

文章编号: 1006-852X(2007)06-0027-04

桥式金刚石圆盘锯横梁静动态性能仿真研究

袁 杰^{1,2} 张进生^{1,2} 王 志^{1,2} 鞠修勇^{1,2} 王培磊^{1,2}

(1 山东大学机械工程学院, 济南 250061)

(2 山东省石材工程技术研究中心, 济南 250061)

摘 要 在研究分析桥式金刚石圆盘锯结构、功能的基础上, 对金刚石圆盘锯横梁结构进行重新设计以达到降低生产成本的目的。充分利用了 CAD设计的全参数化和在一定条件下的 CAD和 CAE自由传递的特性, 对建立的横梁模型运用有限元方法进行了静、动态仿真分析, 通过多次改进横梁结构布局建立方案模型来进行仿真研究, 最终得出了一种较为合理的结构设计方案。本文结合其它三种改进方案一起进行了具体分析研究, 该方案的实施不仅可满足设计要求, 而且可使横梁质量减轻约 24%, 降低了成本, 提高了设备的市场竞争力。

关键词 有限元; 金刚石圆盘锯; 横梁; 仿真

中图分类号 TQ164 **文献标识码** A

Simulation and research on static and dynamic properties of crossbeam bridging diamond circular saw

Yuan Jie^{1,2} Zhang Jinsheng^{1,2} Wang Zhi^{1,2} Ju Xiuyong^{1,2} Wang Peilei^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering Shandong University Jinan 250061, China)

(2. Stone Engineering Center of Shandong Province, Jinan 250061, China)

Abstract Based on analysis of structure and function of bridging diamond circular saw and in order to reduce the manufacture costs, the crossbeam structure of diamond circular saw was redesigned. Making the best of the full parameter design of CAD and free transfer between CAD and CAE, the static and dynamic properties of diamond circular saw crossbeam model were simulated by using finite element method. At last a quite reasonable structure design scheme was gained through simulating several kinds of scheme models which were built by improving on the crossbeam structure layout time after time; furthermore three other improvement schemes were analysed and compared. It is found that implement of this last scheme can not only meet the design needs but also lighten about 24% crossbeam masses, thus reduce the cost and improve the market competitive power of the equipment.

Keywords finite element; diamond circular saw; crossbeam; simulation

0 引言

在石材加工中, 由于金刚石圆盘锯结构合理, 设备规格多, 使用成本低、工作平稳、切割效率高、切割表面平整光洁、成材率高、无机械破碎和适应面广等诸多优点, 而得到广泛普及与大量使用。目前金刚石圆盘锯的生产技术比较成熟, 生产厂家较多, 竞争比较激烈, 企业不得不降低价格来分享市场, 利润空间越来越小。要想赢得更多的利润, 需降低设备成本, 在不影响设备性能的前提下减轻设备重量, 是降低成本的首选。

横梁是桥式金刚石圆盘锯一个重要大件, 横梁的结构尺寸和布局形式决定其本身的静动态特性, 而这些特性对设备的性能影响很大, 体现在加工精度、抗振性、使用寿命等, 减重是否会引起一系列问题, 需要精确的计算来保证。传统的横梁设计尚处于经验、静态、类比的设计阶段, 无法做到合理设计, 利用有限元拓扑优化方法, 可以合理确定筋板的位置和形状, 但由于横梁结构的复杂性, 会使整个优化过程十分复杂, 本文利用 CAD模型与 CAE模型传递方便的特点, 在模拟仿真的环境中, 对横梁模型进行了设计、计算、再设计、再计

算,直至改进得到满意设计方案。

1 理论模型建立

有限元法实质上是把具有无限自由度的连续系统,近似等效为只有有限自由度的离散系统,使问题转化为适合于数值求解的数学问题。对静力学的有限元理论研究已经较多,本文简单阐述动力学的动态特性方面的理论分析基础。由于横梁的结构较为复杂,不能用解析法求得其振动模态,只能借助于有限元方法,横梁振动模态求解的基本原理如下:

有限元模型的自由振动方程可写为

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\} \tag{1}$$

式中, $[M]$ 为横梁有限元模型的总体质量矩阵;
 $[K]$ 为横梁有限元模型的总体刚度矩阵; $\{x\}$ 为横梁位移列阵。

于是横梁自由振动的各阶固有圆频率 ω_i ($i=1, 2, \dots, n$ 其中 n 为横梁有限元模型的自由度数) 由以下特征方程式求得

$$|[K] - \omega^2 [M]| = 0 \tag{2}$$

第 i 阶固有圆频率 $\omega_i = \frac{k}{m_i}$ 即固有频率 $f = \frac{1}{2\pi}$

$\sqrt{\frac{k}{m_i}}$
当 ω_i 为特征方程式 (2) 的重根时, 把它代入方程 $([K] - \omega^2 [M])\{X\} = 0$ (3)
解得 $\{X\}$ 即为对应的各振型。

