航空科学技术
Aeronautical Science & Technology
Jul. 15 2016 Vol. 27 No.07 26-29

附件机匣壳体变形分析及轴承孔平行度计算方法

孙红*，史妍妍，侯明曦，李锦花，郭梅
中航工业沈阳发动机设计研究所，辽宁 沈阳 110015

摘　要：作为承力部件的附件机匣壳体，其变形会对附件机匣的安全性及可靠性产生影响。根据附件机匣的工作载荷，通过有限元分析的方法分析附件机匣工作下壳体受力变形情况，预先估计壳体变形对壳体支撑及定位精度的影响。并以有限元分析得出的轴承孔变形量为基础，根据空间向量理论，提出一种定量计算轴承孔平行度的方法，为附件机匣壳体的结构优化设计提供理论指导。

关键字：附件机匣；壳体变形；轴承孔平行度

中图分类号：V233.7　　**文献标识代码**：A　　**文章编号**：1007-5453 (2016) 07-0026-04

附件机匣壳体作为承力部件，承担齿轮运转过程中产生的啮合力及附件惯性载荷[1]。由于载荷的共同作用，附件机匣壳体不可避免地会发生变形。附件机匣壳体的受力变形导致轴承孔的位置相对于理论位置发生变化，导致齿轮轴偏斜，对齿轮的传动精度产生影响[2]，甚至导致机匣整体振动水平较高，引起机匣的早期失效[3]。因此，对附件机匣壳体的变形分析及壳体变形后轴承孔平行度的分析，显得十分重要。

本文应用限元分析的方法分析附件机匣工作下壳体受力变形情况，预先估计壳体变形对支撑及定位精度的影响。并以有限元分析出的轴承孔变形量为基础，提出一种定量计算轴承孔平行度的方法，为附件机匣壳体的结构优化设计提供理论指导，将由于壳体变形导致附件机匣失效的概率降低。

1 附件机匣壳体变形量分析

1.1 计算方法

附件机匣变形分析采用有限元分析方法，所使用的有限元分析软件为 Ansys Workbench[4]。

载荷分析：附件机匣壳体所受的载荷共分为两种：一是施加在轴承孔上的轴承载荷，轴承载荷是由齿轮啮合力传递到轴承产生的[5,6]；二是安装在附件机匣上的附件自身重量所产生的弯矩。根据计算的轴承载荷及附件力矩对附件机匣壳体进行加载[7-9]，具体如图 1 所示。

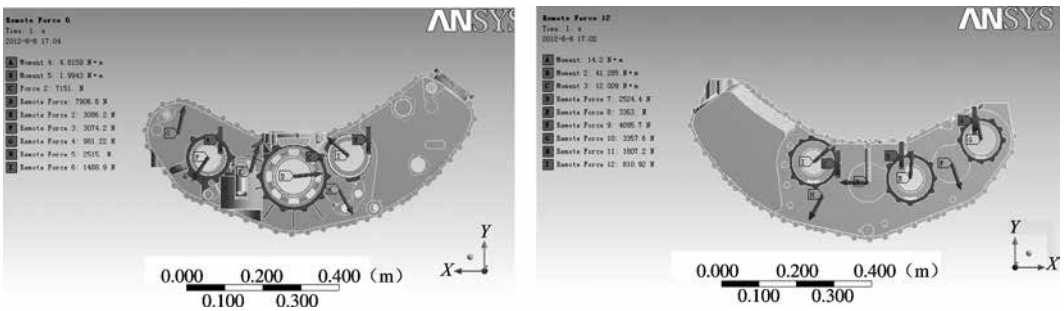

图 1　附件机匣有限元加载模型
Fig.1　Accessory gearbox of casing finite element model of load

收稿日期：2016-03-02；　退修日期：2016-03-18；　录用日期：2016-03-25
* 通讯作者 . Tel.：024-24281552-811　E-mail：417335094@qq.com
引用格式：SUN Hong, SHI Yanyan, HOU Mingxi, et al. Analysis on accessory gearbox housing distortion and calculating method on the parallel degree of bearing hole[J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27 (07) : 26–29. 孙红，史妍妍，侯明曦，等 . 附件机匣壳体变形分析及轴承孔平行度计算方法 [J]. 航空科学技术，2016, 27 (07) : 26–29.

