

基于 HyperWorks 的离心风机铆接叶轮仿真模型对比分析

葛利顺, 王宏光, 刘晶玲

(上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093; 中国船舶重工集团公司第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘 要: 分别用 MPC、MPC + beam 和 MPC + rbe2 等 3 种模型仿真离心风机铆接叶轮, 用 HyperWorks 的 Optistruct 求解器计算 3 种模型的模态和离心力产生的应力分布。计算结果表明, 不同模型对模态振型无影响, 对固有频率有一定影响。模态分析时, 铆钉刚度远大于连接件刚度时, 推荐用 MPC 模型; 铆钉刚度大于连接件刚度, 推荐用 MPC + rbe2 模型; 铆钉刚度与连接件刚度相近, 推荐用 MPC + beam 模型; 铆接处及轮毂边缘附近应力较大、较集中, 最大应力出现在轮毂边缘的铆接处; 定量分析铆接结构强度, 推荐用 MPC + beam 模型; 定性分析铆接结构应力分布, 推荐用 MPC 模型。

关 键 词: 铆接叶轮; 仿真模型; 模态分析; 固有频率; 离心应力

中图分类号: TH452; TP15 文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2014.06.035

引 言

铆钉连接是常用的装配工艺之一, 与螺栓、焊接等连接相比, 费用经济, 装配效率高, 适合自动化生产, 在制造行业中已得到了广泛应用。从已有文献看, 计算铆接结构受力情况多用 MPC + beam 单元仿真铆钉^[1-4], 其能够较好的仿真铆接结构实际受力情况, 计算铆接结构模态多用 MPC 或 MPC + beam 单元仿真铆钉^[4-6], 其中文献 [5] 推荐用 MPC 单元仿真。

离心风机采用铆接叶轮较多, 叶片损坏后易于更换。文献 [6] 用 MPC + beam 单元对铆接叶轮进行了仿真研究, 文献 [7] 用两个单元连接仿真铆钉并对铆接叶轮进行了受力分析研究。

本研究基于 HyperWorks(通用多体系统动力学仿真及工程数据处理) 有限元软件, 用 MPC、MPC + beam(多点约束) 和 MPC + rbe2(基于几何和用户输入) 等 3 种模型仿真铆接叶轮, 计算出相应模型下叶轮的振动模态和离心力产生的应力分布, 对比分析 3 种铆接仿真模型的特点。

收稿日期: 2014-03-28; 修订日期: 2014-04-02

作者简介: 葛利顺(1990-), 男, 山东青岛人, 上海理工大学硕士研究生。

1 铆接叶轮有限元模型的建立

1.1 模型描述

铆接叶轮的轮毂为钢制, 叶片和前、后盖板为铝制, 有 12 个叶片、120 颗铆钉。其中轮毂与后盖板用 12 个钢制铆钉铆接; 每一叶片与后盖板用 6 个铝制铆钉铆接, 与前盖板用 3 个铝制铆钉铆接。由于铆钉用有限元单元仿真, 故在叶轮实体建模时只保留铆钉孔, 不建立铆钉实体模型。各部件材料属性如表 1 所示。

表 1 各部件属性

Tab. 1 Characteristics of materials of various components

部件	材料	密度/kg · m ⁻³	弹性模量/GPa	泊松比
轮毂	钢	7 800	200	0.3
叶片	铝	2 700	70	0.3
后盖板	铝	2 700	70	0.3
前盖板	铝	2 700	70	0.3
铆钉	钢	7 800	200	0.3
铆钉	铝	2 700	70	0.3

1.2 单元类型的选取

对于叶轮组成部件全都采用 PSOLID Tetra10 体单元来模拟, 单元基本尺寸为 5 mm, 在铆接处适当加密网格单元。网格划分先是生成 2D 三角形网格单元, 检查网格质量合格后再生成 3D 四面体网格单元。划分网格后的叶轮模型有节点 964 07 个, 单元 322 410 个, 网格如图 1 所示。