2 结构分析与简化

在有限元软件中,一般不直接用原来完整的 CAD 模型来完成建模,因为复杂模型的直接传递可能会使 CAE 软件无法生成,为了使转化得以实现,需对 CAD 模型进行修改和简化,比如加工、装配等工艺的需要,横梁上很多细小的结构特征如倒角、圆角和小孔等,这些特征尺寸很小,如果精确建模,将使分析计算时单元尺寸过小、数目增多,造成计算量过大,耗费大量的计算时间,同时对计算机的硬件提出了更高的要求,由于这些特征对结构整体的性能影响很小,建模时应进行简化或加以忽略。

图 1 所示为某桥式金刚石圆盘锯结构与应用示意图。该设备的横梁内部筋板较多,结构也相对复杂,在 ANSYS 中直接建模较困难,采用 CAD/CAE 集成技术,运用 SolidWorks 三维软件建立原横梁简化实体模型,图 2 为该桥式金刚石圆盘锯横梁简化模型,以 IGS 文件导入 ANSYS 有限元软件中,建立起有限元模型进行

模拟仿真。

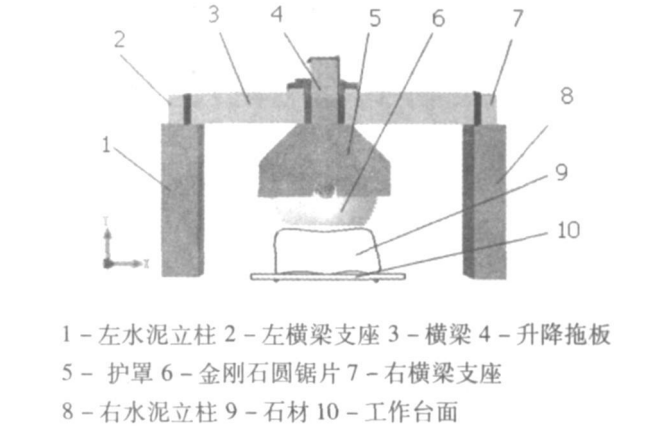


图 1 金刚石圆盘锯结构与应用示意图

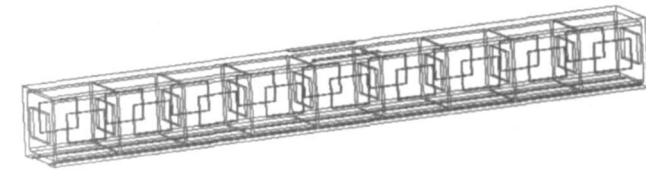


图 2 原横梁简化模型

3 仿真研究

在 ANSYS 软件环境下,在网格划分以前,首先确定有限元模型的单元类型、单元常数以及单元的材料特性等。该横梁的材料为铸件,对应的材料特性如表 1 所示,选用 SOLID45 单元对模型进行自由网格划分。

表 1 横梁材料参数

横梁材料	弹性模量 (GPa)	密度 (kg/m³)	泊松比
HT200	130	7000	0.25

横梁的两端面通过螺栓与横梁座连接,由于只对横梁进行分析,因为在横梁与横梁支座的接合面上施加约束。从设备的结构看,横梁在静态下需承受占设备的总重约有一半以上整套拖板部件和动力装置的重,当这些重量集中在中间位置时,横梁的竖直变形最大,因此把整套拖板部件和动力装置的集中重量载荷施加在横梁模型中部。

最后通过求解得到该模型的静态分析结果,图 3 为横梁的合成位移图,由于横梁主要受到垂直 Y 方向外载荷,因此该方向位移变形最大。

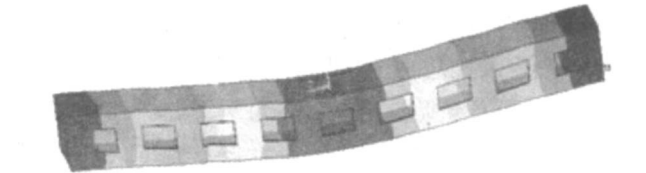


图 3 横梁合成位移图

横梁动态分析的重点是横梁的固有频率及振型。该金刚石圆盘锯的工作电机额定转速为 1450 r/min,通过带轮传动给锯片的转速为 320 r/min,因此设备的激振频率不高,只有最低几阶模态的固有频率才有可能与激振频率重合或接近,因而这里只需对前 4 阶进行分析。运用 ANSYS 软件提供的七种模态分析算法之一的 Subspace 法进行模态求解,该方法对横梁提取模态阶数少,精度高,通过求解,得前 4 阶振型如图 4 所示。

