

密炼机二维流场的流固耦合分析

边慧光,张俊岭,汪传生

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:采用流固耦合模型模拟四棱和二棱同步转子密炼机二维流场,并对流场的压力、速度和剪切应力进行有限元分析。分析结果表明,在同等条件下,四棱同步转子比二棱同步转子能产生更大的胶料混炼压力区,因此其对胶料的剪切效果优于二棱同步转子。

关键词:密炼机;同步转子;有限元分析;网格划分;二维流场;流固耦合

中图分类号:TQ330.1+1;TQ330.4+4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-890X(2009)03-0170-05

流体与固体动力耦合广泛应用于水利、船舶、海洋以及航空航天等多个工程领域,是十分重要和多学科交叉的研究课题。近一个世纪以来,国内外学者对流体与固体的动力耦合理论和方法开展了广泛的研究,取得了许多成果,而随着数学方法的逐渐成熟,流固耦合理论越来越多地应用于实际生产和大型工程中。

ADINA 软件具备进行即时流固耦合分析的功能,通过在流固区间内对流体和固体各使用不同网格,并在流固耦合边界使用不吻合的网格,可以快速处理流固双向耦合。在流固互动过程中,ADINA 还可自动重建分布网格,以避免因过度变形而造成的网格扭曲。本工作采用 ADINA 流固耦合技术对密炼室内二维截面的流场进行模拟。

1 模型

1.1 物理模型

本工作对四棱和二棱同步转子的密炼室内流场进行分析,转子结构分别如图 1 和 2 所示。两种转子基本参数为:基圆直径 70 mm,剪切棱半径 70 mm,非剪切棱半径 100 mm,中心距 120 mm,顶隙 2 mm,棱顶宽度 6 mm,四棱和二棱同步转子容积分别为 1.42 和 1.65 L。

1.2 数学模型

本工作主要研究密闭环境下完全充满胶料的

密炼室内流场模型,假设流场为等温度场,不考虑能量转换。广义的等温和不可压缩流体的偏微分控制方程组如下:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = \\ \quad - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho g_x \\ \rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = \\ \quad - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho g_y \\ \rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = \\ \quad - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho g_z \\ \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \end{array} \right.$$

式中 v ——速度;

p ——压力;

ρ ——密度($1.066 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$);

g ——重力加速度;

τ ——额外应力张量。

为既能描述在高剪切速率下的假塑性流体的流变性质,又可描述在低剪切速率下牛顿流体的流变性质,本工作采用 Carreau 模型:

$$\eta(\gamma) = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})(1 + \lambda^2 \gamma^2)^{\frac{m-1}{2}}$$

式中 η_0 ——初始粘度(零剪切速率时的粘度,取 $10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$);

η_{∞} ——无穷剪切粘度(取 $10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$);

作者简介:边慧光(1982-),男,山东菏泽人,青岛科技大学讲师,硕士,主要从事高分子机械及计算机模拟的教学和科研工作。

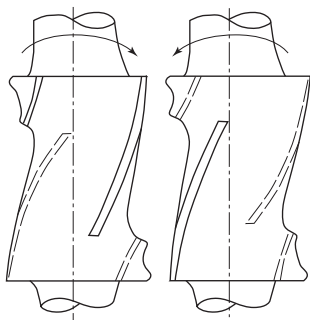


图 1 四棱同步转子结构示意图

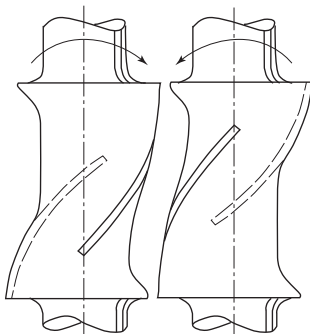


图 2 二棱同步转子结构示意图

γ ——剪切速率；
 m ——幂律指数(取 0.23)；
 λ ——粘弹性的特征时间(取 10 s)。

胶料性能在 110 ℃ 下测定。分析中假设胶料为塑性流体。

转子材料为 45# 钢,材料参数为:泊松比 0.29,弹性模量 2.07×10^5 MPa,密度 $7.8 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

