

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2021.04.018

铝箔剪切机碎屑收集管数值优化设计

刘跃^{1,2},常玲玲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:为了解决铝箔剪切机工作中存在的碎屑收集问题,使用 CFD 方法对碎屑收集管挡板结构进行优化,在深入分析计算流场压力-速度耦合特征基础上,重点探讨了不同流动现象产生的原因。数值结果表明:设置挡板可有效改变管内局部流态,但设置 1 个挡板时支管速度差值达 150%,无法产生均匀吸力;设置 2 个挡板时,后部挡板的“阻挡”作用产生回流区,气流流出管外。优化后等距型挡板设计在支管口形成均匀负压及吸力,可满足工业生产需求。

关键词:铝箔剪切机;铝箔碎屑;结构优化;负压;数值模拟

中图分类号: TG333.2⁺1;O368 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2021)04-0068-03

Numerical Optimization Design of Scrap Collection Pipe for Foil Slitter

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

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

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

Abstract: To avoid the foil scrap collection trouble during the routine work of the slitter, the baffle structures were improved to fix the fault by CFD method. Based on in-depth study on the pressure-velocity coupled features of the calculated flow, the reasons of different flow characteristics were discussed in detail. The numerical results show that baffle effort can affect flow pattern evidently. With 1 baffle, the velocity discrepancy value reaches to 150 percent between 2 branch pipes, generating no steady suction. With 2 baffles, however, visible recirculation zone appears due to blocking effort from the second baffle, causing an outlet velocity. Optimized equidistant baffles lead to steady negative outlet pressure and suction, thus meeting industrial requirement.

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

0 引言

目前铝箔需求量及生产量逐年上升。铝箔剪切机是将铝箔分剪成不同尺寸以适应不同行业需求的关键设备。剪切机在工作时不可避免地会产生碎屑,长时间运行后碎屑累积会明显影响铝箔分剪质量。目前大多数剪切机需要按时停机进行碎屑清扫,这对剪切机工作效率产生较大影响^[1]。现有的关于剪切机关键部件的优化工作大多关注切割工具碟形刀^[2-3],相关成果对改善铝箔生产质量起到了良好的促进作用,而针对碎屑收集的产品设计成果较少^[4],且存在结构复杂、成本较高的缺陷。

负压管内流动是常见的介质输送通道^[5]。为了适应铝箔剪切机常用双碟形刀的设置,本文设计了一种由双支管组成的铝箔剪切机碎屑收集管路系统,由鼓风机输送气流并通过管内局部尺寸变化产生负压。文中采用目前工程中常用的计算流体力学(computational fluid dynamics, CFD)^[6]方法,对不同挡板数量且考虑挡板厚度时的压力-速度耦合流场进行三维数值计算,在分析对应管内流态分布规律及流动现象产生原因基础上,给出获得支路均匀

负压及吸力的挡板布置方法,可为铝箔剪切机设备改进提供参考。

1 几何模型

图 1 给出了常用的 LT1350 剪切机双碟形刀分切铝箔流程^[1]设备图。为了完成铝箔碎屑收集工作,初步设计的圆形管路样品如图 2 所示。管路外观由主管及两个支管组成,考虑到方管对比于圆管具有加工工艺简单、数值模型构造精度高的优点,本文中管路采用方管设计。管路气流输送动力来源于进口处鼓风机,铝箔碎屑厚度为 0.1~0.2 mm,比较轻薄。为了获得支管口理想吸力,气流输送功率参考常用工业吸尘器功率进行设置^[7],文中取 2.2 kW,对应气流输送量为 320 m³/h。



图 1 铝箔剪切机分切流程设备

基金项目:陕西省教育厅专项科研计划项目(20JK0508)

第一作者简介:刘跃(1987—),男,山东肥城人,讲师,博士,研究方向为计算流体力学应用。



图2 碎屑收集管样品

2 计算模型

2.1 数学模型

由于整体气流流动 $Ma < 0.2$, 主要求解黏性不可压流体方程组, 其矢量形式如下^[8]:

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{U} = 0 \\ \rho \frac{D\mathbf{U}}{Dt} = \rho \mathbf{f} - \nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{U} \end{cases} \quad (1)$$

式中: ρ 为密度; \mathbf{U} 为速度矢量; \mathbf{f} 为体积力; p 为压力; μ 为动力黏度。该方程可较好地反映管流黏性切应力分布及流动压力损失。

此外, 管流雷诺数 $Re = 9.9 \times 10^4$ (由入口尺寸及速度确定), 属于湍流运动, 需要求解湍流方程, 经比较选择近壁及远场均有较好表现的 SST 模型 (shear-stress transport), 其具体方程构造如下^[9]:

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} k) = P_k - \beta^* \rho k \omega + \nabla \cdot [(\mu + \sigma_k \mu_t) \nabla k] \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho \omega}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \omega) = \frac{\alpha}{\nu_t} P_k - \beta \rho \omega^2 +$$

$$\nabla \cdot [(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \nabla \omega] + (1 - F_1) \frac{2\rho \sigma_{\omega 2}}{\omega} \nabla k \nabla \omega \quad (3)$$

式中模型常数 $\beta^* = 0.09$ 。此外, 混合函数 F_1 、湍动能生成项 P_k 、动力黏度 μ_t 、运动黏度 ν_t 及混合模型参数 α 、 β 、 σ_k 、 σ_ω 、 $\sigma_{\omega 2}$ 定义及取值详见文献^[10]。

2.2 数值模型

以设置 1 个挡板为例, 并考虑挡板厚度的三维方形管路外形如图 3 上部所示, 主管边长为 90 mm, 挡板厚度为 5 mm, 高度为 45 mm, 两个支管间距为 600 mm。管路进口处为速度进口, 由风机流量及进口尺寸确定的速度初值为 $\mathbf{U}(11, 0, 0)$; 出口为压力出口, 2 个支管 P1、P2 为压力进口。网格划分如图 3 下部所示, 整体为结构网格。为了充分考虑壁面作用对气流流态的影响, 单独绘制壁面层网格, 并对较关心的支管处网格进行加密处理。此外, 文中不同结构管路计算网格均相同, 以保证计算结果的可比性, 使用 Fluent 软件求解不可压流体 $N-S$ 方程组, 方程离散采用二阶迎风格式^[9]。

3 结果分析

文中为准定常计算, 为了获得可信的分析数据, 方程

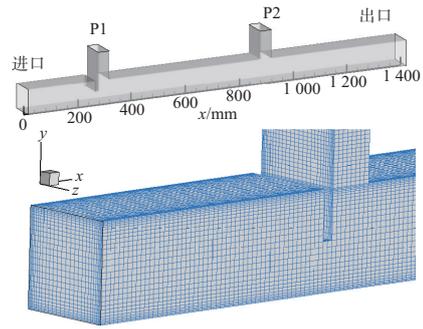


图3 计算模型及局部网格

残差标准设置为 10^{-5} , 并且监测点数据 (P1、P2 出口中心点压力值) 不再变化时认为计算结束。此外, 为了验证数值模型的可靠性, 课题组设计加工出设置 2 个挡板管路样品 (具体见 3.2 节), 并使用流量计测量了 2 个支管口流量, 将数值计算的支管口平均速度值与测量的流量换算值进行对比, 其中 P1 支管的数值结果、测量值分别为 1.34 m/s、1.28 m/s, P2 支管数据分别为 -9.4 m/s、-8.94 m/s。可见数值结果与测量值误差控制在 5% 左右, 这也验证了本文中数值方法的可行性。

3.1 设置 1 个挡板

图 4 为设置 1 个挡板并考虑挡板厚度时支管附近放大模型, 根据流体伯努利方程, 压力-速度存在“此消彼长”的耦合对应关系。因此首先设置 1 个挡板, 尝试通过减小过流面积来提高速度, 进而改变压力分布。

