

啮合异向双螺杆挤出机中螺杆端面结构参数对聚乳酸流场的影响

Effects of screw end face structural parameters on polylactic acid flow field in meshing counter rotating twin screw extruder

张一惟^{1,2} 黄志刚^{1,2} 商嘉玮^{1,2}

ZHANG Yi-wei^{1,2} HUANG Zhi-gang^{1,2} SHANG Jia-wei^{1,2}

刘忠尧^{1,2} 杨亚楠^{1,2}

LIU Zhong-yao^{1,2} YANG Ya-nan^{1,2}

(1. 北京工商大学人工智能学院, 北京 100048; 2. 塑料卫生与安全质量评价技术北京市重点实验室, 北京 100048)

(1. School of Artificial Intelligence, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;

2. Plastic Beijing Municipal Key Laboratory of Health and Safety Quality Evaluation Technology, Beijing 100048, China)

摘要:目的:探究啮合异向双螺杆挤出机中螺杆构型的改变对聚乳酸流场的影响。方法:通过 Solidworks 软件建立异向双头螺纹元件的理论模型和经两种不同方式调整结构参数后的螺纹元件几何模型,将建立的三维模型导入 Gambit 软件进行网格划分,再应用 Polyflow 软件进行流场模拟计算,最终借助 Fieldview 软件提取流场分布结果,对比分析修正时螺纹元件端面上结构参数的调整对剪切速率场、黏度场和速度场的影响。结果:修正时螺纹元件的结构参数经两种方式调整后均会对聚乳酸流场造成影响;两种对结构参数的调整方式均在不同程度上减小了流道内的剪切速率梯度,方式一还造成了流道内聚乳酸的黏度降低。结论:从对剪切速率场、黏度场和速度场的影响上看,经方式一调整后的螺纹元件更有利于挤出,而经方式二调整后的螺纹元件实体构型更贴近螺纹元件理论构型。

关键词:啮合异向;双螺杆挤出机;等温;数值模拟;流场;聚乳酸

Abstract: Objective: To investigate the effect of the screw configuration on the polylactic acid flow field on the structural parameters of the screw on the end face of the screw in the meshing counter rotating twin screw extruder. **Methods:** The

theoretical model of the heterodirectional double-ended threaded element was established by Solidworks software and the geometry of the threaded element after adjusting the structural parameters in two different ways. The established three-dimensional model was imported into Gambit software for meshing, and then Polyflow software was applied to the flow field simulation calculation. Finally, the flow field distribution results were extracted by Fieldview software, and the effects of the adjustment of the structural parameters on the end surface of the threaded element during correction were compared and analyzed on the shear rate field, viscosity field and speed field.

Results: The structural parameters of the threaded element during correction will affect the polylactic acid flow field after being adjusted in two ways. The two adjustment methods of structural parameters have reduced the shear rate gradient in the runner to varying degrees, and the first method has also caused the viscosity of the polymer lactic acid in the runner to be reduced. **Conclusion:** From the perspective of the influence on the shear rate field, viscosity field and speed field, the threaded element adjusted by mode one is more conducive to extrusion, while the solid configuration of the threaded element adjusted by mode two is closer to the theoretical configuration of the threaded component.

Keywords: meshing counter-rotating; twin-screw extruder; isothermal; numerical simulation; flow field; polylactic acid

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:32172277)

作者简介:张一惟,男,北京工商大学在读硕士研究生。

通信作者:黄志刚(1966—),男,北京工商大学教授,博士。

E-mail: huangzg@btbu.edu.cn

收稿日期:2022-11-21 改回日期:2023-03-06

聚乳酸(PLA)是一种新型的可生物降解材料,由可再生的植物资源中提取的淀粉原料制成,具有良好的可再生性、可降解性以及生物相容性^[1],可替代一次性塑料

餐具、方便饭盒等应用于生产生活^[2]。在加工方面,聚乳酸还具有优良的加工性能,适合吹膜、纺丝和成型挤出^[3],被广泛应用于食品包装和医疗卫生领域^[4]。啮合异向双螺杆挤出机因其正位移输送能力强,纵横向封闭性好且具有优异的自洁性能^[5],已成为聚乳酸挤出加工的主要设备之一。

