

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.08.018

成形磨齿机床立柱结构的拓扑优化研究

金美付, 张正伟, 吴洪彬, 鲜洁宇
(南京农业大学 工学院, 江苏 南京 210031)

摘要: 针对用传统设计方法设计的成形磨齿机床立柱在保证设备精度的同时会造成重量过大的问题,运用有限元设计方法建立了立柱的三维有限元模型,并利用ANSYS软件对立柱壳体进行了拓扑分析。由拓扑分析得出的载荷路径与立柱壳体模型相结合,提出了7种不同筋板布局的立柱结构。研究表明,与原立柱进行对比,斜角45°筋1型立柱的质量刚度比最优,斜角26.25°筋1型次之,而原立柱的质量刚度比最差;通过模态分析得到的新壳体模型斜角26.25°筋1型立柱的一阶固有频率比原模型提高了12.86%,而斜角45°筋1型立柱的一阶固有频率比原模型提高了9.09%;斜角45°筋1型立柱的质量比原立柱模型减少6.56%,斜角26.25°筋1型立柱的质量比原立柱模型减少了9.83%。

关键词: 立柱; 拓扑分析; 壳体; 筋板布局; ANSYS

中图分类号: TH122; TG85 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2014)08-1045-04

Topology optimization for structure of gear form grinding machine

JIN Mei-fu, ZHANG Zheng-wei, WU Hong-bin, XIAN Jie-yu
(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: Aiming at the problem of the large weight for the column of gear grinding machine designed by traditional design method, the three-dimensional model of specific grinding machine was established by means of the finite element method, and the column of the machine was analysed by using the ANSYS software. Through the combination of the load path of topological analysis and the new shell model of the column, 7 kinds of column structures were suggested. The results indicate that the ratio of the mass and stiffness for the column structure with an angle of 45 degrees and 1 type is the best. The ratio of the mass and stiffness for the column structure with an angle of 26.25 degrees and 1 type take second place, whereas, the ratio of the mass and stiffness for the original column structure is the worst. The first-order natural frequency increases by 12.86% for the column structure of angle of 26.25 degrees and 1 type and by 9.09% for the column structure of angle of 45 degrees and 1 type, respectively. The total mass ratio decreased by 9.09% for the column structure of angle of 45 degrees and 1 type and by 9.83% for the column structure of angle of 26.25 degrees and 1 type.

Key words: column; topology analysis; shell; stiffened plate; ANSYS

0 引 言

立柱是某型成形磨齿机样机的主要受力部件之一。立柱结构的尺寸及内部筋板的布置会直接影响机床的加工精度。对于立柱这种大型铸件的结构设计,国内大都采用经验设计和基本的静态分析^[1-10],这样设计出的立柱在保证机床加工精度的同时会造成

质量过大,因此立柱的结构优化还可有进一步提升的空间。

本研究通过Pro/E软件建立数控磨齿机床立柱的三维模型,运用ANSYS有限元软件,对原立柱模型壳体进行拓扑分析,根据分析结果提出两种新的壳体设计方案。结合拓扑分析中的载荷路径和这两种壳体设计,提出7种不同的筋板布局,并与原立柱模型一同进行静力分析和模态分析,找出合理的优化结果。

收稿日期: 2014-01-16

作者简介: 金美付(1974-),男,江苏东台人,主要从事机械制造技术、机电一体化、特种加工等方面的研究。E-mail: jinmeifu@njau.edu.cn

1 立柱静力分析

1.1 载荷分析

立柱是数控磨齿机床的主要支撑部件,用于连接主轴箱和拖板等,其工作时承受复杂的空间载荷:立柱自重是均布载荷;拖板及主轴箱的自重是集中载荷;磨削力的大小方向是可变外载荷。其中,立柱自重可以通过对立柱施加重力加速度来施加;集中载荷可通过平移至立柱的顶部并对其施加正压力和弯矩来实现;磨削力通过主轴箱、拖板最终传递到立柱与拖板连的那部分竖直导轨上,这种传递可被分解为压力和弯扭矩。

