

有限元分析在真空泵故障诊断中的应用*

王月岭, 刘晓辉, 宁东兴, 张 爽
(中通汽车工业集团有限责任公司, 山东 聊城 252000)

摘要:针对真空泵在产品试制过程中产生异常振动的问题,首先,排除了制造和装配的原因,然后从设计的角度分析了其原因。将真空泵支架的二维工程图转化为实体模型,导入 ANSYS Workbench 进行了有限元模态分析,发现其固有频率在真空泵的旋转频率范围内,存在共振现象;即而对其进行了方案修改,以及有限元模态分析,发现其固有频率避开真空泵的旋转频率范围。对按修改后方案制造的真空泵支架进行了装配后试车,发现原来异常振动的现象已经排除。研究结果表明,有限元也可在故障诊断中发挥重要作用,是故障诊断的一种方法。有限元分析是针对实体模型的一种数值分析方法,其计算结果精度较高。

关键词:真空泵;模态分析;有限元;共振

中图分类号:TH36;TH113.1;TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)09-1097-04

Application of FEA in failure diagnosis about vacuum pump

WANG Yue-ling, LIU Xiao-hui, NING Dong-xing, ZHANG Shuang
(Zhongtong Automobile Industry Group Co., Ltd., Liaocheng 252000, China)

Abstract: Aiming at abnormal vibration of vacuum pump in trial-manufacture of new products, firstly, the reason for manufacture and assemblage was excluded, then the reason was analyzed from the mechanical design. The 2D engineering drawings about vacuum pump frame was changed into the solid model, and finite element model analysis for vacuum pump frame was carried out in ANSYS Workbench, and natural frequency of it was found within the range of rotation frequency about vacuum pump, so resonance was existed. The design plan was amended and finite element mode analysis for vacuum pump frame was carried out, natural frequency of vacuum pump frame was avoided by rotation frequency of vacuum pump. After trial-manufacture according to amend plan, abnormal vibration of vacuum pump was solved. The results indicate that FEM can play as an important role in failure diagnosis, and it is an approach to failure diagnosis. FEM is a numerical method to analyze solid model, and it has higher accuracy.

Key words: vacuum pump; modal analysis; finite element method(FEM); resonance

0 引 言

机器在研发试制或售出后经常会发生很多意想不到的故障,随着科学技术的飞速发展,很多现代化的诊断手段得到应用,对排除机器故障、提高机器性能和寿命、降低开发成本以及为顾客创造超越价值起到了重要作用。Workbench^[1-2]作为有限元计算软件(AN-

SYS)的一部分,集有限元理论和大量数值计算方法于一体,在机械设计中进行结构分析、结构优化、可靠性分析、模态分析以及流体力学分析等,对提高机器的性能和降低生产成本起到了很大的作用。

故障诊断作为近期发展起来的新兴技术,采用传感器采集信号,然后对信号进行分析处理,从而分析出故障的结果,被广泛地应用于宇航、军事、化工、机械等

领域,取得了很好的效果。但信号的采集受很多外在因素的干扰,得到的结果会有一些偏差^[3-14]。

有限元分析受外在因素的干扰较小,在机器的故障诊断中的应用还很少,本研究就有限元在机械故障诊断和故障排除方面的应用作进一步的探讨。

1 故障诊断

联合吸污车是集收集、中转、清理、运输污泥和污水及疏通下水道的新型环卫车辆。真空泵是联合吸污车的核心部件,一部吸污车工作效率的高低从根本上说取决于真空泵的工作状况,而真空泵运转的平稳性决定了其工作性能及使用寿命。真空泵支架作为支撑部件,对保证真空泵的正常运转起到了关键性的作用。

联合吸污车在试制过程中遇到真空泵振动异常,在对空载、满载等各种原因和各种工况分析后认为真空泵和真空泵支架之间可能存在共振现象。针对存在的这种现象,本研究采用有限元理论作进一步判断。

