http://pmse.scu.edu.cn

场协同扭转销钉结构的混合与热输运特性

王世龙[1], 张 鹏[1], 蒋新沛[1], 杨卫民[2], 鉴冉冉[1,2,3]

(1. 青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061; 2. 北京化工大学 英蓝实验室, 北京 100029;
3. 益阳橡胶塑料机械集团有限公司博士后科研工作站, 湖南 益阳 413064)

摘要: 为了减少传统销钉结构传热不足、存在死区等对产品挤出成型质量的消极影响,文中提出了一种新型场协同扭转销钉元件,研究了其在聚合物挤出过程中的混合与热输运特性。为了评价其混合与热输运特性,对包含新型扭转销钉元件在内的 4 种螺杆进行了仿真数值模拟,比较分析了混合效率、分布指数和温度分布等一系列特征参数。结果表明,新型场协同扭转销钉元件使流体沿着扭转曲面发生径向流动,增强了速度场、速度梯度场和温度梯度场之间的协同作用,使混合效率和对流换热系数提高,分布指数降低,混合传热效果得到增强,从而进一步优化了产品的挤出成型质量。

关键词: 场协同扭转销钉;混合特性;热输运特性;场协同原理
中图分类号: TQ320.5^{+}2 **文献识别码:** A **文章编号:** 1000-7555(2026)05-0094-09

单螺杆挤出成型作为实现诸如管材等具有固定截面形状制品连续化生产的核心工艺,在聚合物加工领域占据重要地位,其成型制品广泛应用于航空航天、电子设备及医疗器械等领域[1~3]。螺杆结构是挤出机塑化系统的关键组成部分,优化螺杆结构对聚合物的混合效率与传热特性具有直接影响,决定了挤出制品的最终性能[4]。

为了解决传统单螺杆存在的混合与热输运性能表现不佳的问题,研究人员做出了许多尝试,一些人通过创新螺杆结构来提高螺杆性能。其中,潘威等[5]分析了场协同扭转螺杆的强化混合与传热的作用机制,结果显示,新型场协同扭转结构有效提高了螺杆的混合与传热性能,对挤出产品质量有着积极影响。Xie 等[6]研究了不同结构参数对叶片挤出机混合和能耗特性的影响,研究发现,叶片挤出机产生的流动比传统挤出机具有更强的拉伸作用,能够将颗粒分解成更小的颗粒,提高螺杆混合性能。He 等[7]基于正弦曲线几何特性,创新开发出一种形似土堆的拉伸混合元件(Mound-shaped extensional mixing element,简称 M-EME),该元件可显著提升拉伸流场在混合流程中的比例,从而优化螺杆的混合性能。Chen[8]和 Wang 等[9]研究发现,在机筒上安装销钉后,熔体在流场中的剪切应力和拉伸应力得到提升,熔体的粒子轨迹发生改变,塑化能力和混合均匀性均有所提高。

某些学者通过计算不同特征参数细致化分析了挤出塑化过程中熔体动力学与热力学之间的关系。Grosso 等[10]基于型腔转移混合器的简化二维模型,探究了拉伸和折叠混合动作,通过庞加莱图及模拟流体斑点的演变,揭示了混合装置几何结构对分布混合性能的影响。笔者所在团队对聚合物加工过程的动量和能量守恒进行了理论分析,提出了聚合物场协同塑化输运混炼理论以实现螺杆塑化挤出过程的强化传热与高效混炼[11, 12],并基于该理论设计开

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2026.0080
收稿日期: 2025-05-30
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52206095)
通讯联系人: 鉴冉冉, 主要从事高分子材料加工成型与智能制造技术研究, E-mail: jianrr@qust.edu.cn

发了场协同扭转螺杆元件和场协同拉伸螺杆元件[13~15],实现了良好的高效传质与径向强制换热性能。

在笔者课题组前期研究基础上,本文提出了一种新型场协同扭转销钉元件,利用 ANSYS Polyflow 对其挤出过程混合与热输运特性进行了系统分析,结合场协同理论解释了其内在作用机理,并与传统销钉进行了比较。研究结果为场协同扭转销钉元件在挤出成型中的应用提供了理论支持,为螺杆结构优化设计及高效塑化混炼系统的开发提供了参考。