李彦辉等^[6]发现在常规啮合异向双螺杆挤出机上引入啮合块元件可以提高挤出机的分散混合能力。李超凡等^[7]发现在聚乳酸挤出过程中变距螺杆的压力和速度的最大值相等距螺杆均有一定程度提升,其良好的建压能力有利于提高产品成型效果。张磊等^[8]在利用双螺杆挤出机将低分子量的乳酸预聚物缩聚制备高分子量的聚乳酸过程中发现,当温度为 160 ℃,催化剂用量为 0.5%,螺杆转速为 30 r/min 时,聚乳酸的分子量会得到最大程度的提高。

目前,在对流场进行数值模拟时,往往直接使用异向双螺杆几何学推导出的理论方程来绘制理论端面曲线,进而建立理论模型,再进行数值计算。这样就忽略了异向双螺杆理论构型和实际加工中实体构型间的差异。实际上,如果在生产中完全依照理论曲线进行加工,不仅对加工工具和加工工艺有着非常高的要求,而且在两螺杆螺棱侧面间完全没有留出间隙^[9]。这会在螺杆受热变形时,导致两螺杆间发生干涉,严重时甚至会出现安全隐患。因此在实际应用中,通常会对理论曲线加以修正^{[10]55-56}。研究拟选取两种方式调整螺杆端面上的结构参数,对螺杆理论端面曲线进行修正,建立异向双头螺纹元件的理论模型和经两种不同方式修正后的螺纹元件几何模型,对聚乳酸熔体在等温条件下的流场进行数值模拟,展现出螺杆理论构型和实际生产中螺杆实体构型间的差异,以及修正后螺杆构型的改变对聚乳酸流场的影响。

1 数值模拟过程

1.1 几何模型的建立

由异向双螺杆相对运动原理可知,假设一根螺杆固定不动,则另一根螺杆绕不动螺杆的圆作相对纯滚动^{[10]56-59}。由此可以推导出全啮合异向双螺杆的理论端

面曲线,推导出的理论曲线由 8 段弧线组成,如图 1(a)所示。

在实际应用中修正时,通常将理论端面曲线第 2、4、6、8 段改用直线,最简单的方法就是直接相连^[9],如图 1(b)所示。但是这样两螺杆之间仍旧没有间隙且会发生干涉^[9]。为了使两螺杆螺棱侧面间存在侧间隙,可以将初步修正的螺杆端面曲线中的直线段向内摆动一个角度,如图 1(c)所示;或者通过适当缩小螺棱角、扩大螺槽角的方式,使螺棱宽度小于螺槽宽度,最终获得既有侧间隙又不会发生干涉的异向双螺杆端面曲线^[11]。

研究即选取这两种调整结构参数的方式对理论曲线加以修正。修正前理论曲线如图 2(a)所示,螺杆外径为 12.5 mm,螺杆根径为 8.5 mm,两螺杆中心距为 21 mm,导程为 20 mm。方式一将初步修正的端面曲线中的直线段向内摆动 11°,修正后的端面曲线如图 2(b)所示;方式二则将螺棱角缩小为 80°,将螺槽角扩大为 100°,修正后的端面曲线如图 2(c)所示。两种对结构参数不同的调整方式均在一定程度上改变了螺杆的端面形状。

应用 Solidworks 软件建立异向双头螺纹元件的理论模型和修正后的实体模型。所建螺杆长度为 60 mm。为了便于网格划分和数值模拟,在螺杆元件中间开有通孔。建立的螺纹元件几何模型如图 3 所示。

应用 Solidworks 软件建立长度为 60 mm 的流体区域几何模型,机筒内壁与螺杆间间隙为 0.5 mm。将建好的三维模型导入 Gambit 软件进行网格划分,对螺纹元件网格离散时使用非规则型四面体网格,对通道网格离散时使用六面体网格^[12]。

1.2 数学模型的建立

1.2.1 基本假设^[13]

- (1) 熔体为不可压缩流体。
- (2) 流场为等温稳定流场。
- (3) 由于流体雷诺数较小,故流动为层流流动。
- (4) 惯性力、重力等体积力忽略不计。
- (5) 熔体在流道内全充满。

