

# 基于 ADMAS 的框架锯曲柄连杆机构仿真与设计研究

刘文超, 张进生, 王志

山东大学; 山东省石材工程技术研究中心; 高效洁净机械制造教育部重点实验室(山东大学)

**摘要:** 金刚石框架锯是锯解大理石板材的主要设备之一。本文利用分析软件 ADMAS 对金刚石框架锯曲柄连杆机构进行运动学与动力学仿真分析, 得到框架锯空载下锯框的运动行程、速度以及加速度关系, 优化了曲柄与连杆长度、曲柄转速, 从而提高框架锯锯切大理石板材的质量与效率。

**关键词:** 金刚石框架锯; 虚拟样机; 曲柄连杆机构; 仿真优化

中图分类号: TG56+1

文献标志码: A

## Simulation and Design of Crank-link Mechanism of Frame Gang Saw Based on ADMAS

Liu Wenchao, Zhang Jinsheng, Wang Zhi

**Abstract:** Diamond frame gang saw is the main equipment in the sawing of marble plates. This paper analyzed the kinematics and dynamics simulation of crank link mechanism of diamond frame gang saw based on ADMAS. obtained the relationship between travel route, velocity and acceleration of saw bow of frame gang saw when the machine is unloaded, and optimized the length of crank and link, the rotate speed of crank, thereby increased the quality and efficiency of frame gang saw in the sawing of marble plates.

**Keywords:** diamond frame gang saw; virtual prototype; crank-link mechanism; simulation optimization

## 1 引言

金刚石框架锯作为加工大理石大板的主要设备之一, 需求量较大, 性能要求较高。因此, 提高金刚石框架锯加工效率, 改善其运动性能十分必要。应

用虚拟样机技术设计金刚石框架锯可以实现虚拟样机无数次的仿真测试, 及时发现产品在设计、制造和使用中的各种缺陷并及时修正, 有利于降低新产品的开发风险, 缩短开发周期, 提高产品性能<sup>[1]</sup>。

本文以机械系统仿真软件 ADMAS 为平台, 对金刚石框架锯曲柄连杆机构进行了运动学与动力学仿真分析。结合仿真结果优化机构的参数, 提高了锯机的性能。

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(编号 Y2007F34)  
收稿日期: 2011年2月

通过对三种试样的渗层与基体的显微维氏硬度的测量, 可以发现: 未热处理的渗铝试样的渗层硬度比经过热处理的试样的渗层硬度高; 经过热处理的试样的基体硬度比未经过热处理的试样的基体硬度高; 渗层的硬度比基体的硬度高; 这与上述受力分析和能谱分析结果一致。

## 4 结语

针对三种工艺的试样, 通过拉伸试验、断口能谱分析、显微硬度分析等方法, 可以得到如下结论:

(1) 渗铝层硬度大于 45 钢基体硬度, 退火后渗层硬度下降。950℃退火后, 扩散层中疏松组织层含量大于 850℃退火, 使得扩散层总体的硬度值下降。

(2) 45 钢渗铝后抗拉强度和弹性模量明显增大, 950℃退火后抗拉强度略高于 850℃退火试样, 而弹性模量则相对较低。

(3) 试样为塑性拉断, 拉伸过程中疏松的扩散层从基体表面脱落, 与基体结合紧密的致密扩散层残

留于试样表面, 热处理温度较高(950℃)时, 脱落的疏松层厚度越大。

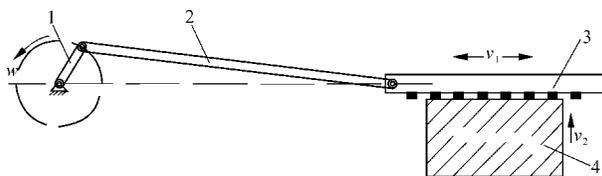
## 参考文献

- [1] 杨和梅, 陈云富. 45 钢热浸镀铝扩散退火后的结构与性能研究[J]. 江苏冶金, 2008(10): 20-22.
- [2] Xia Yuan, Yu Shengxue, Yao Mei, et al. Effect of diffusion on coating microstructure and oxidation resistance of aluminizing steel[J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2001, 11(6): 817-821.
- [3] Sung Ha Hwang, Jin Hwa Song, Yong Suk Kim. Effects of carbon content of carbon steel on its dissolution into a molten aluminum alloy[J]. Materials Science and Engineering, 2005, 39(4): 437-443.
- [4] 张伟, 范志康, 郭献军. 热浸镀铝钢渗铝层的微观组织及其形成机理研究现状[J]. 机械工程材料, 2006(1): 9-11.  
作者: 宋海潮, 硕士, 讲师, 南京工业职业技术学院, 210046 南京市

Author: Song Haichao, Master, Lecturer, Nanjing Institute of Industry Technology, Nanjing 210046, China

## 2 金刚石框架锯运动原理

框架锯机的主要机构是对心式曲柄连杆机构,其机构模型如图 1 所示。其中,  $W$  为曲柄转速,  $V_1$  为锯切速度,  $V_2$  为进给速度。曲柄连杆机构运动时,主电机带动飞轮转动,曲柄驱动连杆机构运动,连杆带动锯框做往复运动,通过锯齿与石材的摩擦实现对石材的切割。而进给运动则是荒料车向上运动,直至石材被完全锯切开。



1. 曲柄 2. 连杆 3. 锯框 4. 大理石荒料

图1 框架锯锯切运动简图<sup>[2]</sup>

## 3 金刚石框架锯建模

利用特征造型软件 SolidWorks 和机械系统动力学仿真分析软件 ADAMS 建立金刚石框架锯系统的曲柄连杆机构虚拟样机模型。

### 3.1 SolidWorks 建立金刚石框架锯模型

建立的金刚石框架锯模型应尽可能准确,但仿真模型在基本满足所有工况的条件下应尽可能简单<sup>[3]</sup>。本文采用 SolidWorks 三维实体设计软件完成的框架锯系统主要包括:飞轮、曲柄、主轴、连杆、锯框等主要部件。部件之间的连接件,像螺栓、螺母等可以省去。建立的框架锯虚拟样机模型中运动模块有关参数如表 1 所示。

表 1 框架锯样机主要技术参数

技术参数	数值
飞轮直径(mm)	3600
连杆长度(mm)	4430
曲柄长度(mm)	400
往复频率(次/min)	90

### 3.2 样机模型导入 ADAMS 中

ADAMS 与 SolidWorks 软件之间的图形数据数据通过中间格式文件实现转换,常用的转换文件格式有 Iges、Step、Parasolid 等<sup>[4]</sup>。利用该转换模式解决了 ADAMS 环境中不易构建复杂模型的缺点,使用户可以在熟悉的 CAD 中建立三维机械系统模型,通过转换数据格式文件将数据传到 ADAMS 环境中,提高了

工作效率。本文选用数据转换文件格式是 Parasolid 格式。

将三维实体模型导入 ADAMS/View 后,各部件独立存在于 ADAMS/View 环境中<sup>[5]</sup>。在此基础上,借助 ADAMS 软件再添加适当的连接、载荷、运动约束和力等模型特性,才能建立如图 2 所示的仿真模型。模型中有 23 个活动零件,12 个旋转约束,12 个固定约束,1 个移动约束,1 个运动。

