

新型啮合转子混炼过程有限元模拟分析

汪传生, 徐小林, 潘弋人, 边慧光

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:对新型啮合转子进行混炼过程进行有限元模拟分析, 计算了啮合转子能完成的预期剪切效果和混合指数概率分布。分析啮合转子的流场发现, 啮合转子混炼区在两转子啮合区域, 对胶料既有捏炼效果, 又有剪切效果, 由此可获得温升较低、质量较好的胶料, 但由于剪切效果较小, 因此可能会导致混合效率和生产效率较低。

关键词:啮合转子; 有限元; 混合指数

中图分类号: TQ330.4⁺3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-890X(2018)01-0001-05

转子是密炼机的核心部件, 工作时与混炼室一起完成对胶料的剪切分散和捏炼分布, 转子构型直接影响混炼性能、生产效率和混炼胶质量。常用的转子类型有切线型和啮合型两大类^[1]。随着白炭黑填料等热敏性胶料应用越来越多, 啮合型转子越来越受到重视, 该转子具有类开炼机的一些优点, 如良好的分散性和易于控温等^[2], 也因此, 啮合转子密炼机逐渐成为橡胶工业中不可替代的混炼设备^[3]。

本工作采用Polyflow软件对啮合型转子转动180 s的流场进行动态模拟, 转子每混炼18 s均匀选取10个瞬态流场模型, 分析流场变化情况。

1 模型

1.1 物理模型

采用Pro/E软件对啮合型转子及流场进行结构设计。选取90E密炼机转子, 图1所示为自行设计的啮合转子造型及流场网格模型。

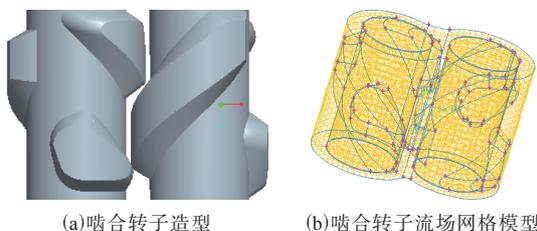


图 1 啮合转子造型及流场网格模型

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50775116)

作者简介: 汪传生(1960—), 男, 安徽安庆人, 青岛科技大学教授, 博士, 主要从事高分子材料加工机械的教学和研究工作。

新型啮合转子的几何参数如表1所示。

模拟采用Bird-Carreau模型^[4], 既可以描述高剪切速率下假塑性流体的流变性质, 又可以描述低剪切速率下的牛顿流体的流变性质:

$$\eta(\dot{\gamma}) = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})(1 + (\lambda\dot{\gamma})^2)^{(n-1)/2} \quad (1)$$

式中: η_0 为零剪切速率粘度, Pa·s; η_{∞} 为无穷剪切粘度, Pa·s; λ 为胶料的粘弹性的特征时间, s; n 为非牛顿指数。

表 1 密炼室及啮合转子的基本几何参数 mm

结构参数	啮合转子	密炼室
中心距	440	440
内直径	340	340
外直径	470	476
长度	648	648

本次模拟采用胶料的参数值为: 胶料密度 $\rho = 1.066 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$, $\eta_0 = 1.0 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\eta_{\infty} = 10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\lambda = 3.02$, $n = 0.385$ 。

1.2 边界条件

采用转子相对旋转、密炼室静止的真实边界条件, 壁面无滑移假设, 转子表面速度随着转子转速的变化而变化, 两转子异向向内旋转, 转速为 $60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 两转子转速比为 1:1。

2 模拟结果分析

重点选取两转子螺棱啮合平面, 轴向选取 0.108 m、0.540 m 及转子中间位置三个均布平面, 考察长短棱的不同交互区域的流场分布情况, 选取的轴向及水平截面如 2 所示。