1　理论模型

1.1　物理模型

本文基于 SolidWorks 三维建模软件构建了 4 种不同构型的螺杆几何模型,其结构参数如 Fig.1 所示。Fig.1(a)为普通单螺纹螺杆(STD),Fig.1(b)为传统圆柱型销钉螺杆(Pin),Fig.1(c)为左旋向场协同扭转销钉螺杆(ToP-L),Fig.1(d)为右旋向场协同扭转销钉螺杆(ToP-R)。所有螺杆元件的直径均为 23.6 mm,模拟计算选取螺杆计量段,长度为 120 mm。计量段螺槽深度统一设定为 1.8 mm。销钉元件设计位于螺杆末端、紧邻螺杆头的 1 个完整导程长度范围内,沿轴向布置 5 排销钉。相邻销钉轴向间距为 4.5 mm。为消除进出口对模拟结果的影响,首末两排销钉外侧各保留 2 mm 的光杆区域。每排均匀分布 13 个销钉,销钉直径/边长为 3 mm,高度与螺槽深度一致。扭转销钉的扭转曲面设计通过改变扭转方向得到左旋(ToP-L)与右旋(ToP-R)2 种构型,以探究场协同效应在不同流动场中的表现差异。该模型设计通过控制变量法,保持螺杆主体几何参数一致,仅改变销钉结构与旋向,为后续数值模拟中混合性能与热输运特性的对比分析提供了标准化的几何基础。Fig.1(e)详细展示了螺杆配合流域后的几何结构尺寸及元件位置分布。为消除进出口边界对模拟结果的影响,流域在进出口端分别向外延伸 5 mm。

Fig.1(f)为基于聚合物场协同塑化输运混炼理论所设计的扭转销钉元件结构,其侧面由 4 个 90 °扭转曲面构成。物料在通过该扭转销钉元件时,扭转曲面造成熔体流动变化,使得流体沿着扭转曲面产生径向流动,从而增强径向传质效应,改善对物料的混合均匀性、流动特性和热输运性能。

1.2　数学模型和边界条件

在本文中,采用并选取的模拟流动介质为现实中的常用材料聚丙烯(PP)。高黏度聚合物在挤出过程中的塑化是 1 个复杂的过程,涉及到从固体到熔体的相变、黏性耗散、剪切生热、热质传递等。因此,针对 PP 的流动特性采用以下假设:(1) PP 是不可压缩的黏性非牛顿流体;(2)熔体完全压实且形成层流;(3)熔体处于非等温瞬态,熔体完全充满流道,螺

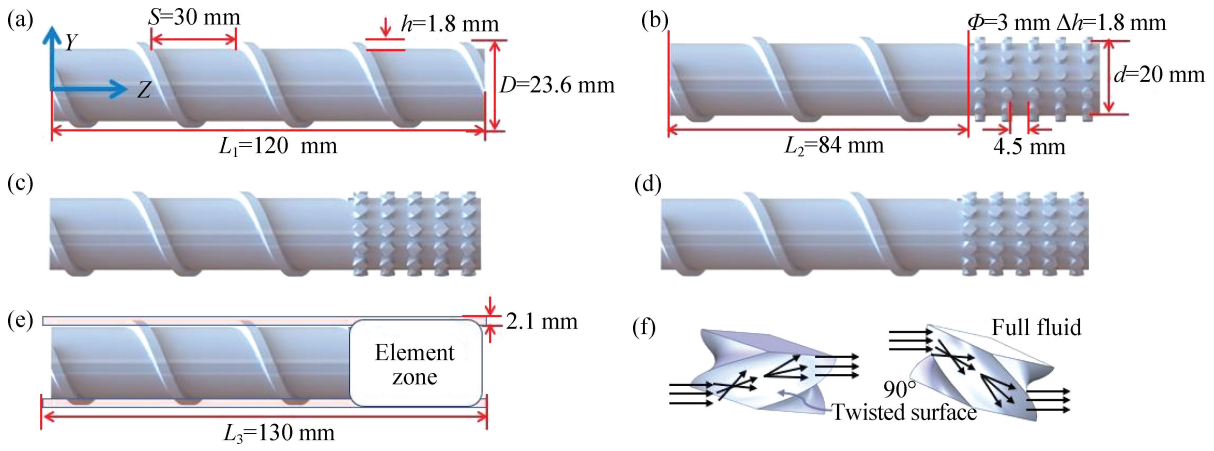


Fig. 1　Model used in the simulation:(a) STD screw; (b) pin screw; (c) ToP-L screw; (d) ToP-R screw; (e) fluid model equipped with screws; (f) flow patterns of fluids in torsion-pin elements

杆表面绝热且壁面无滑移;(4)由于 PP 的高黏度,重力与黏滞力相比可以忽略不计。参考先前的研究工作[11],同时值得注意的是,材料选择的影响主要在于黏度本构方程的具体参数,而非改变基础物理模型。因此,所采用的建模方法及由此得出的结论普遍适用于大多数挤出加工常用的聚合物体系。新型螺杆结构的设计基于场协同塑化输运混炼理论,旨在增强对流换热和径向混合性能,这些性能主要受到流场和热力场的控制。尽管绝对性能可能会因材料相关常数不同而有所差异,但热均匀性和塑化效率的相对提升预计适用于广泛的热塑性材料。数值模拟过程中所采用的流体物性参数如 Tab.1 所示。

Tab. 1 Fluid properties parameters.

