

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.03.013

平行三螺杆挤出机聚合物混沌混合的拉格朗日拟序结构分析

郭大闯,朱向哲,滕健,李云鹏

(辽宁石油化工大学机械工程学院,辽宁抚顺 113001)

摘要:从拉格朗日拟序结构的新视角,对三螺杆挤出机二维流场的动力学特性进行有限元分析。采用 4 阶 Runge-Kutta 法计算粒子的运动轨迹,验证了时间步长对计算结果精确度的影响。利用有限时间李雅普诺夫指数 (FTLE), Poincaré 截面和粒子可视化技术分析了三螺杆挤出机流场的混沌混合机理。结果表明,拉伸和折叠作用促进了流体粒子的物质交换。由于在啮合区存在双曲不动点,混合效率较高,啮合区是流场混沌混合的主要区域;在紧靠螺杆壁区域,物质线的闭合导致流体输运受阻,近螺杆区混合效果较差。通过与双螺杆挤出机进行拉格朗日拟序结构 (LCS) 结构的比较发现,由于啮合区的增加,强化了挤出机流场的混沌混合;通过对数拉伸值的比较,三螺杆挤出机的混合能力优于双螺杆挤出机。

关键词:拉格朗日拟序结构;三螺杆挤出机;混沌混合;有限时间李雅普诺夫指数;Poincaré 截面

中图分类号: TQ320.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)03-0065-07

Lagrangian Coherent Structures Analysis of Chaotic Mixing in Parallel Arranged Tri-screw Extruder

Guo Dachuang, Zhu Xiangzhe, Teng Jian, Li Yunpeng

(School of Mechanical Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China)

Abstract : From a new viewpoint of Lagrangian coherent structure, the finite element analysis of dynamic characteristics was used to analyze the two-dimensional flow field of a tri-screw extruder. The trajectory of particles was calculated by using the fourth order Runge-Kutta scheme to validate the time step of the simulation method. Finite-time Lyapunov exponent (FTLE), Poincaré section and particle visualization technology were adopted to analyze the flow chaotic mixing mechanism in the tri-screw extruder. The results show that stretching and folding actions promote the material exchange of fluid particles. In nip region, which is the main area of chaotic mixing, the mixing efficiency is high due to the existence of hyperbolic fixed point. In the near wall region, the mixing effect is poor due to the fluid transposition is hampered by the closed material line. Compared with the Lagrangian coherent structure (LCS) of twin screw extruder flow field, the tri-screw extruder has more meshing area to strengthen the chaotic mixing of the extruder. In the end, the logarithmic stretching was used to analyze the mixing ability, which demonstrate the mixing ability in the tri-screw extruder is better than that of the twin screw extruder.

Keywords : Lagrangian coherent structure ; tri-screw extruder ; chaotic mixing ; finite-time Lyapunov exponent ; Poincaré section

三螺杆挤出机作为新型的多螺杆混合挤出设备,具有优异的塑化能力、混合能力和良好的自洁性能。由于螺杆的旋转,促使物料发生拉伸、折叠、揉捏和剪切,加强了三螺杆挤出机内流体的分布、分散混合性能^[1]。在 C. Jones^[2] 等提供了流体传输理论的基础上,混合作为非线性动力系统研究的重要方式,广泛应用于各种领域的科学研究。混沌混合

以动力学的方式干扰了流体粒子在层流流动混合状态下的周期性运动,极大地提高了流体的混合效率。因此,三螺杆挤出机内流体输运和混沌混合特性是科研人员关注的焦点。

对于传统混合动力学的研究,朱向哲等^[3] 对三螺杆挤出机中心区进行数值模拟,通过压力和速度分布,得出三螺杆挤出机分布、分散混合性能优

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51473073), 辽宁省高等学校创新人才支持计划项目 (LR2016022)

通讯作者: 朱向哲,教授,主要从事计算流体力学研究 E-mail : xzzhu@126.com

收稿日期: 2019-01-01

引用格式: 郭大闯,朱向哲,滕健,等. 平行三螺杆挤出机聚合物混沌混合的拉格朗日拟序结构分析 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(3):65-71.

Guo Dachuang, Zhu Xiangzhe, Teng Jian, et al. Lagrangian coherent structures analysis of chaotic mixing in parallel arranged tri-screw extruder[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(3):65-71.