1.2.2 控制方程及物性参数 在流体力学的三大基本方程中,由于流场为等温稳定流场,故无需对能量方程进行

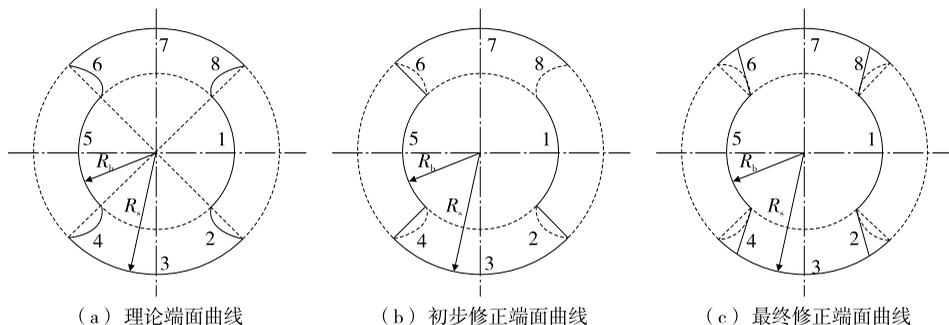


图 1 异向双螺杆端面曲线的修正^[11]

Figure 1 Correction of the end curve of counter-rotating twin-screws

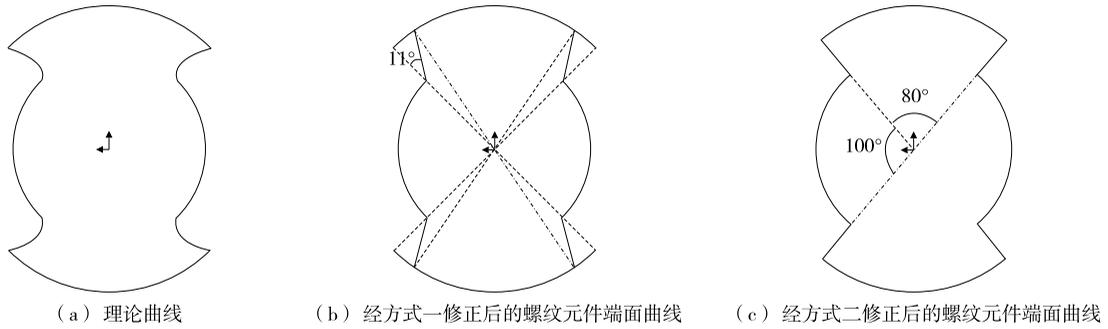


图2 螺纹元件端面曲线

Figure 2 Threaded element end face curve



图3 不同构型螺纹元件的几何模型

Figure 3 Geometry of threaded elements of different configurations

求解^[14]。此外流体控制方程还包括:

连续性方程:

$$\nabla \cdot u = 0, \tag{1}$$

动量方程:

$$-\nabla \cdot P + \nabla \cdot T = 0, \tag{2}$$

式中:

∇ ——哈密顿算子;

u ——流体速度, m/s;

P ——流体压力, Pa;

T ——应力张量, Pa。

由于聚乳酸熔体属于非牛顿流体,故选用 Bird-Carreau 本构方程进行数值模拟计算^[15]:

$$\eta(\dot{\gamma}) = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})(1 + \lambda^2 \dot{\gamma}^2)^{(n-1)/2}, \tag{3}$$

式中:

η_0 ——零剪切黏度, Pa·s;

η_{∞} ——无穷大剪切速率下黏度, Pa·s;

λ ——松弛时间, s;

n ——幂率指数;

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率, s^{-1} ;

η ——物料黏度, Pa·s。

聚乳酸熔体的物性参数为^[14]: $\eta_0 = 2\,504.235\text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\lambda = 0.060\,7\text{ s}$, $n = 0.253$, $\eta_{\infty} = 1\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。

2 模拟结果分析

2.1 剪切速率场

图4为转速为30 r/min时螺纹元件理论构型和修正后两种螺纹元件实体构型在流道内的剪切速率分布云图。由图4可知,在不同构型螺纹元件所处的流道内,剪切速率呈相似分布规律,即在螺棱处剪切速率较大,在螺槽处剪切速率较小。相比修正后螺纹元件所处的流道,螺纹元件理论构型所处流道内剪切速率梯度更大,其在流道内的最大剪切速率,均高于修正后螺纹元件所处

