

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

汪传生, 张 磊*, 翟天剑, 张鲁琦

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要: 基于粘弹性流体模拟软件POLYFLOW对不同初始相位角同步转子密炼机的混炼流场进行三维动态模拟, 采用粒子轨迹示踪法并结合统计学后处理软件POLYSTAT对粒子运动轨迹进行统计分析, 以粒子分布状态、粒子拉伸长度自然对数平均值和平均混合效率为特征参数对流场进行定量分析和对比。结果表明, 采取0°初始相位角布置的同步转子密炼机的混炼分散效果最好。

关键词: 密炼机; 同步转子; 初始相位角; 混合效率; 粒子轨迹示踪法; 有限元模拟

中图分类号: TQ330.4⁺3; O241.82

文章编号: 1000-890X(2019)06-0471-04

文献标志码: A

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2019.06.0471

密炼机混炼是一个比较复杂的加工过程, 实现动态试验表征具有很大的难度。目前对于聚合物混炼过程的理论研究还局限于简单的分析表征和模型。试验虽然是最简单直接的研究方法, 但需要投入大量的人力、物力, 并且由于试验设备以及测试技术的局限性, 得到的数据量有限且带有一定的偶然性。因此, 为了解密炼机混炼过程以及对流场物料流动和胶料混炼特性进行定性分析, 运用模拟软件进行研究是有必要的。

本研究基于粘弹性流体模拟软件POLYFLOW对不同初始相位角同步转子密炼机的混炼流场进行三维动态模拟, 采用粒子轨迹示踪法并结合统计学后处理软件POLYSTAT对粒子运动轨迹进行统计分析, 然后以粒子分布状态、粒子拉伸长度自然对数平均值和平均混合效率为特征参数对流场进行定量分析和对比。

1 模型描述

1.1 物理模型

采用CREO软件绘制转子构型。转子的几何

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51073009); 教育部新世纪优秀人才支持项目(NCET-10-0202)

作者简介: 汪传生(1960—), 男, 安徽安庆人, 青岛科技大学教授, 博士, 主要从事橡塑机械教学、设计及研发工作。

*通信联系人(1920398435@qq.com)

参数为: 基圆直径 7 mm, 最大回转圆直径 116 mm, 轴向长度 141.5 mm, 转子间中心距 120 mm, 转子间隙 2 mm。一个转子的初始相位角为0°, 另一个转子的初始相位角变换, 分别采用0°, 90°和180°布置(以下简称为0°, 90°和180°初始相位角布置), 如图1所示。然后, 将装配好的转子模型转入ANSYS软件中进行网格划分。

1.2 数学模型

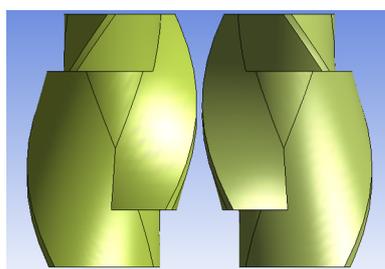
在模拟混炼流场时, 由于密炼机内部胶料流动情况复杂, 因此做如下假设^[1-2]: 胶料在密炼室内为全充满状态; 流场各点的温度一致, 胶料等温流动; 胶料流动属于层流, 雷诺数小; 胶料所受重力及惯性力等远小于粘滞力, 忽略不计; 流体壁面无滑移现象; 胶料为幂率流体, 满足非牛顿流体特征。

根据以上假设, 模拟选择本构方程为Bird-Carreau模型:

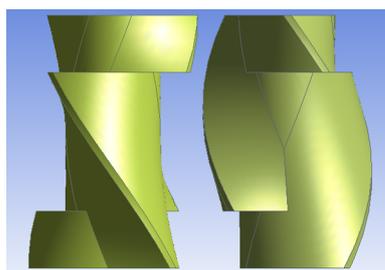
$$\eta(\dot{\gamma}) = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})(1 + \lambda^2 \dot{\gamma}^2)^{\frac{n-1}{2}}$$