于双螺杆挤出机。程志飞等^[4]采用 Poincaré 截面、平均对数线拉伸和 Lyapunov 指数等非线性混合参数研究了 Roller 转子密炼机的混沌混合机理。Xu Baiping 等^[5]对不同副螺棱排列方式的单螺杆挤出机混沌混合进行了数值研究,通过 Poincaré 截面、周期点分析、方差指数和停留时间分布 (RTD) 等混合参数选取最优的副螺棱排列类型,在此基础上,提出了基于拉格朗日体系,对聚合物加工流体混沌混合机理进行深入分析和阐述。G. Haller 等^[6-7]定义拉格朗日拟序结构 (LCS) 为有限时间 Lyapunov 指数 (FTLE) 局部极值。S. C. Shadden 等^[8-9]进一步精确地定义 LCS 作为 FTLE 场的“脊”线。高鹤等^[10]利用 FTLE, LCS, Poincaré 截面和粒子可视化技术,详述了 4WS 转子密炼机流场的混沌混合特性。佟莹等^[11]描述了当螺杆排布为三角形时,三螺杆挤出机二维流场端面 FTLE 分布及 LCS 特性。

笔者以平行三螺杆挤出机为研究对象,利用网格叠加技术,采用 POLYFLOW 软件对三螺杆挤出机流场进行数值模拟,研究三螺杆挤出机内不同流场区域的混沌混合特性。利用 FTLE 和 LCS 定性地揭示出二维流场系统的混合和输运;利用 Poincaré 截面、平均对数拉伸指数和粒子可视化技术定量描述流体粒子的动力学结构特性。从拉格朗日拟序结构的新视角,分析了平行三螺杆挤出机流体输运和混合机理,为三螺杆挤出机的设计 and 应用提供理论依据。

1 模型和计算方法

1.1 拉格朗日拟序结构

二维流场动力系统流体粒子微分方程:

$$dx/dt=u(x,y,t); dy/dt=v(x,y,t) \quad (1)$$

式中: u, v 代表二维非稳定速度场分量,通过积分方程式 (1),可以得到流体粒子在初始时刻 t_0 、初始位置 x_0 条件下,随着时间 t 变化的运动轨迹 $x(t, t_0, x_0)$,基于拉格朗日描述流体运动的核心为流映射,可表示为:

$$F'_t(x_0):x_0 \rightarrow x(t, t_0, x_0) \quad (2)$$

沿轨迹 $x(t, t_0, x_0)$ 的柯西-格林应变张量可表示为:

$$C'_t(x_0) = [\nabla F'_t(x_0)]^* (\nabla F'_t(x_0)) \quad (3)$$

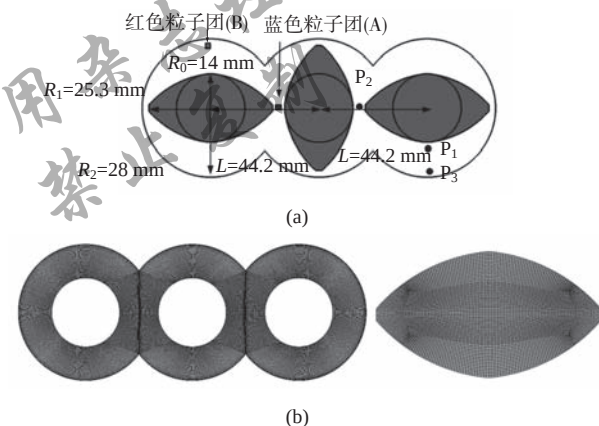
式中, $*$ 表示矩阵的转置,变形梯度 $\nabla F'_t(x_0)$ 表示 $F'_t(x_0)$ 的雅戈比行列式。有限时间 Lyapunov 指数表征相邻流体粒子间的运动状态,可表示为:

$$\sigma = \frac{1}{|T|} \ln \sqrt{\lambda_{\max}} \quad (4)$$

式中, σ 为有限时间 Lyapunov 指数 (FTLE); T 为积分时间; $\lambda_{\max}$ 为 $C'^{t_0+T}_t(x_0)$ 最大特征值。由定义知, FTLE 场的“脊”结构可以近似作为拉格朗日拟序结构 (LCS),当积分时间向前时 ($T > 0$),流体粒子以指数的形式被拉伸,“脊”结构称为排斥 LCS (稳定流型);相反,当积分时间向后时 ($T < 0$),流体粒子以指数的形式被压缩,“脊”结构称为吸引 LCS (非稳定流型)。