1.1 真空泵支架的实体建模

在实际工作时,真空泵支架竖梁通过螺栓固定在汽车底盘;真空泵支架上边的平面固定轴承座,而下边的平面用于固定真空泵。

在实际分析计算时,既要考虑模型的真实性和又要考虑计算的准确性和收敛性。笔者在建模时略去对模态分析影响甚少的圆角和倒角,建成的实体模型如图 1 所示。

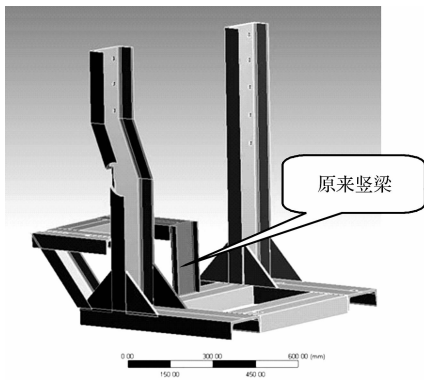


图 1 真空泵支架实体模型

1.2 真空泵支架的有限元模型

真空泵支架材料为 16#槽钢,该材料的弹性模量 $E = 210 \text{ GPa}$,泊松比 $\mu = 0.3$,密度 $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ ^[15]。本研究采用 Workbench 默认的网格划分方式,共生成 34 197 个节点,13 030 个单元。根据真空泵支架的实

际约束状态,竖梁的 12 螺栓孔全部约束,所建成的有限元模型如图 2 所示。

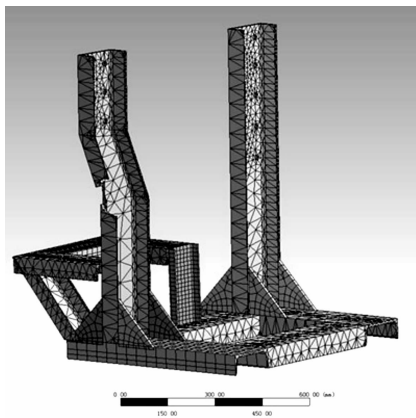


图 2 真空泵支架的有限元模型

1.3 真空泵支架模态计算理论

根据机械振动理论,真空泵支架的固有频率微分方程^[16]为:

$$[m] \{\ddot{x}\} + [k] \{x\} = 0 \quad (1)$$

且:

$$[m] = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \cdots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & \cdots & m_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ m_{n1} & m_{n2} & \cdots & m_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & k_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: $[m]$ —真空泵支架的质量矩阵; $[k]$ —真空泵支架的刚度矩阵。

通过求解真空泵支架的固有频率微分方程可以求得其固有频率和振型。

1.4 真空泵支架的模态分析

真空泵支架模态分析的目的是对其进行动力特性分析,由于真空泵支架结构复杂,工作状况恶劣,利用传统的计算方法很难求得结果。在此本研究借助有限元理论,利用大型有限元分析软件 Workbench 对其计算以求得真空泵支架的模态特性。由有限元理论可知低阶模态的振动特性对真空泵支架的动力特性起决定性的作用,故在此选取真空泵支架前 6 阶模态特性^[17-18]。由 Workbench 求得真空泵支架前 6 阶模态合位移图^[19]如图 3 所示,固有频率值如表 1 所示。

