

基于ANSYS的襟缝翼滚轮接触应力场分析*

Study on Contact Stress of the Scroll Wheel of Flap and Slot Using ANSYS

林海彬 蔡景 徐一鸣 / 南京航空航天大学民航学院

摘要: 结合滚轮的实际使用环境和载荷,建立了滚轮与圆盘的有限元模型,对滚轮接触应力场进行了分析,从而弥补了赫兹接触理论的局限性,有效地确定了试验载荷,以指导开展模拟试验。

关键词: 襟缝翼; 滚轮; ANSYS; 接触应力场

Keywords: flap and slot; scroll wheel; ANSYS; contact stress

0 引言

滚轮是飞机襟、缝翼机构的重要转动部件,其严重磨损或失效将直接影响飞机襟、缝翼的正常运动。近年来,在飞机使用过程中不断发生襟、缝翼故障。统计数据显示,自2004年以来,我国由飞机襟、缝翼系统故障导致的重要事件88起,占整个飞行操纵系统总数的64.7%,其失效模式大部分为襟、缝翼卡阻,卡阻的主要原因为滚轮与滑轨之间的滚动摩擦磨损失效。所以,开展滚轮的滚动摩擦磨损试验研究具有非常重要的现实意义。

由于与滚轮配合工作的滑轨结构尺寸较大,而且滚轮与滑轨之间是往复运动,相对速度较慢,难以有效的直接开展试验研究,因此,在试验中采用圆盘代替滑轨的办法,需要结合滚轮的实际使用环境和载荷,建立滚轮与圆盘的有限元模型,对滚轮接触应力场进行分析,从而弥补赫兹接触理论的局限性,有效地确定试验载荷,可以指导开展模拟试验。

1 襟翼滚针轴承的使用环境

通常民机襟、缝翼采用滚针轴承做转动滚轮。滚轮架固结于机身结构件,相对于机翼结构件静止。滑轨固结于襟、缝翼结构件,随着襟、缝翼的收放动作一同运动。以某机型的襟翼为例,其滚轮滑轨架上共安装有10只滚轮,按其安装位置如图1所示。

由图1可知,滚轮与滑轨之间的接触分为两种形式,一种是内接触,一种是外接触。因此,在有限元建模中也应该分为两种形式,如图2所示。

考虑到两者情况分析过程的类似性,同时为了方便工程试验,本文只对第一种外接触形式应用ANSYS软件进行建模分析。

滚轮与圆盘的轴线是平行的,因此,滚轮与圆盘沿一条直线接触,受压力 P 后,接触处发生了弹性变形,接触线变成宽度为 $2b$ 的矩形面,如图3所示。

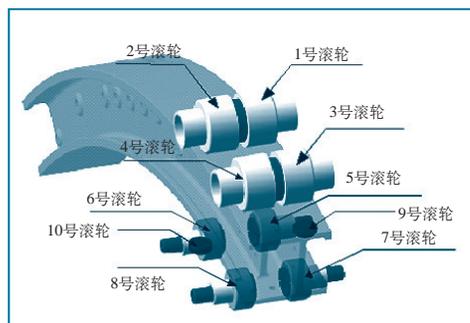


图1 滚轮滑轨相对位置简图



图2 内、外接触两种模型

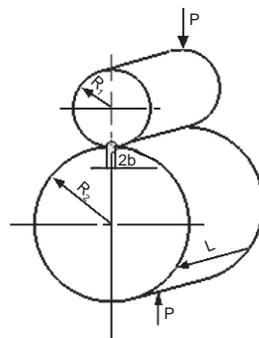


图3 滚轮与圆盘的接触区

*基金项目:航空基金(2009ZF52059);南京航空航天大学专项科研项目(NS2010171)

2 滚轮应力计算

接触面上的单位压力按椭圆柱规律分布,变形最大的X轴上压力最大,以 P_0 表示,接触面上其余各点的压力按半椭圆柱规律分布,如图4所示。

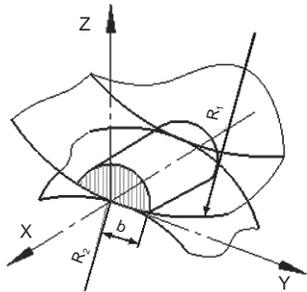


图4 轴线平行的两圆柱体相接触

由 $P = \frac{\pi h}{2} LP_0$, 最大单位压力 $P_0 = \sigma_H = \frac{2P}{\pi bL}$, 又由赫兹公式知:

$$b = \sqrt{\frac{4P}{\pi L} \frac{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}} \quad (1)$$