1.3 铆接方式的仿真模型

模型 1, 如图 2(a) 所示, 利用多点约束单元(MPC) 对装配体有效连接区域作刚性化处理。在铆钉孔中心建立一个独立节点作为主节点, 而把装配体有效区域内即每一铆钉孔内所有节点作为从节点, 利用刚性约束单元 rbe2 把所有从节点与主节点

相连,形成“蜘蛛网”状结构。

模型 2,如图 2(b)所示,采用 MPC + beam 单元仿真铆接,即用 rbe2 将铆钉上下表面圆孔中心的主节点和圆孔周围的所有从节点连接起来,然后用 beam 单元连接上下两个主节点,两个主节点间的距离代表铆接厚度,beam 单元直径定义为铆钉直径。

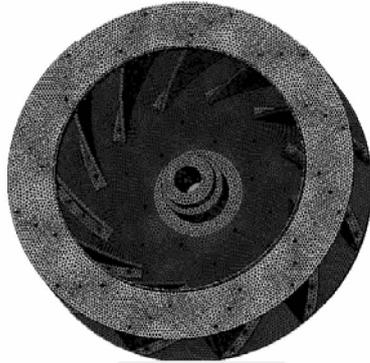


图 1 叶轮网格图

Chart showing the grid of an impeller

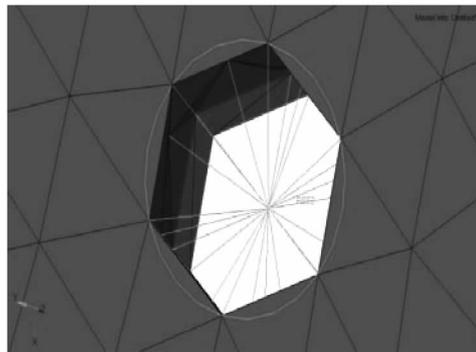
模型 3,采用 MPC + rbe2 单元模拟铆接,其铆接方式与模型 2 类似,只是将 beam 单元改为 rbe2 单元。rbe2 单元为刚性单元而 beam 单元为柔性单元。

2 叶轮模态及离心应力分析

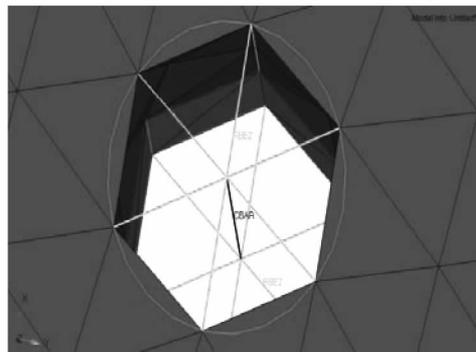
2.1 叶轮模态分析

叶轮模态分析采用无约束的自由边界条件,计算得到叶轮自由振动的固有频率及模态振型。由于高阶频率对结构的动力性影响很小^[8],除掉前 6 阶刚体模态,仅查看前 5 阶弹性模态的固有频率及模态振型。前 5 阶弹性模态的固有频率及振型描述如表 2 所示,模态振型图如图 3 所示。从模态振型图上可以看出相同阶数下的 3 种模型模态振型相似,

但对应阶数的固有频率有所差别,其中模型 1 的固有频率最大,模型 3 次之,模型 2 最小。由 $\omega^2 = k/m$ 可知,固有频率的平方与刚度成正比,与质量成反比,也就是说同一部件质量不变时,增加其刚度,固有频率就会相应提高。由于模拟铆钉的方法不同,使得 3 种模型的刚度也不同,其中模型 1 刚度最大,模型 3 次之,模型 2 最小,所以计算出的固有频率结果与之相对应。通过上述计算分析得出:如果铆钉刚度远大于连接件刚度,推荐用模型 1;如果铆钉刚度大于连接件刚度,推荐用模型 3;如果铆钉刚度与连接件刚度相近,推荐用模型 2。