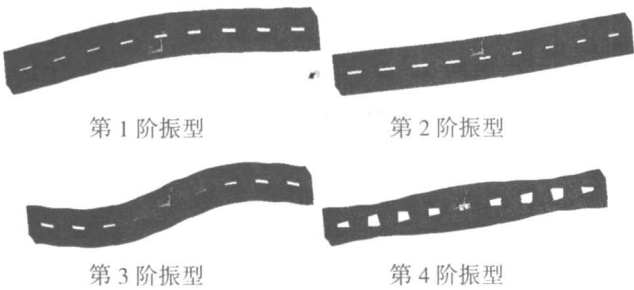


图 4 原横梁有限元模型前 4 阶振型

从原型静动态仿真结果中发现,横梁静动态变形主要集中在竖直方向,因而保持该方向刚度的同时减轻横梁重量是本文的研究思路。本文在得到原模型动静态设计参数后,以这些参数为依据,在不改变横梁外形尺寸的前提下,通过反复调整横梁结构布局如修改壁厚、孔的尺寸与加筋等可建立起多种横梁改进模型并进行仿真研究,最终得到理想设计方案,这里又选其三种改进方案放在一起进行比较分析,其目地是让这些改进模型的技术参数控制在原模型范围内,并且尽可能减轻横梁重量。表 2、表 3 分别为横梁各方案的最大位移变形量与前 4 阶固有频率。

表 2 横梁各模型最大位移变形量

方案	原型	一	二	三	四
最大变形位移 (mm)	0.1762	0.1612	0.1763	0.1561	0.1719

表 3 横梁各模型前四阶固有频率 (Hz)

方案	重量 (g)	第 1 阶频率 (Hz)	第 2 阶频率 (Hz)	第 3 阶频率 (Hz)	第 4 阶频率 (Hz)
原型	1 487	81.20	106.37	169.01	181.10
一	1 381	85.33	99.23	176.87	177.68
二	1 373	85.70	106.02	180.50	187.45
三	1 138	96.87	97.01	195.82	208.87
四	1 122	92.87	96.29	187.99	197.22

通过对表 2、表 3 的分析,各个改进方案的最大变形位移变形量都在设计要求范围内,而且各方案动态

特性相对原横梁模型没有多大变化,但是从质量方面上看,相对原型而言有了很大的差别,减重最多的是方案四,外形如图 5 所示,减重约达 360 kg,约占原横梁总重 24%,因而方案四在四个改进方案中最理想,图 6 为该模型的前 4 阶振型,其第 1 阶和第 2 阶振型和原横梁模型相同。

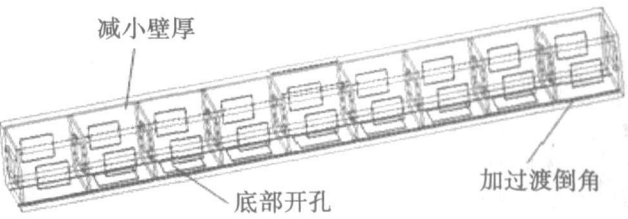


图 5 方案四模型

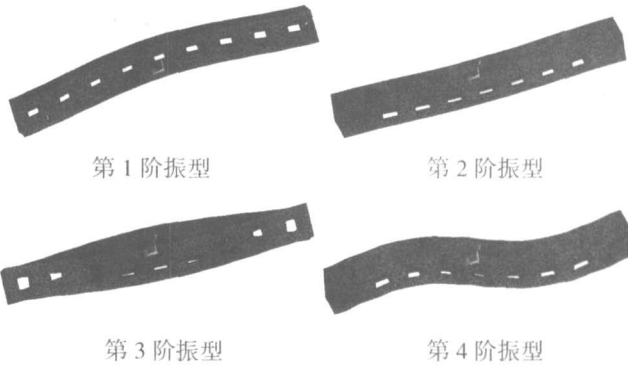


图 6 方案四有限元模型前 4 阶振型

4 结 论

(1) 本文采用 CAD/CAE 集成技术,充分利用了 CAD 设计的全参数化和在一定条件下的 CAD 和 CAE 自由传递的特性,基于有限元法对圆盘锯的横梁模型进行反复改进设计与计算,经济、迅速地达到设计目的。

(2) 理论与结构模型建立后,在仿真环境下进行研究,不需要很多研究设备就能够在方案设计阶段对产品进行特性预测及改进,提高了产品一次开发成功的概率,缩短了产品开发周期,节约了开发成本。

