

铝箔剪切机碎屑收集管结构优化设计

刘跃^{1,2},常玲玲¹,李会荣¹,管小荣²

(1. 陕西国防工业职业技术学院 智能制造学院,陕西 西安 710300;

2. 南京理工大学 机械工程学院,江苏 南京 210094)

摘要:针对传统铝箔剪切机碎屑收集管存在两个支管吸力不均匀问题,使用计算流体力学方法比较不同管路设计结构,在分析管内流态变化规律基础上,给出管路优化设计建议。数值分析结果表明:两个挡板型管路可通过调整挡板高度比例实现支管吸力均匀要求;等距型管路支管口速度、吸力差可控制在1%以内,且随挡板高度增加,支管口吸力变大,可较好地完成铝箔剪切机碎屑收集任务。

关键词:铝箔剪切机;碎屑收集;结构优化;负压;数值模拟

中图分类号:TB126;O368 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2021)05-0066-03

Structural Optimization Design of Scrap Collection Pipes for Foil Slitter

LIU Yue^{1,2}, CHANG Lingling¹, LI Huirong¹, GUAN Xiaorong²

(1. School of Intelligent Manufacturing, Shaanxi Institute of Technology, Xi'an 710300, China;

2. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: To solve the uneven suctions in foil scrap collection by conventional foil slitter, different collection structures were compared by computational fluid dynamics method. Based on the study on varying flow features, the optimal structure was proposed. The numerical data indicates that the even suctions of branch pipes of two baffle type pipelines can be achieved by adjusting baffle heights, velocity and suctions of equidistant pipe branch ports can be controlled within 1%, and as the baffle heights grow, the suctions at branch ports turn larger, which leads to the better performance of scrap collection by foil slitter.

Keywords: foil slitter; scrap collection; structural optimization; negative pressure; numerical simulation

0 引言

铝箔广泛应用于机械、食品、医疗、电子等行业,其需求量逐年上升。经过长足发展,我国铝箔生产设备已逐步系统化、完善化,其中,铝箔剪切机是根据不同行业需求将铝箔分切成不同尺寸的关键设备^[1]。近年来,相关学者对剪切机关键零部件如碟形刀等^[2]进行了持续优化,这些成果对铝箔生产设备的升级起到了良好的促进作用。但在观察剪切机工作流程时可以发现,由于铝箔比较轻薄,分切时会不可避免地产生细长碎屑,较长时间的碎屑堆积会明显影响铝箔产品质量。查阅文献可知,针对铝箔剪切机碎屑收集问题,目前主要有三类方法:将剪切机按时停机进行碎屑清扫;使用负压管路;使用专用设计装置^[3]。其中,按时停机为最常用方法,但对生产效率影响最大;专用设计装置存在结构复杂、成本较高的缺陷;负压管方法结构简单,其思路为由鼓风机向管内输送气流,通过管内局部尺寸变化产生负压,进而在支管口产生吸力。负压管方法为目前兼顾效率及耗费的较好选择,但相关设计还不成熟,不能保证双支管吸力均匀要求。

本文根据铝箔剪切机工作特点及气体输送原理^[4],

对现有铝箔剪切机碎屑收集负压管进行优化设计,采用目前工程中常用的计算流体力学方法(CFD)对不同管路结构的压力-速度耦合流场进行三维数值计算,在对比管内压力-速度分布特征及规律基础上,重点探讨获得支管均匀吸力的管路设计方法,为铝箔剪切机优化升级提供参考。

1 计算模型

1.1 模型设置

图1为常用的LT1350铝箔剪切机碎屑收集负压管样品,主要由主管和适应于剪切机双碟形刀设计的两个支管组成。管路总长为1000mm,主管直径为70mm,支管直径为40mm,两支管相距500mm。仿真模型及局部网格划分如图2所示,网格为分块结构化网格,在壁面及支管处进行加密处理。在边界设置方面,进口处为速度边界,具体值为5m/s,出口及两个支管P1与P2设置为压力边界,具体值为0Pa。使用流体商业软件Fluent作为求解器^[5]进行方程迭代。

在支管口获得均匀吸力的前提是在支管附近区域获

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2021JQ-898);陕西省教育厅专项科研计划资助项目(20JK0508)

第一作者简介:刘跃(1987—),男,山东肥城人,讲师,博士,主要从事力学应用研究。



图1 铝箔碎屑收集负压管样品

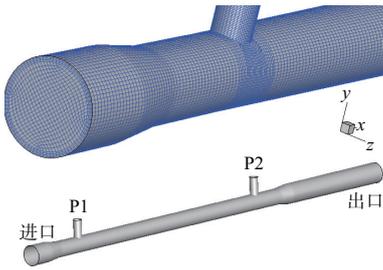


图2 仿真模型及局部网格划分

得相近的负压分布,根据流体“伯努利”方程^[5],同一水平面的压力与速度分布呈反比例关系,因此可通过改变主管内过流面积达到产生负压的目的。根据这一思路,文中主要设计了两个挡板型及等距型两种管路结构。其中,两个挡板型(图3)在两个支管前设置挡板,具有各自的流动区域;等距型(图4)为两个支管连通,共用一个气流出口。

