

乌克兰 UGT25000 燃气轮机试验 运行经验及技术改进措施

龚建政¹, 李 伟², 孙丰瑞¹, 张仁兴¹

(1. 海军工程大学 船舶与动力工程学院, 湖北 武汉 430033; 2. 海装舰艇部, 北京 100841)

摘 要: UGT25000 燃气轮机是由乌克兰研制的新型工业型燃气轮机, 研制的 2 号机组于 1995 年 11 月~2001 年 6 月在乌克兰“索菲亚”天然气增压站进行了工业试验运行。本文介绍了该机组的试验运行情况, 在累计运行的 25 000 h 时间内, 机组在低压压气机、低压涡轮和动力涡轮处出现了轴承损坏、裂纹等严重故障现象, 说明机组在原型结构设计中存在一定的缺陷, 可靠性达不到设计要求。为此在结构上进行了改进的设计, 使得机组的使用寿命和可靠性有了较大的提高。这些措施在后续建造的机组中得到了应用。

关 键 词: 燃气轮机; 试验运行; 故障; 可靠性

中图分类号: TK447

文献标识码: B

1 前 言

工业 UGT25000 型燃气轮机(见图 1)是由乌克兰“机械设计院”设计研制的机组。

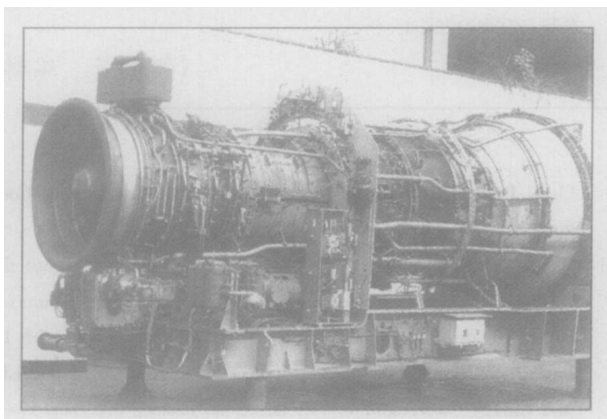


图 1 工业型 UGT25000 燃气轮机

1990 年完成了该型发动机的技术设计任务, 对主要零部件进行台架试验, 如: 压气机、高低压涡轮、动力涡轮、端面封严装置、冷却系统、火焰筒、燃油喷

嘴和传动部件等。

1992 年, 根据与某公司所签订的合同, 建造用于天然气传输管道系统增压站, 功率为 25 MW 的工业型燃气轮机。

本文主要介绍 UGT25000 燃气轮机的 2 号机组的工业试验运行情况及机组的技术改进措施。

2 UGT25000 燃气轮机安装试验情况

为适应改用天然气为燃料, 在第一台发动机的试验过程中做了如下工作^[1]:

(1) 为确定机组寿命的等价长寿运行;

(2) 设计建造了燃料为天然气的燃烧室, 该燃烧室有较高的生态指标要求;

(3) 改用与压缩机相同型号的润滑油(型号为 TII2X)情况下的燃气轮机性能测试。与此同时, 依照“机械设计院”的技术设计规定, 按增压站的实际安装条件进行了改造, 以适应新型的 UGT25000 燃气轮机更换原有的燃蒸联合机组(型号为 IIIA-25.7.6)。

为了简化燃气轮机更换的工作强度, 采用整体安装底架。除此之外, 还完成了以下的工作:

(1) 发动机与进气道、排气道及压缩机(型号为 650)的对接;

(2) 加装高精度滑油滤器;

(3) 与原有的控制系统连接, 重新修改控制程序, 使之符合新机组的控制要求;