代入(1)式最大压力公式,得接触应力为:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{P}{\pi L} \frac{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}}} \quad (2)$$

已知滚轮与滑轨线接触长度 $L = 28.575\text{mm}$, 前上滚轮半径 $R_1 = 25.400\text{mm}$, 滑轨上表面半径 $R_2 = 740.00\text{mm}$, 两圆弧外接触接触时载荷 $P = 17128.8\text{N}$, 根据公式(2), 可计算得到: $\sigma = 778.63\text{MPa}$

由于试验中采用半径为 R 的圆盘代替滑轨, 与滚轮轴承对滚, 假设试验时所需施加的载荷为 P_1 , 则根据式(2), 可到 P_1 与 P 之间的关系式, 如下:

$$P_1 = P \cdot \frac{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R}} = P \cdot \frac{R}{R + R_1} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

由于前上滚轮半径 $R_1 = 25.400\text{mm}$, 滑轨半径 $R_2 = 740.00\text{mm}$, $R_1 \gg R_2$, 则:

$$P_1 \approx P \frac{R}{R + R_1}$$

在试验中取陪试圆盘直径 $R = 150\text{mm}$, 因此试验时所需施加载荷:

$$P_1 = P \cdot \frac{R}{R + R_1} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 15151.14\text{N}$$

3 ANSYS建模与分析

ANSYS软件是目前应用最广泛的通用有限元软件之一,可广泛地应用于核工业、航空航天、机械制造、土木工程、汽车交通等一般工业及科学研究。ANSYS软件功能强大,主要特点有:实现多场及多场耦合的分析;实现前后处理、求解及多场分析统一数据库的一体化;强大的非线性分析功能;多种自动网格划分技术;良好的用户开发环境等。基于以上优点,本文选取ANSYS软件进行建模分析。

3.1 ANSYS建模

在ANSYS中通过接触单元来识别可能的接触对,接触单元是覆盖在模型接触面上的一层单元,ANSYS支持三种接触方式:点点、点面、面面接触。由于面面接触单元有以下的特点:支持低阶单元和高阶单元,支持大滑动和摩擦的大变形,提供更多、更好的数据结果,与点



图5 网格划分好的几何模型

面接触单元相比,点面接触方式易出现刚体矩阵变为奇异矩阵和不可求解等,这些问题可以通过面面接触来避免,所以以本实验建模选择面面接触单元。

在面面接触方式定义三维接触对时,使用单元类型TARGE170和CONTA173,接触问题是一种高度非线性行为,需要耗费较大的计算机资源,为了有效地完成计算,针对实验机上的滚针轴承和实验轮位置,选模型的四分之一进行分析、建模。

1) 建立模型并划分网格如图5所示。在建模过程中,生成多个体相接触的体素后,它们之间会产生一条不连续的接缝,可以采用NUMMRG, VADD, VGLUE等命令除去缝隙。

2) 识别接触对,ANSYS通过目标单元和接触单元的定义来判断潜在的接触面,目标和接触单元会跟踪变形阶段的运动。

3) 定义目标面和接触面。

4) 设置接触参数,在ANSYS中使用实常数和单元选项来控制面面接触行为。由于ANSYS软件系统默认设置参数可以满足一般模型分析,所以大部分采用软件默认参数,只是对特殊参数在一定范围内适当选取,因为各个参数选取直接影响到软件对模型分析结果的精度。控制刚性目标运动,刚性目标面是按实体原始外形来建立的,整个面的运动是通过“plot”节点给定的位移来定义,这样能控制整个目标面的运动。

5) 施加约束,定义求解和载荷步选项。接触问题收敛性比较复杂,为此,本研究选择完全牛顿-拉普森迭代,关闭适应下降因子,在对计算求解中的步长设置前,需要进行GUI, UTILITY, SELECT, EVERYTHING命令操作,以防止有部分单元和节点不参与计算。