2.2 物理模型及计算方法

笔者研究平行三螺杆挤出机二维流场混沌混合机理,几何模型尺寸如图 1a 所示:转子内径 $R_0=14$ mm,转子最大回转半径 $R_1=25.3$ mm,机筒内壁半径 $R_2=28$ mm,两转子中心距 $L=44.2$ mm,转子转速为 0.5 r/min。



a—几何模型; b—流域 (左)、螺杆端面 (右) 有限元模型

图 1 平行三螺杆挤出机几何模型和有限元模型

在数值模拟计算中,为了使流动过程满足计算要求,可采用如下假设:①流体为非牛顿黏性流体,忽略流体流动过程位移惯性项的影响;②流体为不可压缩流体;③流体为等温流动、热物理性能不变;④机筒壁面无滑移。基于上述假设,采用 Carreau-Yasuda 模型表征挤出机内高密度聚乙烯 (HDPE) 流体流变学特性,其本构方程如下:

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty}) [1 + (\lambda \dot{\gamma})^a]^{\frac{n-1}{a}} \quad (5)$$

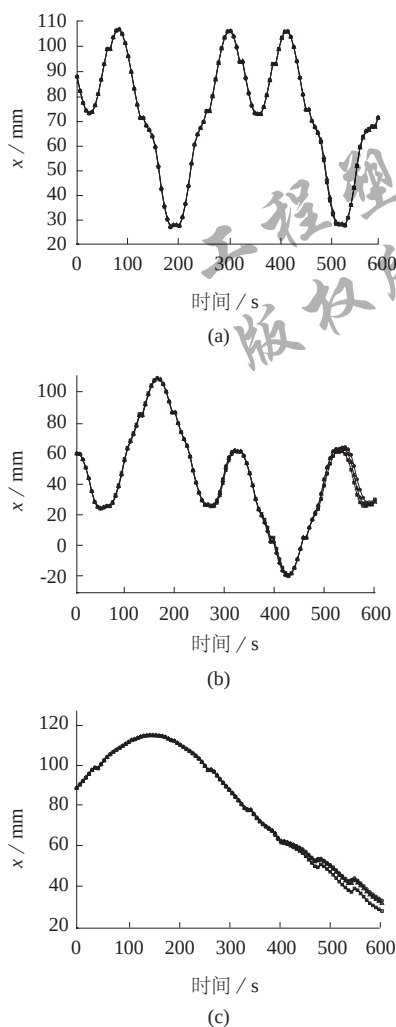
式中, η_0 为零剪切黏度, 113 088 Pa·s; η_{∞} 为极限剪切黏度, 0 Pa·s; λ 为松弛时间, 3.11 s; $\dot{\gamma}$ 为剪切速率; n 为幂律指数, 0.36; a 为 Carreau-Yasuda 参数, 0.26。

采用 ICEM CFD 软件对流域和转子进行结构网络划分,获得较高的网格质量,如图 1b 所示。采用网格叠加技术,利用 POLYFLOW 软件进行有限

元任务模拟计算,根据有限元计算得到的速度场,利用 MATLAB 软件计算出流场的 FTLE 和 LCS,通过微分方程求解流体粒子的位置分布,进行流体粒子的可视化研究。

2.3 计算精度

混沌混合本质为非线性系统对初始条件的敏感性,如果进行长时间的积分或者很多映射步数,会对聚合物混沌混合分析带来偏差,很难获得理想分析结果。为控制计算机精度,可采用下列方法:①有限元计算过程中,位移和速度采用二次方插值,压力采用线性插值,瞬态流场采用 Crank-Nicolson 法,收敛精度 1×10^4 。②选取合适时间步长。如图 1a 所示,选取 3 个监测点:近转子区 P_1 (87.36 mm, 15.34 mm)、啮合区 P_2 (59.78 mm, -1.188 mm)、机筒内壁区 P_3 (89.36 mm, -26.86 mm)。图 2 为不同时间步长下流体粒子轨迹。



