

卡箍刚度的有限元计算与实验测定

株洲航空动力机械研究所 尹泽勇** 陈亚农

【摘要】 准确确定卡箍刚度对管路系统的振动特性分析具有重要意义。本文针对航空发动机管路系统中不同卡箍的结构特点,建立了计算卡箍刚度的有限元模型。对单管接地卡箍及双管悬地卡箍的刚度系数进行了有限元计算,还对一典型双管悬地卡箍刚度进行了实验测定。通过卡箍刚度计算结果与实验结果的对比表明,本文建立的卡箍刚度计算方法可用于管路系统振动特性分析工程实际之中。

主题词: 卡箍 刚度 有限元分析 测量

分类号: V 231.91

1 卡箍结构及类型

按卡箍对管路的固定方式,它分为接地卡箍和悬地卡箍两种^[1]。接地卡箍包括双管接地卡箍(参见图 1a)及单管接地卡箍(参见图 1b)二类。悬地卡箍用于几根并行导管之间的相对固定,图 1(c)示出的是一典型双管悬地卡箍。

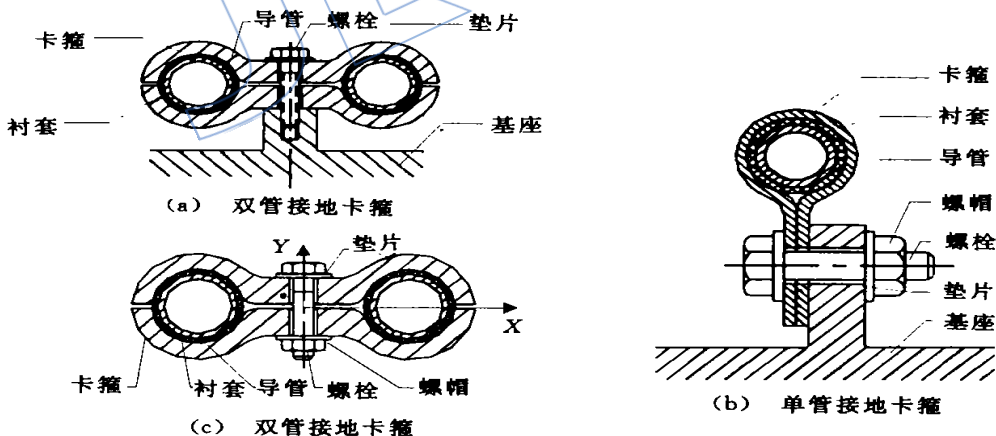


图 1 卡箍结构与类型

从卡箍对管路固持刚性的大小考虑,双管接地卡箍的刚度较大,可称为刚性卡箍;单管接地卡箍既有刚度较大的,也有刚度较小的,后者可称为柔性卡箍;至于悬地卡箍,一般可

归于刚性卡箍一类之中。

2 卡箍刚度的有限元计算

这里利用大型通用有限元分析程序 NASTRAN^[2] 及大型程序 PATRAN^[3] 的前处理功能对卡箍建立有限元模型并进行结构分析, 然后按刚度定义式 $K_i = F_i / \delta_i$, $K_\theta = M_\theta / \delta_\theta$ ($i = x, y, z$) 计算其刚度。式中 K_i 和 K_θ 为 x , y 和 z 方向上的线刚度和角刚度, F_i 和 M_θ 为 x , y 和 z 方向上的集中力和力矩, δ_i 和 δ_θ 为 x , y 和 z 方向上的线位移和角位移。

必须指出, 如果将载荷直接加在卡箍组件上, 经过有限元分析后的结果显示, 载荷作用点的位移要比相邻结点的位移大许多, 这显然不符合实际情况。因此, 在本文的卡箍有限元模型中, 有附加的刚性取得较大的杆 (参见图 2 及图 3)。将载荷加在刚性杆上, 计算某种载荷下作用点的位移, 通过载荷与位移的关系算出卡箍组件的刚度。显然, 为使刚性杆上某点的位移不包含杆的变形, 而是准确地反映卡箍组件的变形, 刚性杆应该是理想刚性的。但是如果杆的弹性模量 E 取得过大, 则可能导致病态刚度阵。杆的弹性模量应通过试算来确定。对下面要介绍的某具体柔性卡箍模型分别采用不同弹性模量的“刚性”杆进行了计算分析。当杆的弹性模量取为 10^{26} Pa 时, 算出的位移为零, 显然不正确。当杆的弹性模量取为 10^{20} Pa 时, 算出的杆左右两端位移不相等, 也不合理。当弹模取为 10^{15} Pa 时, 结果合理, 且杆本身之变形几乎为零。当弹模取工程常用材料 1Cr18Ni9Ti 的 1.84×10^{11} Pa 时, 算出的位移与上一结果仅差千分之一, 且杆本身之变形仅占卡箍变形的 1.65‰, 这样的结果工程上完全可用。