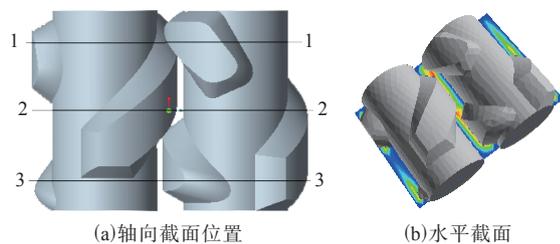


图2 啮合转子截面位置

2.1 压力场

转子在0.5 s时刻的整体压力分布如图3所示, 轴向截面的压力分布如图4所示。

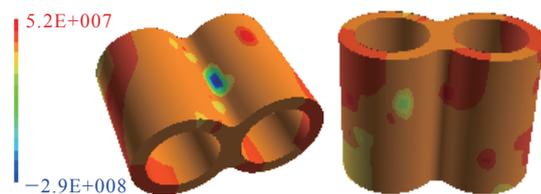


图3 0.5 s啮合转子流场的整体压力分布

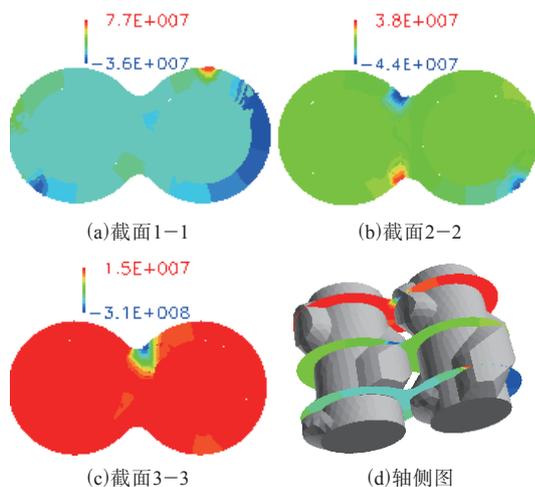


图4 轴向截面1-1、2-2、3-3的压力分布

由图3和4可知, 在转子棱推进面存在一个高压区域, 压力峰值出现在转子棱峰顶部。三个轴向截面的环向压力峰值出现交替现象, 这对于胶料的轴向流动起到良好的推动作用。

2.2 速度场

0.5 s时刻流场速度矢量分布展示了胶料在啮合转子作用下的流动规律, 如图5所示。

远离转子啮合区域周围的胶料速度流动比较规律, 两转子啮合区域的物料交互情况, 即从一个混炼室向另一个混炼室的“8”字形流动, 这种交互可以降低两个混炼室的物料均匀性。

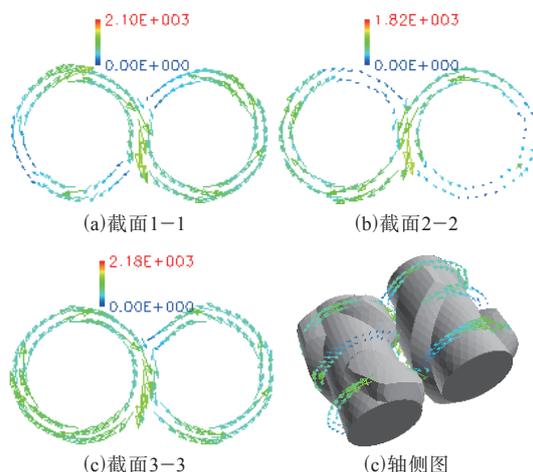


图5 0.5 s轴向截面速度矢量分布

而图6所示为右侧转子转子在0.7 s时3个轴向截面的轴向速度分布, 其中红色表示垂直于纸面向外的速度, 蓝色表示垂直纸面向内的运动, 从中可以看出转子两侧的轴向速度场比较大, 中间啮合区域的轴向场不明显, 转子两端的速度较中间位置的更大, 这对于物料的折卷作用比较明显。

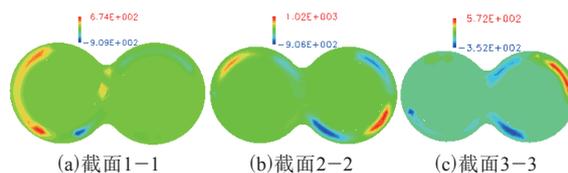


图6 0.7 s轴向截面轴向速度分布

图7所示为转子在一个周期内水平截面的轴向速度分布, 从图中可以看出, 整个周期内的流动比较复杂。图中红色的区域为速度沿纸面向下的流动方向, 蓝色的区域为沿纸面向上的流动方向。轴向速度表征了转子对胶料的分布能力, 水平截面的速度场可以间接表征物料在三维空间内的轴向流动, 在不同时刻轴向的运动速度差别较大, 最大的轴向速度出现在长棱开始出现在啮合区域, 开始挤压另一个对应啮合区域螺槽的胶料, 胶料因此产生了高速拉伸, 轴向移动胶料的能力和趋势非常强; 从速度极值可发现, 啮合转子的轴向运动较为强烈, 剪切作用也较明显。从图中还可以发现胶料轴向流动规律, 后转子负责把胶料向下赶, 前转子负责把胶料向上赶, 因此整个回转周期内轴向流动是一个大的循环。可以看出啮合转子比四棱同步转子的轴向移动周期长一倍^[5]。