(4) 电器设备的安装。

到 1995 年, UGT25000 燃气轮机 2 号机组在“索菲亚”天然气增压站安装完毕, 同年 11 月开始了工业试验运行阶段。

到 1996 年 4 月, 由设计院、生产厂家及其它单

位组成的专家委员会进行了评审。至此发动机运行时间为 504 h。

确定的发动机性能参数如表 1 所示。图 2 给出了进气条件对发动机性能影响的关系曲线, 图 3 为额定工况下发动机功率和效率之间的关系。

表 1 UGT25000 燃气轮机总体性能参数

参 数	设计要求	实际状态	评 价
标准条件下的功率/kW	25 000	25 000	符合
效率/%(不小于(在标准条件下/ISO))	34.0±6.0	34.8±6.3	符合
滑油消耗量/kg·h ⁻¹ (不大于)	1.5	0.3	符合
滑油类型	船用滑油	TP22C 或船用滑油	在附加要求下符合
NO _x 排放量/mg·m ⁻³ (不大于)	150	430	不符合
CO	100	24	符合

从表 1 中可以看出, 燃气轮机并没有满足生态

环境的技术指标(NO_x 排放量)。为此在工厂的台架上对火焰筒进行了一系列的试验, 以验证火焰筒不同的结构设计对 NO_x 排放量的影响。在工业试验运行阶段使用改进设计的火焰筒能明显地降低 NO_x 排放量至 150 mg km³。

整个工业试验运行阶段可分为 4 个阶段, 如表 2 所示。

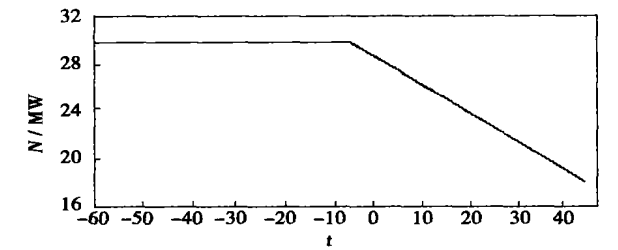


图 2 台架试验的条件下进气温度对燃气轮机输出功率的影响

表 2 燃气轮机 2 号机组工业试验运行的主要阶段

试验阶段	试验与修理周期	起始时间/h	结束时间/h	简要工作内容
0	94.04.20~95.11.01	0	727	第一次装配 工厂台架试车验收。
1	95.11.01~96.08.01 (2 100 h)	727	2 827	安装发动机到天然气增压站。第一试验运行阶段, 目的是在安装减少喷气总面积的燃料喷嘴情况下降低气流的压力脉冲。进行了专家委员会的技术评审(1996 年 4 月)。 进厂修理和改造, 计划性拆装检查在使用滑油 TP22C 后发动机的状况。故障检查中发现: 动力涡轮轴承的两个球形滚珠破碎; 低压涡轮整流器上有裂纹, 隔离圈部件损坏。
2	97.04.01~99.02.15 (11 429 h)	2 827 8 327 10 000	8 327 10 000 14 256	动力涡轮滚珠轴承损坏。进厂拆装动力涡轮, 更换轴承。 在增压站更换标准的火焰筒, 以提高生态指标和可靠性。 定期检查动力涡轮整流器内的磁性传感器。 进厂计划性故障检查。检查中发现: 动力涡轮滚珠轴承错位; 低压压气机第一级和第二级动叶销式连接的凸耳有裂纹。进行了结构改造; 动力涡轮中用滚柱轴承替换滚珠轴承;
3	99.03.30~00.03.06 (5 871 h)	14 256 15 223	15 223 20 127	低压压气机前支承滚珠轴承破坏, 在增压站更换。 孔探仪检查时发现低压涡轮整流器部件损坏。
	2000.03.06~2000.03.21			进厂做部分拆卸分解以检查热端部件、低压压气机可转静叶、低压压气机前支承。进行低压涡轮整流器部件的修理。
4	2000.03.21~2000.09.01 (2 246 h)	20 127	22 375	结束发动机工业试验运行。进厂全面拆装检查。
	2000.09.01~2001.06.08			进厂大修。按工业试验运行的结果进行改装, 并安装到增压站继续使用。

到 2002 年 9 月, UGT25000 燃气轮机 2 号机组总的运行时间为 25 875 h, 即在大修后又工作了 3 500 h。在增压站每年平均的运行时间为 4 480 h。

3 运行中的故障及技术改进措施

由表 2 可以看出, 在整个试验运行阶段所产生的故障主要有以下几类:

- (1) 低压压气机前支承滚珠轴承破坏;
- (2) 动力涡轮后支承滚珠轴承破坏;
- (3) 低压涡轮整流器损坏;

(4) 低压压气机第一级和第二级动叶销式叶根连接的凸耳处产生裂纹。

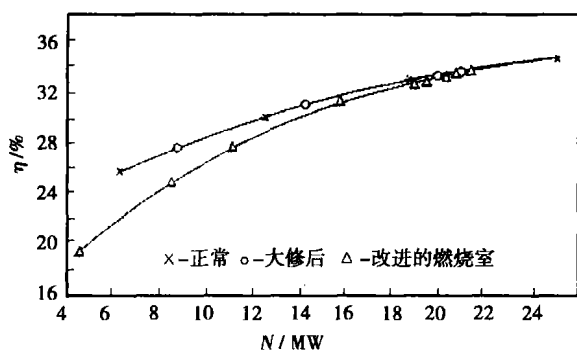


图3 台架试验条件下燃气轮机效率与功率之间的关系

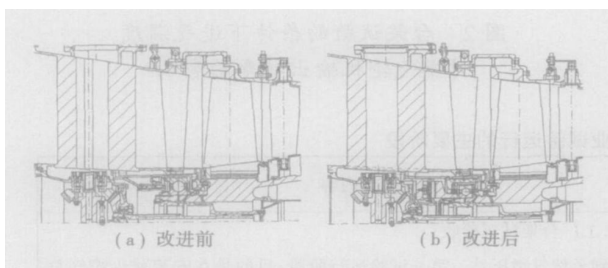


图4 低压压气机支承结构

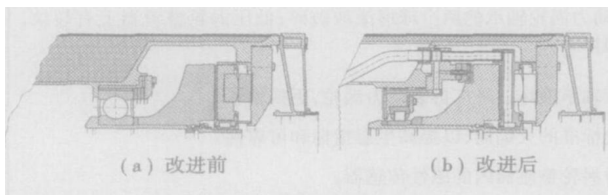


图5 动力涡轮支承结构

根据以上的故障, 在结构设计上进行了下列的改进措施, 以提高发动机的可靠性^[1~3]:

(1) 在低压压气机前支承用一个组合轴承组替换滚珠轴承, 该轴承组由一个滑动轴承和一个滚珠轴承组成, 如图4所示;

(2) 更改动力涡轮支承结构: 采用2个滑动轴承和一个滚柱轴承, 如图5所示;

(3) 更改低压涡轮整流器和动力涡轮第三级静叶机匣的结构设计, 并提高支柱和整流罩的强度, 如图6所示;

(4) 采用石棉纤维材料提高隔热板的绝热性, 如图7所示;

(5) 调整低压压气机第一、二级动叶叶根连接

处销钉与凸耳之间的间隙, 提高加工精度和表面硬度。解决根本的技术措施是采用纵树形叶根的连接, 如图6所示。

为了提高生态指标, 有关燃烧室的大量试验工作在工厂台架上完成, 主要解决了以下的问题:

(1) 在发动机为0.8~1.0工况时, NO_x 和 CO 的排放值降低至 25 mg/m^3 ;

(2) 根据发动机的运行工况和压气机的进气温度, 针对燃烧室的双路燃料喷嘴装置, 优化燃料的分配规律;

(3) 加强了燃烧室部件的强度以保证给定的寿命, 并降低了燃气的脉冲压力和脉冲应力;

