

真空吸附辊的密封特性研究

薛志成¹, 李彦锋¹, 李征¹, 卢瑶², 武秋敏², 艾波²

(1.陕西西北人印刷机械有限责任公司, 渭南 714000; 2.西安理工大学, 西安 710048)

摘要: **目的** 通过分析真空吸附辊密封模型中各结构参数对密封性能的影响, 确定最合理且最适用于实际工况要求的密封结构。**方法** 采用计算流体力学(CFD)方法对流体流动进行数值模拟, 通过 Gambit 软件建立模型并划分网格, 用 Fluent 软件对模型进行迭代, 分析密封面的结构几何参数对密封特性的影响。**结果** 以实际密封操作工况所要求的泄漏量作为衡量标准, 且综合考虑极限压力条件和停车操作的影响因素, 得知密封加工位置 $y=-3.2$ mm、密封角度为 0.04 rad 时的结构最合理、最适用于实际工况要求。**结论** 密封面的结构几何参数, 如动静环密封角度、密封加工位置及气膜厚度等对开启力、泄漏量都有重要影响。

关键词: 真空吸附辊; 密封特性; 结构参数

中图分类号: TS835 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)07-0025-04

Sealing Characteristics of Vacuum Adsorption Roller

XUE Zhi-cheng¹, LI Yan-feng¹, LI Zheng¹, LU Yao², WU Qiu-min², AI Bo²

(1. Shaanxi Beiren Printing Machinery Co., Ltd., Weinan 714000, China;

2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

ABSTRACT: The work aims to determine the most reasonable and the most suitable sealing structure for the actual working conditions based on the analysis of the influence of the structural parameters on the sealing characteristics. Computational fluid dynamics (CFD) method was used for the numerical simulation of the fluid flow, and the models were established and meshed with Gambit. The effects of the structural geometric parameters of the sealing surface on the sealing characteristics were obtained by iterative analysis with Fluent software. With the leakage quantity required by the actual operating conditions for sealing as the yard stick, and comprehensively considering the limit pressure condition and the influencing factors on the parking operation, it is learned that the structure was the most reasonable and the most suitable for the actual working conditions when the sealing position $y=-3.2$ mm and the sealing angle was 0.04 rad. In conclusion, the structural geometric parameters of the sealing surface, such as the sealing angle of dynamic and static rings, the sealing position and the air-film thickness, etc., have significant impacts on the opening force and leakage quantity.

KEY WORDS: vacuum adsorption roller; sealing characteristics; structural parameters

真空吸附辊主要在高精密涂布机中使用, 在涂布机工作的过程中, 真空泵对真空吸附辊抽气形成局部负压, 使涂布的对象在被牵引的过程中能牢靠地吸附在辊子表面而不易发生偏移, 避免了料膜滑移的现象, 从而减轻了辊子表面对涂布产品表面的磨损^[1-2], 这样就可以保证印刷产品表面(如液晶显示

屏等)的高质量和高精度^[3]。

近年来, 很多学者对真空吸附辊结构性能的改进进行了研究。2000年, 张善禹^[4]通过实验数据得出不同纸机真空辊的合理壁厚范围。2001年, 姜继海等^[5]针对推力静压轴承和静压滑环的简化模型, 研究了在改变粘度条件下缝隙流场的数学模型、有限元模型。

收稿日期: 2016-12-22

基金项目: 国家自然科学基金(11272253, 11202159, 11302003); 陕西省自然科学基金(2016JM5023, 2016JQ5038)

作者简介: 薛志成(1975—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为印刷装备设计制造、印刷企业管理。

2001年,李尽亮^[6]等对泵用新型非接触式机械密封的工作原理及其技术优势进行了研究。2004年,冯军贤^[7]提出了真空系统的优化设计方案。2008年,韩丽娜^[8]建立了纸张受力和相对透过面积之间的数学模型,并构建了实现软件参数化建模的理论基础。2012年,李庆祝^[9]提出了当前真空辊密封条接触式和无接触式密封技术的不足。2013年,黄方^[10]针对造纸机真空辊在研发时结构分析的复杂性,提出并验证其简化分析方法的正确性。2016年,杨普峰、毕壮志^[11]等提出了检查真空辊内部密封性的装置。文中则在计算流体力学(CFD)的理论基础上,建立真空吸附辊密封间隙的数学模型^[12],并用Fluent软件对模型进行迭代分析,分析后得出密封面的结构参数对开启力、泄漏量的影响,最终得出最合理且最适用于实际工况要求的密封结构^[13]。