Parameter	Symbol	Value
Density/(kg·m^{-3})	ρ	900
Specific heat capacity/(J·kg^{-1}·K^{-1})	C_p	2300
Thermal conductivity/(W·m^{-1}·K^{-1})	k	0.24
Viscosity at an infinite shear rate/(Pa·s)	η_∞	0
Zero shear viscosity/(Pa·s)	η_0	10000
Natural time/s	λ	0.5
Non-Newtonian index	n	0.75
Coefficient of temperature sensibility/K^{-1}	f	2000
Reference temperature/K	T_α	463
Absolute zero/K	T_0	0

在以上假设的情况下,流场遵循连续介质方程:连续性、动量守恒和能量守恒方程,如式(1~3)所示。

连续性方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i}=0 \tag{1}$$

动量守恒方程:

$$\rho\left(\frac{\partial u_i}{\partial t}+u_j\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)+\frac{\partial p}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\eta\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) \tag{2}$$

能量守恒方程:

$$\rho C_p\left(\frac{\partial T}{\partial t}+u_i\frac{\partial T}{\partial x_i}\right)=k\frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2}+\varphi \tag{3}$$

Bird-Carreau 模型和 Arrhenius 模型常用来表征 PP 材料的流变特性

$$\eta=[\eta_\infty+(\eta_0-\eta_\infty)(1+\lambda^2\dot{\gamma}^2)^{\frac{n-1}{2}}]\exp\left[-f\left(\frac{1}{T-T_0}-\frac{1}{T_\alpha-T_0}\right)\right] \tag{4}$$

挤出机组合段由螺杆和流域 2 部分组成,其中,螺杆是运动部件,螺杆物性参数如 Tab.2 所示,流域是主要研究对象,对其边界条件设定如 Fig.2 所示。

Tab. 2 Screw properties parameters

Parameter	Symbol	Value
Density/(kg·m^{-3})	ρ	8030
Thermal conductivity/(W·m^{-1}·K^{-1})	k	16.27
Specific heat capacity/(J·kg^{-1}·K^{-1})	C_p	502.4

1.3 网格无关性验证

本文采用 ANSYS Polyflow 2023 R1(美国 ANSYS 公司)计算流体动力学(Computational fluid dynamics, CFD)软件进行计算,网格系统由 Gambit 2.4.6 网格软件生成。为了确定不同网格数量对模拟结构结果的可靠性,首先对流体网格模型进行了大跨度网格数量的独立性验证,Tab.3 给出了在螺杆转速为 60 r/min 时,熔体体积平均温度、努塞尔数

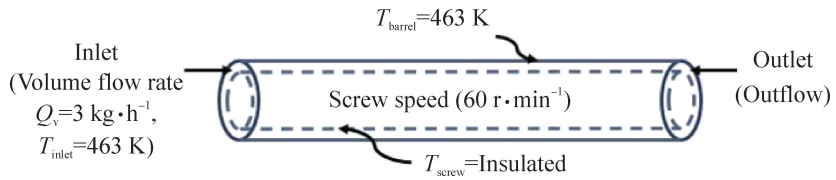


Fig. 2 Boundary conditions

Tab. 3　Verification of grid independence at large scale

Mesh number	Avg. temperature/K	*Nu*	Viscosity/(Pa·s)
100800	467.896	32.13	3954
201600	467.313	33.7	4100
302400	467.109	34.35	4153

(*Nu*)和黏度随流域网格数量的变化情况。结果表明,当网格数量到达 100800 时,进一步增加网格数量,其体积平均温度、*Nu* 和黏度的变化均小于 5%,表明在此网格密度下,计算结果的收敛性与计算效率达到平衡,可以满足后续数值仿真的精度要求。

为确保网格划分方式对计算结果的可靠性,本文对机筒内壁附近进行了精细化的边界层网格划分,同时在 100000 左右网格数量下,从径向(*R*)、周向(*C*)和轴向(*L*)3 个维度进一步评估了网格独立性。Fig.3 展示了在螺杆转速为 60 r/min 的条件下,不同流体域网格划分方式对熔体体积平均速度和体积平均温度的影响。结果表明,当网格划分方式为 18×70×80(*R*×*C*×*L*)时,体积平均速度和体积平均温度的变化均小于 2%,表明在此网格密度下,计算结果的收敛性与计算效率达到平衡,满足后续数值仿真的精度要求。因此,本文后续仿真模拟采用 18×70×80(*R*×*C*×*L*)的网格划分方式,总网格数量为 100800。

