工艺・设备

基于Polyflow的密炼机转子端面螺旋槽 密封模拟分析

刘彦昌1,马 冲1*,于 芳1,王 宁1,王之林1,钟宜虎2,王荣伟2 (1. 青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061;2. 无锡锦和科技有限公司,江苏 无锡 214191)

摘要:采用Polyflow软件模拟分析密炼机转子端面螺旋槽内流体的速度和压力分布,以进一步确定端面螺旋槽对转 子密封能力的影响。结果表明,转子端面螺旋槽对胶料有较好的泵送能力,产生良好的密封作用,且在一定范围内,转子 转速越高,转子端面螺旋槽的泵送能力越强,转子密封效果越好。该结果为今后的密炼机研究和生产提供一定的依据。

关键词:密炼机;转子;端面;螺旋槽;密封;Polyflow软件;压力分布;速度分布 中图分类号:TO330.4⁺3;O241.82 文章编号:1000-890X(2021)04-0296-06

文献标志码:A

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2021.04.0296



密炼机是橡胶工业中不可缺少的设备之一, 主要功能是进行橡胶混炼。由于密炼机的转子端 部与密炼室侧壁之间有轴向间隙和径向间隙,因 此生产过程中,胶料和配合剂会沿着这些间隙形 成的通道而泄漏。为防止泄漏,在通常情况下,对 转子采用端部密封(见图1),即采用由动环和静环 构成一对密封环结构。动环随转子一起旋转,静 环不旋转,但能够在外力(如液压力或弹簧力)作 用下沿轴向进行小位移的往复移动,以调节密封 环间隙。在理想情况下,向密封环间隙中注入润 滑油时会形成油膜,从而实现密封作用。

目前,转子密封形式主要有外压式和内压 式。图1所显示的密封原理是外压式的。根据在 静环上施加力的方式,外压式密封有液压拨叉式、 弹簧拨叉式、弹簧直压式和油缸直压式密封。内 压式密封与外压式密封的原理和结构基本相同, 主要区别是密封环的比压形成方式不同^[1-4]。

现有转子密封结构的共同特点是在泄漏通道 末端进行密封。这种密封造成泄漏通道内存的物

图1 转子端部密封原理示意

径向间隙

Fig. 1 Schematic diagram of rotor end sealing principle 料量较多,引起物料浪费和混炼胶料配比变化,并 且随着工作时间的延长,不均匀的磨损和热变形 都会引起一定程度的泄漏[5-9]。

针对目前密炼机转子泄漏和密封特点,有专 利^[10]将螺旋槽结构引入到轴向间隙处的转子端面 上,目的是降低进入泄漏通道入口的物料量,以杜 绝或减少密炼机转子泄漏。这一转子端面螺旋槽 密封可单独应用,也可在不改变现有密封装置的

作者简介:刘彦昌(1984--),男,山东青岛人,青岛科技大学副教授,博士,主要从事高分子材料成型技术研究工作。

Citation: LIU Yanchang, MA Chong, YU Fang, et al. Simulation analysis on spiral groove seal of mixer rotor end face based on Polyflow[J]. China Rubber Industry, 2021, 68 (4): 296-301.

基金项目:山东省重点研发计划项目(2017GSF17127)

^{*}通信联系人(821176386@qq.com)

引用本文:刘彦昌,马冲,于芳,等.基于Polyflow的密炼机转子端面螺旋槽密封模拟分析[J].橡胶工业,2021,68(4):296-301.

情况下组合使用,后者的实际意义更大。

本工作采用Polyflow软件,模拟分析密炼机转 子端面螺旋槽内流体的速度和压力分布,以进一 步确定端面螺旋槽对转子密封能力的影响,从而 为今后的密炼机研究和生产提供一定的依据。

1 转子端面螺旋槽的密封原理

转子端面螺旋槽密封结构是在转子的端面上 开设若干个螺旋槽,如图2所示,其中,v为螺旋槽 中某一点的转速, $v=2\pi rN(r$ 是该点的半径,N是转 子转速),v产生的分量分别为v₂和v_x,间隙δ为螺旋 槽底面到侧壁之间的距离,间隙 δ_1 为转子端面到侧 壁之间的距离。





在转子端面螺旋槽与密炼室侧壁之间的间隙 中,转子旋转运动引起顺螺旋槽方向的速度分量 v_z 。在理想情况下(例如在 δ_1 很小时),当由 v_z 产生 的向 δ_1 间隙外拖曳流体流率不小于由密炼室内压 引起的向 δ_1 间隙内压入流体流率时,能够实现转子 完全密封。

