

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.02.013

四磨头磨簧机模态分析及优化设计

黄金根, 季 磊, 郑子军

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要: 针对磨簧机在加工过程中存在的颤动问题,采用有限元数值模拟分析方法,研究了四磨头磨簧机的动态特性。利用Solidworks三维软件对磨簧机进行了实体建模,运用有限元分析软件ANSYS Workbench对简化模型进行了模态分析,得到了各阶模态的固有振型和固有频率,并对磨簧机机床结构的薄弱环节进行了结构上的优化和改进。研究表明,通过对床身的改进,其动态特性的改善有利于提高整机的低阶固有频率;床身的第一阶固有频率提高了57.2%,改进后的整机第一阶模态固有频率提高了103%,并且远离电机的激振频率,能够防止加工过程中共振现象的发生。

关键词: 磨簧机; 颤动; 模态分析; 固有频率; 优化改进

中图分类号: TG595; TH16; TH113.1 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)02-0178-04

Modal analysis and design optimization of spring end grinder with four wheels

HUANG Jin-gen, JI Lei, ZHENG Zi-jun

(Key Laboratory of E&M, Ministry of Education & Zhejiang Province, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the vibration of spring end grinder process, the finite element numerical simulation analysis method was used to study the dynamic characteristics of the spring end grinder with four wheel. Solidworks 3D software was used to create solid model of spring end grinder, the finite element analysis software ANSYS Workbench was applied to conduct modal analysis of the simplified model, then the inherent vibration mode and natural frequency of the each mode state were obtained. Structural weaknesses of the machine structure of spring end grinder were optimized and improved. The results indicate that the improvement of the dynamic characteristics through the improvement of the bed is conducive to improve the machine's lower order natural frequency. The first order natural frequency of the bed is increased by 57.2%, the first order modal natural frequency of the whole improved machine is increased by 103%, which stays away from the motor vibration frequency to prevent the occurrence of resonance.

Key words: spring end grinder; vibration; modal analysis; natural frequency; optimization improvements

0 引 言

高精度、高品质的弹簧要求在磨削端面时能够保持弹簧的垂直度以及端面与轴线的垂直度,同时要求端面磨削区域不出现烧伤现象。影响弹簧端面磨削质量的因素有很多,磨簧机结构的动态特性是机床重要质量指标之一,它直接影响着机床对弹簧的磨削精度和切削效率以及可靠性,同时对机床在加工

过程中发生的颤振的强弱、持续时间和频率范围都将产生影响^[1]。湖南大学赵小青等^[2]应用ANSYS软件对高速平面磨床进行了整机模态分析,识别了磨床结构的薄弱环节,并进行了相关的试验验证,其采用实验手段与有限元分析结合的方法,两者的互补使分析结果更精确。东南大学 and 无锡机床股份有限公司^[3]对内圆圆磨床M2120A床身结构进行了有限元分析,得到了床身前几阶的固有频率和振型,并分析了床身的

收稿日期: 2012-11-27

作者简介: 黄金根(1988-),男,安徽安庆人,主要从事机械设计及理论方面的研究. E-mail:sijian168@126.com

内部筋板布置对结构动态特性的影响。

结合四磨头磨簧机的设计,并通过前期的静态分析,本研究对磨床结构进行动态分析,包括对磨簧机原始结构及其改进结构进行态分析;在远离振源频率的前提下,通过提高大件的固有频率以改善整机的动态特性,从而减小磨簧机加工过程中的变形。

1 整机原始结构模态分析

机床结构的动力学建模是对机床进行动力分析和动态设计的基础。机构的动态特性主要由少数一些低阶模态决定,因此计算低阶的固有频率就足够了。只要应用这些模态及其振型就可以精确地表达机床的动态特性。因此,本研究在对整机或者部件进行动态分析时,根据需要只分析计算前6阶的固有频率及其动态特性。

磨簧机在工作过程中受到多种激振频率的影响,其中以切削系统电机和工作台旋转电机的影响最为明显。磨簧机工作过程中磨头电机的最高转速为 1 390 r/min,电机引起的受迫振动频率为 $f=n/60=23.17$ Hz。电机在使用过程中,由于转子绕组不对称,使得定子和转子主磁力波相互作用的径向分量引起振动^[4]。所以,考虑磁拉力的影响,磨簧机的固有频率要超过电机频率的 1.5 倍。

1.1 建立有限元模型

磨簧机外形尺寸为 2 500 mm×1 750 mm×2 000 mm,主要部件床身、工作台材料为 Q235,修磨器、切削系统为 HT200+40Cr。磨簧机在工作的过程中,工作状态比较复杂,受多方面因素的影响,在进行有限元分析时,为简化计算,本研究进行如下假设:①认定磨床材料是各向同性材料,密度均匀分布,在工作过程中始终处于弹性阶段;②假定位移和变形都是微小的^[5]。

