亚马尔—欧洲”时, 产品得到了广泛的应用, 这条管道的全长达 4 000 km。

俄罗斯最大的石油天然气开发公司选择了彼尔姆生产的燃气轮机发电装置。彼尔姆开发、批量生产的燃气轮机装置和电站已经 12 年。到目前为止, 包括 13 种类型, 单机功率 2.5~25 MW, 有关燃气轮机用于电站的型号见表 1。

• 用于发电的燃气轮机装置, 其功率分别为: 2.5; 4; 6; 12; 16 MW;

• “乌拉尔”系列燃气轮机发电装置功率为 2.5; 4; 6 MW(《乌拉尔—2500》, 《乌拉尔—4000》, 《乌拉尔—6000》都是以适合于运输的组装形式制造的);

• 增压及泵站的燃气轮机装置, 其功率为 4; 6; 10; 12; 16; 25 MW。

俄罗斯石油天然气系统项目中, 使用彼尔姆发动机制造联合体生产的燃气轮机总数量已经超过 360 个台套。

第一座燃气轮机电站《乌拉尔—4000》功率为 4 MW, 于 2000 年在巴什基尔共和国投入使用(俄罗斯), 保证企业和 8 千多乡镇居民的热、电供应。该设备是俄罗斯主要电力公司 PAO“ЕЭС РОССИИ”推荐各地使用的设备。其中, 包括在城市住宅公共设施中使用。

彼尔姆燃气轮机的使用表明: 用燃气轮机发电

装置代替现有的热电中心, 可以使每千瓦·小时电能发电的消耗降低 50% 以上。所以彼尔姆燃气轮机电站能在耗电量大的生产企业得到应用。如铝生产、炼钢、化学工业等行业。

彼尔姆联合体很重视国际合作, 彼尔姆生产的燃气轮机的第一个国外用户是意大利的 Electronic Solar S. R. L 公司。在 2006 年向该公司发运了 2 套《乌拉尔—4000》燃气轮机发电装置。目前, 在美国 Pratt & Whitney 公司的参与下, 彼尔姆正在开发新型的燃气轮机装置, 该装置的功率为 16 MW, 新机组是在航空发动机 ПС—90А2 燃气发生器的基础上制造的, 并且用于 ПЭ—16Т А 燃气轮机之中。它的主要特点是采用了新的动力涡轮, 其转速 3 000 r/min。涡轮转速的降低, 提高了燃气轮机装置的可靠性, 降低整体上的使用费用。ПС—16Т А 的批量生产和供货是在 2006 年开始的。

彼尔姆发动机制造联合体在 20 世纪 50 年代就与中国企业有了合作。如株洲市航空发动机厂、沈阳黎明公司等有过很好的合作关系, 生产过的航空发动机 N650 的原形是彼尔姆航空发动机。在 1956 年中国的发动机制造者对彼尔姆的 АИ—62МР 进行大幅度改型后, 转入“丰收”飞机 2 特殊发动机 HS5 的批量生产。1959 年航空发动机 HS7(АИ—82В)在哈尔滨东安发动机制造公司得到开发。

在 20 世纪 90 年代初, 彼尔姆和中国专家又有了成功的合作。根据 CATIC 公司的订单, 彼尔姆制造了压缩机 Д—30СТУ 试验装置, 其功率为 18.7 MW。2003 年给沈阳 SAERI 发去了 2 台动力涡轮, 其功率为 17.5 MW。多年的互利合作工作把“发动机”股份公司和黎明公司、AVIC—1 公司、SAERI 及发动机制造业的其它中国企业联系在一起, 为开发中国市场, 彼尔姆联合体做出了努力。