2.1 柔性卡箍模型

柔性卡箍用弹性较好的板片制成, 其厚度较小, 因此考虑用板壳单元作为卡箍模型的基本单元, 对衬套和杆则划分成体单元。为了保证卡箍、衬套和导管间接触面上结点一一对应, 卡箍、衬套和杆在圆周方向和轴向分布的单元数应一致, 但允许相邻体单元与壳单元存在几何干涉。在接触面上可采用两种方法处理不同构件间的连接。

(1) 作为多层一体结构处理

对不同的构件 (杆、衬套、卡箍), 不考虑其单元结点的自由度数可能不尽相同, 简单地用公共结点连接在一起。这相当于把卡箍组件看作一个包含几个材料层的多层一体结构。按这种方法对某具体卡箍 (卡箍标准为 Q/8S1007-91 * 10) 建立了有限元模型 (参见图 2), 计

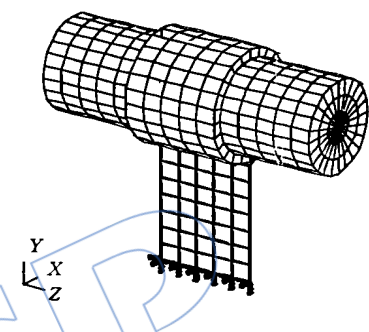


图 2 柔性接地卡箍刚度有限元分析模型

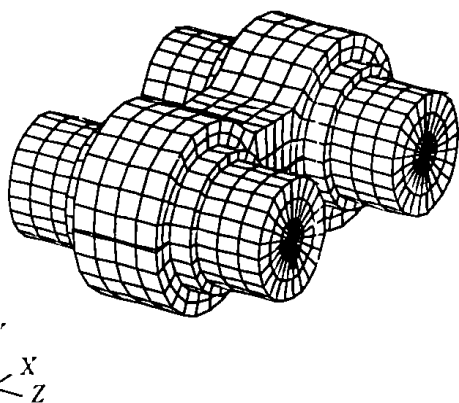


图 3 刚性悬地卡箍有限元模型

算结果列于表 1 中。

表 1 某单管接地卡箍的刚度计算结果

分析方法	K_x (N/m)	K_y (N/m)	K_θ (N·m/弧度)	K_φ (N·m/弧度)
多层一体模型	2.02×10^5	3.92×10^6	53.04	39.79
接触元模型	1.78×10^5	3.33×10^6	44.43	35.96

(2) 在接触面上设置接触元

对 (1) 中考察的卡箍也建立了考虑接触的有限元模型，在接触面的对应结点之间设置 NA STRAN 中的接触元。计算结果也列在表 1 中。

2 2 刚性卡箍模型

刚性卡箍的厚度一般在 5mm 以上, 应考虑用体元作为卡箍模型的基本单元。刚性卡箍大多是对开式结构。在建模时应考虑两个半箍体之间的相互连接问题, 即在卡箍对应面中心处的一对结点之间定义如下多点约束 (参见图 1c):

$$u_{上x} = u_{下x} \quad , \quad u_{上y} = u_{下y} \quad , \quad u_{上z} = u_{下z} \quad , \quad u_{上\theta} = u_{下\theta} \quad , \quad u_{上\varphi} = u_{下\varphi}$$

某具体刚性悬地卡箍 (卡箍标准为 Q/8S1008- 91 * 12×12^[4]) 的有限元模型如图 3 所示。位移边界条件为: 将其中一根杆的两个端点的所有自由度约束。该卡箍刚度的有限元计算结果为: $K_x = 2.894 \times 10^6$ N/m, $K_\theta = 47$ N·m/弧度, $K_\varphi = 42.7$ N·m/弧度。

3 卡箍刚度的实验测定

为了建立一种卡箍刚度的实验测定方法, 同时也为了检验上述分析方法的正确性, 我们用实验测定了上述悬地卡箍的两种刚度系数。

在试验中, 也用刚性杆代替导管, 在刚性杆上加力和力矩, 用刚性杆上的位移换算出卡箍的变形, 从而按定义式 (1) 和 (2) 算出卡箍的刚度。

3 1 K_θ 的测量

测量装置见图 4。扭矩通过沿盘切向加砝码来实现。角位移通过如下方法来测量: 在 b 杆上固定一根与其同轴的细长指针。当 b 杆在扭矩 M 的作用下产生旋转时, 杆上的指针随之一起运动。用固定在支座上的带角度刻度的标尺记录指针的初始位置

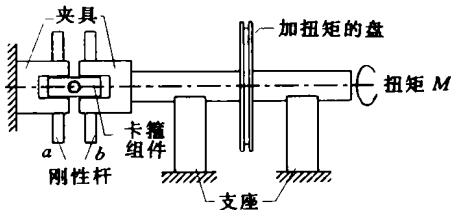


图 4 测量悬地卡箍 K_θ 的装置

和每次加载后的位置, 这样就可以得到刚性杆的角位移。实验结果列于表 2。

表 2 双管悬地卡箍扭转刚度试验结果

加扭盘上的载荷 (kg)		0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
第一次	角位移 (°)	0	0.9	1.9	3.0	4.1	5.9
第二次	角位移 (°)	0	1.0	2.1	3.3	4.6	6.5