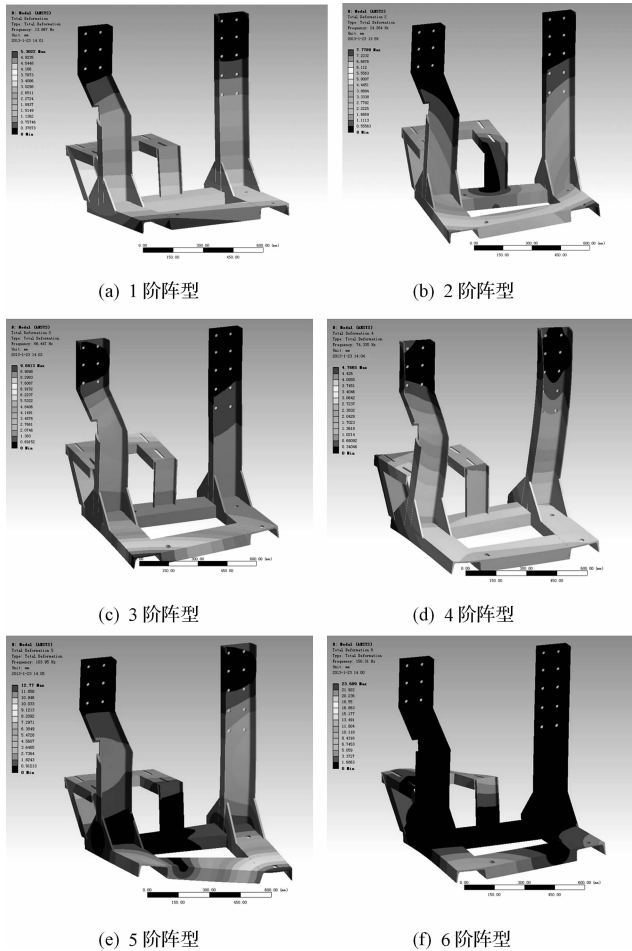


图3 真空泵支架振动合位移图

表1 真空泵支架固有频率

阶次	1	2	3	4	5	6
频率/Hz	13.867	24.264	66.447	74.335	103.95	150.31

1.5 故障诊断结果

(1)由图3和表1可看出:前4阶为真空泵支架的主要振动模式,频率为(13.867~74.335) Hz;而后两阶主要为真空泵支架的局部振动模式,频率为103.95 Hz和150.31 Hz。

(2)真空泵通过分动箱驱动,分动箱的转速取决于发动机的转速,由计算可得到真空泵工作时实际转速为800 r/min~1 150 r/min,转动频率为13.33 Hz~19.17 Hz。

