

基于滑移网格的封边机除屑系统仿真优化研究

李小民, 黄 栋, 陈启愉, 李 平, 邓志文, 段先云

(广东省智能制造研究所, 广东广州 510070)

摘要: 以封边机除屑系统为研究对象, 借助 Fluent 软件, 采用滑移网格技术和离散相模型, 对除屑系统内部空气流场和废屑颗粒分布进行三维非定常数值仿真。结果显示, 原除屑系统结构进出口压力损失较大, 吸附废屑能力较弱; 优化后除屑系统结构在刀具转速 10 000 r/min、出口风压-1 700 Pa 条件下, 进出口压力损失减小 64.1%, 除屑率增加了 30%。现场测试显示, 优化后除屑系统的除屑效果大幅度提升, 仿真结果与现场测试现象, 基本保持一致。

关键词: 封边机; 除屑系统; 仿真优化; 板式家具

中图分类号: S777; TS642; TS664

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654 (2020) 06-0034-05

Simulation of Optimizing the Chip Removal System of the Edge Banding Machine Based on Sliding Mesh Technologies

LI Xiao-Min, HUANG Dong, CHEN Qi-Yu, LI Ping, DENG Zhi-Wen, DUAN Xian-Yun

(Guangdong Institute of Intelligent Manufacturing, Guangzhou 510070, Guangdong, China)

Abstract: A 3D unsteady simulation model was developed for the air flow and waste particle distribution in the chip removal system of the panel-furniture edge banding machine using Fluent software with sliding mesh technologies and the discrete phase model. It was found that the pressure loss at the inlet and outlet of the origin chip removal system was relatively large, and the capability of adsorbing waste chips was weak. According to the analysis, the structure of the chip removal system was optimized. Compared with the original system, the pressure loss at the inlet and outlet was reduced by 64.1%, and the chip removal rate was increased by 30% in the optimized system under the conditions of tool speed at 10,000 r/min and outlet wind pressure of -1,700 Pa. Testing were performed on the chip removal system before and after the optimization. The results showed that the chip removal efficiency was greatly improved after the optimization, and the pilot testing was consistent with the simulation performance.

Key words: edge banding machine; chip removal system; simulation optimization; panel-furniture

收稿日期: 2019-12-12; 修改日期: 2020-10-23

基金项目: 广东省科技计划项目“板式家具柔性生产关键技术研究与应用”(2018A050506024); 广州市科技计划项目“高速电主轴可靠性测试关键技术研究”(201804010170); 广州市产业技术重大攻关计划“汽车悬架系统智能焊接生产线的研发及应用”(201902010060); 广东省科学院项目“旋转类机械装备的远程监测与故障诊断系统研发”(2019GDASYL-0105073)。

作者简介: 李小民 (1985—), 男, 工程师。Email: 369138284@qq.com

通讯作者: 黄栋, 男, 工程师。Email: huangdong_1988@163.com

据市场调研, 2019 年我国木家具市场规模 6 372 亿元; 其中板式家具市场规模约 3 710 亿元, 占比 58%, 并且仍将保持增长态势, 预计 2024 年将达到 4 613 亿元^[1]。在板式家具的生产制造过程中, 板件封边、修边是必不可少的工序, 可以起到改善家具外观、避免家具在运输和使用过程中边角部损坏、防水、减少变形、封闭有害气体等多重作用, 因此封边质量决定产品的整体品质。

板件修边是利用高速旋转铣刀对封边条上下边余量进行切削修整,使板件侧边与其上下表面完美融合,对整个板面有美化、装饰作用。在修边过程中,有大量的切屑产生,需要配套除屑系统集中将其排出^[2-3]。

近年来,计算流体力学在国内外迅速发展,商用软件 Fluent 在压力场、气流场、温度场等的数值模拟上的优势突出^[4]。离散相模型(discrete phase model, DPM)是 Fluent 软件中求解气固两相流问题的一种常用方法,其原理是将气体当成连续相,固体颗粒作为离散相,利用拉格朗日方程对固体离散粒子的运动规律进行有效的模拟。Fluent 中还提供了滑移网格技术,利用该技术可以方便地仿真计算区域瞬态运动的情况,对于仿真计算区域间的相互作用非常有效。