磨簧机的切削系统和工作台回转系统由于内部结构复杂、零部件繁多等问题,将做一些简化:主轴上的锁紧螺母、中间隔套、电机定子等简化成集中质量均不在相应轴段、轴承简化为刚体套筒分布在轴承安装的轴段部位、丝杠简化为等质量的光杆等。本研究先通过 SolidWorks 三维建模软件建立整机简化模型,再导入 ANSYS Workbench 有限元分析软件中,然后采用软件中的 solid186 三维实体单元对磨簧机结构进行网格划分。进行网格划分时,笔者合理选择整体单元尺寸,同时,对磨簧机的不同部件采用不同的划分尺寸单独划分,以提高分析精度^[6]。最后得到的磨簧机整体结构的有限元模型如图 1 所示,其中包括 362 989 个节点,179 324 个单元。

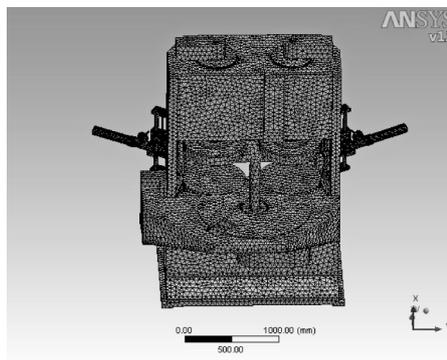


图1 磨簧机有限元模型

1.2 磨簧机模型的模态分析

本研究利用 ANSYS Workbench 对原先磨簧机模型进行模态分析^[7-9],可得到整机的前 6 阶固有频率和振型。其中前 6 阶自由振动振型如图 2 所示,前 6 阶固有频率和振型描述如表 1 所示。

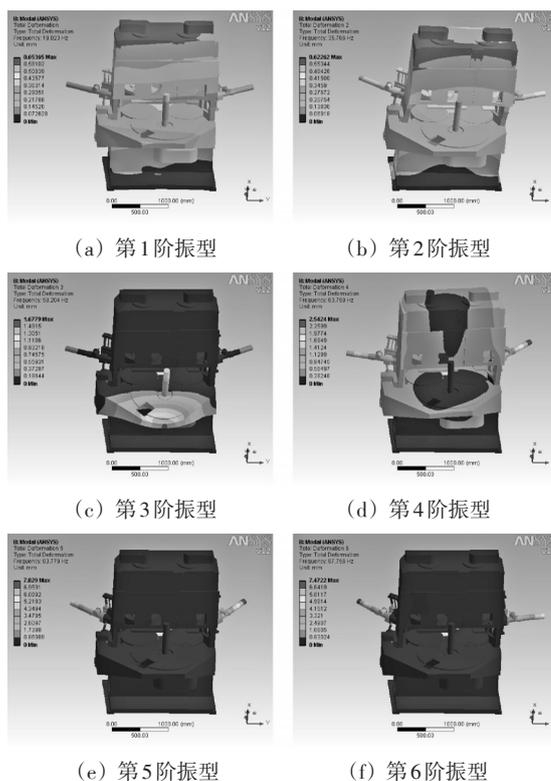


图2 整机原始模型的前6阶振型图

从图 2 和表 1 中可以看到,磨簧机的振动中心主要集中在床身、工作台和修磨器等部位上。其中床身起到各部件的支撑和连接作用,它决定了砂轮轴的位置精度和工作的稳定性。1 阶和 2 阶振型都是床身发生摆动变形,其固有频率分别为 19.02 Hz 和 35.77 Hz,而该频率均小于或者接近砂轮主轴电机振动频率,因此在弹簧端面磨削加工过程中比较容易引起结构的共振,直接影响着弹簧的磨削加工精度和生成效率。

像磨簧机这样复杂的机床,其整机的动态性能主要由机床大件决定。从前两阶振型来看,主要薄弱点

表1 整机原始模型的模态分析

模态阶数	固有频率 /Hz	振型描述
1	19.0	磨簧机床身在YZ平面内前后摇摆
2	35.7	磨簧机床身在XZ平面内左右摇摆
3	58.2	工作台回转机构在XZ平面内绕着X轴内外摆动
4	63.8	整机在XZ平面内绕着Z轴扭曲转动
5	83.7	修磨器绕着Z轴摆动,右侧修磨器摆动幅度较大
6	87.7	修磨器绕着Z轴摆动,左侧修磨器摆动幅度较大

在于床身的固有频率过低,致使整机的固有频率过低。因此,本研究对磨簧机的床身进行动态分析,并对其进行结构优化,在远离振源频率的前提下,提高其固有频率以改善整机的动态特性,从而减少磨簧机在磨削加工过程中的受迫振动变形。