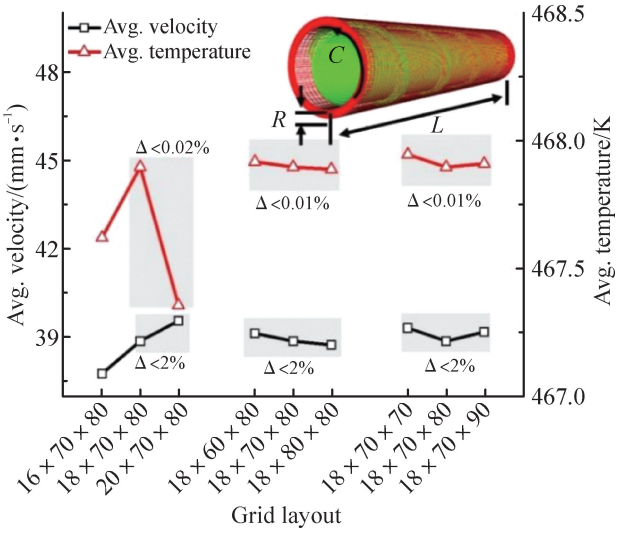


Fig. 3　Mesh independence validation of fluid model

2　结果与讨论

2.1　流动模式分析

Fig.4 展示了不同螺杆结构在流场内的流线轨迹。从 Fig.4(a)的速度流线轨迹可以看出,STD 螺杆的螺槽中,熔体呈现稳定的层流流动状态,熔体层与层之间几乎没有径向传质;而在 Pin, ToP-L 和 ToP-R 螺杆的销钉位置,熔体被迫发生分流与汇流,增加了粒子之间的混合过程。进一步对比发现,与 Pin 螺杆相比,ToP-L 和 ToP-R 螺杆由于扭转销钉元件的影响,在销钉区域产生了更为明显的螺旋扰动,形成了显著的径向传质。

进一步观察 Fig.4(b)中不同螺杆速度矢量和温度分布的径向切片,可以发现,STD 螺杆和 Pin 螺杆在元件区域的熔体流动表现为简单的层流,速度方向与流动方向近乎平行,温度梯度与流动方向基本垂直。相比之下,在 ToP-L 和 ToP-R 扭转销钉元件区域,扭转销钉使熔体在径向产生了流动,导致流体速度方向发生径向偏移。这种偏移增强了速度场与温度梯度场之间的协同作用,改善了熔体的混合均匀性和热输运性能。

Fig.5 显示了不同螺杆的压力分布及流域出入口压力差。如 Fig.5(a)所示,在相同条件下,销钉结构的加入不可避免地引起了部分额外阻力,在元件区域,压力分布表现出较为明显的波动。对比传统销钉结构,扭转销钉结构进一步增加了流动压阻。Fig.5(b)出入口压力差也证明了这一点,其中 ToP-R 的压力差值最小,产生的流动压阻最大,进而导致压力损失和能耗增加。但与传统销钉螺杆相比,差距不大。

2.2　混合性能及其场协同分析

Fig.6 观察并分析了一系列用以表征螺杆混合性能的参数,如时均混合效率、瞬时混合效率和分布指数等。混合效率是一种表征混合能力的运动学参

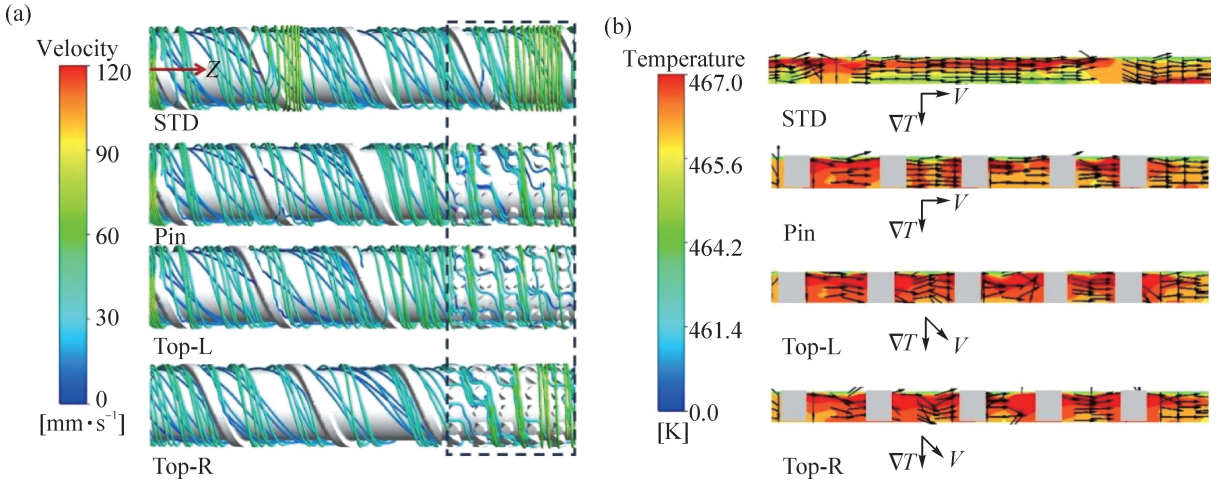


Fig. 4 Flow patterns: (a) velocity streamlines in different screws; (b) slices of axial velocity vector and temperature distribution of different screws