1 建立密封模型

在真空吸附辊工作的过程中,外辊随着料膜的移动而旋转,内辊与安装在内辊上的密封条静止不动。为了提高密封条的寿命和密封性能,文中采用的密封形式为非接触式密封,它是固定径向间隙的密封,且端面间隙是可以调整和控制的^[14-15]。在此基础上,文中选取平面收敛流体膜层、线性收敛(斜平面)流体膜层和抛物线型流体膜层作为模型进行分析与研究。

为了使密封条有更好的密封性能,密封条的端面需要有一定的角度使静环和动环之间可以形成收敛流体膜,可见密封条端面的角度大小和加工角度的位置都会影响密封的效果。3种气膜截面形状的简化几何模型见图1。

模型的上表面边界条件为移动壁面,速度无滑移条件作为剪切条件,旋转坐标系作为运标方式,

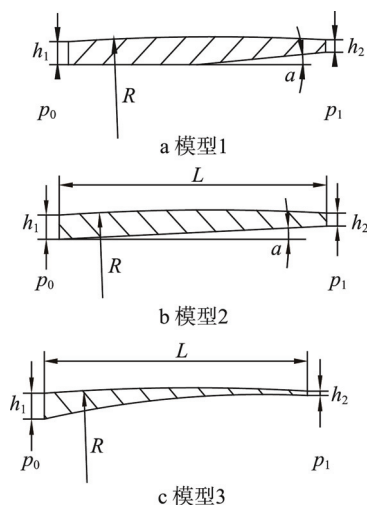


图1 气膜截面形状几何模型

Fig.1 The geometry model of gas film cross section

且转速设定为8 rad/s,旋转轴原点坐标为(0, 0, 0)和转轴坐标为(0, 0, 1),另一壁面为默认的静止壁面条件。通过使用Gambit软件,对生成的模型进行体网格的划分,导入Fluent软件后设置模型,对模型进行操作环境和边界条件的设定后迭代计算,得出相关数据。

2 密封性能

密封面的结构几何参数主要包括密封界面入口高度 h_1 、出口高度 h_2 、密封流场长度 L 、密封条斜度 α 等。该模型中,入口压力 $p_0=101.325$ kPa,出口压力 $p_{11}=45$ kPa,外辊内壁半径 $R=75$ mm。在该课题中,实际正常运行的范围为第1级轴密封。当出入口的压差为0.056 MPa时,可以查出,在该级别的压差范围内,合理的泄漏量为0.04~0.1 m³/h,最优值为中间值0.07 m³/h。选择膜厚和密封角度时将这一数值作为参考数值。

2.1 气膜厚度

在密封条角度 α 、抛物线的曲率都不发生改变,只改变气膜的入口高度时,泄露量和开启力的变化关系见图2。可以看出,当真空吸附辊的表面线速度为300 m/min时,随着膜厚的增大,3种密封模型的泄露量都增加,但开启力都减小。当气膜厚度相同时,模型1的泄露量最小,模型2的最大。参考实际密封性能的泄露量范围得出,当模型1和模型3在膜厚为0.25 mm,模型2在膜厚为0.15 mm时,达到最理想的密封。

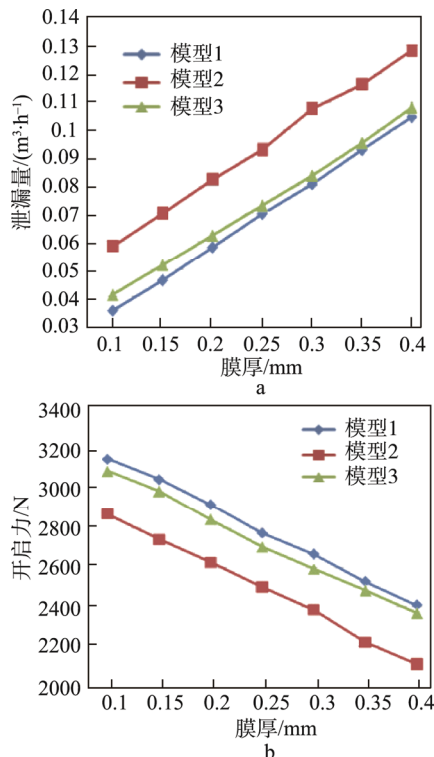


图2 气膜厚度与泄露量和开启力的关系

Fig.2 The relationship between the thickness of the film and the leakage and the lift force