式中, η 为粘度, $\dot{\gamma}$ 为剪切速率, η_0 和 η_{∞} 分别为零剪切速率和无穷剪切速率时的粘度, λ 为胶料的粘弹性特征时间, n 为胶料的幂率常数。

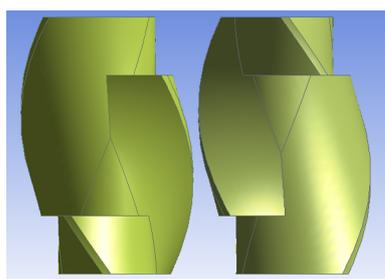
在100 °C下测得的胶料的混炼参数如下: $\eta_0 = 1 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\eta_{\infty} = 10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\lambda = 3.02 \text{ s}$, $n = 0.385$ 。



(a) 0°-0°初始相位角



(b) 0°-90°初始相位角



(c) 0°-180°初始相位角

图1 转子装配布置示意

1.3 边界条件

由于密炼机在混炼过程中转子始终保持旋转状态,导致混炼流场不同时刻呈现不同的形态,在计算粒子轨迹时需要对流场网格进行重新划分,无法保证计算的精度和速度,因此采取网格重叠技术以避免流场网格重新划分,提高网格质量。

同步转子采用异向转动,转速为 $60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,速比为1:1。

混炼初始时刻在整个混炼流场中释放2 000个没有质量和体积的材料粒子,粒子间不存在相互作用力,定义粒子的浓度为1(红色)或为0(蓝色)^[3]。

2 结果与讨论

2.1 转子间物料混炼分布分析

为分析转子间物料的交流作用,假设处在左半密炼室的材料粒子浓度为1,则右半密炼室粒子

浓度为0。通过统计左半密炼室的粒子比例变化即可得到转子在运动过程中材料粒子进入右半密炼室的情况,进而反映出不同初始相位角下两同步转子之间的物料交换作用。密炼室粒子初始分布状态如图2所示,左半密炼室粒子残留率随时间的变化曲线如图3所示。

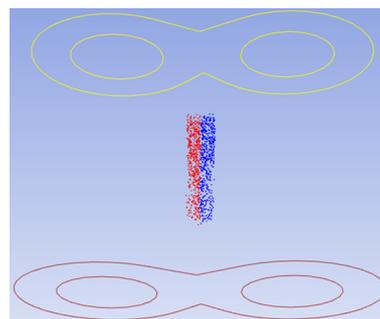
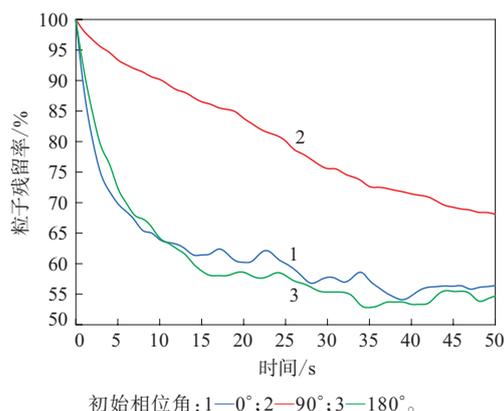