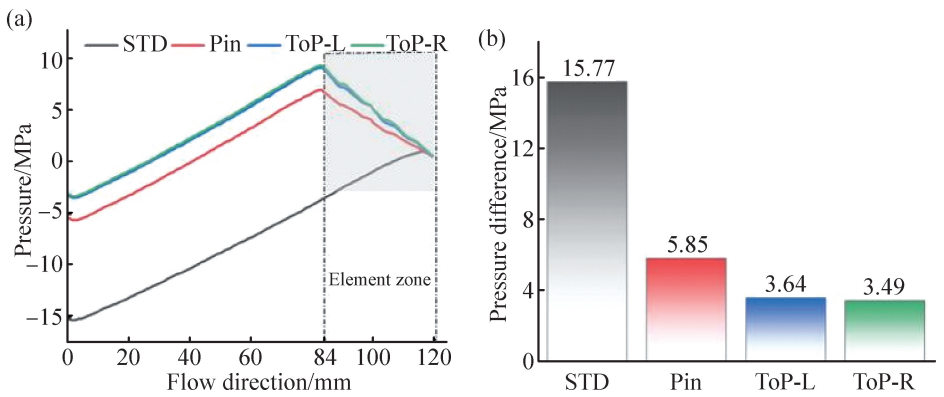


Fig. 5 Pressure characteristics: (a) flow pressure distribution in various screws; (b) pressure difference

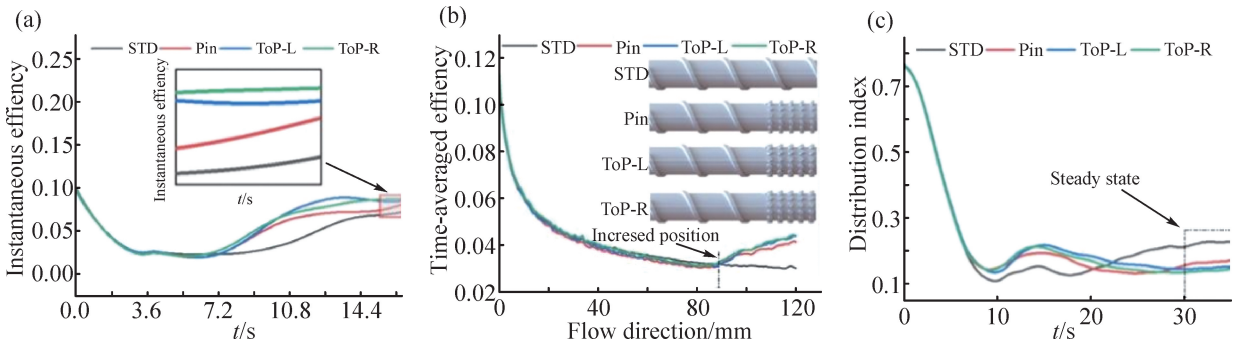


Fig. 6 Mixing performance of various screws: (a) instantaneous mixing efficiency; (b) time-averaged mixing efficiency; (c) distribution index

数,主要分为瞬时混合效率和时均混合效率,表示熔体所受拉伸作用而面积伸展的程度,量化了熔体在流道内流动变形的能力,混合效率越高,螺杆混合能力越好。瞬时混合效率如 Fig.6(a)所示,ToP-R 螺杆瞬时混合效率明显高于其它 3 种螺杆结构,表明新型扭转销钉元件可以进一步提高螺杆的混合能力。时均混合效率如 Fig.6(b)所示,数值大小依次为:ToP-R>ToP-L>Pin>STD。无论是左旋还是右旋,扭转销钉螺杆均优于传统销钉螺杆,具有更好的混合能力。

分布指数表示粒子团在连续相中的分布程度,是样本分布与最优分布的差值,分布指数越小,混合

越均匀。如 Fig.6(c)所示,稳定后的分布指数大小依次为:ToP-R<ToP-L<Pin<STD,与混合效率结果一致。这充分证明新型场协同扭转销钉可以有效增强螺杆的混合能力。

为了进一步分析场协同扭转销钉螺杆增强混合的作用机制,计算了流场中的拉伸速率、剪切速率、混合指数,并基于聚合物场协同塑化输运混炼理论对其进行了混合场协同分析。其中,混合指数的值可以反映熔体的流动形式,1 代表纯拉伸运动,0.5 代表简单剪切运动,0 代表有旋流动或平移。混合场协同分析是通过计算速度矢量与速度梯度矢量之间的夹角 α(即混合协同角)来评估螺杆结构的混合能力,在 0~90 °范围内,α 角度越小,表明拉伸流动占比越大,混合效率越高。

