

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.04.13

航空发动机高导叶片水流量测试系统改进研究

蔡文波, 李钊

(海军装备部, 陕西 西安 710021)

摘要: 针对某型航空发动机高导叶片水流量测量稳定性和准确性较差的现状, 对水流量测试系统中的试验器增加了闭环控制系统和当量回路, 将密封垫由进气孔边缘局部封严改为叶片上下缘板整体橡胶垫封严, 夹具由原来的两个进水口改为四个进水口, 并对空气导管装配工艺进行了优化。对改进后的测试系统进行了测试试验, 结果表明: 改进后的测试系统测试压力稳定、密封效果好, 重复测量误差和测量分散度均满足高导叶片水流量测量设计要求, 并有效提高了测试效率。

关键词: 高导叶片; 水流量; 密封垫; 夹具

中图分类号: TB942

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2015)04-0050-04

Research on Improving Testing System for the Water Flow of Aeroengine High-pressure Turbine Guide-vanes

CAI Wenbo, LI Zhao

(Equipment Department of Navy, Xi'an 710021, China)

Abstract: A testing system was improved as for the poor stability and accuracy in the water flow test of one aeroengine high-pressure turbine guide-vane. A closed-loop control system and one equivalent circuit were added to the testing device, the seal changed from partial seal around the air intakes to the overall seal covering the up and down edge of the blade, the fixture had four intakes instead of the original two, and the assembly process of air duct was optimized. The testing system after being improved was tested, and it proves that the testing pressure stability and good sealing are achieved, and the repeated measuring error and the dispersion degree of measuring both meet the design requirements as well as testing efficiency is effectively improved.

Key words: high-pressure turbine guide-vane; water flow; seal; fixture

0 引言

随着航空发动机向高流量比、高推重比和低油耗方向发展, 发动机涡轮前温度不断提高, 大大超过了涡轮叶片材料本身能承受的温度^[1-3]。为了适应不断提高的涡轮进口温度, 发动机高导叶片通常设计成空心气冷式叶片, 利用引自压气机的空气对叶片进行冷却, 其中对流冷却和对流-气膜复合冷却用得最广。通过涡轮叶片内腔冷却气体流量的大小, 无疑是冷却效果的关键, 因此涡轮叶片生产出来后需要对内腔的流通能力进行检测^[4-5]。目前涡轮叶片内腔空气流量测量的主要方法是空气流量测量或水流量测量, 由于空气的可压缩性, 在压力、温度变化时, 其流量值也会有较大变化, 因此对环境要求较高; 水不可压缩,

较之空气在压力、温度变化时受影响小, 因此目前涡轮叶片多采用水流量测量间接测量空气流量^[6-8]。

本文针对某型发动机高压涡轮导向叶片水流量检测中稳定性及准确性较差这一现状, 通过系统查找分析影响测试系统稳定性和准确性的因素, 对水循环试验器、高导叶片两端的密封垫结构和叶片夹具等进行了设计改进, 并对改进后的水流量测试系统进行了试验验证。

1 高导叶片结构特点

某型发动机高压涡轮导向叶片为双联组空心气冷式叶片, 由上下缘板、左右叶身四个主要零件分别通过真空钎焊连接在一起, 采用对流-气膜复合冷却及涂覆热障涂层方法提升叶片耐高温性能, 如图 1 所示; 叶片缘板外侧面结构复杂, 如图 2 所示。叶片的导管口形状复杂, 且有手工氩弧焊形成的焊点, 平面凹凸不平, 形状与位置相对不固定, 导致密封难度大, 叶

收稿日期: 2015-04-26

作者简介: 蔡文波(1990-), 男, 助理工程师, 主要从事燃气涡轮发动机装配、试车质量管理及寿命和可靠性研究工作。

片的这些特点均对水流量的准确测量产生了不利影响。

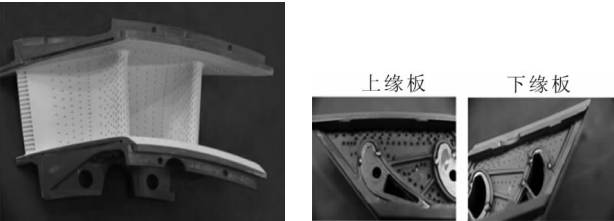


图1 高导叶片 图2 叶片缘板外侧面

2 测试系统研究

2.1 试验器设计

高压涡轮导向叶片进行水流量测试时，给定的水流压力较大，约为 0.15 MPa，而且要求精度较高(0.5 级)。在实际测量中，由于高压涡轮导向叶片上、下缘板结构复杂，造成水流量测量时试验器的压力和流量不稳定。经分析其主要原因是：试验器设计精度为 0.5