(a) 模型 1 铆接方式



(b) 模型 2 铆接方式

图 2 不同模型的铆接方式

Fig. 2 Riveting modes adopted in various models

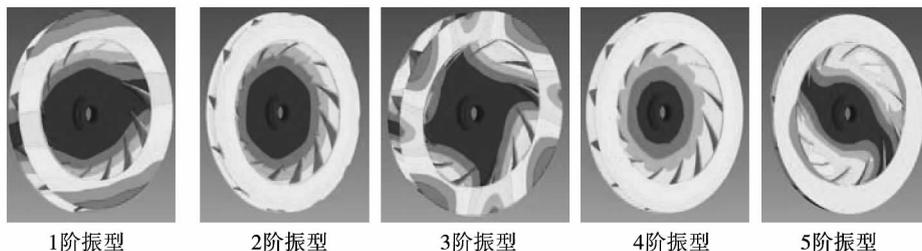


图 3 前 5 阶振型图

Fig. 3 Chart showing the first five-order vibration modes

表 2 前 5 阶弹性模态固有频率

Tab.2 Intrinsic frequencies of the first five-order elastic modes

阶数	模型 1/Hz	模型 2/Hz	模型 3/Hz
1	429.30	265.82	320.22
2	445.92	363.68	403.52
3	503.47	400.44	415.94
4	980.57	806.87	861.68
5	1 037.37	830.48	882.84

2.2 离心应力分析

施加离心力,转速 3 500 r/min,边界条件:限制轮毂内圆所有节点 X、Y 和 Z 向位移,然后施加旋转速度,求得等效应力分布和剪应力分布。图 4(a)为模型 3 的剪切应力前盖板方向视图,图 4(b)为模型 3 的剪切应力后盖板方向视图。通过应力分布图可以看出,不同模型叶轮相同区域的应力分布情况相似,铆接处及轮毂边缘附近应力较大、较集中,而且最大应力出现在轮毂边缘的铆接处。由于外缘质量旋转产生的离心力传递到内部再加上铆接处应力集中两方面原因造成轮毂边缘铆接处应力最大,但不同模型应力值的大小有所差别,如表 3 所示。由于模型 1 连接了铆钉孔内所有的节点,使得应力集中最低,因此其对应的最大应力值也是最小的;模型 2 和模型 3 的节点连接数量相同,但一个是柔性连接,一个是刚性连接,柔性连接会降低应力集中,刚性连接会加强应力集中,所以模型 2 的最大应力低于模型 3。beam 单元在力学上更接近实际铆钉,在定量分析研究铆接结构强度时,推荐用模型 2;定性分析铆接结构应力分布时,推荐用仿真比较简单方便的模型 1。剪应力最大处的铆钉材质为 45Cr 钢,其抗拉强度 σ_b 为 1 030 MPa,屈服极限 σ_s 为 835 MPa^[9]。根据第三强度理论,最大剪应力不超过屈服极限的一半,其中 $\tau_{max} = \sigma_s / 2 = 417.5$ MPa,3 种模型的最大剪应力均满第三强度理论要求。根据第四强度理论,最大等效应力应小于屈服极限,3 种模型的最大等效应力均满足第四强度理论要求。

3 结 论

(1) 3 种模型的模态振型基本相似,但对应阶数的固有频率有所差别。3 种仿真模型的刚度不同,其中模型 1 刚度最大,模型 3 次之,模型 2 最小,

故其对应阶数的固有频率会不同。模态分析时,铆钉刚度远大于连接件刚度时,推荐用模型 1;铆钉刚度大于连接件刚度时,推荐用模型 3;铆钉刚度与连接件刚度相近时,推荐用模型 2。