如 Fig.7(a, b)所示,分别观察了不同螺杆沿轴向上的拉伸速率、剪切速率变化情况。相比于 STD 螺杆,其它 3 种螺杆的剪切速率和拉伸速率均得到了较大的提升,不同螺杆的速率大小顺序为 ToP-R>ToP-L>Pin>STD。与此同时,观察了螺杆沿流动方向上的混合指数变化情况,如 Fig.7(c)所示,加入销钉结构后混合指数的分布有了明显的变化。对于这 4 种螺杆结构,STD 螺杆混合指数平均在 0.5 左右,螺杆对熔体主要起到剪切作用,加入销钉后,混合指数统计分布有所下降,其中 ToP-R 在元件区域的分布指数主要集中在 0.3~0.5,这证明在元件位置区域,特殊的螺杆构型能够使得该区域产生更复杂的有旋流动,改善混合效果。

如 Fig.7(d)所示,从不同螺杆的混合协同角可以看出,STD 的协同角 α 数值稳定在 79 °左右,其它 3 种螺杆在销钉元件处数值明显下降,这表明销钉元件的加入可以增加流场中的拉伸流动,提高拉伸流动占比,改善速度场与速度梯度场之间的协同性。其中 ToP-R 螺杆在元件处协同角最小,根据聚合物场协同塑化输运混炼理论,结合 Fig.7(a, b)结果,可以得出结论,采用右旋向场协同扭转销钉的 ToP-R 螺杆具有较好的混合协同性,熔体的混合效果提升

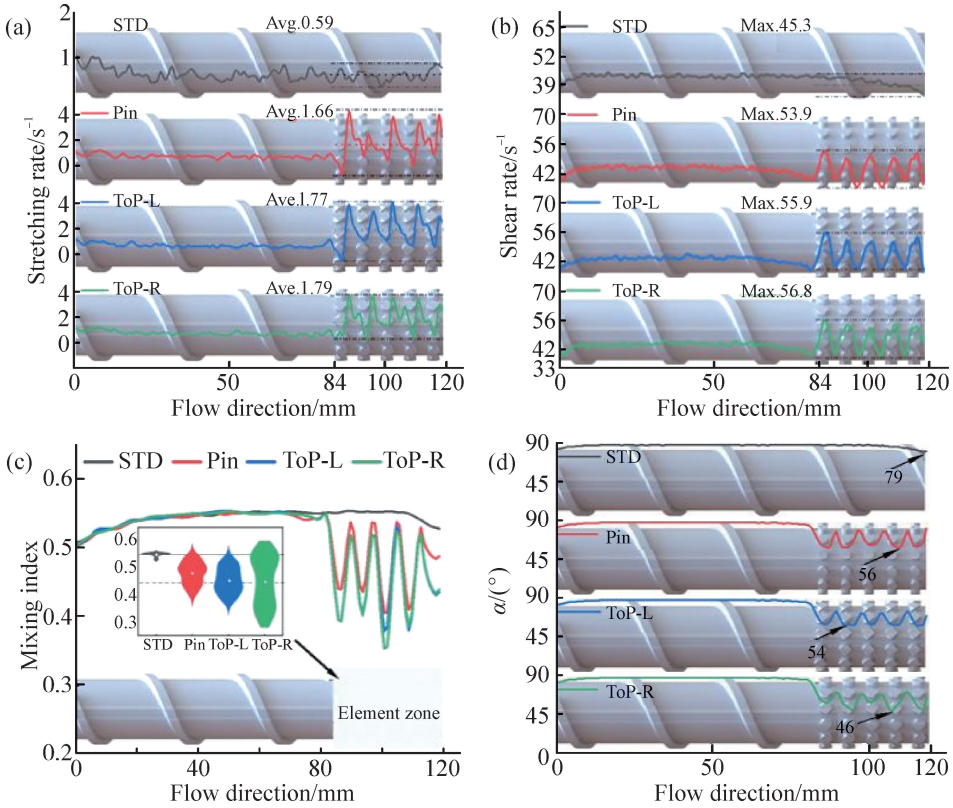


Fig. 7　Mixing synergy analysis: (a) distributions of stretching rate; (b) distributions of shear rate; (c) distributions of mixing index; (d) distributions of synergy α

明显,与 Fig.6 结果一致。

2.3 热输运性能及其场协同分析

在聚合物熔融挤出塑化过程中,由于聚合物本身的热扩散率极低,聚合物熔体的传热效率十分有限,这通常会导致挤出机内聚合物熔体的径向温度出现较大差距。为此,研究了不同螺杆类型的沿程温度分布,并基于聚合物场协同塑化输运理论对不同螺杆进行了传热场协同分析,研究新型扭转销钉螺杆强化传热的内在作用机理。