某型数控磨齿机结构示意图如图1所示。

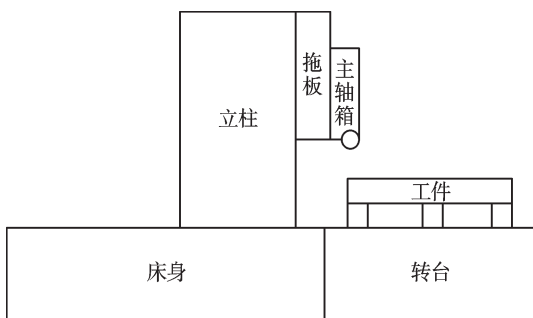


图1 某型数控磨齿机结构示意图

其基本力学公式为:

$$N_{\text{总}} = G_1 + G_2 + G_3 + F_M \quad (1)$$

$$M_{\text{总}} = M_2 + M_3 + M_M \quad (2)$$

式中: $N_{\text{总}}$ —立柱所受的总压力, G_1 —立柱的自重, G_2 —由拖板的自重带来的集中载荷, G_3 —由主轴箱自重带来的集中载荷, F_M —由磨削力传递给立柱导轨的压力, $M_{\text{总}}$ —立柱所受的总弯矩和总扭矩, M_2 —对立柱施加拖板的自重带来的集中载荷发生力偏移带来的弯矩和扭矩, M_3 —对立柱施加主轴箱的自重带来的集中载荷发生力偏移带来的弯矩和扭矩, M_M —对立柱导轨施加铣削力产生力偏移带来的弯矩和扭矩。

这些载荷会使立柱产生扭转和变形。

1.2 施加边界条件

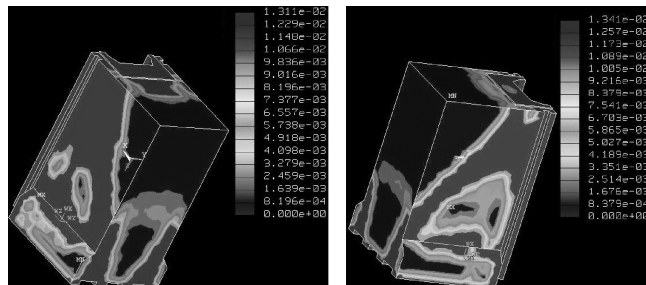
立柱通过导轨结合立在床身上,通过丝杠带动立柱在床身上做前进和后退。本研究不考虑床身和立柱接合面的受力关系,把立柱在床身上进行的前、后进给运动看作匀速运动,因此本研究对立柱底部导轨面进行全约束。

2 对立柱外壳进行拓扑优化

本研究设定立柱四周壁厚为35 mm,清除立柱内部

筋板布置,立柱使用的材料为灰铸铁;密度7 800 kg/m³;弹性模量210 GPa;泊松比0.3。本研究采用自由网格划分并对立柱的外壳进行拓扑优化。对立柱外壳进行拓扑分析时,同时设定拖板位于立柱导轨的顶端。

立柱外壳拓扑分析结果如图2所示。



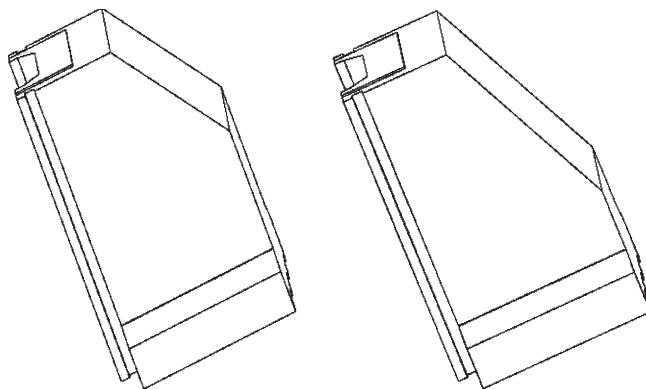
(a) 去除材料50%时的结果

(b) 去除材料70%时的结果

图2 立柱拓扑分析的结果

从拓扑分析的结果来看,立柱的外壳有部分区域对载荷路径的分布没有影响。本研究由此对立柱的壳体提出两种新的设计方案。这两种方案是根据拓扑优化时去除材料百分比的不同而得到的。