(4) 结构上保证在使用过程中对双路喷油装置进行观察和诊断。采用压电式传感器(型号为ДПIC-013)连续测量燃烧室内的空气压力脉冲值。

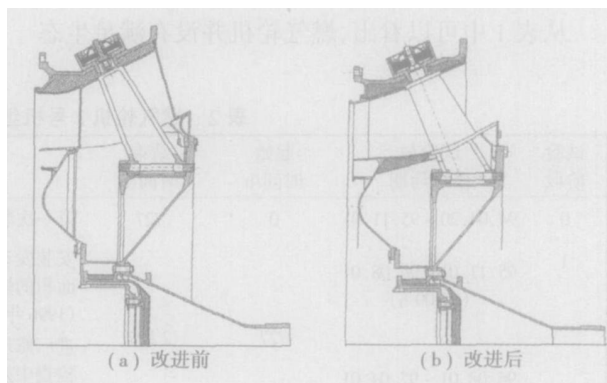


图6 低压涡轮整流器结构

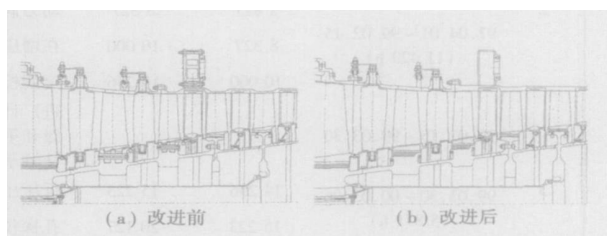


图7 低压压气机转子结构

以上改进措施在GT25000燃气轮机2号机组上得到使用。该机组经过工业试验运行、大修、改装, 到2002年9月一直在运行工作。至此在大修后的使用时间已达3500 h。

在后续建造的燃气轮机中, 都采用了改进燃烧室方案。在8号机组上使用已达9000 h。

到2002年9月有多个天然气增压站中使用了7台工业GT25000型燃气轮机, 它们的使用时间在16000~20000 h。在2002年又签订了15台发动机

的生产合同。

4 结 论

UGT25000 燃气轮机 2 号机组在累计 20 000 h 的试验运行情况可知, 该机组在原型结构设计中存在一定的缺陷, 可靠性和生态指标不能满足设计的要求; 机组出现了低压压气机前支承滚珠轴承破坏、第一级和第二级动叶销式叶根凸耳裂纹、低压涡轮整流器损坏及动力涡轮后支承轴承破坏等严重故障现象。

针对试验运行中产生的故障现象, 在结构上针对性地采用不同的改进设计: 低压压气机前支承用由 1 个滑动轴承和 1 个滚珠轴承构成的轴承组替换原有的滚珠轴承; 动力涡轮后支承采用 2 个滑动轴承和一个滚柱轴承替换原有的滚珠轴承; 改进设计了低压涡轮整流器和动力涡轮第三级静叶机匣的结构; 低压压气机第一级和第二级动叶采用纵树形叶根替换原有的销钉式叶根。为提高生态指标, 优化了双路燃料喷嘴装置的燃料分配规律, 并对燃烧室

内的空气压力脉冲值采用压电式传感器进行连续监测。这些措施有效地解决试验运行阶段出现的问题, 使机组的使用寿命和可靠性得到较大的提高, 2 号机组总运行时间超过 30 000 h。改进的技术措施在后续的发动机制造中得到应用, 相应机组运行时间超过 10 000 h。

该机组所采用的设计—试验—改进设计的工程设计试验方法, 能够有效地提高新型产品的质量和可靠性, 缩短机组成型周期。UGT25000 燃气轮机的运行使用经验和技术改进措施, 对我国类似的燃气轮机设计、生产、使用和维修都有较好的参考价值。

参考文献:

- [1] БОНДИН Ю, МИХАЙЛОВ А. Основные результаты опытно-промышленной эксплуатации ГТД ДН80П №2 на КС “Со Флевская” [J]. Газотурбинные технологии, 2002(4): 6—10.
- [2] 邦达连科 А С. UGT25000 发动机技术说明书 [R]. 乌克兰: 机械设计局, 1995.

(何静芳 编辑)

节 能 (月刊)

邮发代号: 8—150

《节能》杂志创刊于 1981 年, 在能源生产与使用的实用技术领域享有较高的威望。

《节能》杂志以推广实用节能技术和展示节能设备为主要内容, 积极交流学术思想和实践经验。主要栏目有: 节能论坛、节能研究、专利技术、技术改造、节能设备、节能与环保等。

《节能》杂志刊登广告针对性强, 有效读者范围广、数量大, 效果明显。

《节能》杂志大 16 开, 60 版, 定价 6.00 元/期, 全年 72.00 元。每月 15 日出版。邮发代号: 8—150。全国各地邮局均可订阅, 也可直接向杂志社订阅。