(3) 横梁结构布局的改变直接影响到横梁的静动态特性,通过合理的调整不仅可以降低横梁重量,同时仍能使静动态特性满足设计要求。通过反复研究最终得出的方案不仅满足了设计要求,而且大大节约了原材料,使横梁质量减轻了约达 24%,降低了设备生产成本,提高了设备的市场竞争力。

参考文献

[1] 汤文成. 工程结构分析的现状与应用的若干问题[J]. 计算机辅助

设计与制造, 1996(10): 17—19

[2] 汤文成, 易红, 唐寅. 机床大件结构的拓扑优化设计[J]. 东南大学学报, 1996(5): 22—25

[3] 赵经文等. 结构有限元分析[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 5: 137—139

[4] 周宁. ANSYS机械工程应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 5: 139—191

[5] 章正伟, 丰二中. XK717数控铣床立柱结构动态特性分析[J]. 机械工程师, 2006(4): 47—48

[6] 张宪栋, 徐燕申, 林汉元. 基于 FEM 的数控机床结构部件静态设计[J]. 机械设计, 2005: 5: 46—48

[7] 卢熹, 孙庆鸿等. CK1416型数控车床床身结构动态优化[J]. 机床与液压, 2003(2): 124—125

[8] 倪振华. 振动力学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1989: 5: 35—

作者简介

袁杰, 男, 1981 年出生, 山东大学 (济南, 250061) 机械工程学院硕士研究生。

张进生, 男, 1962 年出生, 山东大学 (济南, 250061) 机械工程学院教授、博士生导师。主要从事制造过程自动化、新型建材与建设机械和石材工程技术方面的研究开发, 取得成果 20 余项、专利 12 项, 获省部级奖励 10 余项。出版著作 12 部, 发表论文 70 余篇。

E-mail: zhangj@sdj.edu.cn

收稿日期: 2007—09—07

(编辑: 张慧)

(上接第 26 页)

(2) 预先采用酸短时间腐蚀掉钻头表面的钴, 不降低表面硬度, 提高表面粗糙度, 避免等离子体过程中在 WC 表面形成低附着力的硼化物。有利于金刚石薄膜附着力的提高;

(3) 采用等离子体处理, 在表层形成硼化物层, 有利于提高金刚石薄膜附着力。

致谢

感谢湖北省教育厅重点项目 (2007) 以及江苏省薄膜材料重点实验室对本项目的资助

参考文献

[1] 吕反修. CVD 金刚石膜的产业化应用与目前存在的问题[J]. 新材料产业, 2003: 7: 63—67

[2] Lin C R, Kuo C T, Chang R M. Improvement in adhesion of diamond film on cemented WC substrate with Ti—Si interlayer[J]. Diamond Relat Mater, 1998: 7: 1628—1632

[3] Man W D, Wang J H, Ma Z B et al. Plasma boronizing of WC (Co) substrate as an effective pretreatment process for CVD diamond[J]. Surface and Coatings Technology, 2003: 171: 241—246

[4] 王四根, 唐伟忠, 吕反修. 硬质合金表面渗硼处理对 CVD 金刚石

涂层形成的影响[J]. 金属热处理, 1998: 10: 1—2

[5] 王传新, 汪建华, 满卫东等. 钛过渡层与硬质合金基体表面结合状况对金刚石薄膜附着力的影响[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2004: 3: 10—13

[6] 刘学深, 孙方宏, 陈明等. 微波等离子体刻蚀对 WC—Co 硬质合金基体金刚石薄膜附着力的影响[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2001: 5(125): 5—8

[7] sen H, Ahmed W, Jackson M et al. Enhancing nucleation density and adhesion of polycrystalline diamond films deposited by HFCVD using surface treatment on Co cemented tungsten carbide[J]. Diamond Relat Mater, 2004: 13: 610—615

作者简介

邢文娟 女, 硕士, 武汉工程大学湖北省等离子体化学与新材料重点实验室硕士研究生, 主要研究方向: 等离子体技术与涂层

王传新 男, 博士, 武汉工程大学湖北省等离子体化学与新材料重点实验室教授。主要研究方向: 表面硬质涂层

王升高 男, 博士, 武汉工程大学湖北省等离子体化学与新材料重点实验室教授。主要研究方向: 等离子体技术与涂层

收稿日期: 2007—08—10

(编辑: 王琴)

提供金刚石、CBN 电镀设备

一、金刚石、CBN 电镀镀层厚度控制仪。

二、金刚石、CBN 电镀滚镀机。

联系电话: 13303712969 0371—67670310