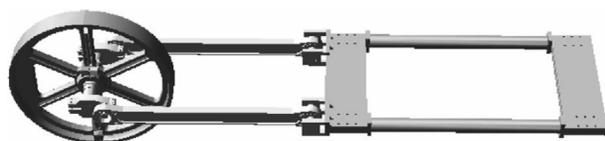
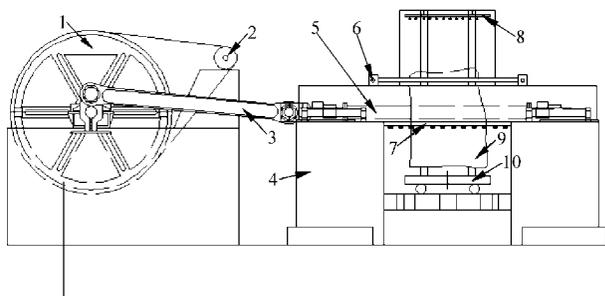


图 2 ADAMS 中框架锯虚拟样机模型

### 3.3 曲柄连杆机构运动学与动力学仿真

#### (1) 工况分析

对模型进行运动学与动力学的仿真,工况为锯切加工大理石荒料,如图 3 所示。各部件运动状态为:飞轮与曲柄以 540deg/s 的角速度匀速回转,连杆则做往复平面运动,其一头与曲柄一样作等速的旋转运动,另一头则与锯框一样作往复运动,锯框沿静压导轨做往复运动。



1. 飞轮 2. 电动机 3. 连杆 4. 立柱 5. 锯框 6. 进给电机  
7. 锯条 8. 喷淋系统 9. 大理石荒料 10. 荒料车

图 3 框架锯加工工况图

#### (2) 等效条件施加

飞轮与主轴同步转动,在主轴上施加旋转副,大小为 540deg/s;锯框上所受锯切力近似按正弦波变换,最大值约为 51600N,具体可在锯框前夹板上施加锯切力函数,为  $51600 \times \sin(540d \times \text{time})$ ;两个端面承受锯条涨紧力作用,即在锯框前后两个端面上施加  $3.2 \times 10^5 \text{N}$  的接触力,各部件之间的摩擦忽略不计。仿真时间为 1.33s,约为两个周期,仿真步数为 100 步。

#### (3) 运动学仿真

以锯框离主轴最远处为初始位置,对模型进行

运动学仿真,再现机构的运动状况,得到锯框的位移、速度及加速度参数等,其运动复合曲线如图4所示。

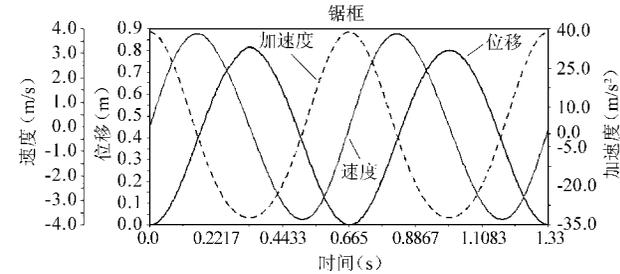


图4 锯框位移、速度及加速度复合曲线

对金刚石框架锯进行动力学仿真,以主轴为研究对象,得到主轴所受的切向力、垂向力与倾覆力矩等变化曲线(见图5)。

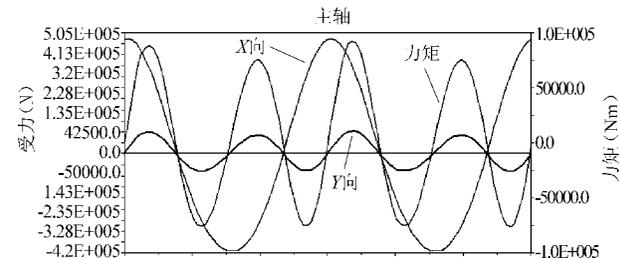


图5 主轴所受垂向力、切向力与倾覆力矩

最小。随后主轴受力循环变化,数值较大且变化范围扩大,容易产生疲劳破坏。主轴受到倾覆力矩的作用,大小及变化范围较大,从-76618.817N/m-92946.001N/m,接近似正弦波变化,引起机构的纵向振动。框架锯运动仿真过程与实际工作状态基本相符,证明了建模的正确性,可进一步分析样机的其它性能。