级，较为敏感，当测量过程中密封不严，出现少量漏水时，压力就会发生变化，造成系统的不稳定；高压涡轮导向叶片双联成组，测具的进口封严困难，影响叶片水流测量精度。

通过大量调研、分析，对测试系统进行了改进，增加了闭环控制系统，实现了水流量测试自动调压、稳压，水流量系统工作压力范围达到 0.15 ~ 0.6 MPa，流量计测量误差为 ±0.3% (FL)。导向叶片测试压力为 0.15 MPa ± 0.005 MPa，流量计测量范围为 10 ~ 100 L/min，其精度完全满足设计要求。

为保障更换测量叶片或测量工位时水流量系统压力稳定，在测量系统中增加了与叶片流量测量通道对应的当量回路。更换装夹叶片时，关闭测量叶片进水口，水流通过当量回路进行自动调压、稳压；测量时叶片进水口开启，当量回路关闭，系统自动调压、稳压时间不超过 2min 即可测量，试验器原理如图 3 所示。

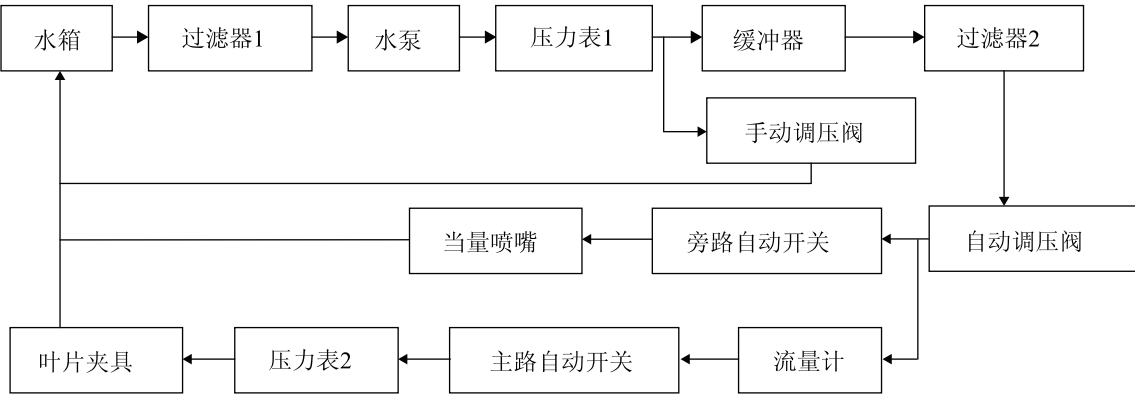


图3 试验器原理图

2.2 密封结构改进

密封垫是水流量测试系统的主要部件，是用来保证测试夹具与叶片密封效果的关键件，密封垫设计的质量直接影响封严的效果。初期，根据零件结构以及水流量器设计结构，设计水流量夹具系统。该套系统密封设计时仅关注叶片冷气入口处，当引导头插入叶片内腔时，通过引导头上套的密封垫进行封严，试图达到密封要求，具体结构如图 4 所示。

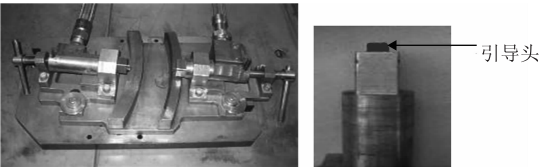


图4 导向叶片水量测试用引导头

但是该方案实际测试过程中根本无法满足密封要求，分析原因为：叶片冷气入口边沿宽度仅为 2 ~ 3mm，表面凹凸不平，其上还有 φ2 的焊点，因此密封垫与入口边沿的贴合部位会产生间隙，水流受压，从间隙流出；导管翻边与叶片安装端面存在间隙，当加压时，介质水从间隙中渗漏。最终认为对叶片局部也就是入口边沿部位封严是无法达到密封效果。

针对水流量密封难点，反复进行各种密封结构试验及分析得出：进水口周边面窄且不规则、密封垫材料软硬程度及密封垫外形轮廓等原因，是密封不严的主要原因，因此决定放弃先前密封方案，改变思路，采用整体橡胶垫设计方案。

在经过现场实际使用，考虑到叶片年产量及对

整机安全可靠性的需求,需要更为精确的测量数据用以评判叶片的实际状态,最后使用三维模具设计与制造技术,根据叶片上下缘板的轮廓逆向设计完成了整体密封垫的设计与制造,密封垫三维图如图5所示。

