

文章编号: 1006-852X(2009)03-0072-05

振动模态测试技术在金刚石圆盘锯横梁结构优化的应用研究^{*}

王 志 张进生 鞠修勇

(山东大学机械工程学院, 济南市经十路 73号, 250061)

(山东省石材工程技术研究中心, 济南市经十路 73号, 250061)

摘 要 通过实验模态测试与有限元理论分析相结合的方法, 对金刚石圆盘锯的模态特性进行了研究, 分别获取了金刚石圆盘锯的各阶固有频率, 并用模态测试的实验数据验证、修正了有限元分析的理论模型, 以准确的有限元理论模型为基础对金刚石圆盘锯的横梁部件进行了结构优化设计研究。减少了金刚石圆盘锯横梁的刚度冗余, 在保证横梁静、动态性能略有提高的条件下, 实现横梁的减重设计要求。

关键词 金刚石圆盘锯; 模态测试; 固有频率; 有限元分析

中图分类号 TG74 TQ164 **文献标识码** A

Application of modal testing technology in optimization
design of diamond circular saw beam

Wang zhi Zhang Jinsheng Ju Xiuyong

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

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

Abstract The modal properties of diamond circular saw were studied by the combination of modal testing and finite element analysis. The natural frequencies of diamond circular saw were obtained and the theoretical model of finite element analysis was validated and updated by the experimental data of modal testing. Based on correct finite element model, optimization design was carried on the beam of diamond circular saw in order to reduce the redundancy of stiffness and achieve weight loss in condition that the static and dynamic properties of beam be increased slightly.

Keywords diamond circular saw; modal test; natural frequency; finite element analysis

0 概述

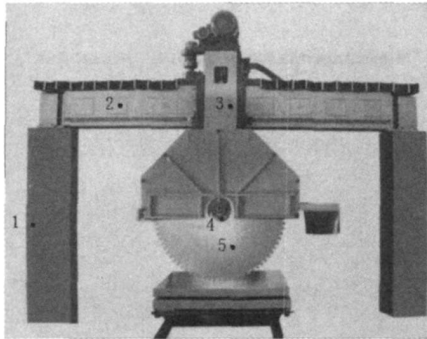
金刚石圆盘锯是广泛应用于石材加工领域的高效切割锯机, 如图 1 所示, 随着石材行业市场竞争的日趋激烈, 单纯依靠降低价格增加销量的“价格战”策略已不能为各石材机械生产厂家带来更多的经济效益。分析金刚石圆盘锯机结构特点, 通过优化其结构来减少

材料使用、降低生产成本和提高性能, 从而提升产品市场竞争力已是势在必行。

随着振动测试理论及计算机技术的进步, 振动模态测试技术在各个领域得到了广泛的应用; 在现阶段, 用理论与实验相结合的方法对机械设备的动态特性进行研究以逐步达到优化设计, 是机械设备结构改进及动态性能研究的一个重要发展趋势。本文对选定型号

*山东省自然科学基金资助项目 (Z2007F07, Y2007F34)

设备进行动态实验分析的同时, 运用软件建立设备的理论模型, 并进行分析、计算, 通过实验结果与软件计算结果的对比分析, 验证建立的理论模型的正确性, 并由实验结果来修正理论模型的建立过程, 使理论模型能够更为准确的模拟出设备实际的振动特性, 最后以修正后的理论模型为基础对设备进行结构优化设计。本文选取对金刚石圆盘锯性能影响最大的关键件——横梁作为对象进行分析研究。



1—底座 2—横梁 3—托板系统 4—主轴 5—金刚石圆锯片

图 1 金刚石圆盘锯结构图

1 金刚石圆盘锯振动模态测试

丹麦 B&K 公司是国际上最大的声学、振动测量分

析仪器的研究及制造公司, 已具有六十年的历史和丰富的经验, 其生产的振动测试、分析系统操作便捷、结果准确, 能够实现实验的测试内容及目的, 因而本文选用丹麦 B&K 公司生产的 PULSE7700 系统进行金刚石圆盘锯振动模态测试, 如图 2 所示。

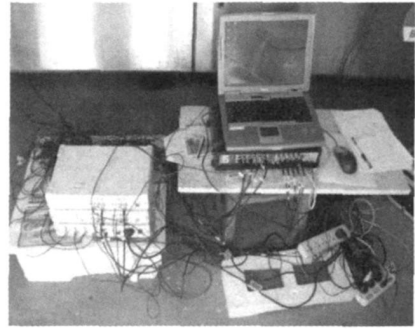


图 2 实验设备

采用锤击法进行激振, 在对振动影响较大的金刚石圆盘锯横梁、拖板系统、主轴、锯片上分别设置振动响应测点并布置加速度传感器, 在力锤的激励下, 通过加速度传感器测得整机及其关键零部件的振动加速度信号, 经电荷放大器放大和滤波器滤波后传回信号采集分析仪, 通过软件读取信号频率响应图, 进而通过分析获得金刚石圆盘锯各关键零部件的各阶固有频率, 结果如表 1 所示。