鉴于此,笔者以封边机除屑系统为研究对象,利用 Fluent 软件采用离散相模型和滑移网格技术,对除屑系统铣刀产生切屑的情况进行三维非定常数值模拟,分析除屑系统内部流场、压力场以及除屑效果,根据模拟结果对除屑系统结构进行优化,并进行现场验证测试,从而提高除屑系统的除屑效果。

1 封边机修边除屑系统结构特点

1.1 修边除屑系统结构特点

封边机修边除屑系统包含两套除屑子系统,分别为粗修除屑子系统和精修除屑子系统。在修边过程中,板件要先经过粗修除屑子系统,再经过精修除屑子系统。两套子系统中各有两把高速旋转铣刀,分别位于板件上方和下方,每把铣刀均有一个除屑罩体与之配套。

原除屑罩体结构及示意图如图 1 所示,从图示侧看,以修边铣刀切削圆与板件表面相切点为基准,上置的修边刀转向为逆时针方向,废屑排出方向为除屑管侧方向。每个除屑罩的除屑管部位都外接负压吸力风管,其风速为 20~25 m/s。封边机修边铣刀和负压吸风同时启动,将修边废屑排出机外^[6]。

1.2 除屑系统工况

每块板件经过封边机进行封边,有大量废屑经罩体与刀具之间缝隙边缘外泄而积聚在工作台上。多种因素可导致外泄,包括:切屑形状多变,有片

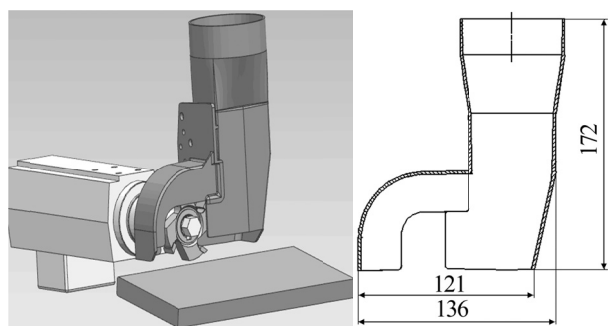


图 1 原除屑罩体结构示意图(单位: mm)

Tab.1 Structure of a hood of the original chip removal system

状、丝状、颗粒状,不同的吸附面积产生的吸力不同;废屑初速度很大,方向多变;罩体敞口面积过大,敞口式罩体结构(如图 1 所示)弱化了废屑产生点周边处负压吸力。废屑泄漏不仅影响其他结构部件的正常运行,而且经过一段时间后,需要停机人工清理,影响生产效率,浪费人力。

2 封边机修边除屑系统仿真优化

2.1 数值模型和求解设置

除屑系统结构对称,取其中一个除屑结构进行空气流场和废屑颗粒场的仿真分析。为了更好地离散化计算域,在确保准确性和网格质量的情况下,对除屑罩体结构进行一定的简化,如图 2 所示。