首先观察了不同螺杆的沿程温度分布,如 Fig.8(a)所示,可以发现,当熔体经过销钉元件区域时,无论是传统销钉元件还是场协同扭转销钉元件,均使轴向温度有不同程度的升高,但是值得注意的是,相对于传统销钉,场协同扭转销钉带来的温度波动更小,这对于维持熔体在输运过程中的温度均匀性有一定的积极作用。为了分析温度波动的主要原因,观察了螺杆的黏性生热情况,如 Fig.8(b)所示,发现加入销钉后带来的熔体黏性生热是造成温度波动的主要原因,与 Fig.8(a)轴向温度分布相对应。

为了研究螺杆强化传热的内在作用机理,基于聚合物场协同塑化输运混炼理论,计算了速度矢量与温度梯度场之间的夹角 β(即传热协同角),其大小可以反映螺杆的传热能力,传热协同角 β 在 0~90°范围内,其值越小,传热能力越强。Fig.8(c)为不同螺杆沿流动方向的传热协同角 β 及对流换热系数的分布情况。计算了销钉位置处也就是所对应对流换热系数波峰处的平均值,其中对流换热系数数值大小比较为 ToP-R>ToP-L>Pin>STD,对流换热系数与协同角数值成反比关系,符合聚合物场协同塑化输运混炼理论。这证明场协同扭转销钉元件具有良好的径向传热能力,可以降低熔体在输运过程中的温度波动,与 Fig.8(a)结论一致。

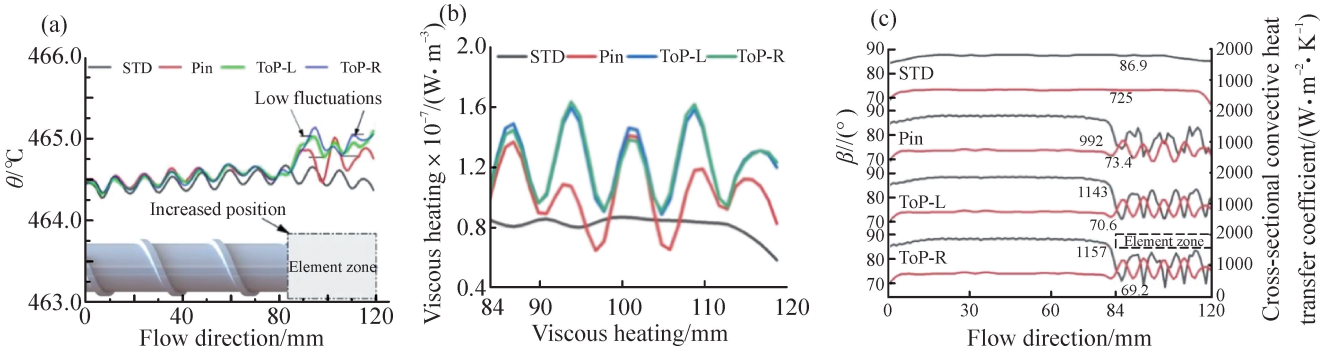


Fig. 8 Temperature performance and cooperative analysis: (a) temperature distribution; (b) viscous heating; (c) heat transfer and synergy β along the direction of flow

3 结论

本文基于聚合物场协同塑化输运混炼理论,设计了 2 种不同旋向的场协同扭转销钉螺杆,通过数值模拟对比了 4 种螺杆结构的输运、混合及热输运特性并开展了场协同分析。结果表明,相较于传统 STD 螺杆与普通 Pin 螺杆,带销钉结构的螺杆会产生一定压力损失,小幅削弱输运能力,但新型 ToP-L 和 ToP-R 螺杆凭借扭转曲面结构,可实现熔体高效径向传质,强化层间热质交换。在混合性能方面,2 种新型螺杆可提升瞬时与时均混合效率,优化流场状态,减小速度矢量与梯度矢量夹角,强化流场协同效果,其中,ToP-R 螺杆因特殊旋向延长熔体作用时间,混合性能最优。热输运层面,新型螺杆可促进机筒与熔体热量交换,优化速度场与温度梯度场协同性,提升热输运效率并降低熔体温度波动。后续将依托仿真数据,建立模拟优化与实验验证迭代研究模式,优化工艺参数,为实际挤出生产提供理论支撑。

参考文献:

[1] Hyvärinen M, Jabeen R, Kärki T. The modelling of extrusion processes for polymers—a review[J]. Polymers, 2020, 12: 1306.

[2] Abeykoon C, Kelly A L, Brown E C, *et al*. Investigation of the process energy demand in polymer extrusion: a brief review and an experimental study[J]. Applied Energy, 2014, 136: 726-737.

[3] Sakai T. Screw extrusion technology—past, present and future[J]. Polimery, 2013, 58: 847-857.

