

密炼机啮合转子的三维流场模拟

边慧光, 王 雷, 汪传生

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:采用 ADINA 有限元分析软件对啮合转子所形成的三维流场进行模拟分析, 得到转子 6 个啮合相位角的速度场分布。分析发现, 啮合转子混炼区在两转子啮合区域, 并且啮合区域为高压力区, 高压力点在短棱附近, 为设计时校核转子强度提供了校核危险点, 并为转子设计提供了可靠的理论依据和技术参数。

关键词:密炼机; 啮合转子; 流场; 有限元分析

中图分类号: TQ330.4⁺3; Q241.82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2012)02-0111-04

啮合型密炼机和剪切型密炼机是密炼机的两种基本形式。由于剪切型密炼机的高剪切特性使其早期在橡胶加工行业中得到广泛应用, 因此称为产量型密炼机。啮合型密炼机的研究和开发起步较晚, 然而由于在混炼方面低剪切的优良特性使其近年来得到越来越广泛的应用, 因此称为质量型密炼机。啮合型密炼机的混炼作用发生在两转子之间的啮合区域, 为了更清晰地掌握啮合转子在啮合区域中胶料的变化特点, 如胶料的流动、流变过程、传热机理及剪切和捏料效果等, 本工作采用青岛科技大学设计的啮合型转子和 ADINA 有限元分析软件, 研究啮合型转子的啮合机理。

ADINA 作为有限元模拟软件, 由于其在计算理论和求解问题的广泛性方面处于全球领先地位, 尤其针对结构非线性、流体和流固耦合等复杂工程问题, 因此被业内人士认为是非线性有限元发展方向的代表。经过近 20 年的商业化开发, ADINA 已经成为近年来发展最快的有限元软件以及全球最重要的非线性求解软件之一, 因此被广泛应用于各行业的工程仿真分析, 包括机械制造、材料加工、航空航天、汽车、土木建筑、电子电器、国防军工、船舶、铁道、石化和能源等各领域。

1 模型建立

进行有限元分析, 首先要建立相应的物理模

型、数学模型和有限元模型^[1-2]。

为更好地描述啮合转子的流畅模拟, 在转子旋转的圆周方向取 6 个不同的初始相位, 并对不同初始相位角的转子进行建模并模拟, 将每一种相位角得到的结果进行比较。不同初始相位角的转子如图 1 所示。

1.1 物理模型

本研究采用 PROE 软件进行三维实体造型, 首先给出啮合转子螺旋棱的螺旋线的数学方程, 作出螺旋线, 绘出转子螺旋棱的轴截面图, 绕螺旋曲线扫描得到转子棱体, 再进行实体拉伸, 完成三维实体造型。然后通过实体拉伸得到密炼室内壁。该流场由密炼室内壁与转子外表面之间的空隙组成, 如图 2 所示。

1.2 数学模型

在拟定流场时, 考虑到转子混炼过程中转子混炼区的具体工艺条件及橡胶的特性, 做如下假设:

- ① 流体为幂律流体;
- ② 流体为不可压缩流体;
- ③ 惯性力、重力远小于粘滞力, 可忽略不计;
- ④ 流场为稳定和等温流场;
- ⑤ 胶料雷诺数较小, 流动为层流流动;
- ⑥ 胶料在流道壁面上无滑移;
- ⑦ 流体在流道内是全充满的。

为了既描述在高剪切速率下的假塑性流体的流变性质, 又描述在低剪切速率下牛顿流体的流变性质, 本研究采用 Carreau 模型:

作者简介:边慧光(1982—), 男, 山东菏泽人, 青岛科技大学讲师, 硕士, 主要从事高分子材料加工技术及装备的教学和科研工作。

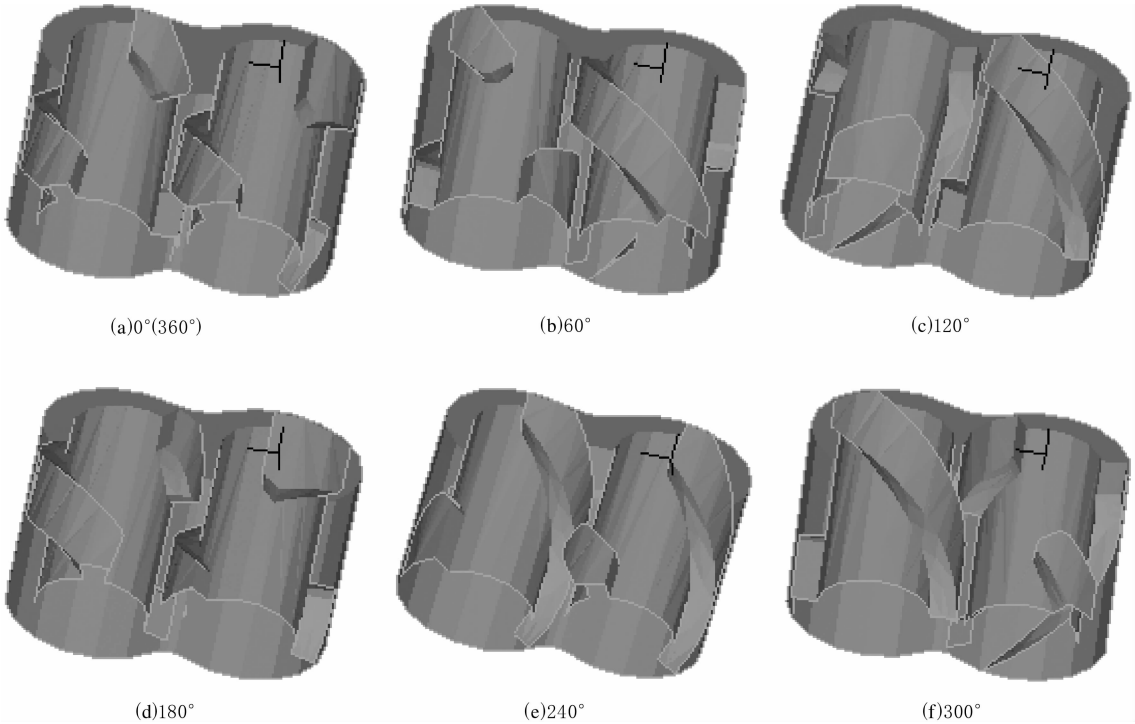


图 1 不同初始相位角的转子示意

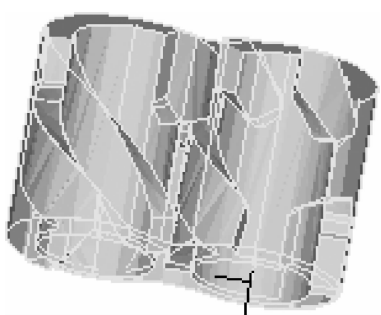


图 2 啮合转子流场几何构型

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

式中 η_{∞} ——无穷剪切粘度；
 η_0 ——初始粘度，即零剪切速率时的粘度；
 λ ——粘弹性特征时间；
 $\dot{\gamma}$ ——剪切速率；
 n ——幂律指数。

其中， $\eta_0 = 1 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ， $\eta_{\infty} = 10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ， $\lambda = 10$ ， $n = 0.23$ ，胶料密度为 $1.066 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。这些参数在 $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下测得。由于幂律指数为 -0.385 ，因此本研究假设的胶料流体为塑性流体。

1.3 有限元模型

胶料的流场为密炼室内的空间减去两转子的体积。胶料流场的三维网格模型如图 3 所示，转

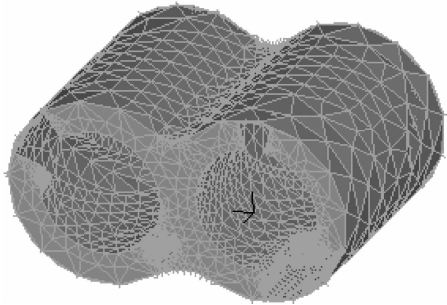


图 3 啮合转子流场网格模型

子转速取 $60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

1.4 边界条件

将所模拟的三维流场模型进行网格划分并建立有限元模型后，需要加载边界条件进行求解。本研究采用真实速度边界条件，根据壁面无滑移假设，在转子的外表面加载速度边界条件。

2 计算结果与讨论

在密炼机混炼过程中，由于转子的作用，胶料会在周向和轴向做三维运动，为了更清晰地表示胶料在混炼过程中的速度场，本次分析对三维实体沿着 XOY 平面剖开， XOY 平面上各时刻的胶料速度等值分布云图和矢量图如图 4 所示。选取转子每转动 60° 截取一个平面观察胶料的运动情