立柱壳体改进方案如图3所示。



(a) 设计方案1(斜角45°)

(b) 设计方案2(斜角26.25°)

图3 立柱壳体改进方案

本研究结合壳体形状和对立柱拓扑分析时载荷路径的分布,所提出的新的筋板布置方案如图4所示。

3 几种筋板布局方案和原立柱的比较

为了使评估的结果更加简洁明了,本研究提出以下性能指标要求^[1]:

(1) 由于立柱载荷一定,刚度指标可以转化为变形指标;

(2) 为了使实际变形数值更加明显,不单独考虑横向与垂向的变形,而是考虑综合变形,且只考虑竖直导轨上最大的节点位移。

因此,最终评价指标为: δ_{max} 及 $1/(\delta_{\text{max}} \cdot m)$ 。

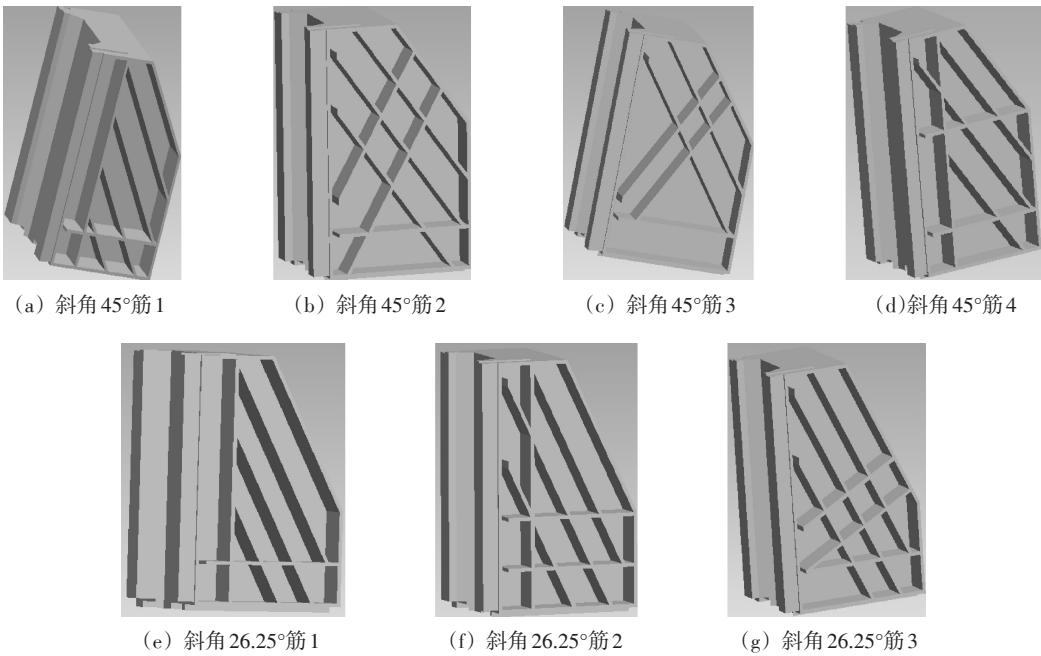


图4 立柱筋板的几种布置方案

其中： $\delta_{\max}$ —滑块上节点最大静态位移； m —结构质量。

3.1 静力分析

本研究对这8种不同结构的立柱进行静力分析时,假设拖板位于立柱导轨的顶端。静力分析结果如表1所示。从表1中数据观察,8种结构质量刚度比相差不大,而斜角45°筋1立柱是这8种结构中最优的,其次是26.25°筋1型立柱。利用ANSYS软件对斜角45°筋1型和斜角26.25°筋1型这两种筋板布置的立柱进行静力分析,其结果如图5所示。