表 1 振动模态测试实验结果

测试 部件	各阶固有频率													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
主轴	13	24	82	86	218	245	389	—	—	—	—	—	—	—
拖板	13	24	65	86	218	245	258	326	389	—	—	—	—	—
横梁	69	86	92	148	187	212	266	291	335	348	—	—	—	—
锯片	11	24	70	86	145	193	214	245	258	284	303	321	338	389

2 金刚石圆盘锯横梁有限元理论分析

横梁作为质量最大的零件在金刚石圆盘锯整机中的地位是举足轻重的, 其对静态和动态性能的影响也是显而易见的, 选择横梁进行结构优化设计其效果也最为明显, 因而本文选择横梁作为研究对象。

对横梁进行有限元理论分析, 主要进行静态的变形和应力分析以及动态的模态分析; 通过静力分析获取横梁在设备静力作用下的变形和应力分布情况; 通过模态分析获取横梁低阶的固有频率和振型; 作为进行横梁结构优化设计的初始依据。

本文采用在 SolidWorks 软件中建立横梁的三维简化模型, 如图 3 所示, 并用三维软件获取横梁简化模型的质量, 然后保存为 .iges 格式文件导入有限元软件 ANSYS 中。

进入 ANSYS 后, 设定 ANSYS 分析类型为结构分析; 选用三维实体单元 solid45 来建立横梁的有限元模型, 采用自由网格的方式来进行横梁的网格划分; 如图 4 所示。

按照横梁在设备中的实际装配条件和载荷条件对横梁有限元模型进行施加约束和载荷, 并进行分析。获取横梁原模型的前 5 阶固有频率和振型如图 5 所示。

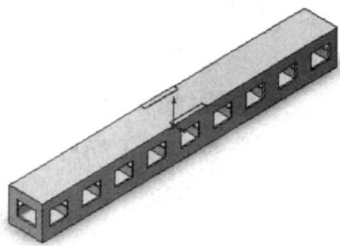


图3 横梁三维结构图



图4 横梁网格划分图

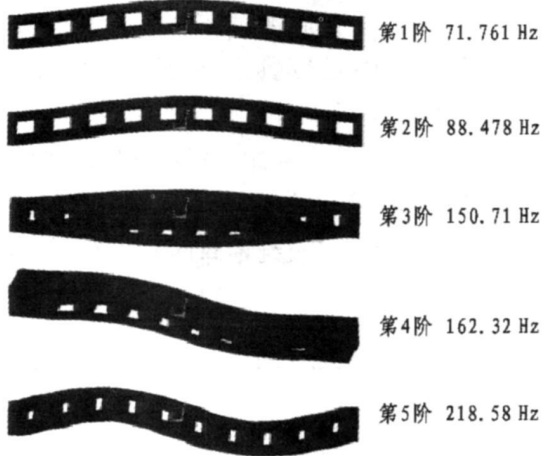


图5 横梁原模型模态振型图

表2 横梁有限元分析结果

零件	质量 kg	最大变形量		最大应力		前五阶模态固有频率 /Hz				
		mm	位置	MPa	位置	1	2	3	4	5
横梁	1657	0.2262	中央底部	14.646	中央底部	71.761	88.478	150.71	162.32	218.58

经过简单分析发现,横梁存在一定的刚度冗余,通过结构改进,可以在保证横梁原性能条件下减轻其质量,从而降低生产成本。因而对选定型号的金剛石圆盘锯原横梁进行有限元结构优化设计是很有必要的。