图2 密炼室粒子初始分布状态



初始相位角:1—0°;2—90°;3—180°。

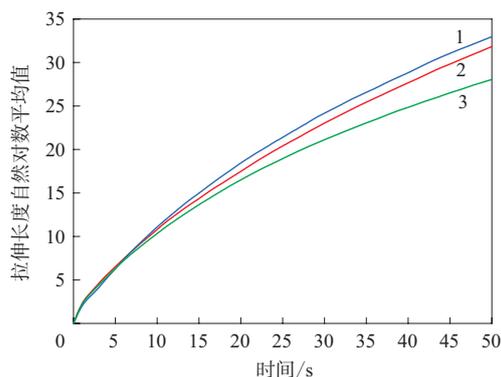
图3 左半密炼室粒子残留率随时间的变化曲线

从图3可以看出,随着混炼时间的延长,左半密炼室的粒子不断向右半密炼室转移,且转移作用是不相同的。当混炼进行到50 s时,转子采取0°及180°初始相位角布置时,左半密炼室大约有55%的粒子残留,说明在混炼过程中,由于压砣的分流作用及转子之间物料交换的作用,约有45%的粒子开始浸入右半密炼室;转子采取90°初始相位角布置时,只有约30%的粒子浸入右半密炼室。另外,0°及180°初始相位角转子混炼物料间的交换主要发生在前10 s内,之后交换作用渐弱,而90°初始相位角转子混炼物料交换作用始终存在,且随着混炼时间的延长基本稳定不变。

2.2 拉伸流场对物料混炼分散的影响

物料的分散混合是通过流场施加的剪切作用

和拉伸作用实现的。通过对简单的剪切和拉伸流动中颗粒破碎过程的研究表明,拉伸流动比剪切效应对分散混合更为有效^[4],因此采用粒子对数拉伸指数对数来定性评判混合特性。3种转子初始相位角下粒子拉伸长度(相对值)自然对数平均值随时间的变化曲线如图4所示。



注同图3。

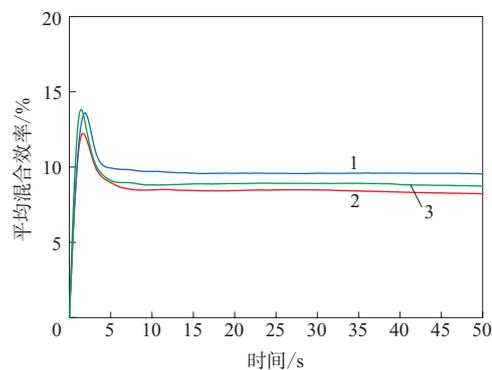
图4 粒子拉伸长度自然对数平均值随时间的变化曲线

从图4可以看出,粒子拉伸长度自然对数平均值与时间几乎呈线性关系,表明在混炼过程中材料点的拉伸长度成指数增长,为有效层流混合提供了必要条件。在混炼10 s以内,3条曲线几乎重合,表明在混炼初期材料点的拉伸长度与转子的初始相位角关系不大。而混炼时间超过10 s后,3条曲线开始相互偏离,转子采取0°初始相位角布置的曲线始终处在最上面,往下依次是转子采取90°及180°初始相位角布置的曲线。当混炼进行到50 s时,转子采取0°初始相位角布置的粒子拉伸长度自然对数平均值比90°和180°初始相位角布置分别提高3.5%和17.75%,说明随着混炼时间的延长,转子采取0°初始相位角布置可以得到更好的拉伸效果,密炼机的混炼性能最佳。

2.3 混合效率分析

转子采取3种初始相位角布置的密炼机平均混合效率随时间的变化曲线如图5所示。

从图5可以看出,在3种转子初始相位角下,平均混合效率都大于0,表明粒子在3种流场中都经历了较强的拉伸作用。混炼10 s后,3种转子初始相位角的平均混合效率都达到了稳定状态。转子采取0°初始相位角布置的平均混合效率稳定在10%附近,其次是转子采取180°初始相位角布置的



注同图3。

图5 平均混合效率随时间的变化曲线

平均混合效率稳定在9%左右,而转子采取90°初始相位角布置的平均混合效率最低。这说明转子采取0°初始相位角布置的混炼流场粒子经历的拉伸重取向过程更强,相应的混炼分散效果更显著。

3 结论

本研究基于POLYFLOW软件对不同初始相位角同步转子密炼机的混炼流场进行数值模拟,采用粒子轨迹示踪法得到初始时刻任意分布的2 000个质点的轨迹参数,然后利用POLYSTAT软件对混合结果文件进行统计分析,以左半密炼室残留粒子率、粒子拉伸长度自然对数平均值和平均混合效率为特征参数,对不同初始相位角同步转子密炼机的混炼分布及混炼分散能力进行定量对比分析。结果表明,采取0°初始相位角布置的同步转子密炼机的左右半密炼室的物料交换能力和混炼能效比90°及180°初始相位角布置更高,证明转子采取0°初始相位角布置的同步转子密炼机混炼性能更好,更适于胶料混炼。