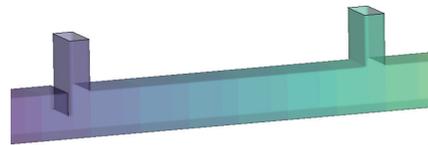


图4 1个挡板管路模型

图 5 为设置 1 个挡板时管路中心截面压力分布云图。可以直观地看到气流经过挡板前后压力下降的变化, 2 个支管处均出现预期的负压分布, 这说明支管口气流流向管内, 可以产生吸力, 但同时可以发现 2 个支管内负压值并不相同, 靠挡板较近的第 1 个支管负压较大, 这意味着 2 个支管产生的吸力值不相同。图 6 管内特征线上 (坐标位置 $(0, 40, 0) \sim (1400, 40, 0)$) 压力及速度量化值 (y 方向, 流向管内为负, 流出管外为正) 可更清晰地展现支管的工作状态, 支管附近出现了两个负压区及对应的两个差异明显的速度峰值, 速度具体值分别为 -9.71 m/s、-3.89 m/s (列于表 1)。虽然对比不设挡板时支管纵向速度值 (0.49 m/s、0.30 m/s, 列于表 1) 有了较大改善, 但两者相差达 150%, 无法满足 2 个支管吸力均匀要求。

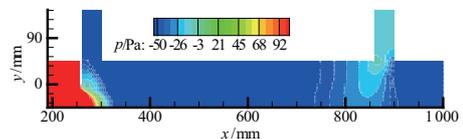


图5 截面压力分布(1个挡板)

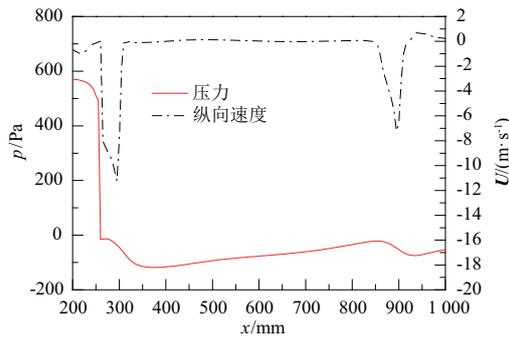


图6 特征线上压力及纵向速度
量化值(1个挡板)

表1 不同挡板设计时支管纵向速度比较 单位:m/s

支管	挡板0	挡板1	挡板2	等距型
P1	0.49	-9.71	1.34	-6.26
P2	0.30	-3.89	-9.40	-6.23

3.2 设置2个挡板

由上文结果可发现通过设置挡板改变管内局部速度来改变压力分布是可行的,但安装1个挡板时存在支管负压及吸力不均匀的缺陷,图7给出了尝试设置2个挡板时管路模型,在2个支管前设置等高度、等厚度挡板。



图7 2个挡板管路模型

图8给出了设置2个挡板时中心截面的压力分布云图,可以看到气流在经过挡板后同样出现了压力下降的现象,但仔细观察可以发现第2个支管附近出现了负压区域,而第1个支管附近却没有出现负压区域。这种现象在图9特征线上(坐标位置(0,40,0)~(1400,40,0))压力与速度量化分析中更明显,第1个支管与第2个支管之间的区域均为正压,对应第1个支管附近纵向速度为正,2个支管纵向速度值分别为1.34 m/s、-9.40 m/s(列于表1)。可见布置2个挡板时第1个支管气流流出管外,无法产生吸力,这与实验观察结果也是一致的。

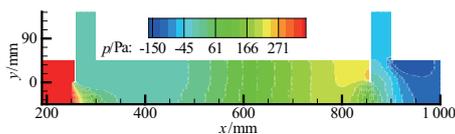


图8 截面压力分布(2个挡板)