3 对比分析

横梁振动模态测试实验结果与有限元模态分析结果对比如表3所示。

横梁静力分析变形结果如图6所示,横梁静力分析应力分布如图7所示。

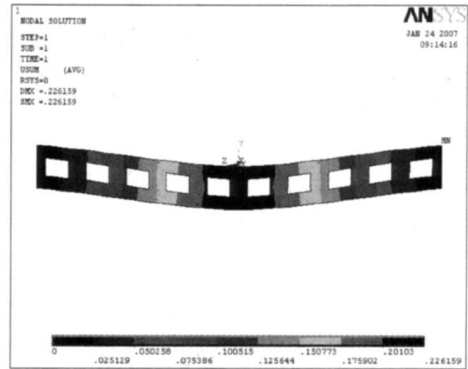


图6 横梁原模型变形图

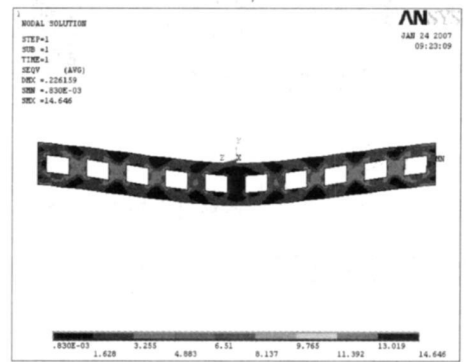


图7 横梁原模型应力分布图

横梁原模型的前5阶固有频率及静态的最大位移、最大应力值及其发生位置如表2所示。

表3 有限元结果与实验结果相近阶次比较

内容	模态固有频率 /Hz				
	1	2	3	4	5
横梁有限元分析结果	71.761	88.478	150.71	162.32	218.58
横梁模态实验结果	69	92	148	187	212

由表3可以看出,横梁有限元模态分析的结果与模态实验测试的结果相比,除去个别阶次频率的缺失,

大部分的低阶模态固有频率都能找到与实验结果相近的频率值, 这说明对横梁进行有限元模态分析的建模过程和求解结果是基本正确的, 具有较高的建模精度; 两者的数据存在一定的差异是因为对横梁的三维模型进行了一定程度的简化造成的, 另外横梁模态实验与有限元模态分析所用的约束条件不同也会对分析结果产生一定的影响。

总体而言, 横梁有限元模态分析的结果与横梁模态实验结果是相近的, 为建模和减少分析时间采用的简化手段对有限元模态分析的结果影响不大, 如表 4 所示, 有限元模态分析得到的 71.761、88.478、150.71、162.32、218.58 等频率值分别与模态实验结果中的 69、86、148、187、212 等频率值相近, 最大误差不超过 14%, 对于横梁这一复杂的大结构件来说是比较准确的, 横梁有限元模态分析基本反映出了横梁实际的动态特性。

表 4 横梁有限元分析结果与模态实验结果相近频率值比较表

有限元阶次	有限元模态频率值 /Hz	模态实验阶次	模态实验频率 /Hz	误差
1	71.761	1	69	4.0%
2	88.478	2	86	2.9%
3	150.71	4	148	1.8%
4	162.32	5	187	13.1%
5	218.58	6	212	3.1%

4 横梁有限元优化设计

横梁有限元优化设计的目的是在保持横梁静态、动态性能不变或略有提高的前提下, 最大限度的减小横梁的质量, 从而降低零件及设备的制造成本, 提高其市场竞争力。

以原横梁有限元静力和模态分析结果作为依据, 首先在三维软件 SolidWorks 中修改横梁的三维虚拟模型, 修改时同样采用简化模型, 通过修改横梁的壁厚, 调整筋板厚度和筋板布置形式等方法获取不同的三维模型方案, 并用软件计算横梁的质量, 与原横梁模型质

量进行对比, 小于原模型质量的方案作为有效方案;

将有效方案保存为 *iges* 文件导入到 ANSYS 中, 进行有限元静力和模态分析, 保存分析结果, 并与原模型的有限元分析结果进行比较分析, 质量较原模型小并且静态、动态性能基本不变或优于原模型方案的, 作为优化方案; 以优化方案为依据, 进一步修正三维模型, 获取新的有效优化方案, 逐步减小横梁质量, 获得一系列改进优化方案, 最终从中选取使横梁在保持静态、动态性能不变或略有提高的前提下质量最小的三维模型方案作为最优方案。