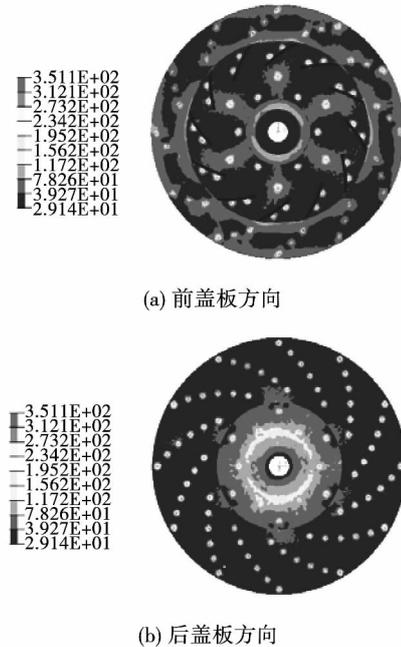


图 4 最大剪应力分布图(MPa)

Fig.4 Chart showing the distribution of the maximal shear stress

表 3 各模型最大等效应力和最大剪应力

Tab.3 Maximal equivalent stresses and maximal shear stresses of each model

应力	模型 1/MPa	模型 2/MPa	模型 3/MPa
最大等效应力	403.9	550.1	639.2
最大剪应力	221.0	307.2	351.1

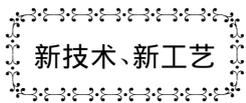
(2) 铆接处及轮毂边缘附近应力较大、较集中,而且最大应力出现在轮毂边缘的铆接处。定量分析铆接结构强度时,推荐用模型 2,该模型最接近实际情况;定性分析铆接结构应力分布,推荐用模型 1,该模型建模方便。

参考文献:

[1] 郝庆军,郭顺生.汽车双层纵梁结构中的铆接特性有限元分析[J].机械工程与自动化,2009,5:71-73.
HAO Qing-jun, GUO Shun-sheng. Finite element analysis of the riveting characteristics of the double-layer girder of an automobile

- [J]. Mechanical Engineering & Automation 2009 5:71-73.
- [2] 李 艳, 李小雷, 曹俊斌. 飞机蒙皮铆接修理的有限元分析与试验研究[J]. 机电产品开发与创新 2011 24(4):85-86.
LI Yan, LI Xiao-lei, CAO Jun-bin. Finite element analysis and experimental study of the riveting repair of aircraft skin[J]. Development & Innovation of Electromechanical Products 2011 24(4):85-86.
- [3] 冯伟干, 张建华, 朱元夫. 圆筒形铆接结构中铆钉的数值模拟[J]. 强度与环境 2010 37(1):30-34.
FENG Wei-gan, ZHANG Jian-hua, ZHU Yuan-fu. Numerical simulation of a rivet in a cylindrical riveting structure[J]. Strength & Environment 2010 37(1):30-34.
- [4] 王贤宙, 王长武. 基于振动试验的典型铆接形式仿真建模方法研究[J]. 电子机械工程 2010 26(4):57-60.
WANG Xian-zhou, WANG Chang-wu. Study of the method for simulating and modeling typical riveting forms based on vibration tests[J]. Electromechanical Engineering 2010 26(4):57-60.
- [5] 纪飞龙, 杨启梁, 等. 基于 HyperWorks 的某车架铆接方式的对比分析[J]. 湖北汽车工业学院学报 2011 25(4):28-31.
JI Fei-long, YANG Qi-liang et al. Contrast and analysis of the riveting mode of an automobile frame based on the Hyper Works[J]. Journal of Hubei Automobile Industry Institute 2011 25(4):28-31.
- [6] 陈国涛, 王宏光. 铆接叶轮的模态和离心力分析[J]. 风机技术 2013(1):28-31.
CHEN Guo-tao, WANG Hong-guang. Modal and centrifugal force analysis of an impeller riveted[J]. Blower Technology 2013(1):28-31.
- [7] 康 玲. 铆接结构叶轮强度三维有限元分析[J]. 石油化工设备 2000 29(2):25-27.
KANG Ling. Three-dimensional finite element analysis of the strength of an impeller riveted[J]. Petrochemical Industry Equipment 2000 29(2):25-27.
- [8] 冯 磊, 郭世永, 徐 斌. 基于 MSC. Nastran 的客车车架动态特性分析[J]. 客车技术与研究 2009(3):10-11.
FENG Lei, GUO shi-yong, XU Bin. Analysis of the dynamic characteristics of the frame of a bus based on the MSC. Nastran[J]. Bus Technology and Research 2009(3):10-11.
- [9] 成大仙. 机械设计手册: 单行本. 常用机械工程材料. 第五版[M]. 化学工业出版社 2010.
CHENG Da-xian. Mechanical Design Manual: Separate Edition. Commonly-used mechanical engineering materials, Fifth Edition[M]. Chemical Industry Press 2010.

