

轻型燃气轮机长寿命动力涡轮的结构设计

肖立德 张龙宝 李永棋
(哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔摘要〕 本文介绍一种长寿命动力涡轮结构的设计方法和研制结果。这种结构代替了原设计,生产制造了两台,并进行了150小时运行考核,测得的主要部件温度、应力数值与设计计算值基本一致,运行参数和拆检结果都表明产品达到了设计要求。该结构适用于各种固定式和移动式燃气轮机,特别是航空发动机改装的动力涡轮设计。

关键词 燃气轮机 动力涡轮 结构设计 分类号 TK473

1 前言

轻型燃气轮机,特别是航空改装及电站用燃气轮机,动力涡轮应是长寿命设计,其重量指标可以略高于燃气发生器。这样,在燃气发生器返修或更换时,动力涡轮仅需检查轴承情况,这个设计思想已被国内外广泛接受。

我所自行设计和航空改装的某几型燃气轮机,在有关制造厂的配合下先后研制成功,性能指标和结构可靠方面都达到了原设计要求。但在研制过程中也暴露了一个共同弱点:动力涡轮存在一定的故障率。

分析研究确认,该类型结构达不到长寿命要求。

为了改进上述机组结构,决定开展针对机组的长寿命动力涡轮结构设计工作。图1为研制的某型机组动力涡轮外型。

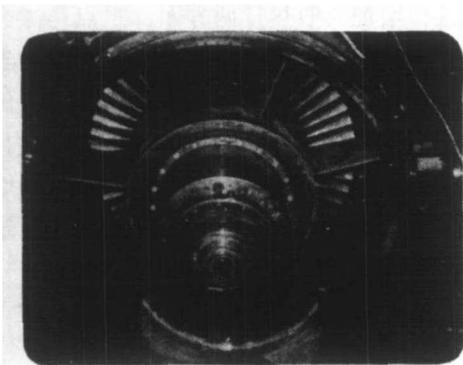


图1

2 机匣结构方案选择

2.1 销钉连接的斜拉杆结构

该结构是穿过燃气流道的斜承力拉杆,外有隔热罩,但无空气冷却,它与轴承座及外机匣的连接采用定位销。工作时,温差的热补偿由轴承座相对外机匣转动来实施。合理的热补偿设计使在较大温差的情况下亦不会产

收稿日期 1992-08-11

本文联系人 肖立德 男 55 高工 200011 上海南江路18号

生过大的热应力。若外环及轴承座上的定位销孔不均匀分布时,拉杆及轴承座和外环均产生热应力。某些拉杆受拉,某些受压。但某型机计算表明,轴承座与外环温差 400℃时,某一销孔偏离名义位置 1 mm,引起拉杆上的最大热应力仅为 70 MPa。实际上座标镗床加工控制的销孔偏差为 0.1 mm。

这种结构在两台机组上经受 500 小时以上的考验,无任何故障。担心的问题仅仅是:在变动工况时轴承座相对外环频繁的相对转动(转角不超过 2°)引起的连接销钉磨损有可能造成间隙增大而影响动叶和机匣间间隙以及振动问题。

2.2 斜拉杆焊接结构

将上述销钉连接改成角焊缝可以不用担心销子间隙增大和松动问题。内外环和拉杆都用隔热罩与燃气分开。此种结构热应力小于径向拉杆。计算表明,相同尺寸和温差,其热应力是径向拉杆的 1/5。即使采用刚度较低的拉杆,其固有频率亦可达 300 Hz 以上。

国外 CW352 工业燃气轮机采用此种结构已有 200 万小时以上的运行经验。

我们没有采用此方案的原因是:角焊缝工艺检查困难,焊接质量难以保证;同时,油、气管道难以从拉杆中通过,而改变管道走向受到装置布置限制。

2.3 径向拉杆焊接结构

此方案虽然较第二方案有较大的热应力,但采用封闭式隔热罩,并且在它与承力件之间流过少量冷却空气,可以在降低轴承座壁温和承力件工作温度的同时,减少它们相互间的温差,把结构热应力控制在较低的水平。加之,承力件之间为对接焊缝,工艺实施和质量检查都较方便,且焊缝布置在较低的应力区,能够保证结构可靠性和长工作寿命。最后选定该方案。

3 设计要点

3.1 机匣冷却空气流路和冷却空气量的选择

从压气机第 5 级抽来的冷却空气首先进入内环与轴承座间空腔,再由内隔热罩和内环间空腔经导流罩与拉杆间的通道进入外隔热罩与外机匣间的空腔,最后从外隔热罩前后流入燃气流中。

计算不同冷却空气量条件下承力件壁温,确定一个合适的空气流量,据此计算节流小孔和管道尺寸。

本结构最后选择冷却空气量为机组空气流量的 0.1%。

3.2 机匣承力件壁厚选择

除常规设计考虑的因素外,壁厚选择主要是在保证强度刚度的同时,使各部件的热应力保持在同一相当水平。

经计算,最后选定外环壁厚 10 mm,空心拉杆壁厚 5 mm,内环 12 mm。

3.3 机匣焊缝型式及位置选择

对接焊缝位置要充分考虑工艺施工和无损探伤的方便性,并尽量布置在低应力区。焊缝坡口应是最能保证焊接质量的型式。

3.4 转子重心位置

动力涡轮转子为悬臂式,稍不注意,重心位置即在前轴承之外,不但给动平衡增加难度,而且工作时对高速气流的干扰特别敏感,增加了前轴承的动负荷。要采取措施把转子重心移到两轴承之间。