2.2 密封条角度加工位置

假设 3 种模型的气膜厚度均为 0.2 mm, 模型 1 的中点为角度的起始点, 模型 2 的角度起始于模型入口处, 模型 3 的密封条为抛物线形, 通过改变抛物线的曲率来改变相应的角度, 其他条件不变。计算相应数值后, 统计结果见图 3。可以得出, 随着密封条角度的增大, 泄漏量和开启力都随之增大。在 3 种密封模型中, 模型 2 是密封性能最差的, 不予考虑。模型 3 采用抛物线型流体膜层, 泄漏量和开启力都合理, 但是模型 3 的抛物线形比较难加工, 尤其当密封材料采用氟塑料时, 很容易发生变形, 因此不是最优方案。模型 1 的开启力最小, 泄漏量与模型 3 接近, 能保证合理的泄漏量, 因此确认其为最优模型。

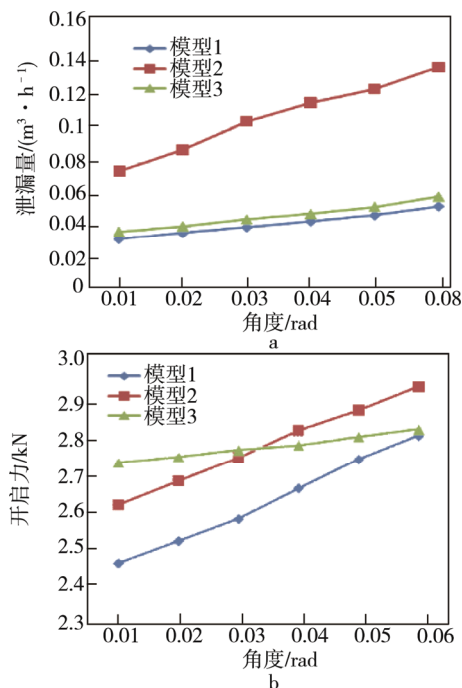


图 3 密封角度与泄漏量和开启力的关系

Fig.3 The relationship between the seal angle and the leakage and the lift force

2.3 密封角度

通过 2.2 节的比较, 选取模型 1 作为研究对象进行分析。选取其中 11 个点的数值导入 Matlab 中进行

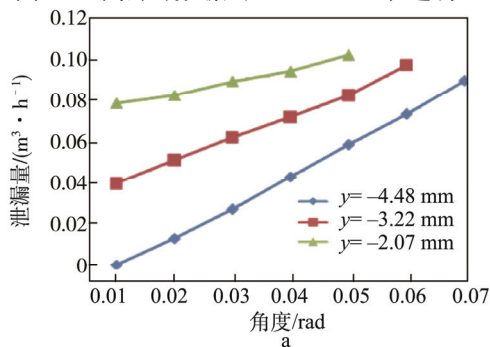


图 6 平衡时泄漏量和膜厚的比较

Fig.6 The comparison of leakage and liquid film thickness when balanced

曲线拟合, 得到周向坐标 y 随压力变化的曲线, 见图 4。拟合后得到一元五次方程:

$$y = -0.0012x^5 + 0.0237x^4 - 0.2429x^3 + 1.3821x^2 - 4.1275x + 5.0411$$

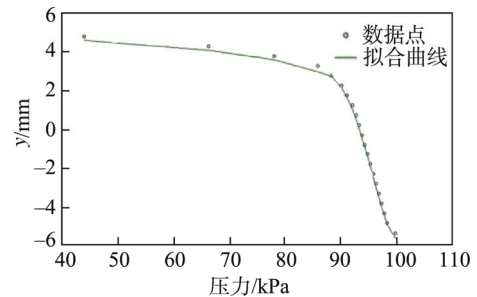


图 4 周向坐标 y 随压力变化的拟合

Fig.4 The fitted curve of circumferential position y with pressure changes

自变量 x 为气体静压力 p_0 , 设压力出口的周向坐标为 $y=0$, 在压力出口的正方向的 y 值为正, 反方向的值为负。经计算, 得出 $p_0 = \frac{F_0}{A} = 72.47$ kPa。将 p_0 值代入方程, 可得到 y 约为 -3.2 mm。