时间步长 / 周期: ○—61; ◐—101; ◑—151
监测点: a— P_1 ; b— P_2 ; c— P_3

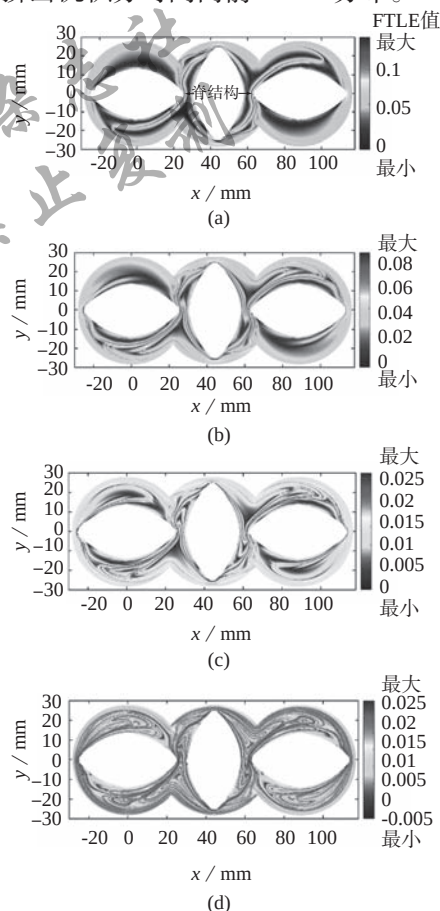
图 2 不同时间步长下流体粒子轨迹

如图 2 所示,三种时间步长分别为一个周期离散 (61, 101 和 151),由速度场 (CSV 文件) 计算出监测点的位置 (x 坐标) 随时间变化曲线。由图 2a 和图 2b 可知,三种时间步长对监测点 P_1 和 P_2 位置变化曲线影响很小,计算结果保持较好的精度。由图 3c 可知,通过三种时间步长计算出监测点 P_3 位置坐标,运动轨迹趋势大体一致。当 $t > 360$ s 时,一个周期离散为 61 个时间步长的计算结果与另外两个时间步长有较大的误差,但是一个周期离散为 101 和 151 个时间步长的计算结果保持较好的一致性。故选择一个周期离散为 101 个时间步长。

3 计算结果与分析

3.1 积分时间的选取

图 3 为初始时刻 $t=0$ s,不同积分时间的平行三螺杆挤出机积分时间向前 FTLE 分布。



a—40 s; b—80 s; c—120 s; d—240 s

图 3 初始时刻 $t=0$ s 时,不同积分时间向前 FTLE

根据公式 (4) 可知, FTLE 的值与积分时间 T 和流体粒子的初始位置有关。因此,选取合适的积分时间,有利于观察 FTLE 场“脊”结构。由图 3 可明显看出,随着积分时间的增加, FTLE 的数值逐渐减少。说明较长积分时间,不利于观察三螺杆挤出

机流场的“脊”结构。当积分时间 $T=40$ s 时,在转子啮合区存在两条连续曲线,即 FTLE 场“脊”结构—LCS, FTLE 场大部分呈现最小值,且转子啮合区 LCS 不完整,说明积分时间较短,混合效果不明显。随着积分时间的增加, LCS 逐渐趋于完整,当积分时间 $T=120$ s 时,易于观察 FTLE 场的 LCS 遍布整个流域。当积分时间 $T=240$ s 时,由于流体粒子混合均匀, FTLE 场包含大量的 LCS,不利于观测主要的“脊”结构。较长积分时间,适合观察流场全局混合状态,不利于局部混合特性的研究。因此将 $T=120$ s 作为最佳积分时间。

3.2 不同时刻的 LCS

拉格朗日拟序结构 (LCS) 是非自治动力系统中流体粒子轨迹模式演化的组织核心,作为最大排斥、吸引物质线的近似结构。图 4 为积分时间 $T=120$ s,不同初始时刻时间向前的 FTLE 分布,图中“脊”线作为 FTLE 场排斥的 LCS,代表流场内流体粒子分离程度局部最大区域。在有限时间内,流体粒子以指数的形式分离,使得排斥的 LCS 作为流