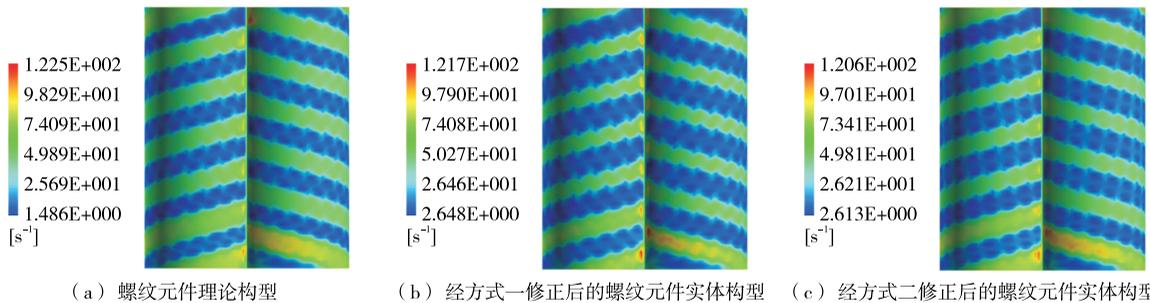


图4 转速为30 r/min时不同构型的螺纹元件在流道内的剪切速率

Figure 4 The shear rate of threaded elements of different configurations in the runner at a speed of 30 r/min

流道内剪切速率的最大值。这可能是由于经过不同方式对螺纹元件的结构参数调整后,螺纹元件理论构型与修正后实体构型存在不同的断面形状。

应用 Solidworks 软件对螺纹元件作轴向剖切,图 5 为螺纹元件理论构型和修正后螺纹元件实体构型的轴向剖切形状。由图 5 可知,两种对结构参数不同的调整方式造就了螺纹元件不同的断面形状,经方式一修正后的螺纹元件断面呈梯形,经方式二修正后的螺纹元件断面呈矩形,而螺纹元件理论构型的断面形状则更为复杂,螺槽的形状须由二次曲线描述。可以看出,修正后的螺纹元件其螺槽处有了更大的空间。在相同转速的螺纹元件作用下,理论构型狭小的间隙会使其流道内产生更大的剪切速率。

图 6 为转速为 60 r/min 时螺纹元件理论构型和修正后两种螺纹元件实体构型在流道内的剪切速率分布云图。从图 6 可以看出,对于不同构型的螺纹元件,当螺纹元件转速提高时,其在流道内的剪切速率普遍升高;与此

同时,其在流道内的分散混合能力也随之增强。

2.2 黏度场

图 7 为转速为 60 r/min 时螺纹元件理论构型和修正后螺纹元件实体构型所处流道内的熔体黏度分布云图。由图 7 可知,在不同构型螺纹元件所处的流道内,熔体黏度呈相似分布规律,即在螺纹元件螺棱处熔体黏度较低,而在螺纹元件螺槽处熔体黏度较高,在靠近出口位置的螺槽处熔体黏度出现最大值。这样的分布规律符合聚合物加工“剪切变稀”的特征^[16]。对比不同构型螺纹元件所处流道内的熔体黏度可以发现,经方式一修正后的螺纹元件所处流道内熔体黏度相比理论构型所处流道内熔体黏度明显变小,而经方式二修正后的螺纹元件所处流道内的熔体黏度则与理论构型所处流道内熔体黏度相差不大。在异向双螺杆挤出机工作运转时,流道内熔体黏度的减小更有利于熔体的流动和挤出,可见,经方式一修正后螺纹元件更易于挤出。