2 床身模态分析

本研究首先对床身进行模态分析,其中前6阶自由振动振型如图3所示。前6阶固有频率和振型描述如表2所示。

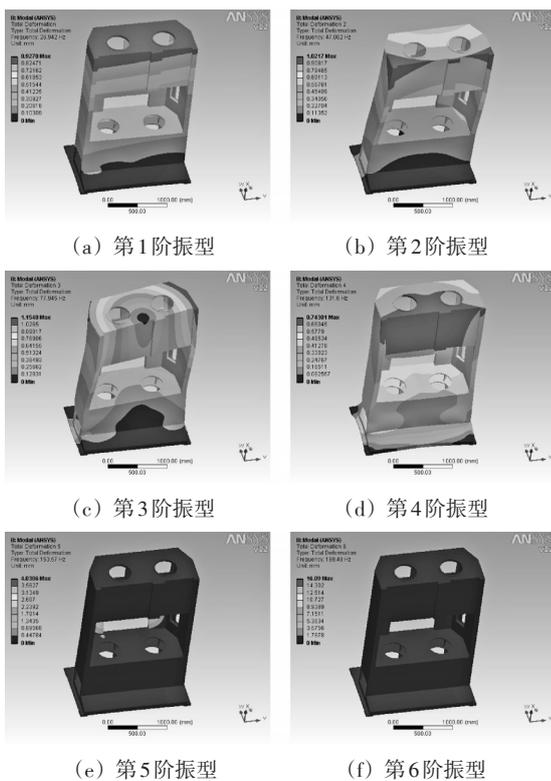


图3 床身模型的前6阶振型图

从图3、表2中可以看到,床身的第1阶和第2阶固有频率均接近电机的激振频率。从前两阶振型情况看,床身发生前后或者左右摆动变形可能是由于床身中部的动刚度太差以及床身下部加强筋不够合理;笔

表2 床身模型的模态分析

模态阶数	固有频率 /Hz	振型描述
1	26.94	床身前后摇摆
2	47.08	床身左右摇摆
3	77.95	床身在XZ平面上绕着Z轴扭曲转动
4	131.6	床身上下变形波动,床身中部也随之凸起波动变形
5	153.57	床身后墙板中部发生前后凹凸波动变形
6	169.48	电气板左右凹凸变形

者由以上分析结果进行针对性的改进:①增加床身中部加强筋的布置;②增加床身下部加强筋的布置;③改进底板与地面的支持方式,即改变固定约束情况。

改进后的床身模态分析结果如图4、表3所示。从对比分析的结果来看,改进后的床身动态特性得以极大地提高,由此可以得出结论:床身内部加强筋布置情况会严重影响床身的动态特性,通过合理地布置内部加强筋会提高床身的固有频率。

3 改进后的床身及整机模态分析结果

前面本研究主要分析了磨簧机床身的动态特性,并根据床身的特点对其进行了结构优化改进,改进结构减小了其静载荷下的变形,并且提高了固有频率,分析结果如图4、表3所示。

通过对大件的改进,以达到对整机的优化。本研究

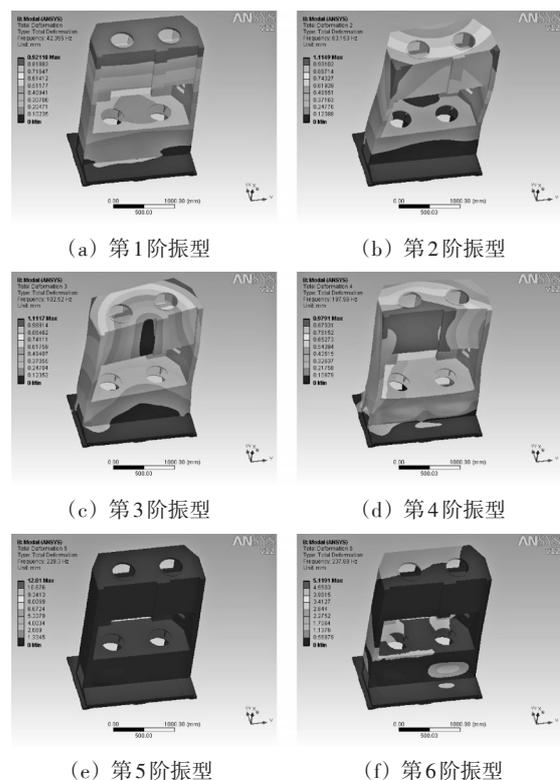


图4 改进后床身模型的前6阶振型图

表3 床身模型的模态分析

模态阶数	固有频率 /Hz	固有频率提高比例 / (%)	振型描述
1	42.36	57.2	床身前后摇摆
2	63.15	34.1	床身在XZ平面内扭转的同时左右摆动
3	102.5	31.5	床身在XZ平面上绕着Z轴扭曲转动
4	197.9	50.4	床身上下波动变形同时在YZ平面内成S状波动
5	228.3	48.7	电气板左右凹凸变形
6	237.8	40.4	电气板左右凹凸变形,床身其他部位也发生不同程度的凹凸变形