2 有限元模型和边界条件

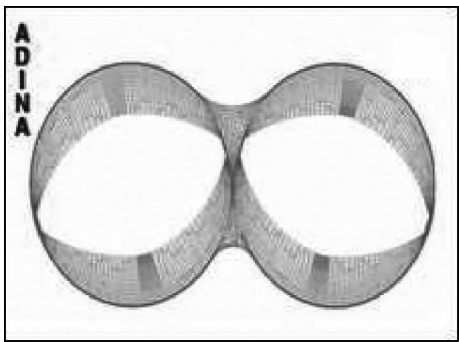
2.1 有限元模型

(1)坐标系建立

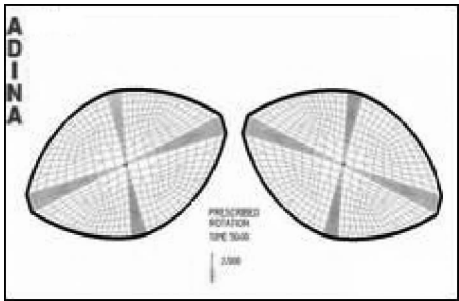
分析时选择笛卡儿坐标系,在 YZ 平面内进行建模和模拟分析。

(2)网格划分

对安装有四棱同步转子和二棱同步转子的密炼机流场进行模拟分析,取整个流场的中间截面。考虑到模拟过程为混炼后期,假设胶料趋于均匀流态,转子受力较小,转子中间水道结构不会影响到转子的整体强度,故分析时省略转子中间水道。两类转子流场的有限元网格模型分别如图 3 和 4 所示。

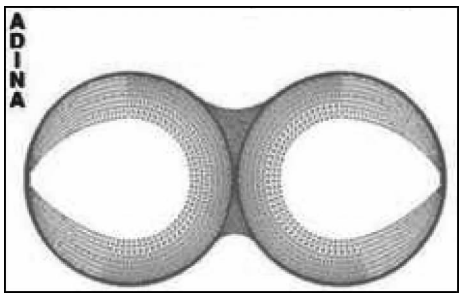


(a)密炼室网格模型

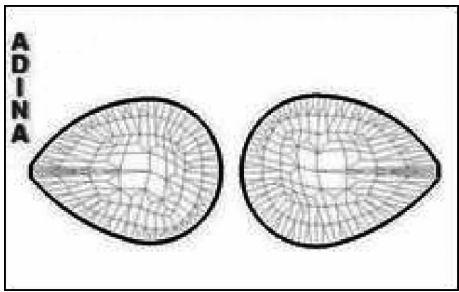


(b)转子网格模型

图 3 四棱同步转子流场网格模型



(a)密炼室网格模型



(b)转子网格模型

图 4 二棱同步转子流场网格模型

2.2 边界条件

(1)压力边界条件

密炼机混炼过程中密炼室是完全密闭且假设完全充满,胶料流体没有进出口,在这种边界条件下,密炼室内的转子高速转动时,物理模型上会产

生一个巨大的压力场,导致模型不稳定,因此必须对压力低的区域进行压力零点设置,约束压力自由度,使整个压力场有基准进行对比,以期求解模型稳定。

(2)速度边界条件

转子流场模型不需要施加载荷,仅对转子的固体模型加载一个绕中心旋转的角速度($\omega = 2\pi n, n = 60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$),两转子进行相对回转。

(3)边界条件加载方式

流固耦合注重模型稳定性,因此载荷不能一次完全加载到模型上,需从零开始逐步加载,且计算的每个时间步不能太大,需要对步序时间进行严格控制。本工作分析计算时,步序时间为真实物理时间,每个步序时间为 0.5 s。

3 结果与分析

(1)压力场

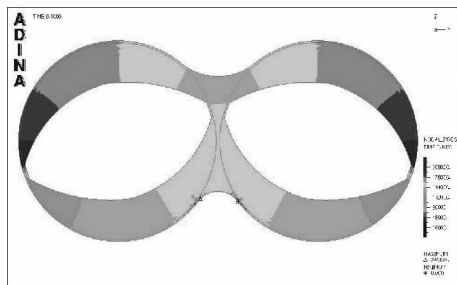
转子旋转时与密炼室壁形成的楔形区域产生高压可对胶料进行剪切、撕裂和拉伸,高压区形成作用的次数越多,混炼效率就会越高。图 5 和 6 所示为两转子流场在不同时刻的压力分布。从图 5 和 6 中可以看出,转子棱顶前半部的压力非常大,二棱同步转子压力明显低于四棱同步转子,四棱同步转子在整个截面上有 4 个楔形区,每一个回转周期可产生二棱同步转子 2 倍的高压区,在转子的两侧均与密炼室壁相切时,可以产生密炼室半个区域的高压区,二棱同步转子不容易产生压力区,且形成的压力区由于封闭区域小,压力较低。故四棱同步转子的炼胶能力和炼胶效率均高于二棱同步转子。