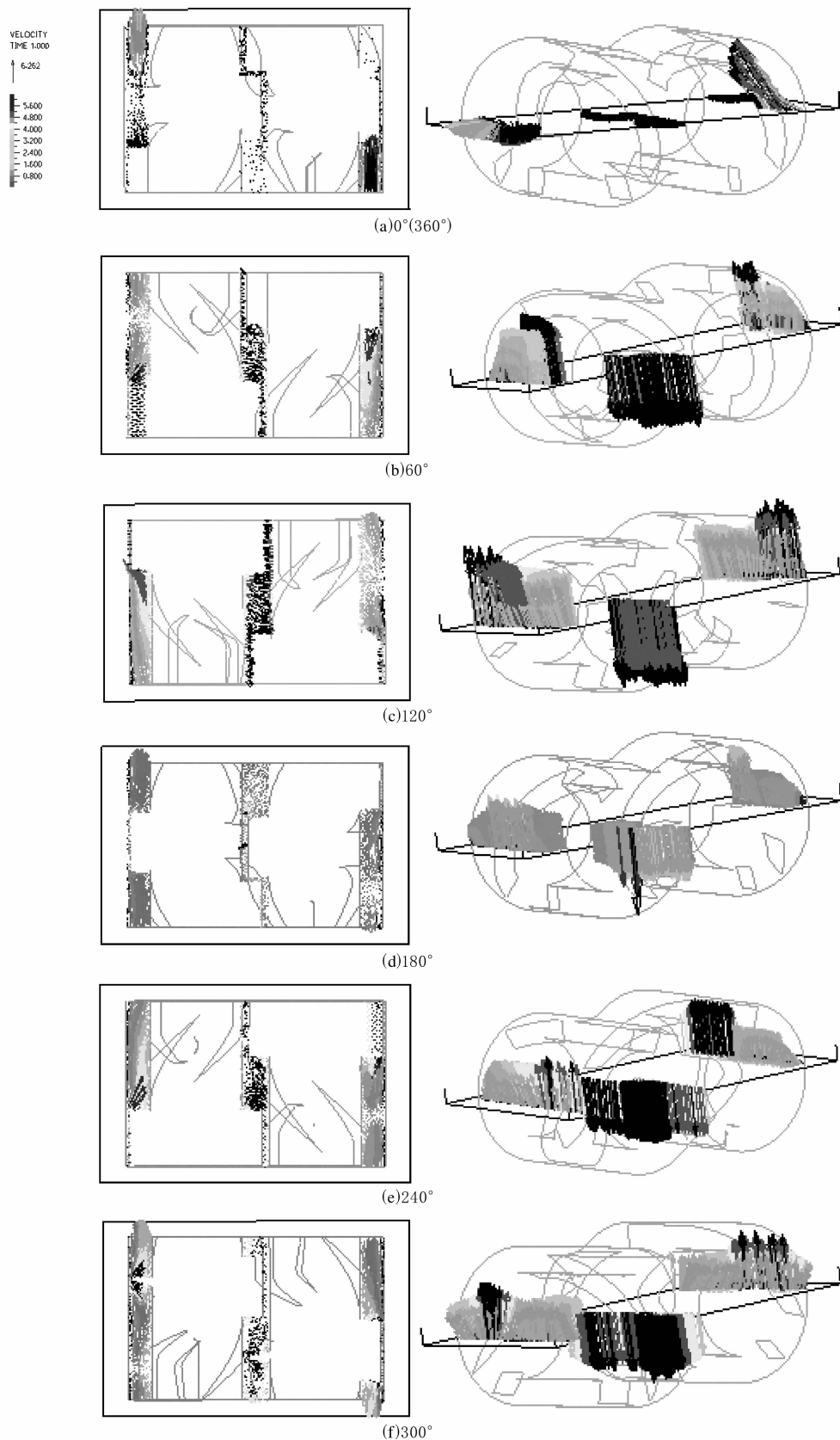


图 4 密炼机啮合转子速度场分布

况,共有6个位置的分布图。规定左转子顺时针运动,右转子逆时针运动。

图4中左图均为每个角度XOY平面的截面图,右图均为速度场矢量图。根据图4分析啮合型转子流场在一个周期内的流动情况。

从图4可以看出:转子和密炼室壁面之间的速度基本上是右转子构型带动,情况比较规则,没有出现大规模的剪切和混合。与此同时,胶料的最大速度场均出现在中间的啮合区域,并且分布范围最广。

从矢量图中可以看出:初始位置时胶料的轴向速度分量较大,表明这个阶段利于分散混合;经过 $1/6$ 转后轴向速度减小,法向速度增大,也就是剪切作用增强;再经过 $1/6$ 转后,基本只有法向速度,即这一阶段的剪切效果最好,整体的轴向速度分布均一,流动趋势不明显,轴向交互能力比剪切型转子弱。

从速度场可以看出:啮合型转子对胶料既有捏炼作用,又有剪切作用,捏炼拉伸作用占主导地位,剪切作用不明显,胶料混合主要由拉伸作用占主导,类似于开炼机的包裹捏炼作用,流动趋势不明显,但具有一定的分散作用,因此混炼胶质量较

好,与实际相符;剪切作用不明显,效率较低,生热较少,与啮合转子的试验分析结果相符,并且啮合区速度场较大,与实际两转子之间啮合区域的捏炼作用一致。

3 结语

由啮合转子的流场分析可知,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。由于剪切效果不明显,因此混合效率和生产效率较低。另外,观察到啮合区域为高压区,并且高压点在短棱附近,这也为设计时校核转子强度提供了校核危险点,并为转子设计提供了可靠的理论依据和技术参数。

参考文献:

- [1] 边慧光. 密炼机混炼过程中内部流场和温度场的模拟研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2007.
- [2] 吕春蕾,汪传生. 混炼挤出一体机密炼转子三维流场模拟[J]. 橡塑技术与装备,2008,34(11):1-5.

第16届中国轮胎技术研讨会论文

3D Fluid Field FEA on Meshing Rotors of Mixer

BIAN Hui-guang, WANG Lei, WANG Chuan-sheng

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

Abstract: Meshing rotor's three-dimensional flow field was simulated to get meshing rotor velocity field with six phase angles using the FEA software ADINA. The results showed that the mixing zone area of meshing rotor was mainly occurred in the two rotor engagement, engagement area was the high-pressure zone, and the high-pressure points were around the short edge. The study provided the key checking points of rotor strength, and a reliable theoretical basis and technical parameters for the rotor design.

Key words: mixer; meshing rotor; flow field; FEA

欢迎订阅 2012 年《橡胶工业》《轮胎工业》杂志