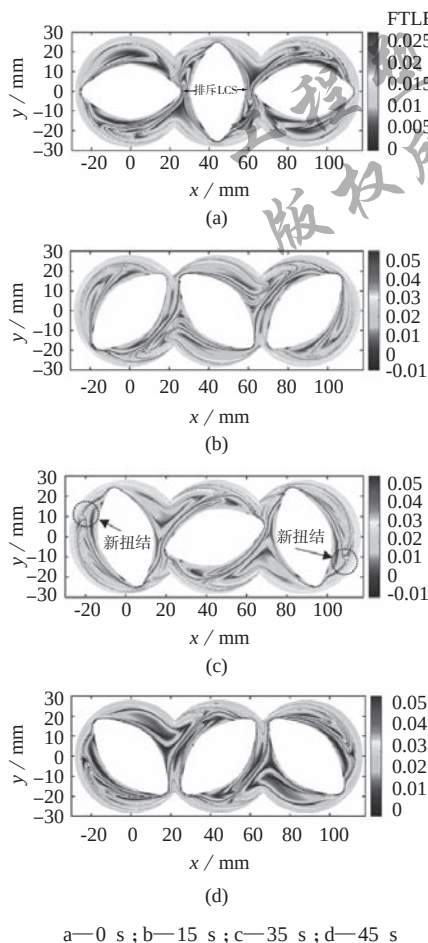


图 4 积分时间 $T=120$ s 不同初始时刻时间向前 FTLE 场

场中的边界,把流场分为不同的混合区域,然而通过排斥 LCS 的流量几乎为零,可以忽略不计^[12]。通过观察不同初始时刻 FTLE 场的 LCS 分布,不同时刻 LCS 具有不同的形态, LCS 主要产生在转子啮合区,分布形式为中心对称分布。在啮合区存在多处平行、嵌套扭结,随着转子的运动,扭结被逐渐拉伸。在转子尖端处,又产生新的扭结,如此反复拉伸、折叠,使啮合区流体粒子充分混合。

图 5 为积分时间 $T=-120$ s,不同初始时刻时间向后的 FTLE 分布。

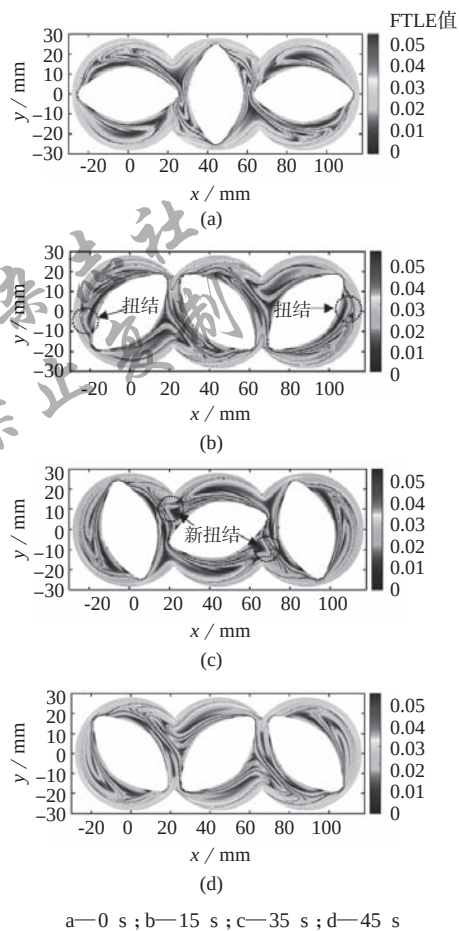


图 5 积分时间 $T=-120$ s 不同初始时刻时间向后 FTLE 场

由图 5 知,在啮合区和左右腔室,形成多个马蹄形结构,随着转子的运动,马蹄形结构被逐渐拉长。在紧邻转子区域,存在较多 FTLE 值较小区域,局部区域流体混沌混合能力较差。在转子啮合区,流体粒子受到较大的剪切力,被迫改变运动方向,产生很强的折叠效果,打破了部分流体粒子的正常运动轨迹,增加了流体粒子的无序性运动。随着转子运动周期的增加, FTLE 场的“脊”结构逐渐增多,进一步产生新的马蹄形结构,马蹄形结构的存在使得流

体的混沌混合得到强化。

为了便于从拉格朗日的新视角分析流场的全局混合特性,将最大排斥、吸引的 LCS 分别提取且合并在同一流场中,结果如图 6 所示。从图中可以看到排斥和吸引的 LCS 将整个流场划分两个区域, I 区为 LCS 与转子壁面形成的近转子区, II 区为 LCS 与机筒内壁形成的远转子区。在近转子区,由于物质线的闭合,导致流体粒子紧贴转子壁面运动,通过图 4、图 5 可以看出近转子区大部分为 FTLE 值较小区域,混合效果相对较差。在远转子区,流体粒子可以自由运动,受到拉伸、折叠、扭捏效果明显。在啮合区存在双曲不动点^[13],流体粒子团在经过双曲不动点时,一部分粒子沿着稳定流型运动的法线方向被拉伸,一部分粒子沿着非稳定流型运动的法线方向被压缩。随着转子的运动,流体粒子再次通过双曲不动点,形成新的流体粒子的运动轨迹。由此可见,双曲不动点的存在,促进了流体混合效果。