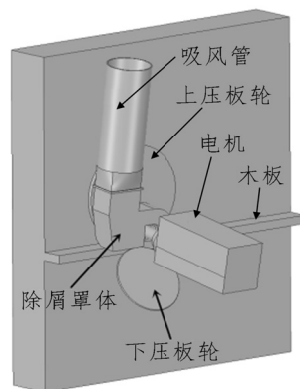


图 2 除屑系统结构简化示意图

Tab.2 Schematic diagram of a simplified structure of the chip removal system

由于刀具高速旋转切削产生切屑颗粒,模型中存在动静结合面,为研究废屑颗粒分布情况,采用滑移网格技术,处理除屑罩体内空气流场和废屑颗粒运动规律的仿真问题。

FLUENT 中用于处理运动问题的计算模型有运动坐标系和运动域两种, 其中运动域方法包括: 滑移网格模型和动网格等^[6]。用滑移网格模型解决旋转刀具与静止部件的相对运动问题, 在动-静干涉处需建立交界面, 使计算域产生两个相对运动的子域, 由非一致网格界面连接。因此, 需建立一个外流场方形区域, 将除屑系统结构包在其内, 该区域作为静区域, 另用一个圆柱体包围刀具作为动区域, 仿真几何模型如图 3 所示。由于除屑系统结构复杂, 并有旋转部件, 因此动静区域均采用适应性较好的非结构化网格划分, 网格划分模型如图 4 所示。

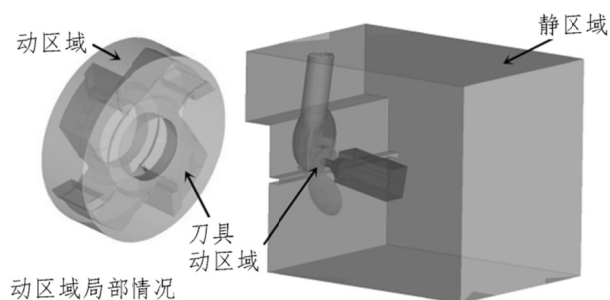


图3 除屑结构仿真模型

Tab.3 The simulation model of the chip removal system

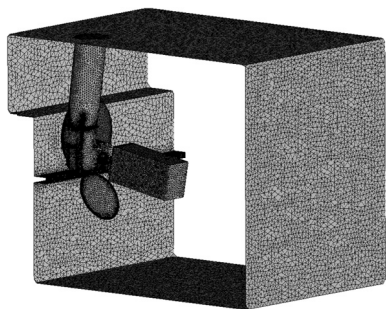


图4 除屑结构模型网格划分情况

Tab.4 The mesh of the chip removal system

除屑罩体内部由于存在空气以及废屑颗粒两种物质, 涉及气固两相流, 因此采用离散相模型(DPM)分析除屑罩体内部颗粒的分布特性。将空气定义为连续介质, 把废屑颗粒视作离散相粒子, 利用离散相模型研究废屑颗粒的运动规律。Fluent 中的离散相模型假定离散相非常稀薄, 因而颗粒与颗粒之间的相互作用力、颗粒的体积分数对连续相的影响未加考虑, 这种假定意味着分散相的体积分数必然不高, 一般小于 10%, 但颗粒质量承载率可以大于 10%^[7]。本研究木料颗粒的体积分数远小于 10%, 因而可以采用离散相模型进行数值分析。

模型中废屑颗粒源参数设置: 喷射源类型为实心圆锥, 颗粒材质为木料; 由于封边带厚度不同, 切削产生的颗粒大小也不同, 其等效直径范围主要集中在 0.1~1 mm, 因此仿真时颗粒直径分别选取 1、0.5 和 0.1 mm; 颗粒由刀具切削产生, 认为颗粒的初始速度近似等于刀具的切削线速度, 由于刀具转速为 10 000 r/min, 刀具直径为 58 mm, 计算得初始速度为 30 m/s; 颗粒入射质量流量为 0.0001 kg/s, 阻力特征为球形颗粒, 湍流扩散模型为随机轨道模型。

在此仿真中, 流体模型采用非定常恒密度不可压缩流体, 湍流模型采用考虑了旋转效应的 SST K- ω 湍流模型; 壁面采用无滑移壁面边界条件, 近壁区采取标准壁面函数^[8]。除屑罩体出口处为压力出口边界条件, 依据风机功率大小设置为 -1 700 Pa, 其中风机额定功率为 1.5 kW, 风量为 3 800 m³/h; 进口边界设置在外流场结构两侧, 为大气压入口; 安装刀具的电主轴功率为 1.8 kW, 频率为 200 Hz, 额定转速为 12 000 r/min。电机转速越低, 切削力越大, 实际工作中, 电机转速设置在 10 000 r/min 左右, 因此刀具转速为 10 000 r/min。