表4 磨簧机整机模态分析结果对比

模态阶数	原模型固有频率 /Hz	改进模型的固有频率 /Hz	固有频率提高比例 / (%)
1	19.02	38.56	103
2	35.77	57.28	60.1
3	58.21	80.68	38.6
4	63.8	87.72	37.5
5	83.78	95.96	14.5
6	87.76	99.91	13.8

建立了磨簧机的改进后模型,并与原始结构进行对比分析。改进后的磨簧机整机的模态分析结果如图5所示,分析结果及整机原始结构模态分析结果对比如表4所示。

从分析结果中可以看出,改进后的整机在提高各零部件动态性能的同时,整机的各阶模态都有所提高,并且第1阶频率,其值已超出电机激振频率23.17 Hz的1.6倍,已经远离了因电机引起的共振频率。因此,对磨簧机的床身进行结构改进对整机的动态特性均有明显的改善作用,改进方案满足机床设计要求。

4 结束语

本研究主要针对四磨头磨簧机整机进行了动态特性分析,并通过改进床身的结构以提高其固有频率来提高整机的动态性能,最后对整机原始结构和改进结构也进行了动态分析比较,并得到了以下两点结论:

(1) 四磨头磨簧机的整机动态特性取决于床身等大件的动力学特性,改进床身的动态特性有利于提高整机的低阶固有频率;

(2) 经过对床身的结构改进优化,床身的第1阶固有频率提高了57.2%,改进后的整机的第1阶模态固有频率提高了103%,并且可以远离电机的激振频率,防止共振的发生。

参考文献 (References):

- [1] 唐学哲,卢波,郑艳琴,等. SL500/HZ超精密平面磨床的试验模态分析[J]. 机电工程,2011,28(4):432-435.
- [2] 赵小青,黄红武,宓海青. 基于有限的150m/s超高速平面磨床整机建模及结构改进[J]. 维修与改造,2005,32(2):60-62.
- [3] 陈新,何杰,毛海军,等. 基于动力学特征的磨床床身结构布局设计[J]. 制造技术与机床,2001(2):21-23.
- [4] 雷宇晓. 平面磨床有限元分析与优化[D]. 南宁:广西大学机械工程学院,2006.
- [5] 赵汝嘉. 机械结构有限元分析[M]. 西安:西安交通大学出版社,1990.
- [6] 杜平安. 有限元网格划分的基本原则[J]. 机械设计与制造,2000(1):36-38.
- [7] 许京荆. ANSYS13.0 Workbench数值模拟分析[M]. 北京:中国水利水电出版社,2012.
- [8] 叶先磊,史亚杰. ANSYS工程分析软件应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [9] 刘涛,杨凤鹏. 精通ANSYS[M]. 北京:清华大学出版社,2002.

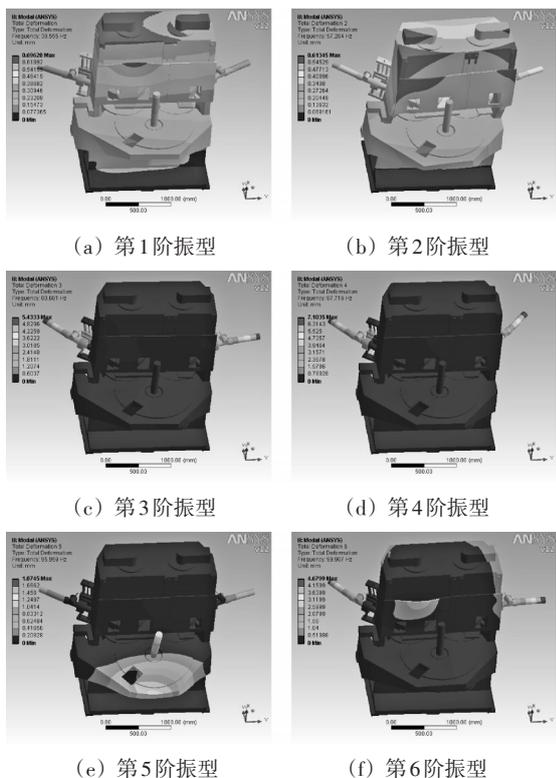


图5 改进后磨簧机整机模态分析的前6阶振型图

[编辑:张翔]