为了深入分析管内流态出现的原因,图10给出了支管附近的流线及纵向速度分布。可以看到在第1个支管后部区域出现了较大的旋涡回流区,并使得第1个支管内流态较为复杂。结合2个挡板管路结构及压力分布特征可知,第2

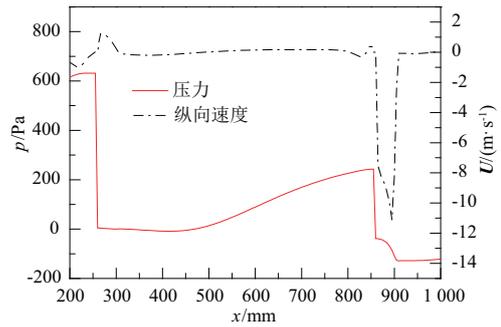


图9 特征线上压力及纵向速度
量化值(2个挡板)

个挡板会对第1个挡板后部区域气流产生“阻挡”作用,这是第1个支管气流流出管外而无法产生吸力的原因。

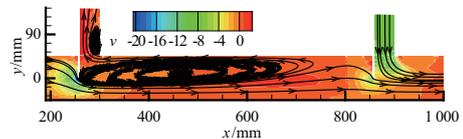


图10 截面流线及纵向速度(2个挡板)

3.3 挡板优化设计

通过上文的探讨可以发现通过简单设置挡板无法满足铝箔碎屑收集要求,考虑到挡板对局部流态的改变作用,可设置2个支管共用1个挡板,同时为了满足支管口吸力均匀的要求,应保证共用出口与2个支管之间的压力降近似。基于上述分析,图11给出了挡板结构优化后的等距型管路。该管路在主管间设置连通挡板,2个支管共用1个出口,出口位于2个支管中间位置,并在出口处设置共用挡板,挡板高度为15 mm。

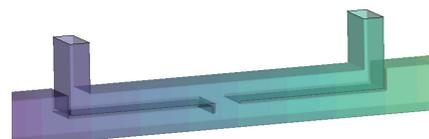


图11 等距型管路模型

图12、图13分别给出了等距型管路压力云图分布及特征线上压力、速度量化值,与简单设置挡板结果对比可发现,在等距型支管共用挡板后部同样出现负压区域,且2个支管内负压非常近似,量化值也显示出2个支管附近压力、速度呈现明显的对称分布特征,2个支管附近对应出现压力、速度峰值,这说明了支管口速度及吸力较均匀,速度具体值为-6.26 m/s、-6.23 m/s,可认为速度相等。

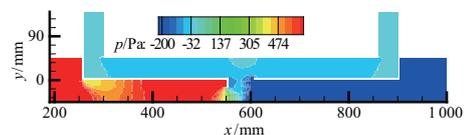


图12 截面压力分布(等距型)

(下转第96页)

并加以实验验证,仿真结果和实验数据都表明模糊 PID 控制算法具备更良好的控制效果,这样不仅节约了 PLC 程序与目标硬件的调配时间,而且还降低了研发成本,提高了生产效益。

参考文献:

- [1] 徐超明,吴青,刘志兵. 基于单片机的曲柄压力机测控显示系统的设计和仿真研究[J]. 锻压装备与制造技术, 2010, 45(5):55-60.
- [2] 沈炜. 机械压力机上梁温度监测系统研究[J]. 一重技术, 2017(4):25-29.
- [3] POPA M S.Advanced thermal measurements of modern manufacturing systems[A]. XIX IMEKO World Congress:Fundamental and Applied Metrology[C]. [S.I.]: Lisbon,2009.
- [4] 张琦.电磁阀控制系统的耐久设计[J]. 数字化用户,2014, 29(3):95.
- [5] 吴春雷,赵景昱. PLC 可编程逻辑控制器的选择方法[J]. 民营科技,2013(3):62.