2.2 系统仿真分析

以粗修系统为对象, 分别对三种不同粒径的废屑颗粒进行瞬态仿真, 时间步长设置为 0.001 s, 当计算时间达到 1 s 时, 除屑系统内流动状态基本趋于稳定, 因此选取 1 s 时刻的仿真结果进行分析。

图 5a 所示为除屑系统工作 1 s 时刻 1 mm 废屑颗粒分布情况。可以看到, 大量废屑颗粒被吸风管吸走, 但仍有废屑颗粒沿着刀具旋转方向的切向飞出除屑罩体, 并扩散到外部空间。通过 Fluent 软件后处理统计, 1、0.5 和 0.1 mm 废屑颗粒被吸风管吸走的比例分别为 65.3%、66%和 67.2%, 除屑效果一般。

图 5b 给出了除屑罩体中间截面的速度矢量图, 在除屑罩体下方入口的平均风速为 15 m/s, 低于废屑颗粒初始飞出的速度, 难以改变废屑颗粒的运动方向, 导致废屑颗粒沿着刀具旋转方向的切向方向飞出, 除屑效果较差。

图 5c 给出了除屑罩体中间截面的压力云图, 在除屑罩体下方入口的平均静压为 -417.8 Pa, 负压较小, 且与除屑罩体出口压力差为 1 282.2 Pa, 压力损失较大, 导致除屑罩体吸附能力较差。

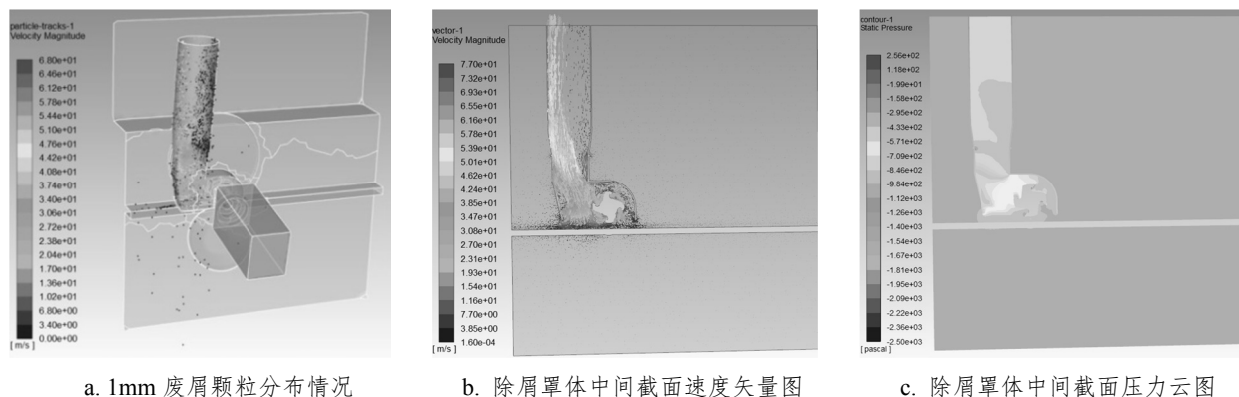


图5 原除屑系统仿真分析结果

Tab.5 Simulation of the original chip removal system

2.3 系统优化仿真分析

由上述仿真分析知,罩体敞口式结构使得罩体进风口负压较小,除屑罩体进出口压力损失较大,弱化了进风口对废屑的吸附能力。因此,在保证微调部件活动空间的前提下,尽量缩小罩体进风口面积,以增大罩体对废屑的吸附能力,保证将飞出的废屑在罩体内改变运动方向,从而被吸附排出;同时考虑将切屑产生点包在除屑罩体内,以阻挡废屑直接飞出。基于以上因素,提出了在原罩体结构下增设下半部分罩体的优化方案。在废屑集中排出的位置,挡屑位采用弧形设计,可使废屑飞出产生的惯性力分解为水平方向分力和倾斜向上分力(除屑管方向),并在负压抽吸力的作用下,更顺利进入除屑管内,排出机体。