(2)速度场

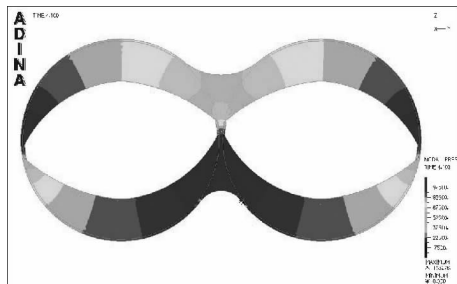
一般情况下,剪切速率越大,胶料变形越快,混炼效果越好,并可缩短混炼时间。图 7 所示为两种转子流场在起始位置时刻的速度分布。由图 7 可以看出,转子表面各点的回转半径不同,其速度值也各不相同,靠近凸棱顶部的速率较大,转子体表面的胶料速度较小。由于四棱同步转子的凸棱较多,其炼胶能力和炼胶效率均高于二棱同步转子。

(3)剪切应力场

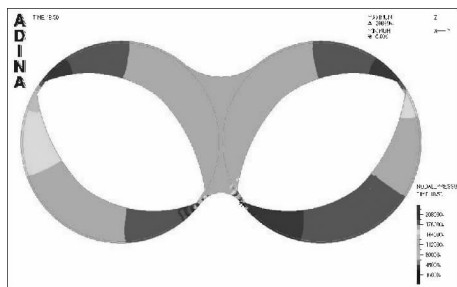
图 8 所示为两种转子流场的剪切应力场分布。



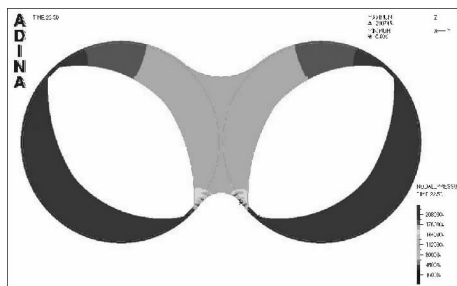
(a)0.1 s



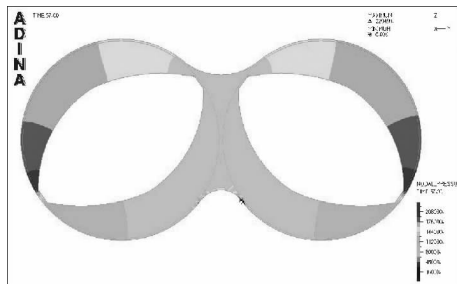
(b)4.1 s



(c)18.5 s

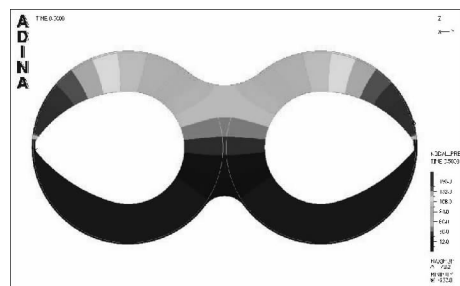


(d)22.5 s

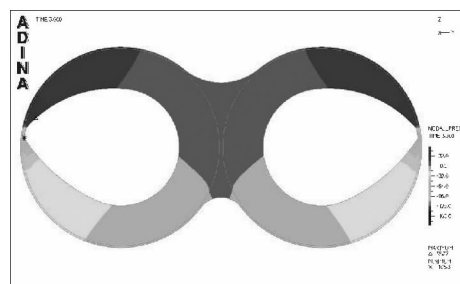


(e)57 s

图 5 四棱同步转子流场的压力分布



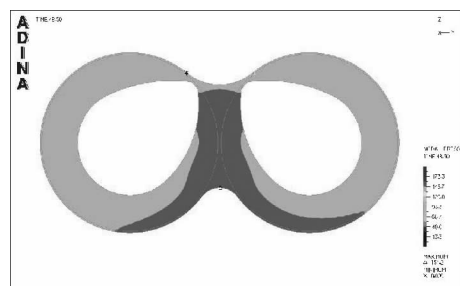
(a) 0.1 s



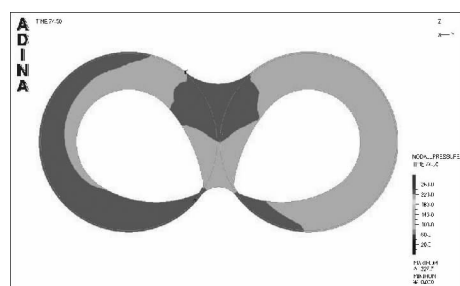
(b) 4.1 s



(c) 18.5 s



(d) 22.5 s

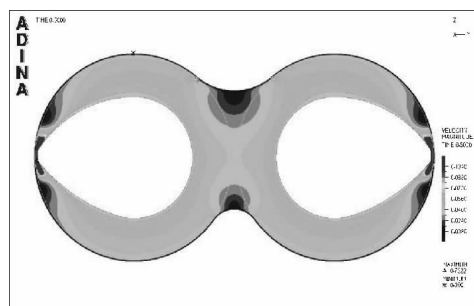


(e) 57 s

图 6 二棱同步转子流场的压力分布



(a) 四棱同步转子



(b) 二棱同步转子

图 7 转子流场的速度分布



(a) 四棱同步转子



(b) 二棱同步转子

图 8 转子流场的剪切应力分布

从图 8 可以看出,转子棱顶与密炼室内壁间产生的剪切应力较大,两转子棱剪切处也较大,其余部分的剪切应力较小。四棱同步转子流场的剪切应力较为明显,其棱顶部分更为明显;二棱同步转子

流场只有在棱顶部分有明显的剪切应力存在,其余各处均不明显。胶料混炼的关键在于分散,决定因素是剪切应力。较高的剪切应力可以加快分散过程,从而缩短炼胶时间,提高炼胶效率。由此可知,四棱同步转子的炼胶能力和炼胶效率均高于二棱同步转子。

4 结语

对二维四棱和二棱同步转子流场进行流固耦合模拟分析可知,在同等条件下,四棱同步转子比二棱同步转子能产生更大的胶料混炼压力区,且对胶料的剪切效果优于二棱同步转子。

收稿日期:2008-09-27

Analysis of 2D flow field of synchronous rotor mixer with fluid-structure interaction model

BIAN Hui-guang, ZHANG Jun-ling, WANG Chuan-sheng