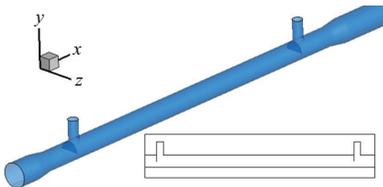


图3 两个挡板型

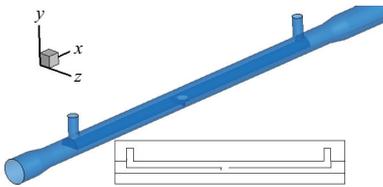


图4 等距型

1.2 模型验证

为了验证文中数值模型对铝箔碎屑收集管路计算的适用性,课题组设计加工出两个挡板型等高度挡板管路样品(具体尺寸见后文),并使用转子流量计测量了两个支管的气流流量,经过换算可得P1、P2支管纵向速度 v 的测量值($v=Q/A$, Q 为气流流量, A 为截面面积),约定 v 的方向为流入管内为正,流出管外为负。两个支管口平均纵向速度的模拟值与实验值对比如图5所示。模拟结果具体为1.59 m/s和-4.35 m/s,实验结果具体为1.51 m/s和-4.20 m/s。通过比较可以发现模拟值与实验值误差相

差在5%左右,这说明了本文中使用的数值方法是可行的。

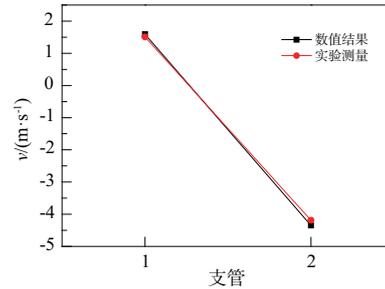


图5 数值模型验证

1.3 计算工况介绍

两种类型管路初始过流面积一致,挡板总高均为 $h=35$ mm,为了探讨挡板高度设置对管内局部负压分布及吸力大小的影响规律,文中对两种结构管路在不同过流面积下的计算结果进行对比,为了后文叙述方便,对不同的计算工况进行以下文字约定。

- 1)两个挡板型 P1 与 P2 挡板高度相等:L1;
- 2)两个挡板型 P1 与 P2 挡板高度比例为 1/3:L2;
- 3)两个挡板型 P1 与 P2 挡板高度比例为 1/2:L3;
- 4)等距型挡板高度为 35 mm:D1;
- 5)等距型挡板高度为 40 mm:D2。

2 结果分析

文中为准定常计算,为了获得收敛的分析数据,方程残差标准设置为 10^{-5} ,并且当监测点数据(P1、P2出口中心点压力值)不再变化时认为计算结束。

图6给出了不同计算条件时管路中心截面的压力分布云图,可以看到通过改变过流面积在支管附近均出现了与理论分析一致的负压区域。对比图6(a)两个挡板型L3及图6(b)等距型D1、图6(c)等距型D2可以看到两种结构时支管负压值均较为接近,但仔细观察可发现等距型相差更小。进一步分析表现较优的等距型结构可发现,随着挡板高度的增加,支管负压值增大。这进一步证明了挡板改变压力分布的有效性,前文根据“伯努利方程”理论分析的正确性。

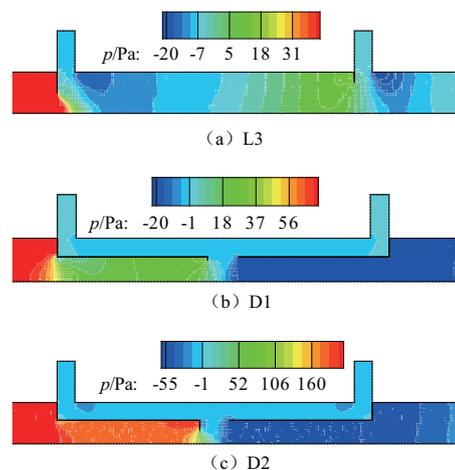


图6 压力云图

图7给出了两类管路结构中心截面的纵向速度及流线分布,可以看到两种结构下,支管纵向速度均流向管内,说明在支管口产生了吸力。支管口处速度与压力分布结果类似,支管口速度相差较小,而等距型相差更小,说明支管吸力更相近。此外,分析图7(b)、图7(c)可知,当挡板高度增加时,局部负压增加,从而使支管口产生更大气流速度及吸力。