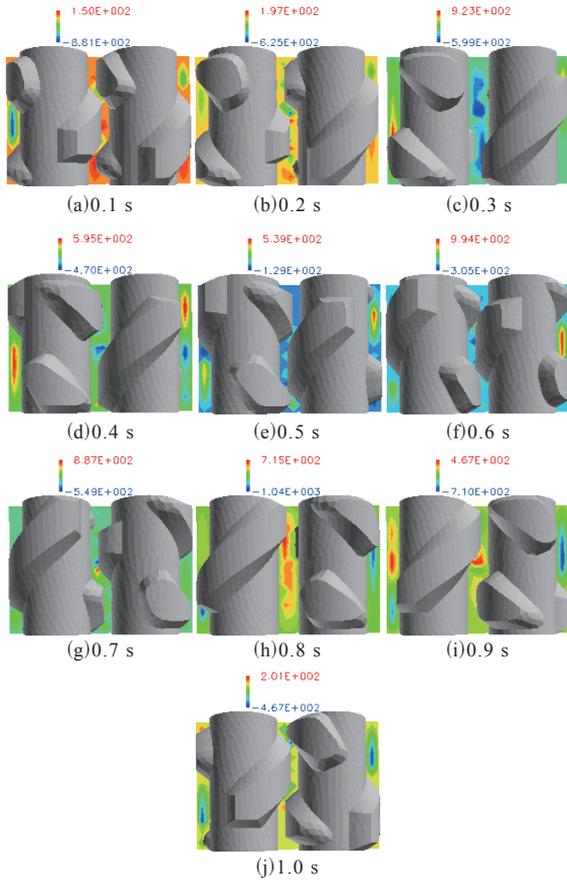


图7 1个周期内水平截面的Z向速度分布

2.3 流场的剪切速率分布

图8和9为转子在0.2 s和0.7 s时刻的剪切速率

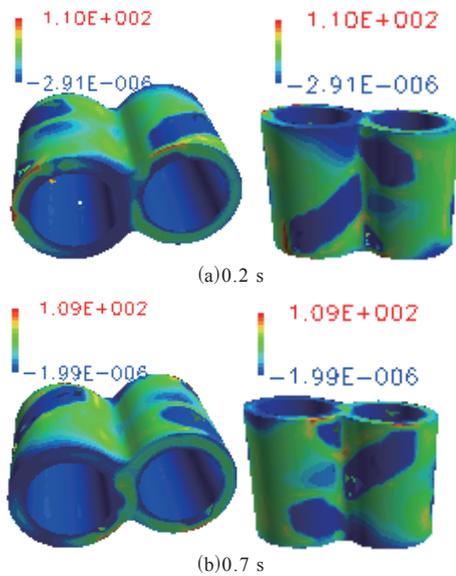


图8 0.2 s和0.7 s时刻转子流场的剪切速率分布

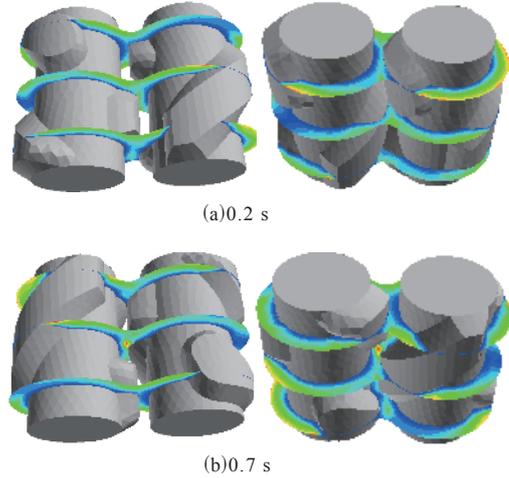


图9 0.2 s和0.7 s时刻轴向截面剪切速率分布

分布。由图可知,在棱峰及长短棱交互的区域产生高的剪切速率较小,而在转子基圆附近速度梯度小,因而剪切速率较小。粘附在转子表面胶料的剪切速率最小,这是由于转子的拖曳作用造成的。相比剪切型转子的最大剪切速率,啮合型转子的最大剪切速率相对要小。