图 8 为转速为 60 r/min 时螺纹元件理论构型和修正

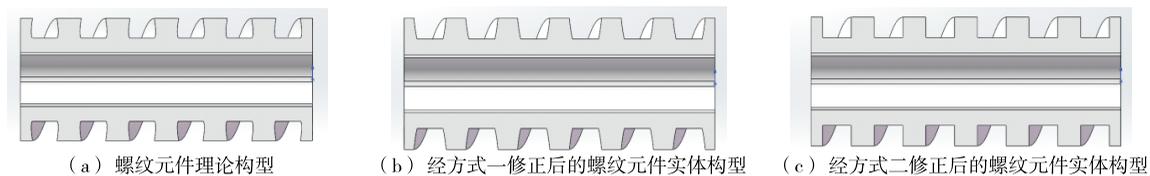


图 5 不同构型螺纹元件的轴向剖切图

Figure 5 Axial cutting diagram of threaded elements with different configurations

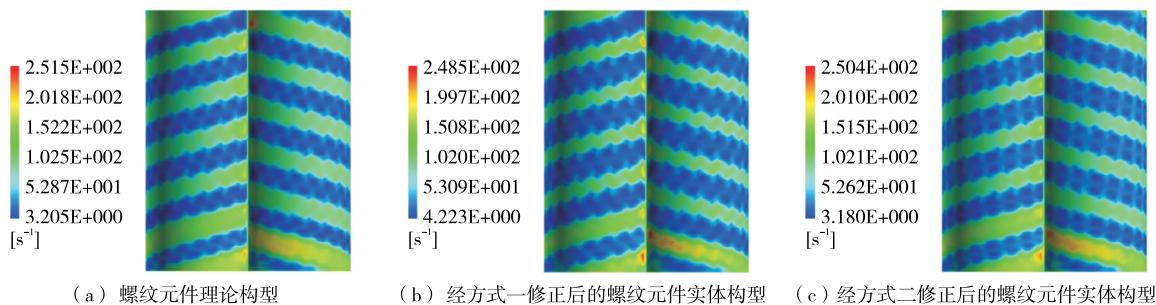


图 6 转速为 60 r/min 时不同构型的螺纹元件在流道内的剪切速率分布云图

Figure 6 Cloud map of the shear rate distribution of threaded elements of different configurations in the runner at a speed of 60 r/min

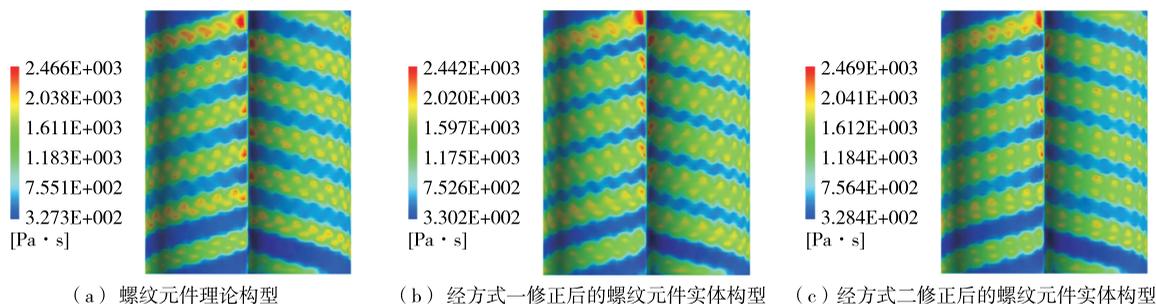


图 7 转速为 60 r/min 时不同构型的螺纹元件在流道内的黏度分布云图

Figure 7 Cloud map of the viscosity distribution of threaded elements of different configurations in the runner at a speed of 60 r/min

后螺纹元件实体构型在流道出口端面处的黏度分布云图。由图 8 可以得出与仿真得到的流道内熔体黏度分布规律相同的结论,即经方式一修正后的螺纹元件使流道内熔体黏度减小,而经方式二修正后,螺纹元件在流道内的熔体黏度与理论构型所处流道内的黏度相近。

2.3 速度场

选取距流道出口 30 mm 处的螺纹元件截面,图 9 为转速为 60 r/min 时螺纹元件理论构型和修正后螺纹元件

实体构型在该截面上的法向速度分布图。由图 9 可知,螺纹元件理论构型速度梯度更大,但大的法向速度主要集中于两螺杆啮合区,其他区域法向速度较小,修正后螺纹元件实体构型的速度梯度较小,分布更均匀。这是因为全啮合异向双螺杆理论构型的两啮合螺杆间没有留出侧间隙,而两种对结构参数的调整方式均加大了啮合时两螺杆螺棱侧面间的侧间隙,致使大的法向速度不仅集中于啮合区,而更均匀地分布于螺杆周围。