(丛 敏 编辑)



高温气冷反应堆核电站紧凑型热交换设备的设计和研究

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2014.06.036

据《Теплоэнергетика》2013 年 7 月刊报道,核电站的建造最优先考虑发电的高效率(约 50%)。在这方面,配备氦气轮机装置和氦气载热介质高温反应堆的核装置很有前途。

机械制造设计局的专家对高温气冷反应堆核电站紧凑型热交换设备进行了成功的设计和详细的研究。

将高温气冷反应堆和氦气轮机装置一起组成一回路的核电站设计必须以利用氦气循环高效的热交换设备为先决条件。

提供了最佳热交换表面选择的分析和计算 - 试验研究的结果。并分析研究了回热器、端部冷却器和中间冷却器构造、形式及特点。

(吉桂明 摘译)

(College of Energy Source Power and Mechanical Engineering ,North China University of Electric Power ,Beijing , China ,Post Code: 102206) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2014 29(6) . -731 -735

On the basis of the coal heating value theory ,to measure simply and accurately the heating value of coal in power plants ,proposed was a supporting vector machine (SVM) algorithm-based soft measurement method. After the SVM mathematical theory had been analyzed ,a SVM model was established by using the operation data from a coal-fired power plant. In this connection ,the particle swarm optimization (PSO) algorithm was introduced to search for the optimal values of the parameter c and g involved in the model and then ,by using these optimal values ,a PSO-SVM soft measurement model was built. The test results obtained by using the model have a high accuracy and an ideal effectiveness and compared with SVM model established by using the cross verification method and the commonly-used BP neural network model ,the model in question exhibits more merits and is favorable to the optimal operation of power plants. **Key Words:** low heating value ,soft measurement ,supporting vector machine ,particle swarm optimization algorithm

基于 HyperWorks 的离心风机铆接叶轮仿真模型对比分析 = **Contrast and Analysis of the Models for Simulating the Riveted Impeller of a Centrifugal Fan Based on the Software HyperWorks** [刊 ,汉] GE Li-shun , WANG Hong-guang (Shanghai University of Science and Technology ,Shanghai ,China ,Post Code: 200093) ,LIU Jing-ling (CSIC Harbin No. 703 Research Institute ,Harbin ,China ,Post Code: 150036) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2014 29(6) . -736 -739

By using three models ,i. e. MPC ,MPC + beam and MPC + rbe2 ,the authors simulated the riveted impeller of a centrifugal fan. By employing the Optistruct solver of the software HyperWorks ,the authors calculated the modal of the three models and the distribution of the stress produced by the centrifugal force. The calculation results indicate that different models exert no influence on the modal and vibration ,however ,exercise certain influence on the intrinsic frequency. During the modal analysis ,when the rigidity of the rivets is far greater than that of the parts connected ,it is recommended to use MPC model. When the rigidity of the rivets is greater than that of the parts connected ,it is recommended to adopt MPC + rbe2 model. When the rigidity of the rivets is close to that of the parts connected ,it is recommended to use MPC + beam model. The riveting places and locations nearing the hub rims have a relatively big and concentrated stress and the maximum stress appears at the riveting places in the rim of the hub. When the strength of a riveted structure is being quantitatively analyzed ,it is recommended to use the MPC + beam model. When the stress distribution of a riveted structure is being qualitatively analyzed ,it is recommended to use the MPC model. **Key Words:** riveted impeller ,simulation model ,modal analysis ,intrinsic frequency ,centrifugal stress