除屑结构优化后结构及示意图如图6所示。以粗修系统为对象,分别对三种不同粒径的废屑颗粒在优化后的除屑系统进行仿真,结果如图7所示。

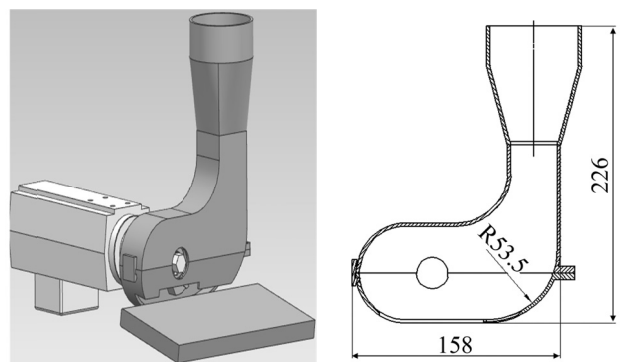


图6 优化后除屑系统结构

Tab.6 Optimized structure of the chip removal system

图7a为优化除屑系统工作1s时刻1mm废屑颗粒分布图。从图中可以看到,仍有少量废屑颗粒沿着刀具旋转方向的切向飞出。通过Fluent软件后处理统计,1、0.5和0.1mm废屑颗粒被吸风管吸走的比例分别为95.8%、95.7%和96.3%,除屑效果比原结构有了大幅度提高。

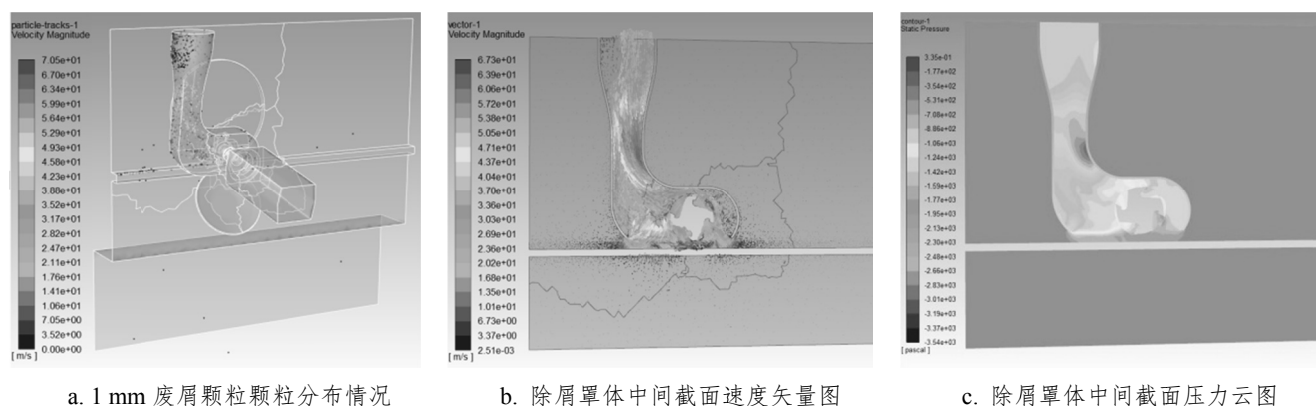


图7 优化除屑系统仿真分析结果

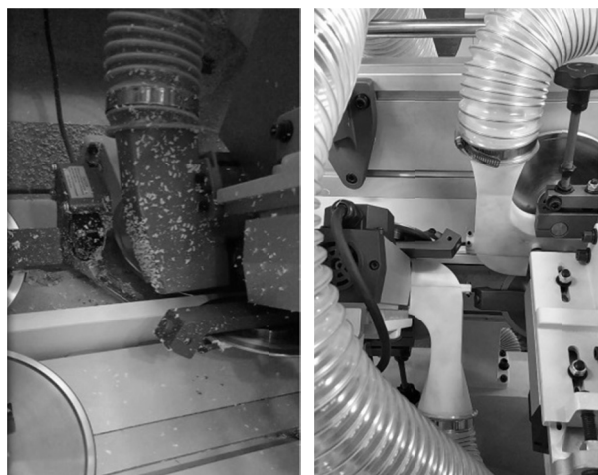
Tab.7 Simulation of the optimized chip removal system