4 150 小时试验考核结果

4.1 壁温和承力件应力

壁温:外隔热罩 514℃;内隔热罩 413℃;整流罩 460℃;外环 271±29℃;拉杆 241±58℃(近外环处)、221℃(近内环处);内环 184℃;轴承座 81℃。

上述数据可以看到:(1)由于采用通有少量冷却空气的封闭式隔热罩,承力件壁温降低 200~240℃;(2)由于燃气流向温度场不均匀,外环和拉杆周向温度有 30~40℃的温差;(3)内环空气冷却条件好,壁温低于外环 87℃左右,这就降低了轴承座工作温度,改善了轴承工作环境;(4)若增加冷却空气量,上述温差可以减小,但要以损失部份功率为代价。而上述温差是结构完全允许的,因而无增加的必要。

应力(按第四强度理论综合的起动或稳态最大应力):外环外表面:225MPa(位于两拉杆之间);内环:190MPa;内环和拉杆间焊缝:90.2MPa;外环和拉杆间焊缝:125MPa。

由上述数据看到:(1)最大应力避开了焊缝区;(2)拉杆应力(相当于内环和拉杆间焊缝值)低于内、外环,内、外环应力接近,而最大应力处在外环。这是肉眼经常可以看到的

地方。
根据实测温度和应力,承力件完全可以使用低合金钢(如 15CrMo),较原动力涡轮机匣可以大大降低生产成本。

4.2 运行数据

列举一台数据。

振动:1.0 工况振幅 0.017mm(原结构 0.076mm),速度 7.5mm/s,均处于允许范围内。

动力涡轮轴承回油温度:1.0 工况不大于 90℃(原 95℃),进油温度 34℃。

4.3 拆检

150 小时长试后,拆检了动力涡轮部件和焊缝。图 2 为拆检的内焊缝。结果表明,所有结构完好无损,焊缝质量良好,无任何缺陷,达到了设计要求。

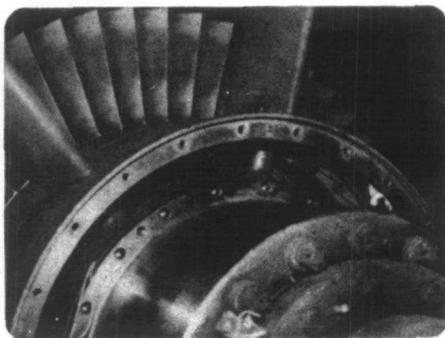


图 2

生产制造由无锡压缩机厂负责,闵东良等工程师做了大量工作。长试考核由 711 所负责。温度、应力测量由卢文发高级工程师等完成。李久星高级工程师参加了部份设计工作。

参 考 文 献

- 1 吕建成. 船用燃气轮机台架运行经验. 热能动力工程, 1988. (1)
- 2 汪国华. 动力涡轮承力匣联接螺钉断裂故障的排除和承力分析. 热能动力工程, 1989. (4)

欢迎投稿

欢迎订阅

**JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL
ENERGY AND POWER**
1993 Vol. 8 No. 6

CONTENTS

- (283) **New Developments in Gas Turbine Cycles** Qiang Guofang (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)
Based on current foreign technical literature this paper presents a comprehensive and systematic overview and analysis of a variety of new techniques used in configuring various industrial and marine gas turbine cycles. **Key words:** *gas turbine, power plant cycle, overview*
- (290) **Power Turbine Casing Cooling and Evaluation of Casing Temperature Field** Zhang Longbao (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)
This paper deals with an integrated type of power turbine casing cooling system, presenting a method for the evaluation of the casing temperature field and also a test piece version. Practical examples are given for comparison and analysis. **Key words:** *casing load-bearing elements, cooling system, temperature field evaluation*
- (294) **The structural Design of a Long-Life Power Turbine for a Light-Weight Gas Turbine** Xiao Lide, Zhang Longbao, Li Yongqi (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)
The design method and research/development results of a long-life power turbine are given in the present paper. Two power turbines based on the proposed new design have been manufactured to replace the old turbines and have completed a 150-hour operation period to test their performance characteristics. The measured temperature and stress values of the main components are in basic agreement with the design and calculated ones. The operation parameters attained and the test results have shown that the power turbines have met the design requirements. The proposed power turbine construction is applicable to various kinds of stationary and mobile gas turbines, especially for power turbines of aeroderived gas turbines. **Key words:** *gas turbine, power turbine, construction, design*
- (297) **The Application of Y-type Steam Atomizing Oil Burners on Utility and Naval Boilers** He peiao (*Harbin power plant Equipment Design and Research Institute*)
The author presents the main specific features, structural parameters and design/calculation methods of Y-type steam atomizing oil burners. A brief account of their application on utility