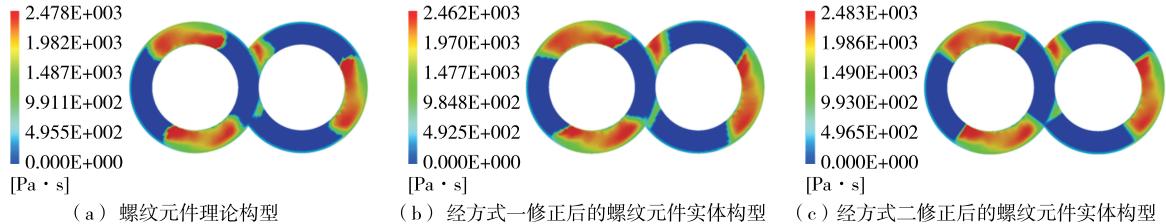


图 8 转速为 60 r/min 时不同构型的螺纹元件在流道出口端面上的黏度分布云图

Figure 8 Cloud map of the viscosity distribution of threaded elements of different configurations on the end face of the runner outlet at a speed of 60 r/min

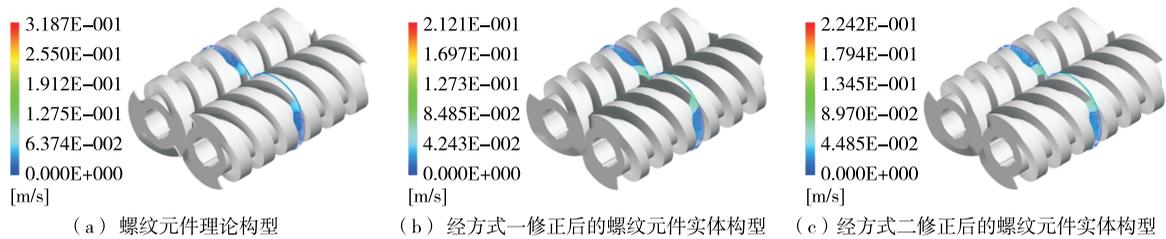


图 9 转速为 60 r/min 时不同构型的螺纹元件在距出口端面 30 mm 处的法向速度分布

Figure 9 The normal velocity distribution of threaded elements of different configurations at a speed of 60 r/min at 30 mm from the outlet end face

3 试验验证

3.1 试验器材

异向双螺杆挤出机:DT20/44 型,南京鼎天机械制造有限公司;

扫描电子显微镜:TESCAN VEGA II 型,捷克 TESCAN SRO 公司。

3.2 试验方案

将聚乳酸和纳米碳酸钙配比制备原料,在异向双螺杆挤出机中挤出物料,切取其中试样,在电子显微镜下观察其形貌。

3.3 扫描电子显微镜成像形貌分析

图 10 和图 11 为不同螺杆转速下挤出的试验样品在电子显微镜下的形貌图。由图 10 和图 11 可知,在较低转速下,3 个区域表面均较暗,聚乳酸和纳米碳酸钙并未得到充分的混合;而在较高转速下,区域表面较为光亮,纳米碳酸钙粒径减小,更均匀地与聚乳酸混合在一起,分散效果也得到了提升。试验验证了螺杆转速升高会提高其在流道内的分散混合能力。

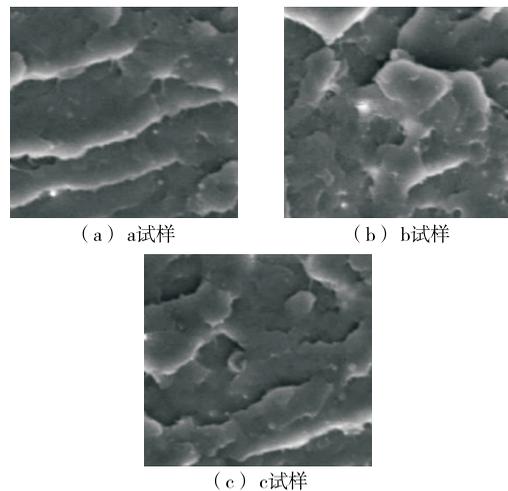


图 10 螺杆转速为 30 r/min 时挤出试样在扫描电子显微镜下的图像

Figure 10 Image of extruded specimen under a scanning electron microscope at screw speed of 30 r/min