图10为剪切速率和最大剪切速率概率函数曲线,可以看出:啮合型转子剪切速率的概率方程随着时间的变化而变化,与剪切型转子的剪切速率方程基本不随时间变化不同,这是由于啮合转子棱不断啮合,突棱数量较少,而且啮合棱的形状功能差别较大,使得不同时刻剪切速率有较大变化;最大剪切速率的概率是时间的方程,可以看到随着时间的增加,经历最大剪切速率的胶料在不断增加。

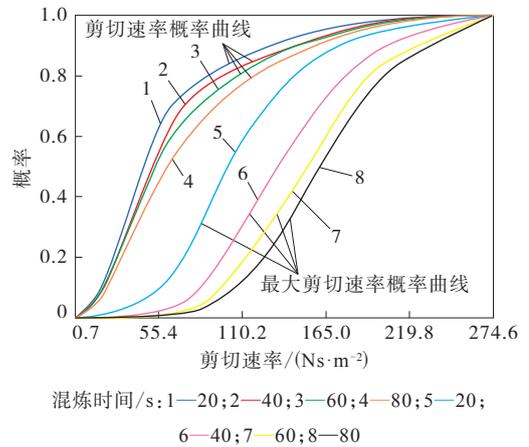


图10 剪切速率概率和最大剪切速率概率函数曲线

2.4 流场的粘度分布

啮合转子在0.3 s和0.5 s时刻的粘度分布如图11和12所示。

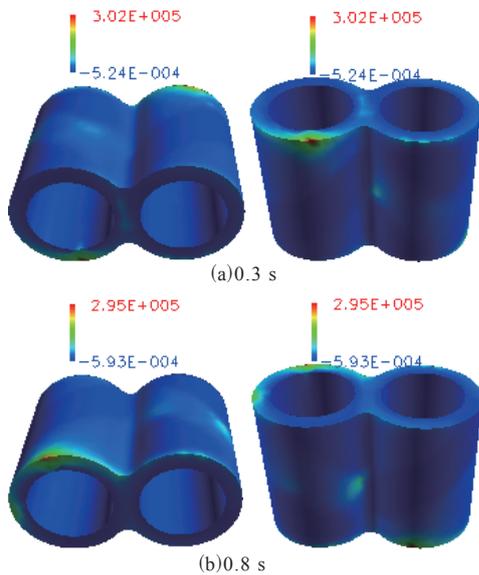


图11 啮合转子流场的粘度分布

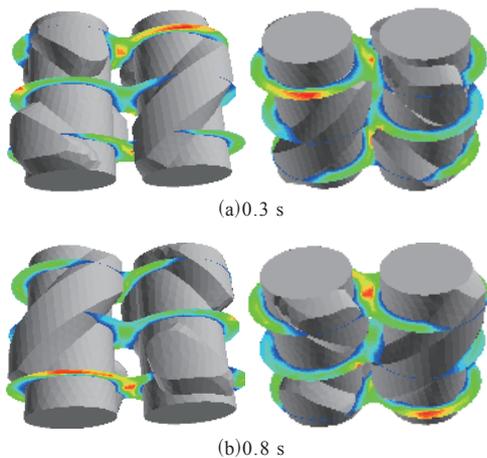


图12 轴向截面的粘度分布

由图11和12可知,啮合转子流场粘度的分布跟剪切型转子流场粘度的分布类似,突棱的前锋面粘度呈月牙形分布,在转子棱峰处的粘度几乎为零,而在转子交互作用弱的区域黏度变大。同时可以看出啮合转子混炼胶料粘度分布的特点,其流场剪切速率分布较为均匀。