边界条件：附件机匣通过吊耳、止口、支板安装在发动机上。根据其实际装配情况添加约束：在附件机匣壳体的支板施加全约束；止口施加圆柱约束；吊耳施加 Y 向约束[10, 11]，具体如图 2 所示。

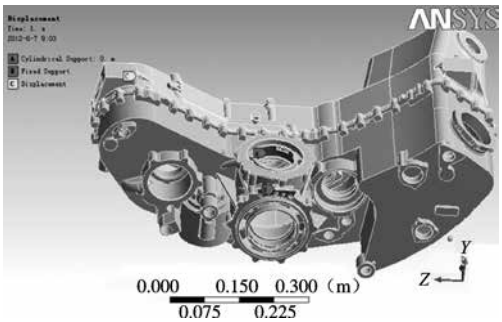

图 2 附件机匣有限元约束模型

Fig.2 Accessory gearbox of the finite element model of constraint

1.2 计算结果

1.2.1 附件机匣壳体整体变形分析

图 3 为附件机匣的有限元分析结果，图中深色区域为总体变形数值最大处。

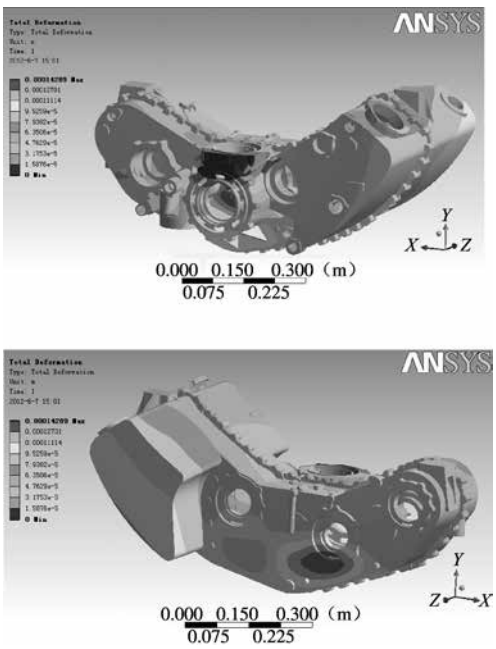

图 3 附件机匣有限元分析结果

Fig.3 Accessory gearbox of finite element analysis results

1.2.2 附件机匣轴承孔中心位移变化

根据有限元计算分析结果，将各轴承孔的中心节点位移变化按 3 个 X、Y、Z 方向进行提取[12, 13]，结果如表 1 所示。

表 1 轴承孔中心节点的位移变化

Table 1 Bearing hole center node displacement change

轴承孔位置	*UX*/m	*UY*/m	*UZ*/m	SUM/m
C	-3.08e-05	1.79e-06	-4.68e-05	5.60e-05
D	-5.33e-05	6.71e-06	-6.62e-05	8.53e-05
E	-2.41e-05	-6.00e-05	-4.79e-05	8.05e-05
F	-4.42e-05	1.99e-05	-6.12e-05	7.81e-05
G	-1.86e-05	-5.38e-05	-3.61e-05	6.74e-05
H	-4.26e-05	-6.48e-06	-2.97e-05	5.24e-05
I	-3.22e-05	-2.50e-05	-3.03e-05	5.07e-05
J	-4.28e-05	-3.42e-06	-2.93e-05	5.20e-05
K	-3.63e-05	-2.89e-05	-6.42e-05	7.92e-05
L	-4.82e-05	-3.68e-05	-5.95e-05	8.50e-05
M	-1.97e-05	-2.07e-05	-4.43e-05	5.27e-05
N	-4.64e-05	-1.62e-05	-4.98e-05	7.00e-05

根据有限元分析结果，在齿轮啮合力及附件载荷的共同作用下，附件壳体发生变形、轴承孔相对于理论位置发生偏移，对壳体的支撑及装配精度产生影响。根据分析结果对壳体较大变形处进行结构优化设计，如增加壳体壁厚、增加加强筋等，从而提高壳体刚度及抗变形能力[14]。

2 附件机匣壳体轴承孔平行度计算方法

2.1 空间向量夹角的计算方法

2 个空间向量的矢量积为 $\vec{a}\cdot\vec{b}=|a|\cdot|b|\cdot\cos\alpha$。通过立体解析几何，空间向量 $\vec{a}$ 表示为 (x,y,z)，$\vec{b}$ 表示为 (x',y',z')，$\vec{a}\cdot\vec{b}=x\cdot x'+y\cdot y'+z\cdot z'$。2 个空间向量的夹角为[15]：

$$\alpha=\arccos\left(\frac{x\cdot x'+y\cdot y'+z\cdot z'}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}\cdot\sqrt{x'^2+y'^2+z'^2}}\right) \tag{1}$$