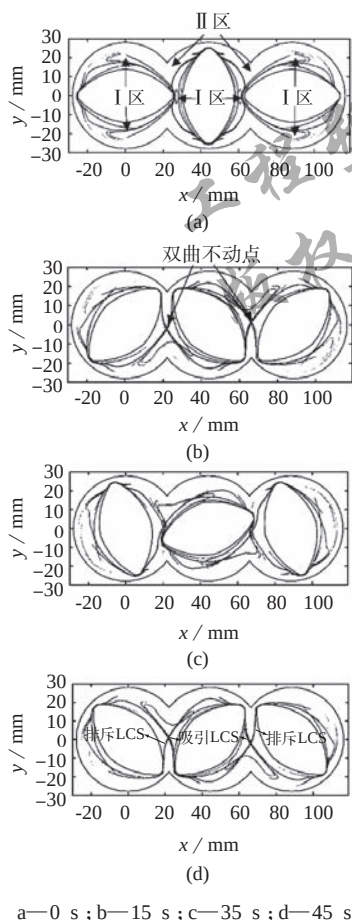


图 6 不同初始时刻三螺杆挤出机流场的 LCS

图 7 为积分时间 $T=120$ s, 不同初始时刻在双螺杆挤出机 FTLE 场提取的 LCS。由图 7 看出 LCS

将整个流场分为近转子区和远转子区。通过与图 6 进行比较,三螺杆挤出机比双螺杆多出一个啮合区,啮合区流体粒子运动一个周期,两次通过双曲不动点,多次产生拉伸作用。由于转子顶端剪切作用大,流体粒子运动空间有限,产生较明显的折叠效果,折叠次数明显大于双螺杆挤出机。在啮合区,从三螺杆挤出机流场提取的主要 LCS 明显多于双螺杆挤出机,流体粒子的运动轨迹较复杂。因此,三螺杆挤出机流场混合效果明显大于双螺杆挤出机。

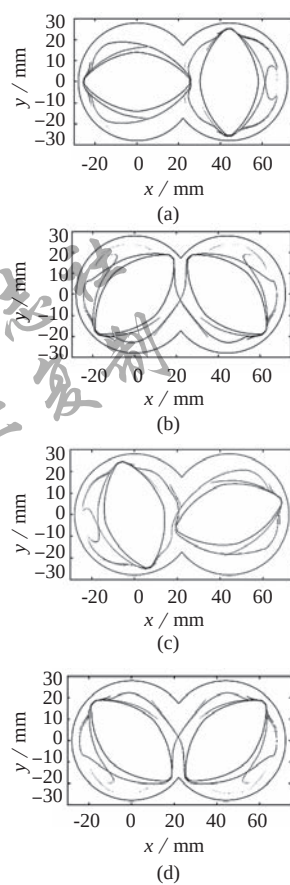


图 7 不同初始时刻双螺杆挤出机流场的 LCS

3.3 平均对数拉伸

从定量描述混沌混合效果来看,拉伸流动比剪切流动更有效。因此,计算流场的平均对数拉伸值能够更好地测量流场的混合能力^[14],如图 8 所示。计算时间在 60 s 内,流体粒子平均对数拉伸值以指数的形式上升,60 s 以后拉伸指数随时间呈线性增长,这是混沌混合的一个重要特征。由图 8 可知,三螺杆挤出机流体粒子平均对数拉伸值明显大于双螺杆挤出机,由于三螺杆挤出机比双螺杆挤出机多一个啮合区,剪切作用强,产生较好的拉伸效果。并且

在一个计算周期内,流体粒子在流场内拉伸、折叠次数多于双螺杆挤出机,有利于改善混合效率。因此,三螺杆挤出机流场内粒子的拉伸、折叠强度大于双螺杆挤出机,具有较好的混沌混合效果。