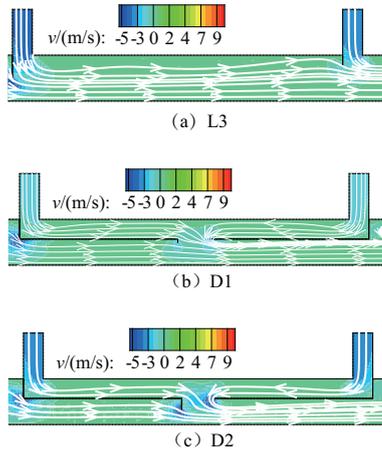


图7 速度云图及流线

图8为不同挡板高度时两个挡板型及等距型管路特征线上的压力与速度沿程量化值。

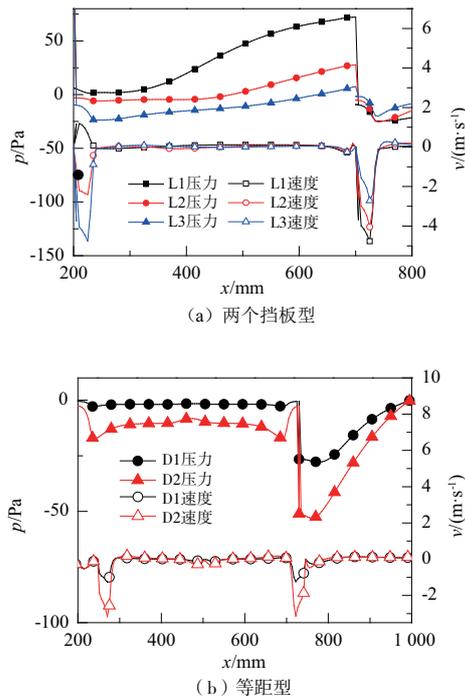


图8 特征线上的压力及速度沿程分布

分析图8(a)两个挡板型计算结果可知:L1条件下即两个挡板高度相等时,两个支管间为正压,说明第2个挡板对第1个挡板后部气流产生了“阻碍”作用,进而导致P1支管速度方向为流向管外(速度为正),无法产生吸力。随着第2个挡板高度降低,由L2、L3结果对比可以看到挡

板的“阻碍”作用逐步减小,第2个支管附近负压呈降低趋势,对应第1个支管附近负压呈增长趋势,从而对应速度及吸力也呈现出平衡趋势。这说明通过降低第2个挡板高度实现支管吸力相近的方法是有效的。分析图8(b)可以看到等距型管路支管连通区域负压分布一致性较高,对应管路速度值及吸力值较为相近,且通过挡板高度增加,支管负压及吸力呈一致的递增趋势。

综合以上分析可知,两个挡板型及等距型管路均可完成铝箔碎屑收集任务,但两者也存在不同特点,两个挡板型结构更为简单,但需要调整挡板高度比例,如表1所示。高度比例为1/3(L2)时,P1与P2支管口速度相差35%,此时,P2支管口速度较大;高度比例为1/2(L3)时,P1与P2支管口速度相差33%,P1支管口速度较大,说明第2个挡板与第1个挡板高度比例控制在1/3~1/2为合适范围。等距型结构稍微复杂,但计算D1、D2时支管口速度相差不到1%,且通过控制过流面积大小,可有效控制吸力大小。等距型管路可理想地达到支管吸力均匀要求。

表1 不同挡板结构时支管纵向速度比较 单位:m/s

结构	L1	L2	L3	D1	D2
P1	1.59	-2.29	-4.37	-1.11	-3.72
P2	-4.35	-3.55	-2.91	-1.12	-3.71

3 结语

本文使用CFD方法探讨了通过改变负压管路结构完成铝箔剪切机碎屑收集任务的可行性,对比了不同管路结构对管内压力-速度分布的影响规律。发现两个挡板型及等距型均可通过改变过流面积,进而影响压力-速度耦合值的方式达到支管口产生相近负压及吸力的目的,此外,通过数值结果比较主要得出以下结论:

- 1) 两个挡板型管路结构较为简单,但须调整挡板高度比例,以避免第2个挡板对第1个支管区域的“阻碍”作用,进而实现支管口吸力均匀目标;
- 2) 等距型管路结构可使两个支管共用负压区域,支管口速度及吸力相差 $\leq 1\%$,且随着挡板高度增加,吸力值差距保持一致,吸力值增加,可较好地完成铝箔剪切机碎屑收集任务。

参考文献:

- [1] 张宇树,王祝堂. 中国已成为世界铝箔初级强国[J]. 轻合金加工技术,2018,46(12):6-9.
- [2] 李会荣,王广林. FQ1850大卷径铝箔分切机开卷锥头的优化设计[J]. 机械制造与自动化,2018,47(1):58,96.
- [3] 辛达夫. 当代铝箔生产工艺及装备[M]. 北京:冶金工业出版社,2013:206-211.
- [4] 祁金胜,曹洪振,石岩,等. 虾米腰弯管内置导流板优化[J]. 山东大学学报(工学版),2020,50(5):64-69,76.
- [5] 吴子牛. 计算流体力学基本原理[M]. 北京:科学出版社,2001.

收稿日期:2021-05-17