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

Abstract: The 2D FE model on fluid-structure interaction for 2-wing and 4-wing synchronous rotors of mixer was established and applied to analyze pressure, velocity and shear stress of flow field. The results showed that 4-wing synchronous rotor could build bigger pressure field than 2-wing synchronous rotor, then 4-wing synchronous rotor had much better shearing effect.

Keywords: mixer; synchronous rotor; FEA; element meshing; 2D flow field; fluid-structure interaction

朗盛印度与古吉拉特邦政府 签订谅解备忘录

中图分类号:F276.7 文献标识码:D

2009年1月14日,朗盛印度私人有限公司与印度古吉拉特邦政府签订了一份谅解备忘录。根据谅解备忘录,朗盛将向位于古吉拉特邦吉哈加迪亚(Jhagadia)的新工厂投资5 000万欧元,将其改造成朗盛在印度规模最大、最现代化的工厂。该投资还将新增225个工作岗位。朗盛于2008年年初宣布开工建设吉哈加迪亚新工厂,这份谅解备忘录是作为新工厂审批程序的一部分而签订的。

新工厂包括一个离子交换树脂工厂,其供应的产品将用于生产半导体工业和制药行业所需的超纯净水,并用于工业水处理等领域。

此外,朗盛的橡胶化学品工厂也将从马哈拉施特拉邦的塔纳(Thane)搬到吉哈加迪亚。塔纳工厂的生产活动将逐步停止,吉哈加迪亚工厂将与离子交换树脂工厂一起于2010年在吉哈加迪亚重新投入生产。朗盛橡胶化学品工厂将满足快

速增长的印度本地市场和出口市场对轮胎的需求,使朗盛成为惟一一家在印度开展此类业务的西方公司。

印度是全球发展最迅速、最富潜力的化工市场之一。朗盛长期致力于在印度市场的发展,此举正是为了促进公司在印度的利润增长,并巩固朗盛在全球市场的领导地位。古吉拉特邦位于印度的西部,由于当地政府对化学工业发展的大力扶持,使该邦成为最受化学公司欢迎的投资目的地之一。此外,古吉拉特化学工业园拥有卓越的基础设施,这也是其获得朗盛青睐的一个重要原因。

朗盛印度私人有限公司是一家领先的高性能聚合物、先进中间体和高性能化学品供应商,是朗盛公司的印度子公司,致力于橡胶、着色、表面涂层处理、水处理等领域的特殊化学品开发、生产和销售等核心业务。吉哈加迪亚良好的基础设施和低廉的生产成本与朗盛一流的工厂相结合,将巩固朗盛在全球范围内的竞争优势。

(本刊编辑部 黄丽萍)