

# 航空发动机卡箍装配应力试验与装配参数控制研究

张贤明 张锐 袁静 朱伟龙

中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要] 在航空发动机的外部系统当中, 卡箍是常常被使用的构件, 其对于保障管路系统安全来说十分重要。文章通过开展卡箍装配应力的试验, 进一步分析了其装配参数的有效控制方向。

[关键词] 卡箍; 装配应力试验; 控制

DOI: 10.33142/sca.v4i6.5080

中图分类号: V263.2

文献标识码: A

## Research on Assembly Stress Test and Assembly Parameter Control of Aeroengine Clamp

ZHANG Xianming, ZHANG Rui, YUAN Jing, ZHU Weilong

AECC Shenyang Liming Aero Engine Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

**Abstract:** In the external system of aeroengine, clamp is often used, which is very important to ensure the safety of pipeline system. Through the test of clamp assembly stress, this paper further analyzes the effective control direction of its assembly parameters.

**Keywords:** clamp; assembly stress test; control

### 引言

当前对于航空发动机卡箍的装配方面研究不多, 但卡箍的装配不合理导致故障后会带来许多不良影响。因此, 本文研究了航空发动机卡箍的装配应力试验以及控制其相关应力参数的方法。

### 1 航空发动机卡箍装配应力试验分析

卡箍结构主要是通过螺栓作用力来固定和支撑管路的, 因此, 对其装配应力的研究也主要是研究螺栓拧紧的性能。

#### 1.1 卡箍装配受力情况

在实际装配卡箍时需要拧紧螺栓, 这样可以让卡箍的上下两瓣直接接触上, 以使管路受到其夹紧作用而被固定。实际对螺栓进行拧紧操作的过程中, 卡箍的上下两瓣中间未完全接触时存在缝隙, 因此会产生一个夹角, 而随着螺栓不断被拧紧, 其与螺栓直接接触的上部分卡箍结构会受力产生变形, 进而将管路卡紧, 卡箍装配的应力参数之一就包括这个夹角, 而影响夹角的因素包括多种结构参数, 像是卡箍的长度参数、金属丝的厚度参数。

##### 1.1.1 结构参数分析

卡箍的结构参数不同使得其规格不同, 而这些参数主要是包含了管径、管径中心到螺栓孔中心距离等, 其他的结构参数值通常是固定的。本次研究的卡箍装配结构当中, 其金属丝垫片约为 1mm 厚, 板材约为 2mm 厚, 实际进行装配并拧紧螺栓之前, 卡箍上下两部分结构间距为 2mm, 以此参数求出装配之前的上下两瓣板材具体间距, 约为 6mm 左右, 卡箍的末端位置到螺栓孔中心的距离为 7mm, 根据这些参数可以对板材表面到卡箍管径中心位置的距离进行推导, 也可获得卡箍的夹角值以及其夹角到底边的距离参数, 通过分析其中关系发现装配的夹角参数基本只与管径中心到螺栓孔中心距离参数有关。

##### 1.1.2 影响卡箍应力的因素分析

在对螺栓压紧导致卡箍上部分变形的情况分析时发现, 可将卡箍看做是等效的简支梁结构, 其螺栓孔的位置上会施加一定角度的预紧力, 这样就可以得出其结构的简单受力情况, 再根据结构受力情况来得出结构的平衡力矩, 同时计算得出支反力、最大弯矩等, 最后确定预紧力与螺栓拧紧的力矩之间关系。由于本次研究的卡箍截面是对称式矩形结构, 其中最大压应力与最大拉应力是相等的, 因此可以求出其弯矩状态下的应力值。通过以上应力因素的分析可以得出三项结果, 一是在螺栓预紧力位置上, 其卡箍会受到最大值的弯矩作用, 同时该弯矩还会随着螺栓孔距离的增加而逐渐减小; 二是若螺栓的拧紧力矩值增加, 则卡箍的最大应力值也会随着增加; 三是当其拧紧力矩的参数相同时, 主要是管径中心到螺栓孔之间的距离会影响到卡箍的应力值。

### 1.2 卡箍装配应力试验的方法

卡箍装配应力试验的系统主要是包括了相关试验件、计算机设备、动静态应变测试仪以及应变计等。该系统会对

卡箍装配的情况进行模拟,首先是杂台钳上固定上支架,然后在卡箍上安装导管试验件,使用螺栓来连接卡箍和支架并进行拧紧固定,在本文研究当中主要是选择了三种规格的卡箍,分别是 $\Phi=8\text{mm}$ 、 $10\text{mm}$ 、 $12\text{mm}$ 的三种,根据其直径来进行控制导管试验件的安装位置,其中卡箍材料的弹性模量为 $196\text{GPa}$ ,前述的卡箍受力分析可知,在螺栓拧紧时卡箍主要是受到弯矩作用,而其主要的应力集中在螺栓位置附近,而卡箍的上瓣平面面积是比较狭小的,因此,需要在靠近螺栓孔的位置上和靠近管路的位置上安装常温应变片,再安装试验件,此处安装的应变片具体规格为 $6.5\text{mm}\times 3.0\text{mm}\times 0.08\text{mm}$ 。根据上述安排的试验系统开展试验,具体开始试验之前还需对应变计进行调零,并对其校准测试,对三种规格的卡箍进行螺栓拧紧,主要使用力矩扳手工具进行拧紧,然后在预设拧紧力矩的条件下,将卡箍的应变值进行记录<sup>[1]</sup>。