6) 求解和查看结果,通过通用后

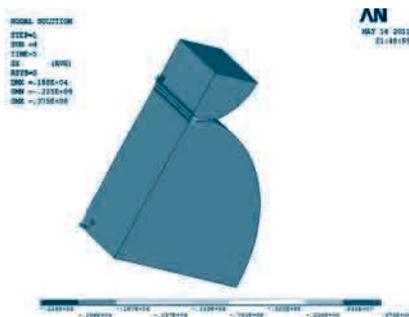


图6a X轴方向应力等值线图

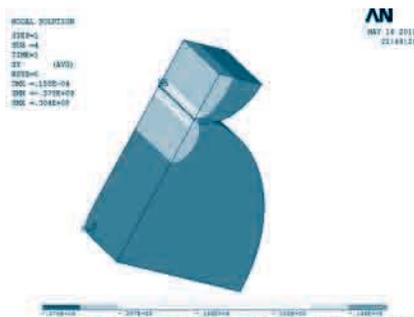


图6b Y轴方向应力等值线图

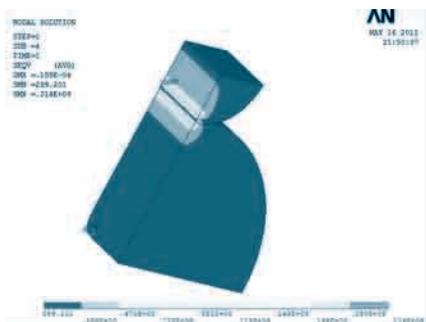


图6c 等效应力等值线图

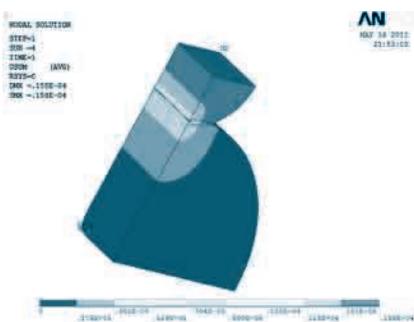


图6d 合位移等值线图

表1 实验载荷力分析结果

	DMX最大变形	SMN输出项极小值	SMX输出项极大值
X向位移	0.158E-04	-0.790E-06	0.876E-06
Y向位移	0.158E-04	-0.158E-04	
合位移	0.158E-04		0.158E-04
X向应力	0.158E-04	-0.225E+09	0.375E+08
Y向应力	0.158E-04	-0.378E+09	0.304E+08
等效应力	0.158E-04	299.201	0.214E+09

表2 2倍实验载荷力分析结果

	DMX最大变形	SMN输出项极小值	SMX输出项极大值
X向位移	0.317E-04	-0.158E-05	0.175E-05
Y向位移	0.317E-04	-0.317E-04	
合位移	0.317E-04		0.317E-04
X向应力	0.317E-04	-0.450E+09	0.749E+08
Y向应力	0.317E-04	-0.755E+09	0.609E+08
等效应力	0.317E-04	598.460	0.428E+09

处理器POST1进行查看位移、应力、应变、接触应力等云图结果。

3.2 ANSYS结果

划分网格单元尺寸为0.002的等值线图和等效应力图,图6a~图6d是实验载荷力15151.14N下的结果。

通过有限元分析图,实验载荷力分析数

据结果如表1所示。

在负载非工况下,实验用2倍的实验载荷力进行了受力分析,分析结果如表2所示。

3.3 结果分析

对等效应力图进行分析,由于在Y轴方向施加载荷,主要分析结果体现在Y轴方向上,从Y轴方向应力等值线图和等效应力等值线图可以看出,接触应力除了在接触区域外基本相同,且接触应力最大值在接触区域,远离中心呈现逐步衰减趋势,由中心向外按径向位移逐渐变小,符合滚针轴承实际受力情况。从实验所施加载荷情况看,1倍实验载荷力和2倍实验载荷力得到ANSYS结果成线性关系,表明在一倍实验载荷力的载荷下,轴承表面在弹性形变阶段,该力可以作为实验参考。

对试验结果和ANSYS的分析结果进行比较,结果存在差异

主要原因是由于赫兹接触理论的局限性。

1) 赫兹接触理论基于以下假设。与受载物体的曲率半径相比,接触面积的尺寸很小;应力不超过材料的比例极限,即所有的变形均发生在弹性阶段;载荷与表面垂直,不考虑表面切向应力。

2) 当有限元模型的网格边长尺寸大于接触椭圆半径时,结果不准确。接触部位的网格尺寸小于接触椭圆短半轴的50%或更小时,有限元分析结果可以使用。

4 结论

本文首先对襟翼滚针轴承模型进行赫兹理论分析,得到襟翼滚针轴承在实际工作中受到的接触应力,又通过改变参数应用赫兹理论得到实验中需要施加的载荷,应用ANSYS对滚针轴承模型在该载荷下进行分析。该分析作为一种模型实验方法,通过对模型进行优化,可以直观地对轴承进行施加载荷得到表面应力场,对一定外力下发生的变形和内部应力结果的分析,为工程实验提供依据,并有效指导实验和维修工作的开展。在ANSYS中对轴承分析时,可通过多次对襟翼滚针建模,使襟翼滚针模型设计方案趋近合理,为襟翼滚针轴承的深入分析提供参考。