实现转子端面螺旋槽旋转密封必须满足如下 两个基本条件。

(1)螺旋槽的开口方向必须与转子旋转方向 相反。

(2)螺旋槽的布置至少首尾相连。如果在螺旋槽的首尾之间有间隔,必定存在径向压力梯度 引起的流动,在轴向间隙处造成泄漏。

2 转子端面模型的建立

2.1 几何模型

以1.5 L剪切型实验密炼机为例,转子端面螺 旋槽的几何参数如图3所示。



图3 转子端面螺旋槽几何参数示意 Fig. 3 Geometry parameters of spiral groove on rotor end face

设计的转子端面螺旋槽的几何参数初始值如下:螺旋槽宽度(w) 13 mm,非槽区宽度(b) 12 mm,螺旋槽深度(h) 2 mm,螺槽底半径(l) 43 mm,螺旋角(α) 25°,转角(θ) 18.53°,螺旋槽数 量 17。

根据参数值绘制相应的转子端面螺旋槽的三 维模型和流体域模型^[11],如图4所示。





2.2 本构方程和参数

选取Bird-Carreau模型作为本构模型^[12]:

 $\eta(\dot{\gamma}) = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})[1 + (\lambda\dot{\gamma})^2]^{\frac{n-1}{2}}$ 式中:η_∞为熔体的无穷大剪切粘度,默认值为零;η₀ 为熔体的零剪切粘度;λ为熔体的特征时间; γ 为熔 体的剪切速率;n为非牛顿指数。

混炼胶的物性参数为:密度 $1.066 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,

 $\eta_0 = 10\ 000\ \text{Pa} \cdot \text{s}, \eta_\infty = 0, \lambda = 0.4\ \text{s}, n = 0.25_{\,\circ}$

2.3 边界条件设置

假设胶料熔体与密炼室侧壁和转子端面没有 相对滑移,设置边界条件如图5所示。

(1)壁面边界条件:法向速度和切向速度均 为零。

(2)转子端边界条件:法向速度和切向速度均



为零。

(3)外径边界条件:外径作为胶料泄漏的入口,其边界施加一定的压力。

(4)内径边界条件:与转子相同的转速。

3 结果与讨论

当1.5 L密炼机工作时,密炼室对胶料的压力为0.6 MPa,因此将流体域外径处的压力设定为0.6 MPa,转子转速为60 r•min⁻¹。转子端面螺旋槽内流体的速度矢量分布云图如图6所示。







图6 转子端面螺旋槽内流体的速度分布矢量云图 Fig. 6 Velocity vector distribution nephograms of fluid in spiral groove on rotor end face 从图6可以看出,螺旋槽内流体的速度方向在 靠近出口的位置发生了改变,直至从出口流出,且 在出口处速度最大,这是由于越靠近螺旋槽出口, 旋转线速度越大,产生的速度分量v₋也就越大。

间隙δ₁内流体的速度矢量分布云图如图7 所示。



(a) 整体



(b)B处局部放大

图7 间隙δ₁内流体的速度矢量分布云图 Fig. 7 Velocity vector distribution nephograms of fluid in gap δ₁

从图7可以看出,间隙 δ_1 内流体的速度分布与 螺旋槽内流体大致相同,同时其附近的流体也产 生了向外的速度分量,且数值较大,说明螺旋槽内 流体对间隙 δ_1 内流体产生了拖曳作用,使间隙 δ_1 内 流体产生向外的速度分量,直至从出口流出。

转子端面螺旋槽内流体的压力分布云图如图 8所示。

从图8可以看出,密封压力的整体变化趋势为 沿螺旋槽向外逐渐减小,呈线性变化。螺旋槽的 开口处和根部的压力差较大,说明螺旋槽对流体 产生较强的泵送作用,起到了对转子端面的密封 作用;另外,压力沿螺旋槽逐渐变化,说明螺旋槽 的长度对密封作用有重要影响。



图8 转子端面螺旋槽内流体的压力分布云图 Fig. 8 Pressure distribution nephograms of fluid in spiral groove on rotor end face

间隙心内流体的压力分布云图如图9所示。

从图9可以看出,靠近螺旋槽根部的流体压力 较大,说明螺旋槽的泵送作用对间隙δ,内流体产生 较大影响,使间隙δ,内流体向外沿径向方向有一定 的压力差,起到了一定的泵送作用。