## 2 装配应力试验结果及参数的控制分析

### 2.1 卡箍应力受到拧紧力矩的影响规律分析

三种规格的卡箍分别按照顺序简称为A类、B类以及C类,每一类卡箍都取五个作为研究对象,对其试验过程中在不同拧紧力矩下的应变进行记录,其施加的力矩分别为 $3\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $4\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $6\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $8\text{N}\cdot\text{m}$ ,对每个试验件充分施加力矩十五次,以便于统计数据信息。根据统计分析得知,卡箍应力会随着拧紧力矩的增加而增加,其呈现出正向线性规律,且当卡箍的规格相同时,靠近螺栓孔位置的卡箍应力水平会高于靠近管路位置的卡箍应力水平,这种应力水平较高的趋势在前两类规格卡箍中更为明显,而在C类卡箍当中,其靠近螺栓孔位置的卡箍应力水平与靠近管路位置的卡箍应力水平相差不多。若是拧紧力矩不同的情况下,靠近螺栓孔位置上的卡箍应力与靠近管路位置的卡箍应力水平差值有所减小,但其仍然是五倍左右。

### 2.2 卡箍应力受到加载次数的影响规律分析

以 $8\text{N}\cdot\text{m}$ 的螺栓力矩对卡箍进行加载,重复进行了十五次加载操作后,发现螺栓和卡箍的表面质量都发生了一定变化,卡箍质量变化是由于上下两瓣接触时会产生磨损,同时其金属丝垫片也会在作用力下发生变形,而螺栓的螺纹阳极表面也会发生磨损,内部基体会暴露出来,因此也会出现质量变化。还是以 $8\text{N}\cdot\text{m}$ 的螺栓力矩对卡箍应力受到加载次数的影像规律进行分析,主要是研究了靠近螺栓孔位置上的应力平均值变化,分析得出靠近螺栓孔位置上的卡箍应力平均值,会随着加载次数的增加而不断降低,这主要是由于卡箍和金属丝的垫片会在螺栓拧紧力矩的作用下出现变形,导致卡箍上的一部分预应力被释放掉,其整体的应力水平也自然会降低。而都是在靠近螺栓孔的位置上时,A类和C类规格的卡箍应力水平要稍低于B类卡箍应力水平。另外,靠近螺栓孔的位置上,其随着加载次数的增大,应力平均值的降低趋势会更为明显<sup>[2]</sup>。

### 2.3 卡箍应力受到装配方法的影响规律分析

实际使用螺栓拧紧卡箍的过程中,卡箍的管路会与金属丝垫片之间产生摩擦,因此卡箍可能会沿着管路轴产生一定位移,卡箍表面的局部应力也会有所提升,而可以依据这个原理来研究卡箍应力受到装配方法的影响规律。选择在 $8\text{N}\cdot\text{m}$ 的螺栓力矩下,靠近螺栓中心位置第十五次加载条件下的三个随机A类卡箍进行研究,分别采用三种装配方法,进而探究卡箍应力,第一种装配方法是在卡箍的上下两瓣之间增加两毫米厚度的垫片;第二种装配方法是对卡箍的位移情况进行控制后再加载,比如说可以采用锁丝钳来进行限位,然后拧紧螺栓;第三种装配方法是先进行加载,后进行位置矫正,即先进行螺栓拧紧,然后使用锁丝钳对卡箍进行位置矫正。从研究的结果来看,以上三种装配方法都能够适当降低卡箍应力水平,其中第一种方法的效果最为明显,可达到降低 $46.8\%$ ,其次是第二种方法,可达到降低 $3.64\%$ ,最后是第三种方法,可达到降低 $2.86\%$ ,同时,若卡箍在首次装配时,其采用的校正方法作用是最为敏感的,会导致结构应力出现相对明显的变化,而在超过了4次装配以后,其结构应力的变化就会逐渐降低。

## 3 结论

综上所述,根据卡箍结构的原理可知,其实际装配的应力主要是受到螺栓拧紧作用的影响,而控制好应力的各项参数,有利于更好地实现卡箍固定管路的作用。由本文分析可知,实际开展卡箍的装配应力试验并进行参数控制,主要是从装配方法、加载次数以及螺栓拧紧力矩等几个方面分析。

### [参考文献]

- [1]刘中华,贾铎,高东武.航空发动机卡箍装配应力试验与装配参数控制方法[J].航空动力学报,2020(2):368-377.
  - [2]柳强,焦国帅.基于Kriging模型和NSGA-II的航空发动机管路卡箍布局优化[J].智能系统学报,2019(2):281-287.
- 作者简介:张贤明(1989.8-)男,毕业院校:哈尔滨工业大学;现就职单位:中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司。