从上表可以看出, 卡箍组件的变形与载荷的关系不是线性的。这是因为衬套的材料—橡

胶是非线性材料。而且,卡箍的两个半箍之间允许有相对滑动。但当载荷不大,卡箍的变形较小时,可以认为卡箍组件的变形与载荷成正比。我们用“载荷—变形”关系曲线的线性部分算出的卡箍刚度为 $K_{\theta} = 42.1 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{弧度}$ 。

3.2 K_x 的测量

测量装置见图 5。 X 方向的载荷通过砝码加载实现。 X 方向的位移通过读数显微镜读出。测出的横向刚度系数为:

$$K_x = 2.5 \times 10^6 \text{ N/m}$$

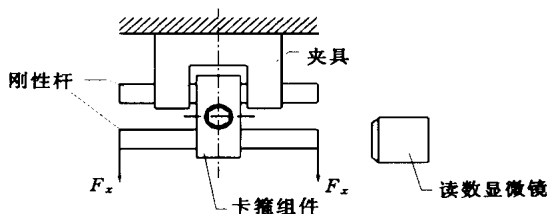


图 5 测量悬地卡箍 K_x 的装置

4 结 论

综上所述,本文建立的航空发动机管路卡箍刚度计算方法及实验测定方法可用于工程实际之中。值得强调的有以下几点。

(1) 计算分析表明,为获得准确合理的结果,对于卡箍有限元模型中的所谓刚性杆,可选工程常用材料 1Cr18Ni9Ti 作为其材料。

(2) 由表 1 可以看出,按两种模型算出的卡箍刚度有些差异,但相差不大。“接触”模型的分析结果与“一体”模型的差不多,而建模的复杂程度却增加不少,因此建议对卡箍采用“一体”有限元模型。

(3) 对于某悬地卡箍的 K_{θ} ,计算与实验值的相对误差为 $|42.1 - 47| / 42.1 = 11.6\%$; 对于 K_x ,计算与实验值的相对误差为 $|2.5 - 2.89| / 2.5 = 15.6\%$ 。在发动机管路系统动力特性初始设计中,这个误差可以满足工程应用要求。

参 考 文 献

- 1 《航空制造工程手册》总编委会 航空制造工程手册·发动机装配与试车 航空工业出版社, 1996
- 2 陈焕星, “大型通用有限元结构分析系统 MSC/NASTRAN 用户手册”, 1989
- 3 PATRAN/USER MANUAL (VERSION 6.0)

(责任编辑 王震华)

FINITE ELEMENT ANALYSIS AND EXPERIMENTAL MEASUREMENT OF STIFFNESS OF HOOP

Y in Zeyong and Chen Yanong

(Zhuzhou Aviation Powerplant Research Institute, Zhuzhou 412002)

ABSTRACT It is important to determine the stiffness coefficients of the hoops precisely for the vibration analysis of a pipeline system. For this purpose the finite element models for calculating the stiffness coefficients of the hoops are established in accordance with the structural features of the various hoops used in aeroengine pipeline systems. The stiffness coefficients of a grounded hoop for single pipe and a hung hoop for double pipes are obtained by the finite element analysis. In addition, the stiffness coefficients of a typical hung hoop for double pipes are measured by using the established experimental method. The comparison between the calculational and experimental results of the hoop shows that the provided method is feasible in the engineering practice of vibration analysis for a pipeline system.

Key Words Hoops stiffness Finite element analysis Measurement

AN ANALYSIS OF A GAS LUBRICATED COMPLIANT MULTILEAF JOURNAL BEARING

Chen Yuanxian and Yang Yansheng

(China Research Institute of Aero-Accessories, Xiangfan 441052)

ABSTRACT A performance analysis model of the gas lubricated compliant multileaf journal bearing of the high-speed rotor for air cycle machine of aircraft environmental control system has been established. In the analysis, the differential method is used to solve the compressible Reynolds equation, which governs the airflow in the journal bearing. The solution is coupled with the load deflection equations of the leaves to obtain such information as minimum film thickness, the stiffness coefficients, and the equivalent damping coefficients. The graphical solutions are provided for a range of relevant geometric and operational parameters. The journal bearing has good stability in all range of eccentricity ratios and all possible operating speeds.

Key Words Gas lubricated bearings Compliant Multileaf Analysis

EXPERIMENTAL STUDY OF A GAS LUBRICATED COMPLIANT MULTILEAF JOURNAL BEARING

Chen Yuanxian and Qian Chuanqu

(China Research Institute of Aero-Accessories, Xiangfan 441052)

ABSTRACT The gas lubricated compliant multileaf journal bearing of the high-speed rotor for air cycle machine of aircraft environmental control system was investigated experimentally. In the earlier work, an analysis model was developed to predict the performance of the air lubricated compliant multileaf journal bearing. In the experiments, the load deflection tests revealed the elastohydrodynamics of the compliant leaves; the starting torque tests found out the frictional influence between leaves and journal; the air cycle machine operational tests demonstrate the dynamic characteristics of the journal bearing. All of the experimental results show that the journal bearing can run steadily in wide operating range, and it