#### 4 曲柄连杆机构的优化分析

目标函数是设计变量的函数,本次目标函数为主轴受力峰值或曲柄与连杆等部件连接处受力峰值,优化目标为主轴受力峰值或曲柄与连杆等部件连接处受力峰值最小。

取连杆长度、曲柄长度及曲柄转速为设计变量,约束条件为:  $4230\text{mm} \leq L \leq 4630\text{mm}$ ,  $300\text{mm} \leq R \leq 500\text{mm}$ ,  $420^\circ \leq W \leq 660^\circ$ ,以此对金刚石框架锯的曲柄连杆机构性能参数进行优化。

样机特殊点是构件几何形体的基准点,将点的坐标参数化处理即可实现样机几何形体的参数化建模<sup>[9]</sup>。以此来参数化连杆与曲柄的关键点坐标,实现连杆长度与曲柄长度的参数化,分别设置为 DV-1、DV-2。对曲柄转速进行参数化,设置为 DV-3。

##### (1) 运行设计研究

选取优化设计变量,是以初始位置敏感度大小或各个位置设计变量敏感度的绝对值的平均值大小为选择标准<sup>[7]</sup>。本机构的主要设计变量有曲柄长度、连杆长度等,运动参数只有飞轮的转速。分别研究这三个设计变量对主轴受力、曲柄受力以及连杆受力的影响,得到设计研究结果如表2所示。

表2 设计研究结果汇总表

目标与变量		敏感度				
		第1次	第2次	第3次	第4次	第5次
主轴受力	曲柄长度	$-1.192 \times 10^{-7}$	0.000	$5.961 \times 10^{-8}$	$-3.958 \times 10^{-9}$	$-7.915 \times 10^{-7}$
	连杆长度	0.000	$-2.910 \times 10^{-13}$	0.000	$2.910 \times 10^{-13}$	0.000
	飞轮转速	243.37	259.57	291.97	324.49	340.81
曲柄受力	曲柄长度	95109	-885.76	-48078	89805	$1.789 \times 10^5$
	连杆长度	2273.0	0.716	1.561	1138.1	1.563
	飞轮转速	1586.2	$1.280 \times 10^6$	1905.3	$1.277 \times 10^6$	2223.1
连杆受力	曲柄长度	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	连杆长度	-1853.1	0.724	-0.316	-927.73	-0.293
	飞轮转速	813.5	868.08	977.15	1086.1	1140.5

由表 2 可知, 飞轮转速变化对主轴受力影响最大, 曲柄长度次之, 连杆长度再次之, 但后两者影响很小, 可忽略不计; 曲柄长度和飞轮转速对曲柄受力影响较大, 连杆长度次之; 飞轮转速变化对连杆受力影响最大, 连杆长度次之, 曲柄长度没有影响。综合考虑, 应以曲柄受力最小或连杆受力最小为目标优化曲柄长度、连杆长度以及飞轮转速, 并通过对比优化结果选取最优值。

### (2) 优化设计

确定优化目标以后, 通过修改设计变量、显示测量图以及运行优化分析等步骤来完成优化, 得到最优结果。表 3 为以曲柄受力最小和连杆受力最小为优化目标得到仿真优化结果。

表 3 优化结果汇总表

目标与变量	结果			
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次
曲柄长度(mm)	400.00	400.00	400.00	—
连杆长度(mm)	4430.0	4428.9	4430.2	—
飞轮转速(deg/s)	540.0	420.0	420.0	—
曲柄受力(N)	$2.676 \times 10^5$	50272	$1.6218 \times 10^5$	—
曲柄长度(mm)	400.00	395.48	395.25	394.1
连杆长度(mm)	4430.0	4430.0	4428.9	4431.5
飞轮转速(deg/s)	540.0	534.57	534.30	532.93
连杆受力(N)	$1.7979 \times 10^5$	$1.7552 \times 10^5$	66656	$1.7452 \times 10^5$