2.2 计算附件机匣壳体轴承孔平行度

将壳体受力变形前同一根轴的前后壳体轴承孔的圆心位置分别记为 (x_1,y_1,z_1)，(x_2,y_2,z_2)；通过有限元分析得出壳体受力变形后，轴承孔圆心位移量为 $(\partial x_1,\partial y_1,\partial z_1)$，$(\partial x_2,\partial y_2,\partial z_2)$，壳体变形后轴承孔圆心的坐标为 $(x_1+\partial x_1,y_1+\partial y_1,z_1+\partial z_1)$、$(x_2+\partial x_2,y_2+\partial y_2,z_2+\partial z_2)$。该前后轴承圆心所确定的空间向量 $\vec{a}$：$(x_1-x_2+\partial x_1-\partial x_2,y_1-y_2+\partial y_1-\partial y_2,z_1-z_2+\partial z_1-\partial z_2,)$。相邻轴的前后壳体轴承孔的圆心位置分别记为 (x_3,y_3,z_3)，(x_4,y_4,z_4)；壳体变形后轴承孔圆心的位移量为 $(\partial x_3,\partial y_3,\partial z_3)$，$(\partial x_4,\partial y_4,\partial z_4)$；同理，相邻轴

的前后壳体轴承孔的圆心所确定的空间向量$\vec{b}$：$(x_3-x_4+\partial x_3-\partial x_4, y_3-y_4+\partial y_3-\partial y_4, z_3-z_4+\partial z_3-\partial z_4,)$。

根据公式（1），计算2个向量之间的夹角。偏斜量计算公式$h=100\cdot\sin\alpha/100$，含义为长度每100mm内的偏移量。根据上述计算方法计算附件机匣内相邻两根轴之间轴承孔的平行度，具体如表2所示。

表2 壳体变形后齿轮轴的偏斜量

Table 2 After the shell deformation amount of deflection of gear shaft

齿轮轴	夹角	偏斜量/100 mm
O2-03	1.32939e-05	0.001329
O3-04	5.54811e-05	0.005548
O4-O5	2.21367e-05	0.002214
O2-O6	7.59509e-05	0.007595
O6-O7	5.791e-05	0.005791

壳体变形造成轴承孔相对于理论位置的偏移，对轴承孔的平行度产生影响，进而导致传动精度的降低。本文提出一种应用空间向量的方法，定量的计算了轴承孔的平行度，为机匣壳体结构优化设计提供了理论依据。

3 结论

（1）本文计算附件机匣工作时壳体所承担的载荷，应用Ansys有限元分析方法对壳体进行变形分析，预先估计壳体变形对壳体支撑及定位精度的影响。

（2）本文提出一种应用空间向量计算轴承孔平行度的新方法，定量的计算壳体变形后轴承孔的平行度，为附件机匣壳体结构设计及改进提供理论指导，降低附件机匣失效概率。

（3）附件机匣壳体变形是造成附件机匣失效的原因之一，后续可以开展相关实验研究，将理论计算与实验结合一起，更好地指导附件机匣设计。 AST

参考文献

[1] 李锦花 . 附件机匣壳体变形分析及试验方法研究 [J]. 航空发动机，2013，39（3）：59-61.
LI Jinhua.Analysis and experimental method study of accessory gearbox housing distortion[J].Aeroengine，2013，39（3）：59-61.（in Chinese）

[2] 《航空发动机设计手册》总编委会 . 航空发动机设计手册（第12册）[M]. 北京：航空工业出版社，2000：539-552.
Editoral board of aircraft engine design manual. The aircraft engine design manual（the 12th copies）[M]. Beijing：Aviation Industry Press，2000：539-552.（in Chinese）

[3] 唐定国，陈国民 . 齿轮传动技术的现状和展望 [J]. 机械工程学报，1993，29（5）：35-42.
TANG Dingguo，CHEN Guomin. The present situation of the gear transmission technology and its prospect[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering，1993，29（5）：35-42.（in Chinese）

[4] 王新敏 .ANSYS工程结构数值分析 [M]. 北京：人民交通出版社，2005：131-460.
WANG Xinmin.ANSYS numerical analysis of engineering structures[M].Beijing：China Communications Press，2005：131-460.（in Chinese）