彼尔姆生产的功率为 2.5~25 MW 的燃气轮机

用于生产和日常生活用电,而联合使用余热锅炉时可用于生产电能、热水和蒸汽(燃气轮机热电联供及燃-蒸联合循环电站)。在表 1 中给出燃气轮机电

站的主要参数,燃气轮机-热电站内部各种余热利用方案的热功率。

表 1 燃气轮机机型及参数

	2500 型	4000 型	6000 型	12000 型	16000 型	25000 型
燃气轮机类型	2.5 型	4 型	6 型	12 型	16 型	25 型
电功率/MW	2.55	4.13	6.14	12.3	16.4	24.85
效率/%	22.1	25.0	27.2	34.1	36.0	39.0
余热利用情况下的热功率/GJ·h ⁻¹ 与燃料热能有效利用系数/%	24.6/77.1	35.1/80.3	48.1/83.1	69.4/83.9	85.3/84.7	113/85.6
在补充燃烧利用余热的情况下的热功率/GJ·h ⁻¹ 与燃料热能有效利用系数/%	64.8/85.2	61.5/85.6	67.8/86.0	95/85.8	115.9/86.4	165.7/87.8
在组合使用上述方案时的热功率/GJ·h ⁻¹ 与燃料热能有效利用系数/%	223.9/93.9	257.4/93.8	276.6/93.7	368.3/93.2	445.3/93.3	648.4/93.9

注:ISO 条件,无进排气损失,燃料为天然气,热值为 49 984 kJ/kg。

燃气轮机电站不仅可以降低生产电能和热能的成本,而且可以改善生态环境。彼尔姆生产的 2.5 型和 4 型燃气轮机获得了俄罗斯的环保证书。

燃气轮机电站的主要优点:

(1)将所有组件都安装在隔音和绝热的箱装体内,在内设有灭火系统和燃气泄漏监控系统,通风、照明和加温系统。因此我们的燃气轮机电站是适用于各种气候条件;

(2)装置紧凑、安装迅速。4000 型燃气轮机电站基础上安装只需要 8 h;

(3)在外部公共设施(燃气、热网和电网)齐全的情况下,在基础上安装燃气轮机电站一周后即可投入使用;

(4)NO_x 和 CO 等有害物的排放指标符合环保要求,并已经获得环保证书,因此可以在人口密集区使用;

(5)在整个取暖期(近 4 500 h 的连续工作)可以在自动状态下工作,运行人员每班两人。

(有关燃气轮机系统结构图见封三)

新技术 新产品

比热比对涡轮机气动力性能的影响

据《ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power》2005 年 10 月号报道,在针对闭式和半闭式循环燃气轮机的设计研究中,已考虑许多气体,包括二氧化碳和氦气代替空气作为工作流体。

在许多这些研究中,已经假设,如果气体常数 R 和比热比 γ 被包括在速度和流动参数中,则压气机性能或涡轮特性适用于其它工作流体。但是相似理论表明,等熵指数本身就是一个相似准则,并且即使在适当的无因次化时,涡轮机特性原则上仍将随工作流体比热比改变而变化。

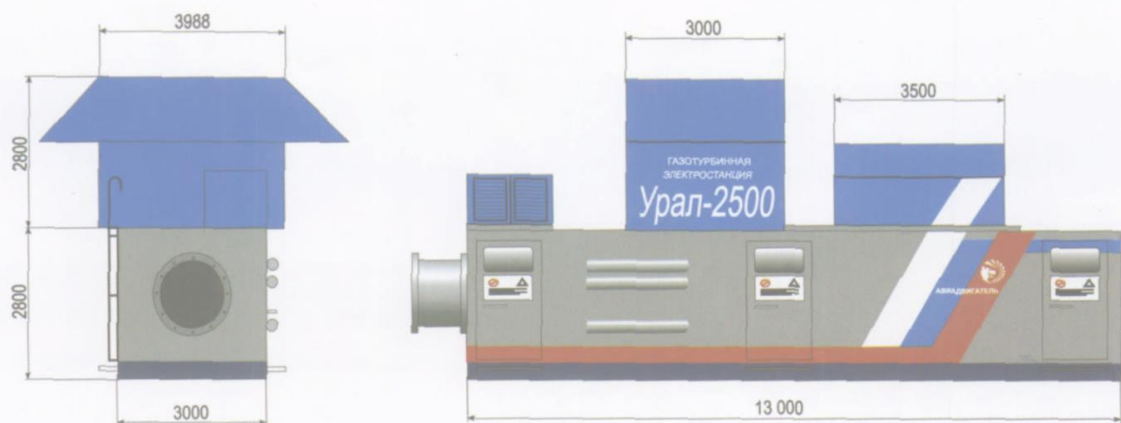
分析了 γ 对涡轮机特性的影响。使用空气 ($\gamma=1.4$)、CO₂ ($\gamma=1.29$)和氦气 ($\gamma=1.67$)测量了一个离心压气机级的性能。对于相同的无因次速度值,发现对于三种试验气体的压比、效率和阻塞的质量流量明显不同。