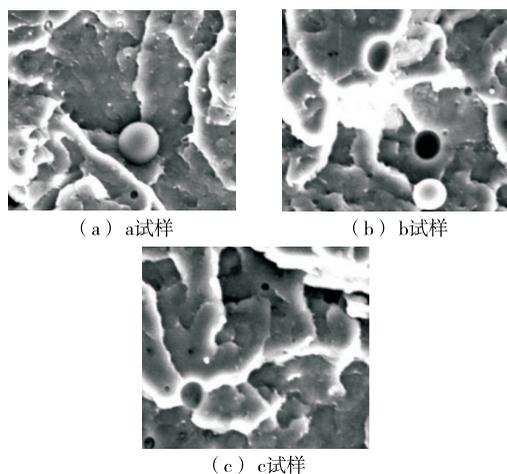


图 11 螺杆转速为 60 r/min 时挤出试样在扫描电子显微镜下的图像

Figure 11 Image of extruded specimen under a scanning electron microscope at screw speed of 60 r/min

4 结论

(1) 两种对结构参数的不同调整方式均造成了螺纹元件构型的改变, 加大了螺纹元件啮合时螺棱侧面间的侧间隙, 进而对聚乳酸流场造成了不同程度的影响。两种修正方式在不同程度上减小了流道内的剪切速率梯度, 修正方式一使流道内的黏度减小, 从而更有利于熔体挤出。螺纹元件转速的提升会提高其在流道内的剪切速率和分散混合能力。

(2) 研究结果展现了螺杆理论构型和实际生产中螺杆实体构型间的差异, 弥补了修正中螺杆构型的改变对流场影响方面的空白。

(3) 进行数值模拟时, 设定的是等温流场, 但在实际生产中流场温度会出现波动变化, 如果想要得出更加精准的结果, 需在非等温条件下对流场进行数值计算, 并对模型进行优化。

参考文献

- [1] 黄晶晶, 赵英虎, 高莉, 等. 天然物质改性聚乳酸研究进展[J]. 功能材料, 2021, 52(3): 3 075-3 080.
HUANG J J, ZHAO Y H, GAO L, et al. Research progress of poly(lactic acid) modified by natural substances [J]. Journal of Functional Materials, 2021, 52(3): 3 075-3 080.
- [2] 陈杰, 胡荣荣, 刘环宇, 等. 聚乳酸耐热改性研究进展[J]. 塑料科技, 2018, 46(5): 115-119.
CHEN J, HU R R, LIU H Y, et al. Research progress on heat resistance modification of poly(lactic acid) [J]. Plastic Technology, 2018, 46(5): 115-119.
- [3] 王赫, 王洪杰, 赵远航, 等. 生物质基聚乳酸材料改性研究进展[J]. 塑料工业, 2022, 50(4): 17-22.