- [6] 张桂香,张志军. PLC 的选型与系统配置[J]. 微计算机信息, 2005,21(19):81-82,36.
- [7] 叶军,刘海雄,廖勇锋. 基于 S7-200 PLC 和 WinCC Flexible 2008 的 PID 温度控制系统[J]. 实验科学与技术,2017, 15(4):14-17.
- [8] 王晖,杨挺. 应用 FPGA 的传感器信号采集系统的设计[J]. 科学技术与工程,2009,9(11):3144-3147.
- [9] 卢勇威. 模糊神经网络 PID 在 PLC 温度控制系统中的应用研究[J]. 科技通报,2018,34(1):155-158.
- [10] 闵军,蒋文萍. 自整定模糊 PID 算法在精密温控系统中的运用[J]. 工业仪表与自动化装置,2019(4):35-38,130.
- [11] 李珍珍,朱浩铭. 模糊 PID 控制器的设计[J]. 通信电源技术,2019,36(11):48-50.
- [12] 李腾飞. 模糊控制在过程控制系统中的应用研究[D]. 石家庄:河北科技大学,2013.

收稿日期:2020-07-13

(上接第 70 页)

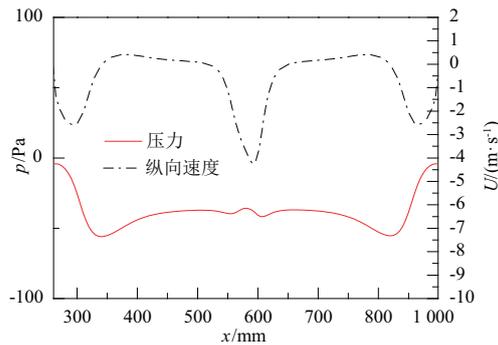


图 13 特征线上压力及纵向速度
量化值(等距型)

图 14 给出了等距型管路支管附近流线及纵向速度分布,可发现主管内气流通过挡板后流出,2 个支管气流流向管内并通过共用出口汇入主流,且 2 个支管内纵向速度一致,这进一步证明了等距型管路产生均匀吸力的有效性。

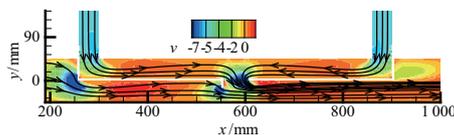


图 14 截面流线及纵向速度(等距型)

4 结语

为了设计出一款能够满足铝箔剪切机碎屑收集要求、加工工艺简单的管路结构,文中使用数值方法计算了不同

挡板结构且考虑挡板厚度时的管路流场,获得了压力-速度耦合特征,并分析了各流态出现的原因。通过本文数值计算主要得出以下结论:

1) 设置 1 个挡板时,虽然 2 个支管附近均产生负压,但速度值相差达 150%,无法满足支管吸力均匀要求。

2) 设置 2 个挡板时,第 2 个挡板会对第 1 个支管后部气流产生“阻挡”作用,形成较大低速回流区,并导致第 1 个支管气流流出管外,无法产生吸力。

3) 优化后等距型管路 2 个支管负压利用较均匀,支管口气流速度差异非常小,吸力相同,可满足工业生产需求。

参考文献:

- [1] 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.
- [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] 江开伦,商雨. 1700 mm 铝箔分切机剪切装置的改进[J]. 有色金属加工,2020,49(3):47-49.
- [4] 郑晓杰,胡海庆,时超凡. 铝箔废边剪切机吸收打碎装置:中国,CN209682296U[P]. 2019-11-26.
- [5] 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.
- [6] 叶卫东,张岩,候宇,等. 基于 FLUENT 的变径防气抽油泵性能数值模拟及研究[J]. 机械制造与自动化,2020,49(4):133-135,144.
- [7] 杨叶. 吸尘设备发展概况与展望[J]. 科技资讯,2019, 17(16):67-68.
- [8] 吴子牛. 计算流体力学基本原理[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [9] 刘跃,管小荣,徐诚. 不同 SST 模式在细长体绕流模拟中的应用比较[J]. 工程力学,2016,33(11):240-248.

收稿日期:2021-02-01