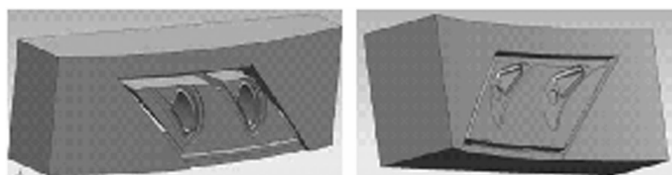


图5 整体密封垫三维图

整体密封垫不仅仅靠进水口周边部位进行密封,同时依靠整个的密封垫大面与叶片上下缘板紧密贴合进行密封,增加密封垫的有效密封区域,并且可以解决导管安装边与叶片结合部的缝隙中渗漏问题,从而达到密封目的。

2.3 密封夹具的设计改进

改进前的高压涡轮导向叶片水流量密封夹具结构如图6所示,夹具只有两个进水口,测量时需装夹两次才能完成叶片四个内腔的水流量测量,而且每次装夹都需要再次目视找正孔位,易造成遮挡截流或串流现象。

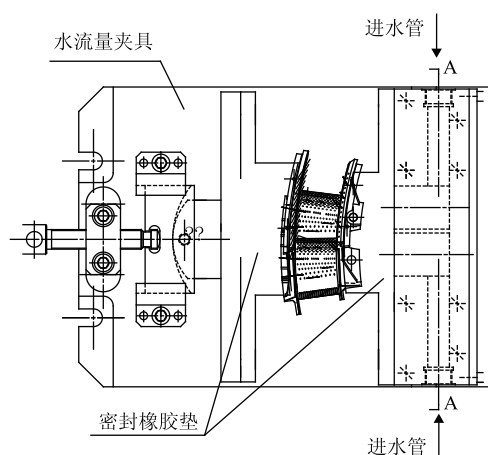


图6 改进前水流量夹具示意图

根据整体密封垫的结构特点,重新设计水流量夹具。改进后的夹具具有四个进水口,如图7所示,只需一次装夹即可完成叶片四个内腔的水流量测量,而且夹具上有密封垫的限位块,即更换测量叶片后也可以实现密封垫的快速准确定位。

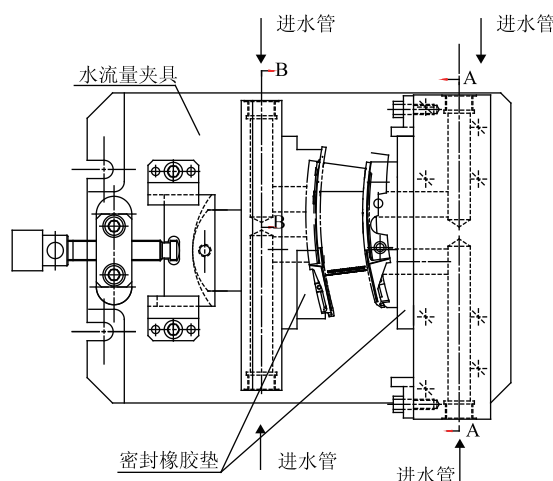


图7 改进后水流量夹具示意图

改进后的水流量密封夹具由于密封垫与导叶的外轮廓配合,因此导叶不需要定位装置,可以直接安装到密封垫中,简化了结构;与外轮廓配合的橡胶垫可以使零件在压紧过程中,传递到密封垫与零件之间的受力均匀,提高密封的可靠性。同时也可避免对导叶的磕、碰、压伤;操作简单,方便,将导叶直接安装进相配合的密封垫中,然后压紧即可,大大提高了水流量测试的效率。

2.4 空气导管装配工艺优化

导管安装后,需用电弧钎焊的方法进行加固,因此在导管周边有突起的焊点,这会对密封产生一定的影响。为此对焊接工序进行调整,将焊接工序调整至水流量工序后,这样避免了焊点突起对密封效果的影响。

3 测试结果分析

经过对测试系统的试验器、密封垫和夹具的改进以及空气导管装配的优化后,在改进后的测试系统中对同一批次10件叶片进行了测试试验,在测试过程中压力稳定,叶片与夹具之间的结合面也未出现漏水现象。

在改进后的测试系统中,对10件高导叶片的左右叶片(从叶片方向看)的水流量分别进行了两次测试(堵住叶片上缘板冷气进口,将水从下缘板冷气进口通入叶片,测得的水流量记为 G_2 ;堵住叶片下缘板冷气进口,将水从上缘板冷气进口通入叶片,测得的水流量记为 G_3)。根据测试结果,计算10件高导叶片 G_2 , G_3 流量的平均值,分析同一批叶片水流量的分散度,并对比分析了重复测量误差,测试及计算结果分别见表1和表2。