转子转速分别为60,70,80,90和100 r • min⁻¹ 时转子端面螺旋槽内流体的整体速度分布云图如 图10所示。

从图10可以看出,在不同转子转速下螺旋槽



图9 间隙δ₁内流体的压力分布云图

Fig. 9 Pressure distribution nephograms of fluid in gap δ_1 内流体的速度变化趋势基本相同。

不同转子转速下转子端面螺旋槽内流体的泵 送速度如图11所示。

从图11可以看出,随着转子转速的增大,螺 旋槽内流体的速度增大,从而单位时间内螺旋槽 的泵送流量增大,因此转子端部的密封能力得到 增强。

另外,随着转子转速的增大,流体速度的变化 量呈减小趋势,泵送速度与转子转速为非线性关 系,这是因为胶料熔体存在剪切变稀行为。





(b) 70 r • min^{-1}

(c) 80 r • min^{-1}





Fig. 10 Overall velocity distribution nephograms of fluid in spiral groove on rotor end face at different rotor speeds



图11 不同转子转速下转子端面螺旋槽内流体的泵送速度 Fig. 11 Pumping velocity of fluid in spiral groove on rotor end face at different rotor speeds

4 结论

采用Ployflow软件对密炼机转子端面螺旋槽 的密封效果进行模拟分析,获得了在不同转子转 速下转子端面螺旋槽内流体的速度和压力分布, 得到如下结论。

(1)转子端面螺旋槽对胶料有较好的泵送能力,产生良好的密封作用。

(2) 在一定范围内,转子转速越高,转子端面 螺旋槽的泵送能力越强,转子密封效果越好。

本工作对研究密炼机转子端面密封具有一定 的参考价值。

参考文献:

[1] 刘丽.密炼机端面密封装置及其润滑系统的研究[D].北京:北京化工大学,2006.

LIU L. Research on end face seal device and lubrication system of internal mixer[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2006.

[2] 翟淦波,黄友发,关德治.密炼机转子轴端密封机理剖析[J].橡塑 技术与装备,1989,15(1):1-6.

ZHAI G B, HUANG Y F, GUAN D Z. Analysis of shaft end sealing mechanism of internal mixer rotor[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 1989, 15 (1) : 1–6.

[3] 陈英. 密炼机转子端面密封装置增压方案设计[J]. 轻工科技, 2014(5):42-44.

CHEN Y. Pressurization scheme design of rotor end face seal device of internal mixer[J]. Guangxi Journal of Light Industry, 2014 (5) : 42-44.

[4] 孙庆伟,刘冰,崔浩森,等.GK密炼机油缸直接液压密封结构及关

键件应力分析[J]. 橡塑技术与装备,2016,42(11):55-58.

SUN Q W, LIU B, CUI H S, et al. Analysis of GK mixer cylinder direct seal structure and key parts stress[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2016, 42 (11):55–58.

[5] 张普义. 新型转子密封装置设计与制造的若干问题[J]. 橡塑技术 与装备,1992,18(6):24-26

ZHANG P Y. Some problems in design and manufacture of new type rotor sealing device[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 1992, 18 (6):24–26.

[6] 王建军. 密炼机转子端面润滑密封监控系统研究[D]. 大连:大连理 工大学,2008.

WANG J J. Research on monitoring system of rotor end face lubrication seal of internal mixer[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008.

 [7] 宋宝玉.密炼机转子密封装置与故障排除实例[J]. 润滑与密封, 2016(3):146-148.

SONG B Y. Mixer rotor sealing device and trouble shooting examples[J]. Lubrication Engineering, 2016(3):146–148.

[8] 周英志,周毅.橡塑密炼机的技术进展[J].橡塑技术与装备, 2016,42(17):20-25.

ZHOU Y Z, ZHOU Y. Technical progress of the rubber/plastic internal mixer[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2016, 42 (17): 20-25.

[9] 刘艳军,任风年,纪宇博,等.密炼机端面密封装置评述[J]. 橡塑技 术与装备,2011,37(2):38-43.

LIU Y J, REN F N, JI Y B, et al. Review on end seal device of mixer[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2011, 37 (2):38–43.