图7b为优化除屑罩体中间截面的速度矢量图,在除屑罩体下方入口的平均风速为30 m/s,与废屑颗粒初始飞出的速度相当,比原结构的速度增大了一倍,所以优化后除屑系统的吸附能力更强,除屑效果更好。

图7c为优化后除屑罩体中间截面的压力云图,在除屑罩体下方入口的平均静压为-1 240 Pa,与除屑罩体出口压力差为460 Pa,压力损失比原结构减小了64.1%。由于除屑罩体下方入口的负压程度更大,所以优化后除屑系统的吸附能力更强,除屑效果更好。

2.4 现场测试

测试用除屑罩体采用3D打印成型。考虑到不同厚度封边带产生大小形状不同的废屑,对0.4、1、2 mm厚度规格封边带进行切削测试,保证测试能够覆盖颗粒状、丝状、片状等废屑形状的工况。分别将优化前后的除屑罩体安装在封边机上,每种厚度规格封边带经过30 min的工作测试,分别查看现场废屑情况(图8)。



a. 原系统

b. 优化系统

图8 原系统和优化系统除屑效果测试

Tab.8 Chip removal tests of original and optimized systems

如图8所示,优化后废屑颗粒基本被除屑罩体吸走,飞出罩体的数量极少,可见优化后系统的除屑效果比原系统明显改善,仿真结果与现场测试现象基本保持一致。

3 结论

1) 采用滑移网格技术与离散相模型模拟封边机除屑系统内部空气流场和除屑情况,模拟结果与现场测试现象基本一致。

2) 在刀具转速10 000 r/min、出口风压-1 700 Pa条件下,原除屑罩体进出口压力损失1 282.2 Pa,导致入口处负压程度较低,吸附能力弱,对粒径为1、0.5和0.1 mm废屑颗粒的吸走比例分别为65.3%、66%和67.2%,除屑效果一般。

3) 在刀具转速10 000 r/min、出口风压-1 700 Pa条件下,优化后除屑罩体进出口压力损失460 Pa,比原结构减小了64.1%,入口处负压程度较高,吸附能力较强,对粒径为1、0.5和0.1 mm废屑颗粒的吸走比例分别为95.8%、95.7%和96.3%,除屑率比原结构增大了30%。优化后除屑罩体可适用于全自动封边机,封边带厚度范围0.4~2 mm。

参考文献:

- [1] 预计2024年板式家具市场规模将达4613亿元[EB/OL].(2020-07-23)[2020-10-23].
<https://www.chinachugui.com/news/chugui/news-1353959.htm>.
- [2] 陈彦勤. 板式家具自动化封边修边设备研究进展[J]. 机电信息, 2019(2): 50-51.
- [3] 冯飞奇. 封边机仿形修边系统的研究与开发[J]. 科学技术创新, 2018(20): 183-184.
- [4] 李东耀. 基于Fluent软件的流化床的气固两相流模型研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2009.
- [5] 陈敬敬. 板材封边机仿形修边系统的研究与开发[D]. 广州: 广东工业大学, 2014.
- [6] 祝昭. 转/静交界面处理方法研究及涡轮结构与气动分析[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
- [7] 胡大山. 粉尘在通风除尘管道内沉积行为的研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2008.
- [8] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

(本文编校 向琴)

敬请关注本刊微信公众号: mucaigongye

微信扫码(见封面)订阅更便捷、更优惠

本刊网址: mcgy.criwi.org.cn

投稿请认准本刊唯一官方网站