### (3) 优化结果对比分析

通过仿真优化结果可以看到, 当以曲柄受力最小为研究目标, 只有飞轮转速得到优化; 当以连杆受力最小为优化目标, 曲柄长度与飞轮转速都得到了优化, 连杆长度基本没有变化, 连杆受力减小许多, 故应采纳这一优化结果。经过仿真优化得到的新型锯机性能有很大提升。

曲柄长度从 400mm 变为 394.1mm, 长度变小了, 重量减轻了, 连杆受力也得到了改善, 延长了使用寿命。飞轮的转速从 540deg/s 减少为 532.93deg/s, 即每分钟飞轮转速从 90r/min 下降为 88r/min, 减小了机构往复运动过程中的冲击力。主轴受力峰值由  $2.1072 \times 10^5 \text{N}$  减小为  $2.0868 \times 10^5 \text{N}$ , 同时主轴受力变化范围也减小, 降低了主轴疲劳破坏的可能性。

## 5 结语

(1) 利用特征造型软件 SolidWorks 建立金刚石框架锯的曲柄连杆机构虚拟样机模型, 并结合仿真

软件 ADAMS 对金刚石框架锯机锯切工况下的曲柄连杆机构进行运动学与动力学仿真, 直观地解析了金刚石框架锯的技术性能。

(2) 对设计变量进行设计研究, 以连杆受力为优化目标对连杆长度与飞轮转速进行了优化设计, 使连杆、主轴等部件受力减小, 从而提高产品工作性能, 提高市场竞争力。

(3) 利用三维建模技术、虚拟样机技术及 ADAMS 仿真软件, 建立锯机三维模型, 针对不同使用需求, 修改结构相关参数, 完成各型金刚石框架锯机各种仿真优化设计, 以减低研发成本, 缩短产品开发周期, 加快产品上市步伐。

## 参考文献

- [1] 席俊杰. 虚拟样机技术的发展及应用[J]. 制造业自动化, 2006, 28(11): 19-20.
- [2] Janusz Konstanty. Theoretical analysis of stone sawing with diamonds[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, (123): 152.
- [3] 时培成, 王幼民, 王立涛, 等. 挖掘机液压—机械复合系统建模与仿真研究[J]. 机械传动, 2007, 31(3): 26.
- [4] 鲍旭清, 陈剑, 王建楠, 等. 常用 CAD 与 CAE 软件及其数据接口技术[J]. 机械设计与制造, 2008, (8): 83.
- [5] 杨哲. 砂锯多体系统虚拟样机建模及动态性能研究[D]. 山东大学硕士学位论文, 2009, 24.
- [6] 郑建荣. ADAMS—虚拟样机技术入门与提高[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 147.
- [7] 黎育红, 聂凌霄. 基于 ADAMS 虚拟样机的多体系统动力学仿真[J]. 武汉大学学报(工学版), 2010, 43(6): 759-760.

第一作者: 刘文超, 硕士研究生, 山东大学机械工程学院, 250061 济南市

First author: Liu Wenchao, Postgraduate, School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China

## 十二五时期要大力推进央企重组整合

国务院国资委副主任黄淑和近日表示, 目前央企资产总额的 52.88%、净资产的 68.05% 都在上市公司。“十二五”时期, 要大力推进中央企业重组整合, 严格控制新增非主业投资, 推进主辅分离。“十一五”时期, 中央企业重组整合力度不断加大, 中央企业户数由 2006 年的 169 家调整到 2010 年的 122 家。中央企业整体上市或主业资产上市步伐不断加快, 截至 2010 年底, 中央企业控股境内外上市公司达 336 家, 目前中央企业资产总额的 52.88%、净资产的 68.05%、营业收入的 59.65% 都在上市公司。国有资本在电信、电力等行业的比重占 90% 以上。