已经发现试验结果与叶轮的计算流体力学分析是一致的。最终表明,完全可以利用基于一维等熵流动的简单理论合理地估算性能的变化。

这些论据形成了修正程序的基础,使用该程序可以把针对一个 γ 值测量的压气机特性延伸到对于具有不同 γ 值的气体测量的压气机特性。

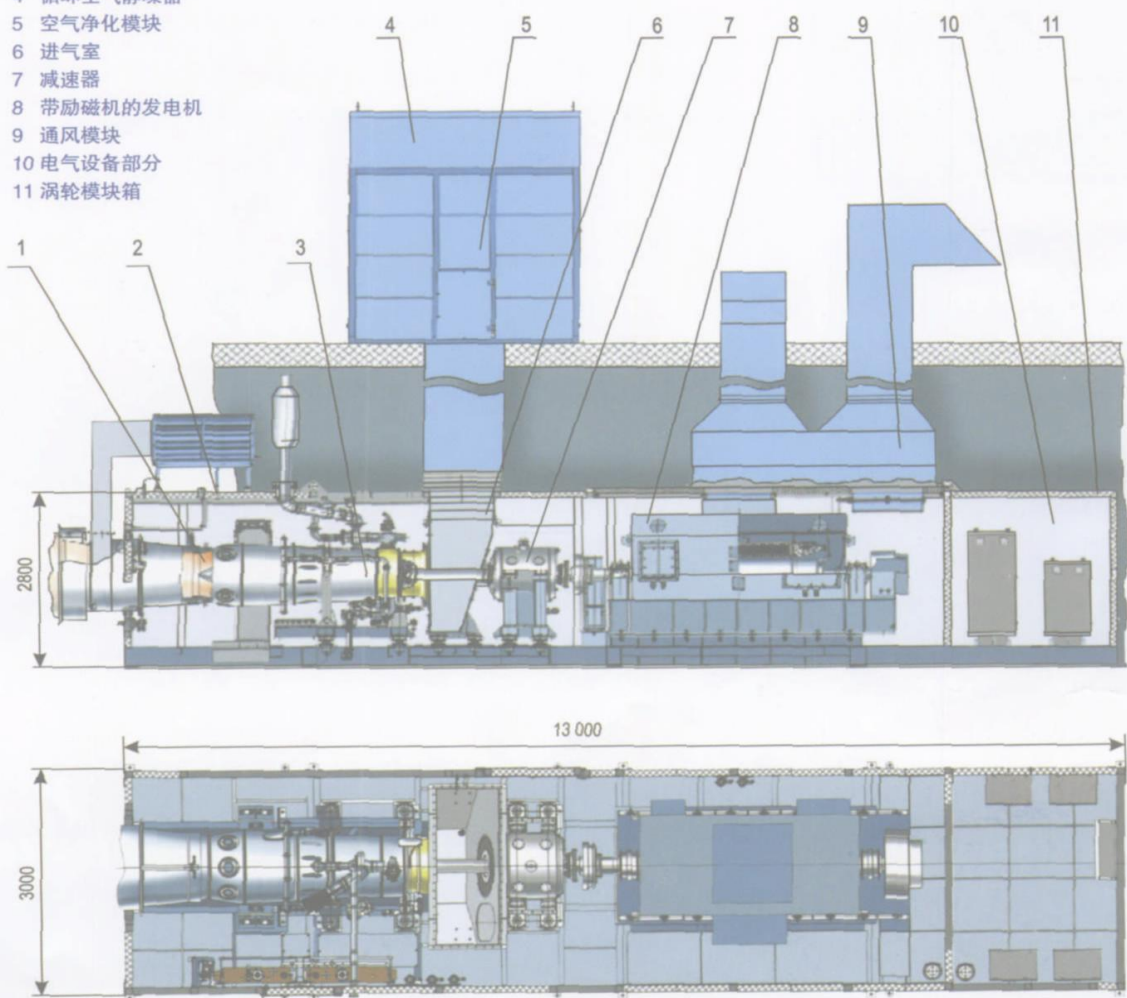
(吉桂明 供稿)