将最优方案的三维简化模型导入到 ANSYS 中进行有限元静态和动态分析, 位移和应力分布图如图 8、图 9 所示, 前 5 阶模态振型图如图 10 所示。

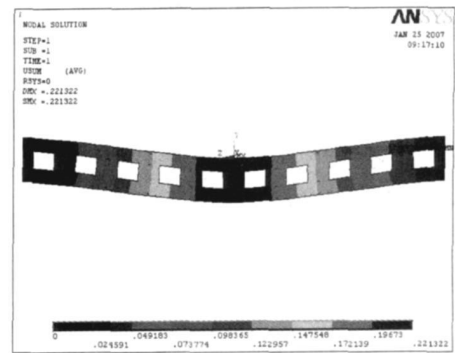


图 8 最优方案位移分布图

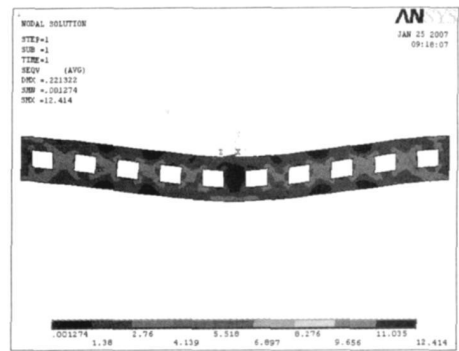


图 9 最优方案应力分布图

最优方案与横梁原模型有限元分析结果对比如表 5 所示。

表 5 最优方案有限元结果与原模型比较表

方案	质量 /kg	最大变形量		最大应力		前五阶模态固有频率 /Hz				
		mm	位置	MPa	位置	1	2	3	4	5
原模型	1.657	0.2262	中央底部	14.646	中央底部	71.761	88.478	150.71	162.32	218.58
最优方案	1.243	0.2213	中央底部	12.414	中央底部	82.125	82.517	169.92	177.94	192.77

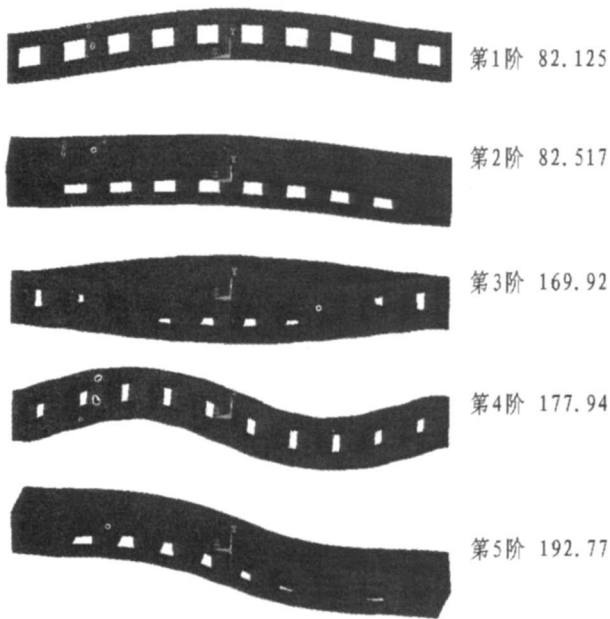


图 10 最优方案前 5 阶模态振型图

由表 5 可见, 最优方案与横梁原模型相比, 质量明显减小, 同时最大变形量和最大应力也比原模型小, 这是由于一方面改进后的横梁结构在减小质量的同时提高了刚度, 另一方面是由于原横梁结构刚度冗余、自重过大。

5 结论

(1) 通过实验模态测试与有限元理论分析相结合的方法, 对选定型号的金钢石圆盘锯的模态特性进行了研究, 分别获取了金钢石圆盘锯的各阶固有频率, 并用模态测试的实验数据验证、修正了有限元分析的理论模型, 最后以准确的有限元理论模型为基础对金钢石圆盘锯的横梁部件进行了结构优化设计研究。

(2) 针对金钢石圆盘锯横梁存在刚度冗余的现状, 通过对横梁进行结构优化设计, 在保证横梁静、动

态性能略有提高的条件下, 显著降低了横梁的质量, 实现了“减重设计”要求, 降低了横梁及整个设备的生产成本, 提高了其市场竞争力。

(3) 与原模型相比, 优化后横梁质量减轻 414 kg 接近原模型质量的 25%, 节约了制造成本, 横梁局部的优化提高了横梁毛坯的制造和加工性能。

参考文献

- [1] 袁杰, 张进生, 王志等. 桥式金钢石圆盘锯横梁静动态性能仿真研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2007(6): 27-30
- [2] 宋清华, 唐委校. 高速铣削系统动态实验方法研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2005(9): 21-23
- [3] 刘坤, 吴磊. ANSYS有限元方法精解[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004
- [4] 张亚欧, 谷志飞, 宋勇. ANSYS7.0有限元实用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004
- [5] 刘习军, 贾启芬, 张文德. 工程振动与测试技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 1999
- [6] 曹枚根, 徐忠根, 刘智勇等. 振动模态识别技术在输电塔线动力特性研究中的应用[J]. 电力建设, 2006 27(11): 22-25
- [7] 张海伟, 阎勤劳, 刘明光等. 数控机床动态性能的分析及其结构优化[J]. 制造技术与机床, 2006(5): 47-48

作者简介

王志, 男, 1964年生, 山东大学(济南, 250061)机械工程学院副教授。主要从事制造过程自动化和石材工程技术方面的研究。
通讯作者: 张进生, 山东大学机械工程学院教授 地址: 济南市经十路 73 号 邮编: 250061 E-mail: zhangj@sdu.edu.cn

(修回日期: 2008-12-1)

(编辑: 王琴)