AST

参考文献

- [1] 谷鸣.民机襟翼滚针轴承试验的设计[D].南京:南京航空航天大学,2008.
- [2] 邓凡平.ANSYS10.0有限元分析自学手册[M].北京:人民邮电出版社,2007.
- [3] 雷镭,武宝林,谢新兵.基于ANSYS有限元软件的直齿轮接触应力分析[J].机械传动,2006(30):50-51.

[项目编号] 20070112001

[项目负责人] 梁晓庚

[依托单位] 中国空空导弹研究院

复杂背景下红外背景抑制与弱目标识别

完成情况简介: 本项目主要开展:1)利用目标的几何特性和表面材质计算其红外辐射,然后通过大气衰减和成像器模型得到目标在图像中灰度,最后与真实的红外背景叠加,获得红外弱小目标仿真图像。2)分析了Robbsion Guard滤波器的特点,提出了一种能够自适应调节窗口大小的背景抑制滤波算法。以信噪比增益和背景抑制系数作为背景抑制滤波效

果的评价标准。3)提出以目标可辨识度作为新的描述目标与背景特征算子,在此基础上提出了一种新的单帧预检测算子。4)根据真实目标与典型红外诱饵的红外辐射特点的不同,改进了管道滤波算法,使得改进后的算法不但能够检测出运动目标,且具有一定目标识别能力。

[项目编号] 20070181002

[项目负责人] 刘淑芳

[依托单位] 西安电子科技大学

弹体共形相控阵天线分析与综合方法研究

完成情况简介: 本项目重点讨论了共形天线阵的极化问题和低副瓣综合技术。对两种改善阵列极化特性的方法进行了分析比较,结果表明采用双馈电单元作为阵元,并通过适当调整馈电比例可有效减小共形阵列的交叉极化电

平。项目还对遗传算法和粒子群算法进行了研究,并提出了一种混合算法,采用该算法可有效降低共形天线阵列的副瓣电平。

[项目编号] 20070718003

[项目负责人] 夏立群

[依托单位] 西安飞行自动控制研究所

直接驱动阀式智能作动器控制器研究

完成情况简介: 本项目从作动器的发展趋势入手,研制了以余度数字伺服技术为基础,融合智能控制策略与智能诊断技术,具备自主健康管理的新一代智能作动器。以直接驱动阀式作动器工程样机为原型,完成了基于智能控制技术的数字伺服系统的设计、仿真、开发与调试,以及基于智能控制理

念的DDV式作动器的故障诊断,进一步进行了作动器的健康管理研究。该研究突破了余度数字伺服技术、摩擦力智能补偿、DDV作动器智能控制及智能诊断,完成了直接驱动阀式作动器控制器研究。

[4] 张乐乐,谭南林,焦风川. ANSYS 辅助分析应用基础教程[M].北京:北京交通大学出版社,2006.

[5] Hertz H. On the contact of elastic solids and on hardness[D].Miscellaneous Papers, MacMillan, London, 1896.21-40.

[6] 郑兰疆,李彦,赵武,杨丕珠.大型回转轴承的承载性能分析[J].机械设计与研究,2008,24(2):82-86.

[7] 高霖,苏新伟,苗云阁,马斌,张砚. 基于ANSYS的推力球轴承的接触

仿真[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2009,28(6):989-991.

[8] Kim D, Park S. Hydrostatic air foil bearings: analytical and experimental investigation[J].Tribology International, 2009,42(3):413-425.

[9] Necdet D, Bahattin K. Stress and displacement distributions on cylindrical roller bearing rings using FEM[J]. Mechanics Based Design of Structures & Machines,2008,36(1):86-102.

[10] 王大力,孙立明,单服兵,徐浩. ANSYS 在求解轴承接触问题中的应用[J].轴承,2009,(9):1-4.

作者简介

林海彬,硕士研究生,主要从事可靠性维修性工程研究。

蔡景,博士,副教授,主要从事可靠性维修性工程研究。

徐一鸣,博士,讲师,主要从事检测技术与故障诊断研究。