(3)可以看出,真空泵在运转过程中会发生共振,从而发生振动异常。

2 故障排除

针对真空泵发生共振的现象,本研究把真空泵支架中间的竖梁改为横梁,实体模型如图4所示。

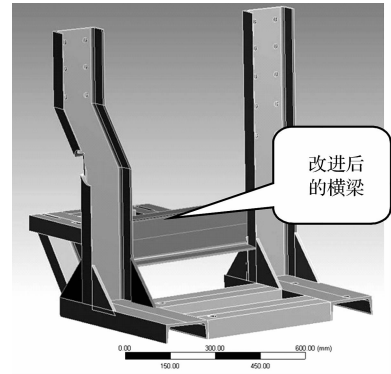


图4 改进后的真空泵支架实体模型

2.1 改进后的真空泵支架模态分析

本研究对改进后的真空泵支架加载相同的约束和载荷,得到其前6阶模态合位移图(如图5所示)和固有频率值(如表2所示)。

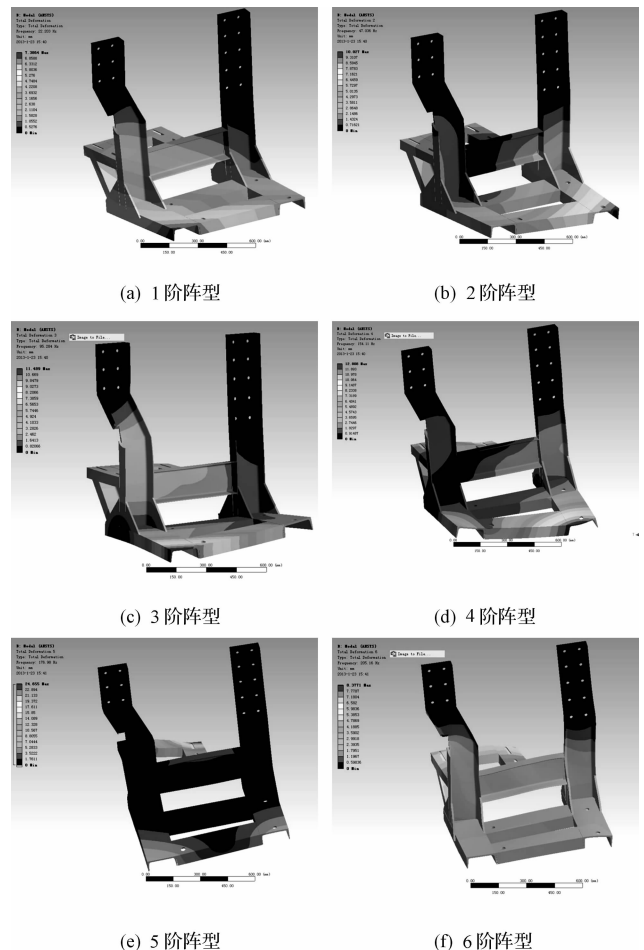


图5 真空泵支架振动合位移图

表2 真空泵支架固有频率

阶次	1	2	3	4	5	6
频率/Hz	22.203	47.036	95.284	154.11	176.98	205.16

2.2 改进后的结果

由图 5 和表 2 可看出:真空泵支架在改进后,避开了其与真空泵的共振。

通过整车试制检测发现真空泵运转平稳,完全符合设计要求。

3 结束语

本研究针对真空泵振动异常做了如下研究:

(1)根据整车试制过程中发现的真空泵振动异常,初步判断该故障为真空泵和真空泵支架发生共振;

(2)利用有限元分析软件 Workbench 对真空泵支架进行模态分析,得到了其前 6 阶模态合位移图和固有频率值,然后与真空泵的旋转频率相比较,发现其存在共振现象;

(3)根据计算结果,修改了真空泵支架的结构,再利用有限元分析软件 Workbench 对真空泵支架进行了模态分析,得到了其前 6 阶模态合位移图和固有频率值,与真空泵的旋转频率相比较,发现其已经避开共振频率。

研究结果进一步验证了本研究对真空泵故障原因的判断,为感性认识提供了数据支持。同时有限元作为一种数值计算方法,在故障诊断中也可发挥重要作用,是故障诊断的一种方法。

参考文献 (References):

[1] 蒲广益. ANSYS Workbench 12 基础教程与实例详解 [M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.

[2] 丁毅,苏杰,陈立民. 基于 ANSYS Workberch 的轻质托盘承载性能分析[J]. 包装与食品机械,2012(2):67-69.

[3] 楼应侯,蒋亚南. 机械设备故障诊断与检测技术的发展

[J]. 机床与液压,2002(4):7-9.

[4] 钟秉林,黄仁. 机械故障诊断学[M]. 北京:机械工业出版社,2007.

[5] 张斌,张薇薇. 机械设备故障诊断技术概述[J]. 建筑机械化,2005,26(8):14-36.

[6] 张键. 机械故障诊断技术[M]. 北京:机械工业出版社,2008.

[7] 雷继尧,何世德. 机械故障诊断基础知识[M]. 西安:西安交通大学出版社,1991.

[8] 黄伟力,黄伟建,王飞. 机械设备的故障诊断技术及其发展趋势[J]. 矿山机械,2005,33(1):66-68.

[9] 屈梁生,何正嘉. 机械故障诊断学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1986.

[10] 董克俭. 工程机械中的常见故障分析及维修[M]. 北京:金盾出版社,2008.

[11] 朱维兵. 基于有限元和实验模态分析的振动筛动力学参数研究[J]. 矿山机械,2007,35(1):63-65.

[12] 许允之. 基于频谱分析的电动机故障诊断试验台的研究[J]. 实验技术与管理,2010,27(8):81-83.

[13] 陆春月,王俊元. 机械故障的现状与发展趋势[J]. 机械管理开发,2004,81(6):85-86.

[14] 马建仓,林基敖,葛文杰. 机械故障诊断学现状及发展[J]. 机械科学与技术,1994,50(2):85-90.

[15] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2001.

[16] 李晓雷. 机械振动基础[M]. 北京:北京理工大学出版社,2010.

[17] 张贤明,李萍,王立存,等. 涡旋式滤油机真空泵的涡盘壁厚变化研究[J]. 流体机械,2012(11):46-48.

[18] 戴红娟,周红良. 偏曲轴少齿差行星减速器箱体的模态分析[J]. 机械设计与制造,2010(12):28-29.

[19] 赵亮,祝锡晶,陆志猛. 功率超声车削加工装置的设计与仿真分析[J]. 机械设计与制造,2010(12):20-22.

[编辑:洪炜娜]