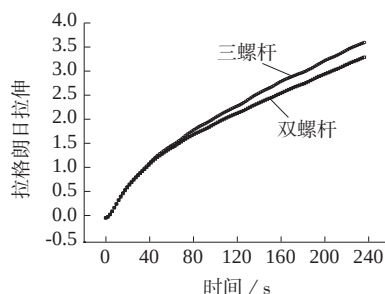
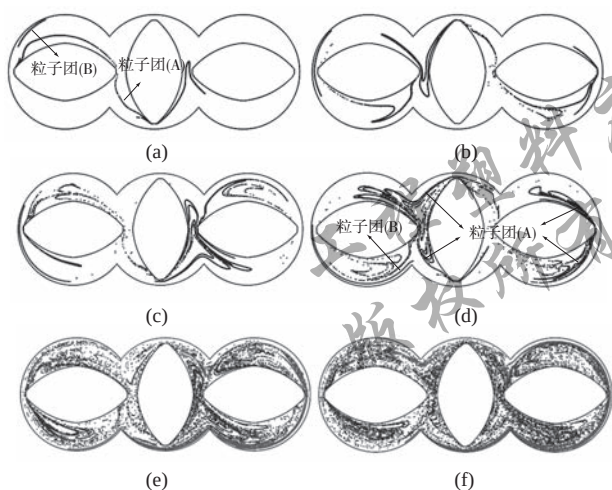


图8 不同类型挤出机平均对数拉伸对比曲线

3.4 粒子可视化分析

为了详细观察啮合区和筒壁流体粒子的运动方式以及分布规律,进行粒子追踪可视化分析^[15]。图9为不同时刻粒子可视化结果。



a—60 s; b—120 s; c—180 s; d—240 s; e—480 s; f—600 s

图9 不同时刻粒子可视化结果

左侧腔室释放粒子团: 粒子团(A)的 x 坐标范围为25.22~27.26 mm, y 坐标范围为0.89~2.97 mm; 粒子团(B)的 x 坐标范围为-1.54~0.388 mm, y 坐标范围为26.25~27.29 mm,如图1a所示。如图9所示,在运动初期,随着转子旋转, $t < 240$ s时,粒子团(A)呈现出左右啮合区交替运动。在双曲不动点附近,粒子团(A)在非稳定流形的作用下产生分离运动,一侧啮合区产生拉伸作用,另一侧啮合区产生复杂的折叠作用。然而粒子团(B)紧贴筒壁运动,在此时间内,该区域粒子团仅仅被拉伸,无折叠现象,此处呈现为常规的层流流动。当 $t > 240$ s时,随着运动时间的增加,粒子团分布整个流域。粒子团主要分布在筒壁区域,混合效果差。由

于折叠现象的存在,使得部分粒子团A、B发生物质交换,进一步改善了混合效果。

4 结论

采用有限时间李雅普诺夫指数、拉格朗日拟序结构等对平行三螺杆挤出机流体的混沌混合机理进行分析,讨论了啮合区内不同时刻FTLE状态和LCS结构,并与双螺杆挤出机进行对比,主要结论如下:

(1) LCS将平行三螺杆挤出机流场划分为2个不同特性的区域。在近转子区, LCS的封闭导致近转子区与远转子区流体交换受阻,混合效果差。由于双曲不动点的存在,促使近转子区和远转子区的物质交换,强化了流场的混沌混合。随着螺杆运动时间的增加,流体粒子产生新的拉伸、折叠,流场的混沌混合能力进一步增强。

(2) 通过求得流体粒子平均对数拉伸值分析了流场的混合强度,结果表明,平行三螺杆挤出机流场的平均对数拉伸值大于双螺杆挤出机。由于平行三螺杆挤出机比双螺杆挤出机多出一个啮合区,使得流体粒子在相同时间内拉伸、折叠明显增强,强化了流场的混沌混合。

(3) 从Poincaré截面知,流体粒子为成片的密集点,三螺杆挤出机具有较好的混合能力。相比于双螺杆挤出机的Poincaré截面,三螺杆挤出机在啮合区产生较为明显的折叠效果。通过粒子可视化分析,啮合区内流体粒子经过双曲不动点被反复拉伸、折叠,获得较好的混合效果。

参考文献

- [1] 张迅,朱向哲,王阁. 滑移边界条件对同向啮合三螺杆挤出机混合性能的影响[J]. 石油化工高等学校学报, 2012, 25(4):68-72.
Zhang Xun, Zhu Xiangzhe, Wang Ge. Numeral simulation of the effects of wall slip on an intermeshing co-rotating tri-screw extruder in the cross-section[J]. Journal of Petrochemical Universities, 2012, 25(4):68-72.
- [2] Jones C, Winkler S. Handbook of dynamical systems[M]. Towards Application, World Scientific, 2002.55-92.
- [3] 朱向哲,袁惠群. 三螺杆挤出机挤出特性的数值模拟[J]. 高分子材料科学与工程, 2008, 24(3):32-35.
Zhu Xiangzhe, Yuan Huiqun. Numerical simulation of extrusion characteristics of intermeshing co-rotating tri-screw extruder[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2008, 24(3):32-35.
- [4] 程志飞,何延东,朱向哲,等. Roller 转子密炼机聚合物流体的混沌混合特性[J]. 高分子材料科学与工程, 2013, 43(12):128-132.
Cheng Zhifei, He Yandong, Zhu Xiangzhe, et al. Chaotic mixing of polymer melt in internal mixer with roller rotors[J]. Polymer Materials