参考文献:

- [1] 刘金朋,杨海波,李凡珠,等. 新型4:1转子与传统剪切型转子混合效率对比研究[J]. 橡胶工业,2016,63(1):41-46.
- [2] 汪传生,杨洪于,田晓龙,等. 异向/同向转子密炼机中物料流动和炭黑分布情况的数值模拟与试验研究[J]. 橡胶工业,2018,65(7):803-807.
- [3] 孙大鹏,朱向哲,程志飞,等. 同步转子密炼机混合效率的数值模拟研究[J]. 工程塑料应用,2012,40(10):33-37.
- [4] 何敏. 同步转子密炼机混炼过程三维流场的数值模拟研究[D]. 广州:华南理工大学,2010.

收稿日期:2019-01-06

Finite Element Simulation Analysis on Mixing Flow Field of Mixer with Synchronous Rotor and Different Initial Phase Angle

WANG Chuansheng, ZHANG Lei, ZHAI Tianjian, ZHANG Luqi

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

Abstract: Based on viscoelasticity fluid simulation software POLYFLOW, the mixing flow field of the mixer with synchronous rotor and different initial phase angle was 3D dynamically simulated, the particle motion trajectory was analyzed statistically using particle trajectory tracing method and statistical post-processing software POLYSTAT, and the flow field was quantitatively analyzed and compared by taking the particle distribution, mean value of the natural logarithm of particle stretch length and average mixing efficiency as characteristic parameters. The results showed that the best mixing and dispersion effects were obtained with an initial phase angle of 0° .

Key words: mixer; synchronous rotor; initial phase angle; mixing efficiency; particle trajectory tracing method; finite element simulation

蒂坦为固特异R14T轮胎系列增加14种规格
美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com) 2019年2月20日报道: 蒂坦公司的固特异R14T系列轮胎(见图1)规格增加了两倍多。



图1 固特异R14T系列轮胎

2018年, 专为小型拖拉机设计的交叉多用途R14T系列轮胎推出了4种规格: LSW340/70R28, LSW460/75R38, 340/85R24 和 460/85R34, 2019年又增加了14种规格: 23×8.50-12NHS, 12-16.5NHS, 27×8.50-15NHS, 15-19.5NHS, 18×8.50-10NHS, 26×12.00-12NHS, 320/85R24, LSW320/70R28, 380/85R24, LSW380/70R28,

460/85R30, LSW460/75R34, 460/85R38, LSW460/75R42。

固特异R14T系列轮胎是一个独特的具有不同胎面风格的系列产品, 为田间或农场的各种作业而设计。新的规格可用于高达110 kW的小型拖拉机。

“我们2018年推出了首款R14T轮胎, 并取得了巨大的成功。”蒂坦公司的全球LSW农业产品经理Scott Sloan说, “基于原设备制造商和最终用户的巨大需求, 我们将此系列产品扩大到总共18个规格, 使其成为几乎所有小型拖拉机或装载机的首选轮胎。”

在研发R14T系列轮胎之前, 小型拖拉机车主在购买机器或更换轮胎时必须对3种胎面轮胎进行选择: R-1(农业轮胎)、R-3(草坪轮胎)或R-4(工业轮胎)。

对于R14T系列轮胎, 蒂坦的工程师将R-1轮胎的牵引和清洁功能、R-4轮胎的耐磨和行驶特性以及R-3轮胎的低扰动性相结合。从坚硬的混凝土表面到松软的土壤、雪地和敏感的草皮, R14T轮胎在任何条件下都能表现得同样出色。

(和燕摘译 吴秀兰校)