[5] 徐灏 . 机械设计手册（第4卷）[M]. 北京：机械工业出版社，2001：29-130.
XU Hao. Machinerys handbook（the 4th copies）[M].Beijing：China Machine Press，2001：29-130.（in Chinese）

[6] 濮良贵 . 机械设计 [M]. 北京：高等教育出版社，2006：186-192.
PU Lianggui. Machine design[M].Beijing：Higher Education Press，2006：186-192.（in Chinese）

[7] SHI Yanyan，ZHANG Maoqiang，KONG Xiangfeng，et al. Study on the contact properties for involute cylindrical gear based on thermal analysis[C]//2013 Asian Pacific Conference on Mechatronics and Control Engineering（Volume 339 of Applied Mechanics and Materials）. Hongkong，China，2013.

[8] 《中国航空材料手册》编辑委员会 . 中国航空材料手册（第1卷）[M]. 北京：中国标准出版社，2001：534-542.
China aviation materials manual editorial board. China aviation materials manual（the 1st copy）[M].Beijing：China Standards Press，2001：534-542.（in Chinese）

[9] 林基恕 . 航空燃气涡轮发动机机械系统设计 [M]. 北京：航空工业出版社，2005.
LIN Jishu. Aviation gas turbine engine mechanical system design[M]. Beijing：Aviation Industry Press，2005.（in Chinese）

[10] 郭爱民，范为民，魏静，等 . 太重Ⅲ型风力发电增速齿轮箱有限元分析 [J]. 机械传动，2009，33（6）：55-60.
GUO Aimin，FAN Weimin，WEI Jing，et al. Heavy Ⅲ type wind power growth gearbox finite element analysis[J]. Mechanical Drive，2009，33（6）：55-60.（in Chinese）

[11] 杨文硕，满志强 . 减速齿轮箱结构力学分析 [J]. 哈尔滨科学技术大学学报，1995，19（3）：94-98.

YANG Wenshuo, MAN Zhiqiang. Reduction gear box structure mechanics analysis[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 1995, 19 (3): 94-98. (in Chinese)

[12] 杜雪松，朱才朝，刘伟辉 . 船用齿轮箱刚体评价方法的研究 [J]. 船舶力学，2012，16 (1-2)：165-170.
DU Xuesong, ZHU Caichao, LIU Weihui. Marine gearbox evaluation method research of the rigid body[J].Journal of Ship Mechanics, 2012, 16 (1-2): 165-170. (in Chinese)

[13] 黄寿伟，宋迎东 . 某型发动机附件传动机匣应力分析 [J]. 航空发动机，2008，34 (4)：30-33.
HUANG Shouwei, SONG Yingdong. A certain type of engine accessories the motivation for the stress analysis[J].Aeroengine, 2008, 34 (4): 30-33. (in Chinese)

[14] 陈光 . 航空发动机结构设计分析 [M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2006：126-300.
CHEN Guang. Aircraft engine structure design and analysis[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2006: 126-300. (in Chinese)

[15] SHI Yanyan, YANG Rong, LI Jinhua, et al. Research on shell body rigid of accessory gearbox of aviation engine[C]//2014 International Conference on Mechanics and Materials Engineering (ICMME 2014) . Xi' an, China, 2014.

作者简介

孙红（1985— ）女，硕士，工程师。主要研究方向：航空发动机传动系统设计。

Tel：024-24281552-811/13654000360

E-mail：417335094@qq.com

Analysis on Accessory Gearbox Housing Distortion and Calculating Method on the Parallel Degree of Bearing Hole

SUN Hong*, SHI Yanyan, HOU Mingxi, LI Jinhua, GUO Mei

Shenyang Engine Design and Research Institute, Shenyang, 110015, China

Abstract: The accessory gearbox housing is the part of bearing the load. Its distortion will affect the security and reliability of accessory gearbox. According to the working load of accessory gearbox, the housing distortion was analyzed at accessory gearbox housing working by finite element analysis. The influence of the housing distortion to support and assembly was beforehand estimated. The calculating method of the parallel degree of bearing hole is proposed according to the theory of space vector and basing on the distortion of bearing hole by element analysis. It provides the theory for accessory gearbox housing structure modification.

Key Words: accessory gearbox; housing distortion; parallel degree of bearing hole

Received:2016-03-02; **Revised**:2016-03-18; **Accepted**:2016-03-25

***Corresponding author. Tel.:** 024-24281552-811 **E-mail:** 417335094@qq.com