地址: 沈阳市沈河区青年大街 274 号 邮编: 110016

编辑部电话: 024—23933125

广告部电话: 024—23940370

http: //www. China—energy—conservation. com

E—mail: jieneng @ninfo. gov. cn

欢
迎
订
阅

Engineering Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(6). — 640 ~ 643, 647

The key issues of low mass flow-speed vertical tube-platen technology lies in its inner threaded Benson tubes. The authors have analyzed the basic principle of Benson tubes and explored the application of the above-mentioned technology. The low mass flow-speed vertical tube platen features natural circulation characteristics, guaranteeing a safe operation of boilers while simultaneously meeting comparatively low mass flow-speed requirements. Hence, the low mass flow-speed vertical tube platen technology has its own technical edge, especially for forced circulation pulverized coal-fired boilers and supercritical circulating fluidized bed ones which must adopt low mass flow-speed vertical tubes. The inner threaded tubes can reduce steam temperature deviation and flow resistance in water-cooled walls and secure a safer operation of the latter. **Key words:** Benson tube, low mass flow-speed, vertical tube platen, pulverized coal fired boiler, circulating fluidized bed

水煤浆流化-悬浮燃烧技术在胜利油田的应用 = **Application of Water-coal-slurry Fluidization-suspension Combustion Technology at Shengli Oil Field** [刊, 汉] / MA Yu-feng, QIN Yu-kun (College of Energy Science and Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), JIANG Xiu-min (College of Mechanical and Power Engineering under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240), WAN Qi-ke (Shengli Power Plant, Dongying, China, Post Code: 257087) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(6). — 644 ~ 647

A new water-coal-slurry fluidization-suspension combustion technology has been studied and developed with its theory, specific features and applications at Shengli Oil Field being described. The technology features a high adaptability to various fuels, quick start-up, high efficiency and low pollution etc. The practice at Shengli Oil Field proves that medium and small-sized industrial boilers adopting water-coal-slurry fluidization-suspension combustion technology have attained a combustion efficiency as high as 85% - 91%, much higher than the average efficiency of present-day coal-fired industrial boilers in China with their energy-saving rate being over 20%. Regarding environmental protection, the above technology is conducive to a decrease in raw coal loss and pollution related to its transportation process in cities, a reduction of floating dust in the atmosphere and less emission of such pollutants as SO₂, NO_x and CO₂ etc. bringing about dramatic environmental-protection benefits. Taking into account the on-site practice, the authors have analyzed the specific features and application prospect of the technology under discussion, which is of great significance for popularization and application of water-coal-slurry instead of oil as a fuel for boilers. **Key words:** water-coal-slurry, industrial boiler, fluidization-suspension combustion

乌克兰 UGT25000 燃气轮机试验运行经验及技术改进措施 = **Trial Run Experience of Ukraine-made UGT25000 Gas Turbine and Technical Measures Taken for Their Improvement** [刊, 汉] / GONG Jian-zheng, SUN Feng-rui, ZHANG Ren-xing (College of Shipbuilding and Power Engineering under the Naval Engineering University, Wuhan, China, Post Code: 430033), LI Wei (Naval Ship Department under the Division of Naval Equipment, Beijing, China, Post Code: 100841) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(6). — 648 ~ 651

UGT25000 gas turbine is a new type of industrial gas turbine developed by Ukraine. No. 2 Unit developed by Ukraine had undergone an industrial trial run from Nov. 1995 to June 2001 at "Sofia" natural gas supercharging station in Ukraine. The authors have described the trial run conditions of the unit. During the accumulative operation totalling 25000 hours, serious faults had occurred to the unit, such as bearing damage and cracks etc. at the location of low pressure compressor, low pressure turbine and power turbine. This indicates that there exist certain defects in the structural design of the prototype and the engine reliability has failed to meet the design requirements. To cope with the above, some modifications for improving the structural design have been made, greatly enhancing the service life and reliability of the unit. These measures were implemented in the latterly fabricated units. **Key words:** gas turbine, trial run, fault, reliability