3.2 模态分析

模态分析结果如表2所示。因为对系统振动影响较大的主要是低阶固有频率,本研究提取前三阶固有

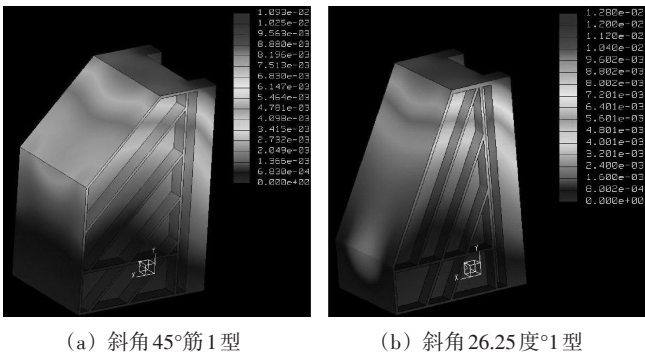


图5 优化后两种立柱静力分析的结果

频率进行分析。从表2可以看出,改进后的立柱结构固有频率多数要优于原结构。

结合上述静力分析的结果,斜角45°筋1型和斜角

表1 对8种不同筋板布置方式立柱的静力分析

	斜角 45°筋 1 型	斜角 45°筋 2 型	斜角 45°筋 3 型	斜角 45°筋 4 型	斜角 26.25° 筋 1 型	斜角 26.25° 筋 2 型	斜角 26.25° 筋 3 型	原立柱 模型
质量刚度比/(N·μm ⁻¹ ·kg ⁻¹)	0.035 47	0.034 82	0.035 14	0.034 43	0.035 44	0.033 30	0.033 54	0.035 30

表2 固有频率分析结果

	一阶固有频率/Hz	二阶固有频率/Hz	三阶固有频率/Hz
斜角 45°筋 1 型	131.62	172.13	275.71
斜角 45°筋 2 型	112.54	159.79	266.15
斜角 45°筋 3 型	125.04	164.78	269.82
斜角 45°筋 4 型	122.65	171.61	275.64
斜角 26.25°筋 1 型	137.53	173.80	290.19
斜角 26.25°筋 2 型	130.39	170.28	286.13
斜角 26.25°筋 3 型	136.53	169.40	289.05
原立柱模型	119.85	139.65	229.19

26.25°筋1型这两种筋板布置的质量刚度比要优于原立柱模型,其中斜角45°筋1型的质量刚度比是最优的;而斜角26.25°筋1型立柱的固有频率要比斜角45°筋1型立柱高。并且斜角45°筋1型立柱的质量比原立柱模型减少6.56%,斜角26.25°筋1型立柱的质量比原立柱模型减少9.83%。

4 结束语

本研究对原有立柱模型的壳体进行了拓扑分析,通过去除材料的不同百分比,获得不同的结果;对壳体提出了两种不同的设计方案。笔者结合拓扑分析得出的载荷路径和新的壳体方案,给出了7种不同的新筋板布置方式。

通过对新、旧结构进行静力分析和模态分析发现,斜角45°筋1型和斜角26.25°筋1型这两种筋板布置的质量刚度比要优于原立柱模型,其中斜角45°筋1型的质量刚度比是最优的;斜角26.25°筋1型立柱的一阶固有频率比原模型提高12.86%,而斜角45°筋1型立柱的一阶固有频率比原模型提高9.09%;斜角45°筋1型立柱的质量比原立柱模型减少6.56%,斜角26.25°筋1型立柱的质量比原立柱模型减少9.83%。技术人员可在加工精度要求较高的场合选用斜角45°筋1型立柱,在加工精度要求不高的场合选用斜角26.25°筋1型立柱。

本文引用格式:

金美付,张正伟,吴洪彬,等. 成形磨齿机床立柱结构的拓扑优化研究[J]. 机电工程,2014,31(8):1045-1048.