“乌拉尔-2500/4000/6000”系列燃气轮机电站总体图



- 1 输出装置
- 2 滑油气冷装置模块
- 3 发动机
- 4 循环空气静噪器
- 5 空气净化模块
- 6 进气室
- 7 减速器
- 8 带励磁机的发电机
- 9 通风模块
- 10 电气设备部分
- 11 涡轮模块箱

燃气轮机电站纵向剖面图和外形尺寸



彼尔姆发动机制造联合体的燃气轮机

Key words: sludge, pyrolysis, mechanism function

汽轮发电机组远程智能故障诊断系统= **An Intelligent Remote Fault-diagnosis System for a Turbogenerator Set** [刊, 汉] HE Qing, DU Dong-mei, LI Hong (Education Ministry Key Laboratory on Condition Monitoring and Control of Power Plant Equipment Affiliated to Energy and Power Engineering College under the North China Electric Power University, Beijing, China, Post Code: 102206) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(5). — 532 ~ 535

Analyzed and studied are the techniques of intelligent fault diagnosis of vibration for turbogenerator sets. By combining artificial neural network technology with object-oriented one, a four symptom neural network has been established. The four symptoms are vibration frequency spectrum, axial-center trajectory, speeding-up-and-down characteristics and load characteristics. Meanwhile, constructed was an intelligent fault-diagnosis neural network for sensing vibrations of steam turbogenerator sets with incomplete symptom inputs. With the frequency spectrum symptoms of turbogenerator set vibrations serving as an example, a method for the automatic acquisition of frequency spectrum symptoms was studied and a specific case was given of comprehensive fault diagnosis with an incomplete symptom based on the frequency spectrum symptom. On this basis, by using a Browser Server mode and Java technology, an intelligent remote fault-diagnosis system for turbogenerator sets was developed along with a description of the structure composition of the system, functional modules, servers and client-terminal program design and implementation method. **Key words:** turbogenerator set, vibration, neural network, intelligent fault diagnosis, remote diagnosis

类热机结构优化特征及其论证= **Structure Optimization Features of Quasi-heat Engines and Their Demonstration Justification** [刊, 汉] ZHANG Xiao-hui (Thermal Energy Department of the Soochow University, Suzhou, China, Post Code: 215006) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(5). — 536 ~ 538

Based on the analysis of the configuration optimization characteristics of an existing heat engine and a quasi-heat engine device, the model of a quasi-heat engine has been extended to a general transmission-process model. Through a variational method, the configuration optimization criterion for general transmission processes was derived, proving that with respect to a linear transmission model and under the condition of a finite-dimension constraint, with the entropy production in the transmission process (or device) being at its minimum, an equipartition of the configuration will be its basic characteristics. In the meanwhile, also described is the application of the configuration optimization of transmission processes in the analysis of quasi-heat engines and in the study of generalized thermodynamics optimization theory. Moreover, the configuration optimization feature under discussion has been preliminarily verified along with a brief exposition of the development trend of its applications. **Key words:** engineering thermodynamics, quasi-heat engine, transmission process, configuration optimization

彼尔姆发动机制造联合体的燃气轮机技术= **Gas Turbine Technology of Perm Engine Manufacturing Complex** [刊, 汉] ALEXANDER Yinojamchef, DANIYL Sulimof (“Perm Engine Manufacturing Complex Stock Corp”. Managine Company, Perm, Russia, Post Code: 614000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(5). — 539 ~ 540

Key words: gas turbine; performance; power plant