1) 假设模型 1 的密封条角度为 0.04 rad, y 为 -4.48 , -3.2 , -2.07 mm 时, 开启力在不同的气膜厚度下的数据统计结果见图 5。可得出, 当密封角度和气膜厚度固定不变时, 随着加工位置与压力出口的靠近, 开启力逐渐增大, 且随着膜厚的增大开启力减小。

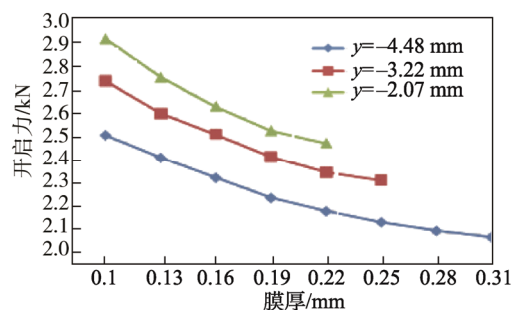
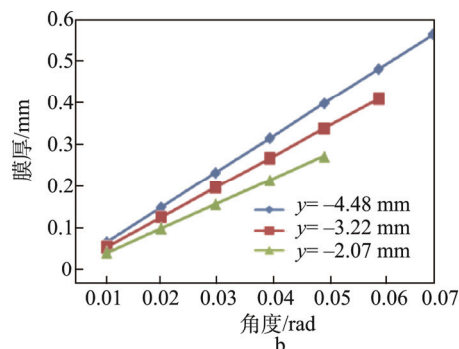


图 5 气膜厚度和开启力的关系

Fig.5 The relationship between film thickness and lift force

2) 在一定的密封角度下, 3 个加工位置达到理想密封时的泄漏量及气膜厚度值见图 6。可得出, 当



密封角度相同时,加工位置离压力出口越近,泄漏量越大,而气膜厚度越小。当密封角度增加时,加工位置越靠近压力出口边界,泄漏量变化率则会越小。

当加工位置 $y=-3.2$ mm 时,泄漏量的范围为 $0.049 \sim 0.096$ m³/h,可以满足实际要求的泄漏量。当密封角度为 0.04 rad 时,泄漏量为 0.072 m³/h,接近实际要求泄漏量的最优值 0.07 m³/h,因此该结构可以满足极限压力和正常工作压力下所要求的泄漏量。

3 结语

通过分析端面各结构参数对密封性能的影响,计算了能保证真空吸附辊正常工作的密封膜厚及泄漏量,综合考虑极限压力条件和停车操作的影响因素后,优化得出最适合于该课题实际操作工况的密封结构。通过分析密封条的 3 个不同密封加工位置,分别比较在稳定工况、极限压力 and 不同开启条件下的泄漏量,得到了最合理、最适用于实际工况的结构,即密封加工位置 $y=-3.2$ mm、密封角度为 0.04 rad。

参考文献:

- [1] 王军. 真空吸辊在双向拉伸薄膜生产线中的应用[J]. 山东农机, 2005(8): 16—17.
WANG Jun. Application of Vacuum Suction Roller in Biaxially Oriented Film Production Line[J]. Shandong Agricultural Machinery, 2005(8): 16—17.
- [2] 孙玉秋. 卷筒纸印刷机张力控制研究[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 90—92.
SONG Yu-qiu. Research on Tension Control of Web Press[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 90—92.
- [3] 刘云剑, 邢成君, 彭朝利, 等. 微凹版涂布弊病的因果分析和解决对策[J]. 信息记录材料, 2009, 10(5): 34—39.
LIU Yun-jian, XING Cheng-jun, PENG Zhao-li, et al. Causality Analysis and Solution of Micro-gravure Coating [J]. Information Recording Material, 2009, 10(5): 34—39.
- [4] 张善禹, 张晓晖. 对镍铬不锈钢真空辊辊体壁厚的探讨[J]. 华东纸业, 2000(4): 15—18.
ZHANG Shan-yu, ZHANG Xiao-hui. Discussion on Thickness of Vacuum Roller Body of Nickel-Chromium Stainless Steel[J]. East China Paper, 2000(4): 15—18.
- [5] 马文琦, 姜继海, 曹健, 等. 基于变粘度和油流惯性条件下静压滑环间隙流场特性的研究[J]. 机械工程学报, 2001, 37(7): 33—36.
MA Wen-qi, JIANG Ji-hai, CAO Jian, et al. Study on the Characteristics of Hydrodynamic Slip Ring Clearance Flow Based on Variable Viscosity and Oil Flow Inertia[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2001, 37(7): 33—36.
- [6] 李尽亮, 郝木明. 泵用无泄漏非接触式机械密封技术[J]. 炼油技术与工程, 2001, 31(7): 32—36.
LI Jin-liang, HAO Mu-ming. Non-Leakage Non-Contact Mechanical Seal Technology for Pump[J]. Refining Technology and Engineering, 2001, 31(7): 32—36.
- [7] 冯军贤, 陈科, 毛爱娟. 国产纸机真空系统的配置特点及优化[J]. 中国造纸, 2004, 23(2): 33—36.
FENG Jun-xian, CHEN Ke, MAO Ai-juan. Configuration Characteristics and Optimization of Domestic Vacuum System for Paper Machine[J]. China Paper, 2004, 23(2): 33—36.
- [8] 韩丽娜. 真空带输纸装置的性能研究及参数化设计[D]. 西安: 西安理工大学, 2008.
HAN Li-na. Performance Study and Parametric Design of Vacuum Belt Feeding[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2008.
- [9] 李庆祝. 真空辊密封条临界接触密封新技术及其应用[J]. 中华纸业, 2012, 33(2): 55—57.
LI Qing-zhu. New Technology and Application of Critical Contact Seal for Vacuum Roller Real[J]. China Paper Industry, 2012, 33(2): 55—57.
- [10] 黄方. 纸机真空辊力学分析简化方法[J]. 中华纸业, 2013(24): 65—67.
HUANG Fang. The Simplified Way for Mechanical Analysis of Vacuum Roll in Paper Machines[J]. China's Paper Industry, 2013(24): 65—67.
- [11] 杨普峰, 毕壮志. 造纸机真空辊密封气胎在线检查装置[J]. 中华纸业, 2016, 37(4): 51—51.
YANG Pu-feng, BI Zhuang-zhi. Paper-making Machine Vacuum Roll Sealing Air Tire-on-line Inspection Device[J]. China's Paper Industry, 2016, 37(4): 51—51.
- [12] 孙智一, 吴晓蓉. 计算流体力学数值模拟方法的探讨及应用[J]. 水利科技与经济, 2008, 14(2): 126—128.
SONG Zhi-yi, WU Xiao-rong. Discussion and Application of Computational Fluid Dynamics Numerical Simulation[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2008, 14(2): 126—128.
- [13] 李双喜, 张树强, 蔡纪宁, 等. 动静压混合式气体密封的特性分析[C]// 全国气体润滑与干气密封学术交流会, 2012.
LI Shuang-xi, ZHANG Shu-qiang, CAI Ji-ning, et al. Performance Study of Dynamic-hydrostatic Hybrid Gas Seal[C]// National Gas Lubrication and Dry Gas Sealing Academic Exchange, 2012.
- [14] 孙见君, 魏龙, 顾伯勤. 机械密封的发展历程与研究动向[J]. 润滑与密封, 2004(4): 128—131.
SUN Jian-jun, WEI Long, GU Bo-qin. Development and Research Trend of Mechanical Seals[J]. Lubrication and Seal, 2004(4): 128—131.
- [15] 黄峰, 安峰, 杨全超, 等. 某核电厂主泵轴密封分析[J]. 通用机械, 2014(5): 66—69.
HUANG Feng, AN Feng, YANG Quan-chao, et al. Seal Analysis of Main Pump Shaft of a Nuclear Power Plant[J]. General Machinery, 2014(5): 66—69.