JIN Mei-fu, ZHANG Zheng-wei, WU Hong-bin, et al. Topology optimization for structure of gear form grinding machine[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(8): 1045-1048.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

参考文献(References):

- [1] 倡国宁,余跃庆,杨建新,等. 基于SAMCEF Mecano的龙门式加工中心动刚度的仿真分析及立柱截面结构优化[J]. 控制与检测, 2010(9): 73-78.
- [2] 林丹益,李 芳. 基于ANSYS的结构拓扑优化[J]. 机电工程, 2012, 29(8): 898-901.
- [3] 金梅珍. 装载机用万向传动轴有限元分析及结构改进[J]. 机电工程, 2013, 30(6): 711-713.
- [4] 沈媛媛,李全普,段周波. HDB-63高速卧式加工中心立柱动静态特性有限元分析[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2011(8): 13-15.
- [5] 辛志杰,徐燕申,满 佳,等. 基于有限元分析的数控铣齿机立柱动、静态设计[J]. 中北大学学报, 2006, 27(6): 56-58.
- [6] 朱育权,千学明,林晓萍. 1CL50型机床立柱振动模态分析[J]. 西安工业大学学报, 2007, 27(3): 215-219.
- [7] 任小中,邓效忠,苏建新,等. 数控成形磨齿机计算机辅助模块化设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(2): 144-146.
- [8] 丛 明,易 红,汤文成,等. 机床床身结构的有限元分析与优化[J]. 制造技术与机床, 2005(2): 47-50.
- [9] 杨 萍,贺小明. ANSYS与Pro/E间无缝连接的应用研究[J]. 机械设计与制造, 2006(1): 58-60.
- [10] 陆健中,孙家宁. 金属切削原理与刀具[M]. 北京:机械工业出版社, 1984.
- [11] 舒 敏,洪荣晶,黄筱调. 高速铣齿机床主轴箱结构的有限元法分析[J]. 设计与研究, 2005, 32(6): 27-28.
- [12] 马 超,马雅丽,赵宏安,等. VHT800立式车铣加工中心立柱结构静动态优化及轻量化设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2011(3): 11-15.

[编辑:程 浩]

(上接第1044页)

参考文献(References):

- [1] 丁小甦,孙为群,韩殿青,等. Q/DFLCJ 1475-2011, AMT离合器执行器气动电磁阀性能要求及测试方法[S]. 东风汽车有限公司东风商用车技术中心商品开发部, 2011.
- [2] 李继山,胡万华,林祐亭,等. 基于ANSYS的EP电磁阀静态性能仿真分析[J]. 中国铁道科学, 2005, 26(5): 72-74.
- [3] 李泉凤. 电磁场数值计算与电磁铁设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2002.
- [4] 林锡忠. 直流电磁轭铁心截面积对激励电流和磁通的影响[J]. 无损检测, 2009, 31(6): 448-450.
- [5] 邱 宇,何毅斌,刘诗文,等. 基于SimulationX气动开关电

磁阀动态特性仿真研究[J]. 机械研究与应用. 2012(6): 103-106.

- [6] 向 忠,陶国良. 气动高速开关阀关键技术研究[D]. 杭州:浙江大学机械与能源工程学院. 2010.
- [7] 刘新亮,张建武,陈兆能. 高速开关阀功率驱动特性研究及电路实现[J]. 液压气动与密封, 1998(2): 9-11.
- [8] 阮晓芳,孔晓武,尹学松. 高速开关阀驱动电路的仿真与试验研究[J]. 机电工程, 2011, 28(2): 209-211.
- [9] 裴晓勇. 提高电磁阀性能的技术措施[J]. 机电工程, 1994(1): 30-32.

[编辑:洪炜娜]