- Science and Engineering, 2013, 43(12):128-132.
- [5] Xu Baiping, Kuang Tangqing, Yu Huiwen, et al. Enhancement of mixing by different baffle arrays in cavity flows[J]. Chemical Engineering Science, 2015, 137:837-851.
- [6] Haller G, Yuan G. Lagrangian coherent structures and mixing in two-dimensional turbulence[J]. Chaos, 2000, 10(1):99-108.
- [7] Haller G, Yuan G. Lagrangian coherent structures and mixing in two-dimensional turbulence [J]. Physica D Nonlinear Phenomena, 2000, 147:352-370.
- [8] Shadden S C, Lekien F, Marsden J E. Definition and properties of Lagrangian coherent structures from-finite Lyapunov exponents in two-dimensional aperiodic flows[J]. Physica D Nonlinear Phenomena, 2005, 212(3):271-304.
- [9] Lekien Francois, Shadden Shawn C, Marsden Jerrold E. Lagrangian coherent structures in n-dimensional systems[J]. Journal of Mathematical Physics, 2007, 48:1-19.
- [10] 高鹤, 朱向哲, 佟莹, 等. 4WS 转子密炼机聚合物混沌混合的拉格朗日拟序结构分析 [J]. 高校化学工程学报, 2016, 30(6):1 274-1 283.
- Gao He, Zhu Xiangzhe, Tong Ying, et al. Lagrangian coherent structure analysis of chaotic mixing in an internal batch mixer with 4ws rotors[J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2016, 30(6):1 274-1 283.
- [11] 佟莹, 高鹤, 朱向哲, 等. 三螺杆挤出机啮合块端面二维流场混沌混合拉格朗日拟序结构分析 [J]. 化工学报, 2016, 67(10):4 378-4 388.
- Tong Ying, Gao He, Zhu Xiangzhe, et al. Analysis of 2D flow chaotic mixing at cross section of tri-screw extruder by Lagrangian coherent structure[J]. CIESC Journal, 2016, 67(10):4 378-4 388.
- [12] Green M A, Rowley C W, Haller G. Detection of Lagrangian coherent structures in three-dimensional turbulence [J]. Journal of Fluid Mechanics, 2007, 572(1):111-120.
- [13] Ottino J M. The kinematics of mixing: stretching, chaos, and transport[M]. New York: Cambridge University Press; 1989.
- [14] 孟宇, 朱向哲, 刘俭. 棱顶间隙对 4WS 密炼机流体混合特性影响 [J]. 石油化工高等学校校报, 2018, 31(5):77-83.
- Meng Yu, Zhu Xiangzhe, Liu Jian. Effects of different clearance on the mixing characteristics in the 4WS internal mixer[J]. Journal of Petrochemical Universities, 2018, 31(5):77-83.
- [15] 王佳男, 王嘉骏, 冯连芳, 等. 弯曲微通道中液滴内混合过程的数值模拟研究 [J]. 高校化学工程学报, 2014, 28(2):218-222.
- Wang Jianan, Wang Jiajun, Feng Lianfang, et al. Numerical study on fluids mixing based on droplet flows in serpentine microchannels[J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2014, 28(2): 218-222.

欢迎订阅 2019 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志

社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘, 请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物, 月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊, 是中国合成树脂供销协会会刊, 荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2019 年定价 20 元/期, 全年 240 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物, 双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊, 荣获多项省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2019 年定价 20 元/期, 全年 120 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号 (1973 年) 至 2018 年底共 46 卷 350 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售; 同时也将《化学分析计量》自创刊号 (1992 年) 至 2018 年底

共 27 卷 127 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售。合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文, 又可根据读者自定义的关键词进行全文检索, 非常方便、实用。《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 550 元; 《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 250 元。

邮局汇款:

收款地址: 济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位: 《工程塑料应用》杂志社

邮编: 250031

电话: (0531)85878223 85878057 85878278

传真: (0531)85947355

银行汇款:

户 名: 山东非金属材料研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

账 号: 1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>