- [10] 孙旭灿,韩正霖,刘彦昌. 一种密炼机转子端面密封装置[P]. 中国: CN 207403022U,2018-05-25.
 SUN X C, HAN Z L, LIU Y C. An internal mixer rotor end face sealing device[P]. China: CN 207403022U,2018-05-25.
- [11] 汪传生,张磊,翟天剑,等.不同初始相位角同步转子密炼机混炼 流场的有限元模拟分析[J]. 橡胶工业,2019,66(6):471-474.
 WANG C S,ZHANG L,ZHAI T J, et al. Finite element simulation analysis on mixing flow field of mixer with synchronous rotor and different initial phase angle[J]. China Rubber Industry,2019,66(6): 471-474.
- [12] 钱欣,许王定,金杨福. Polyflow基础及其在塑料加工中的应用[M].北京:化学工业出版社,2009:235-236.
 QIAN X,XU W D,JIN Y F. Polyflow foundation and its application in plastic processing[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 235-236.

收稿日期:2020-10-15

LIU Yanchang¹, MA Chong¹, YU Fang¹, WANG Ning¹, WANG Zhilin¹, ZHONG Yihu², WANG Rongwei² (1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China; 2. Wuxi Jinhe Technology Co., Ltd, Wuxi 214191, China)

Abstract: The velocity and pressure distribution of the fluid in the spiral groove on the mixer rotor end face was simulated and analyzed by using Polyflow software, so as to further determine the influence of the spiral groove on the sealing capacity of the rotor. The results showed that the spiral groove on the rotor end face had better pumping capacity and sealing effect. In a certain range, the higher the rotor speed was, the stronger the pumping capacity of the spiral groove on rotor end face was, and the better the rotor sealing effect was. The results provided a certain basis for the future research and production of mixer.

Key words: mixer; rotor; end face; spiral groove; seal; Polyflow software; pressure distribution; velocity distribution

专利4则

一种高效耐霉菌硅橡胶材料及其制备方法 由陕西省石油化工研究设计院申请的专利(公布 号 CN 112011186A,公布日期 2020-12-01)"一 种高效耐霉菌硅橡胶材料及其制备方法",涉及的 硅橡胶材料配方为:线性聚硅氧烷(相对分子质 量为80万) 100,功能补强剂 80~150,结构控 制剂 5~8,新型助剂 7~10,耐霉菌添加剂 4~8,硫化剂 1~3。该硅橡胶材料可以同时兼 顾耐热性能、耐霉菌性能和耐低温性能,并且其耐 盐雾性能大幅提高,使用寿命大幅延长,该硅橡胶 材料在军用和航空航天等领域的应用范围进一步 扩大。

还原氧化石墨烯丁腈橡胶及无牙痕牙块的制备方法 由吴立中申请的专利(公布号 CN 112029162A,公布日期 2020-12-04)"还原氧化 石墨烯丁腈橡胶及无牙痕牙块的制备方法",涉及 的丁腈橡胶(NBR)胶料配方:NBR 100~140, 还原氧化石墨烯-NBR母胶 30~90,填料 59~86.6,活性剂 5~7,增塑剂 17~23.8, 防 老剂 2~2.8, 二氯苯酚 2~2.8, 固化剂 0.1~0.14, 硫化剂 1.8~2.52, 促进剂

1.2~1.68。该发明解决了填料与NBR间的相容问题,使NBR胶料具有优异的物理性能,适用温度范围广,使用稳定性好。

一种环保型橡胶密封圈 由南京太洋新材料 有限公司申请的专利(公布号 CN 112048132A, 公布日期 2020-12-08)"一种环保型橡胶密封 圈",涉及的橡胶密封圈胶料配方为:氯磺化聚乙 烯橡胶 85~95,树脂 12~25,补强剂 5~18, 氧化锌 14~27,硬脂酸 11~23,氯化石蜡 9~19。该橡胶密封圈具有成本低、抗弯曲能力 强、防火性好、使用寿命长、承载能力大、密度小、 绿色环保等优点。

一种导电硅橡胶 由沅陵县成瑞祥粉体 材料科技有限公司申请的专利(公布号 CN 112029287A,公布日期 2020-12-04)"一种导 电硅橡胶",涉及的导电硅橡胶配方为:硅橡胶 60~70,碳粉 30~40,金属粉 3~7,溶剂 100~120,催化剂 1~3,交联剂 10~20。该导 电硅橡胶具有体积电阻率小、耐老化性能好及使 用寿命长的优点。

(本刊编辑部 赵 敏)