[4] 潘威, 黄士争, 魏兴岳, 等. 基于权矩阵分析法的场协同扭转螺杆多目标正交优化设计[J]. 高分子材料科学与工程, 2025, 41(12): 106-115.
Pan W, Huang S Z, Wei X Y, *et al*. Multi-objective orthogonal optimization design of field synergy torsion screw based on weight matrix analysis method[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2025, 41(12): 106-115.

[5] 潘威, 黄士争, 朱家威, 等. 场协同扭转螺杆强化混合与传热的作用机制[J]. 高分子材料科学与工程, 2024, 40(10): 89-96.
Pan W, Huang S Z, Zhu J W, *et al*. Mechanism of field synergy torsion screw enhancement for mixing and heat transfer[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2024, 40(10): 89-96.

[6] Xie H L, Wen J S, Fan D J, *et al*. Numerical simulation of mixing characteristics and energy consumption in vane extruders with different structure parameters[J]. Journal of Macromolecular Science, Part B, 2017, 56: 395-408.

[7] He H Z, Li W J, Huang Z H, *et al*. Numerical analysis of a new mound-shaped extensional mixing element designed based on a sine curve in single-screw extrusion[J]. International Polymer Processing, 2023, 38: 472-482.

[8] Chen J, Dai P, Yao H, *et al*. Numerical analysis of mixing performance of mixing section in pin-barrel single-screw extruder[J]. Journal of Polymer Engineering, 2011, 31: 53-62.

[9] Wang Z L, Pan Y R, Liu Y C, *et al*. Investigations of the elongational deformation induced by pins in pin-barrel cold-feed extruders[J]. Advances in Polymer Technology, 2022, 2022: 3513804.

[10] Grosso G, Hulsen M A, Overend A, *et al*. Fluid flow and distributive mixing analysis in the cavity transfer mixer[J]. Macromolecular Theory and Simulations, 2018, 27: 1700075.

[11] Jian R R, Dai R, Sain M, *et al*. Ductile behavior and heat transfer efficiency in polymer extrusion by self-controlled “flipping melt-pancakes” with multi-fields synergy[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2022, 186: 122517.

[12] Jian R R, Dai R, Sain M, *et al*. A strategy of stretching melt to a thin layer: self-controlled “stretching melt-pancakes” to enhance heat transfer and mixing during polymer extrusion[J]. Applied Thermal Engineering, 2023, 224: 120090.

[13] 鉴冉冉. 场协同螺杆塑化过程流动特性与强化传热机理研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2019.
Jian R R. Flow characteristics and heat transfer enhancement mechanism of field synergyscrew in polymer plasticizing process[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2019.

[14] 黄士争, 潘威, 朱家威, 等. 场协同拉伸螺杆强化混合与传热机理的研究[J]. 中国塑料, 2024, 38(9): 101-106.
Huang S Z, Pan W, Zhu J W, *et al*. Study on enhancement mechanism of mixing and heat transfer of field-synergetic elongation screw[J]. China Plastics, 2024, 38(9): 101-106.

[15] 潘威, 黄士争, 朱家威, 等. 场协同扭转螺杆对胶料挤出性能的影响规律[J]. 合成橡胶工业, 2024, 47(5): 403-407.
Pan W, Huang S Z, Zhu J W, *et al*. Influence of field synergy torsion screw on extrusion performance of rubber materials[J]. China Synthetic Rubber Industry, 2024, 47(5): 403-407.

Mixing and Thermal Transport Characteristics of Field Synergy Torsion-Pin Structures

Shilong Wang[1], Peng Zhang[1], Xinpei Jiang[1], Weimin Yang[2], Ranran Jian[1, 2, 3]

(*1. College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China; 2. En-Learn Laboratory, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 3. Postdoctoral Workstation, Yiyang Rubber & Plastics Machinery Group Co., Ltd, Yiyang 413064, China*)

ABSTRACT: In order to reduce the negative impact of insufficient heat transfer and dead zones in traditional pin structures on the quality of product extrusion molding, in this article, a novel field synergy torsion-pin element was proposed, of which mixing and thermal transport characteristics during the polymer extrusion process were studied. In order to evaluate its mixing and heat transport characteristics, simulation numerical simulations were conducted on four types of screws, including a new type of torsion-pin element. A series of characteristic parameters such as mixing efficiency, distribution index, and temperature distribution were compared and analyzed. The results show that the new field synergy torsion-pin element causes the fluid to flow radially along the torsion surface, enhances the synergistic effect between the velocity field, velocity gradient field, and temperature gradient field, and thus leads to an increase in mixing efficiency and convective heat transfer coefficient, a decrease in distribution index, and an enhancement of mixing heat transfer effect, further optimizes the extrusion molding quality of the product.

Keywords: field synergy torsion-pin; mixing characteristics; thermal transport characteristics; field synergy principle