2.5 流场的混合指数分布

图13是转子0.1 s和0.5 s时刻轴向截面的混合指数分布,其他时刻较为相近不再列出。从图中可看出,转子流场各截面的混合指数整体偏低。

虽然存在一定拉伸流动,但仍以剪切流动为主,高拉伸流动区域峰值一般都出现在啮合区域。

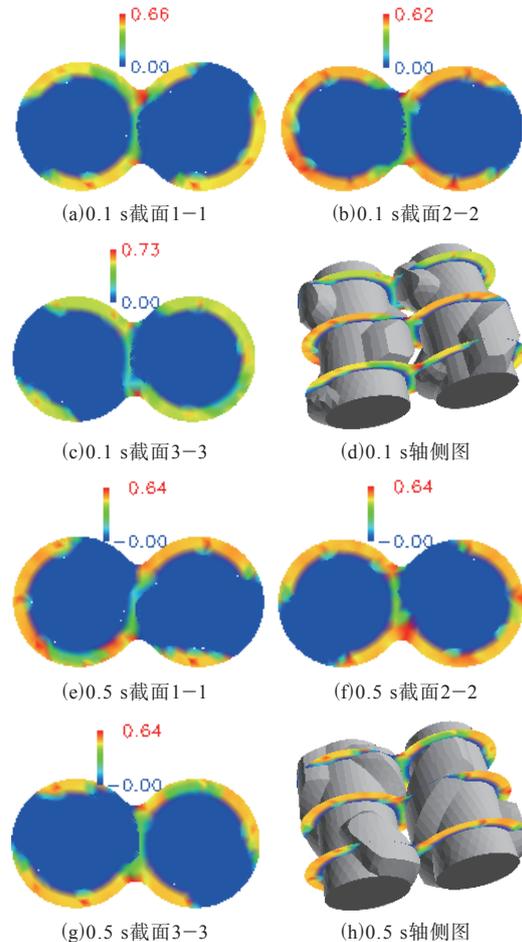
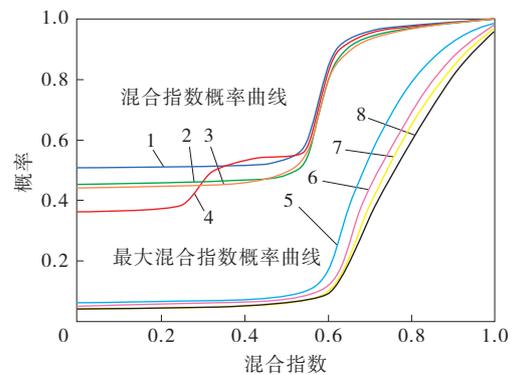


图13 转子0.1 s到0.5 s时刻轴向截面的混合指数分布

图14为混合指数统计分析得到的转子流场混合指数概率和最大混合指数概率函数曲线。

从图14可以看出,啮合型转子流场的混合指



注同图10。

图14 轴向截面的混合指数分布

数的概率方程随着时间变化而变化,不同时刻具有相同混合指数范围的粒子比例略有不同,随着转子回转变化的,随着时间进行,更多的粒子经历了高拉伸流场;小于50%的粒子处于弱剪切流场(即混合指数 <0.2),大约5%的粒子处于拉伸流动中(混合指数 >0.8)。但最大混合指数的概率随着时间增加增大,说明随着混炼过程的进行,更多的粒子受到了拉伸作用。

3 结论

通过对啮合转子进行混炼过程进行流场动态分析可知,啮合转子混炼区在两转子啮合区域,对胶料既有捏炼效果,又有剪切效果,由此可获得温升较低、质量较好的胶料,这也是啮合型转子应用广泛的原因。由于剪切效果较小,因此可能导致混合效率和生产效率较低。另外,啮合区域为高压区,并且高压点在短棱附近,可在转子设计

时针对性校核转子强度。计算了其流场中胶料的剪切速率和混合指数概率分布,发现剪切速率和混合指数概率是时间的函数,随着混炼过程的进行,更多的胶料受到拉伸和剪切作用。

参考文献:

- [1] 李利,王显林,王振鲁,孙书华. 密炼机转子构型与混炼性能的关系[J]. 橡胶工业,2013,60(11):688-692.
- [1] 张作利,吴会忠,吕志文,混炼技术对密炼机生产效率和混炼胶质量的影响[J]. 轮胎工业,2010,30(5):298
- [2] 张普义,谷春龙,270L同步转子密炼机简介[J]. 橡胶技术与装备,1999,25(5):32
- [3] 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,2010. 311-318
- [4] 刘金朋,李凡珠,杨海波,张立群. 相向/同向转子密炼机混合效率的数值模拟[J]. 橡胶工业,2015,62(12):741-747.
- [5] 董振刚,朱向哲. 三种转子密炼机混合特性对比分析[J]. 当代化工,2016,(10):2424-2426.

收稿日期:2016-02-01

Finite Element Analysis of New Intermeshing Rotor

WANG Chuangsheng, XU Xiaolin, PAN Yiren, Bian Huiguang

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: The mixing process of the new intermeshing rotor was simulated by finite element method, and the expected shear effect and probability distribution of mixing index were calculated. The results showed that, the mixing zone of intermeshing rotor was in the intering area of two rotors by flow field analysis of intermeshing rotor, and could be have both kneading and shear effect, thus low temperature rise and better quality compound could be achieved, but it may lead to the mixing efficiency and low production efficiency because of lower shear effect.

Key words: intermeshing rotor; finite element analysis; mixing index