- WANG H, WANG H J, ZHAO Y H, et al. Research progress on biomass-based poly(lactic acid) material modification [J]. Plastics Industry, 2022, 50(4): 17-22.
- [4] 邓春兰, 应必仕, 银锦国, 等. 聚乳酸改性和降解的研究进展[J]. 塑料科技, 2022, 50(3): 100-103.
DENG C L, YING B S, YIN J G, et al. Research progress on modification and degradation of poly(lactic acid) [J]. Plastic Technology, 2022, 50(3): 100-103.
- [5] 何敏. 啮合异向双螺杆挤出机熔体输送段混合元件性能的研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2007: 1-3.
HE M. Study on properties of mixing elements in melt conveying zone of intermeshing counter-rotating twin screw extruder [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2007: 1-3.
- [6] 李彦辉, 马秀清, 武学伟, 等. 啮合异向双螺杆挤出机中捏合块元件对 PE-HD/PS 不相容体系混合效果的研究[J]. 中国塑料, 2010, 24(9): 94-98.
LI Y H, MA X Q, WU X W, et al. Influence of kneading blocks on the mixing effect of PE-HD/PS immiscible blend in an intermeshing counter-rotating twin screw extruder [J]. China Plastics, 2010, 24(9): 94-98.
- [7] 李超凡, 白海清, 杨思瑞, 等. 聚乳酸 3D 打印螺杆设计及挤出仿真分析[J]. 工程塑料应用, 2022, 50(5): 94-100.
LI C F, BAI H Q, YANG S R, et al. Design and simulation analysis of 3D printing screw for poly(lactic acid) [J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(5): 94-100.
- [8] 张磊, 王英. 双螺杆反应器制备高分子量聚乳酸的研究[J]. 橡塑技术与装备, 2021, 47(2): 40-42.
ZHANG L, WANG Y. Preparation of high molecular weight poly(lactic acid) by twin screw reactor [J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment (Plastics), 2021, 47(2): 40-42.
- [9] 宋健全, 冯连勋. 啮合异向旋转双螺杆三维实体造型研究[J]. 中国塑料, 2003(3): 92-96.
SONG J Q, FENG L X. Research on 3D solid modeling for the intermeshing counter-rotating twin-screw [J]. China Plastics, 2003(3): 92-96.
- [10] 耿孝正. 双螺杆挤出机及其应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003.
GENG X Z. Twin screw extruder & its application [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2003.
- [11] 陈龙, 董力群, 张亚军, 等. 基于 SolidWorks API 的异向双螺杆的参数化设计[J]. 中国塑料, 2018, 32(1): 120-124.
CHEN L, DONG L Q, ZHANG Y J, et al. Parametrical design of counter-rotating twin-screws based on SolidWorks API [J]. China Plastics, 2018, 32(1): 120-124.
- [12] 毕超. Polyflow 软件基础及其在双螺杆挤出仿真过程中的应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018: 10-74.
BI C. Polyflow software fundamentals and its application to twin-screw extrusion simulation processes [M]. Beijing: China Machine Press, 2018: 10-74.

(下转第 88 页)

别槟榔果实。综上, Mob-YOLOV3-SPP 解决了 YOLOV3 在检测小个体槟榔的局限性, 具有较高的精确度。

4 结论

研究融合轻量级网络的优化思想, 提出了改进型特征融合框架 Mob-YOLOV3-SPP。为了获取更细粒度的特征映射, 研究重新设定了锚的尺寸, 引入多尺度特征融合结构解决槟榔个体小不易提取特征的问题; 同时, 考虑了长宽比与中心距离等因素, 优化了预测框的损失函数, 加速了预测框的收敛速度。对槟榔果实进行不同密集度的测试对比, 得出 Mob-YOLOV3-SPP 的检测精度为 94.8%, 检测时间为 6.679 ms。验证了 Mob-darknet-52 主干提取网络的优越性, 检测速度得到较大的提升。随着 YOLOV5 等先进算法相继提出, 深度学习对于槟榔的识别在精确度上仍有提升空间, 但提升准确率的同时平衡实时性是研究的难点。

参考文献

- [1] 孟继勇. 食用槟榔自动切籽机控制系统设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014: 5-18.
MENG J Y. Design of control systems of betel nuts automatic cutting machine[D]. Xi'an: Xidian University, 2014: 5-18.
- [2] 许月明, 蔡健荣, 龚莹辉. 基于计算机视觉的槟榔分级研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 91-94, 102.
XU Y M, CAI J R, GONG Y H. Study on grading of betel nuts by computer vision[J]. Food & Machinery, 2016, 32(8): 91-94, 102.
- [3] 黄良沛, 舒勇, 王宪. 自动点卤槟榔图像识别方法研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(12): 95-98.
HUANG L P, SHU Y, WANG X. Research on recognition method for automatic orientating betel nut[J]. Food & Machinery, 2020, 36(12): 95-98.
- [4] 朱泽敏, 张东波, 张莹, 等. 基于语义分割的槟榔内核轮廓检测[J]. 计算技术与自动化, 2019, 38(4): 105-112.
ZHU Z M, ZHANG D P, ZHANG Y, et al. Betel nut stones contour detection based on semantic segmentation [J]. Computing Technology and Automation, 2019, 38(4): 105-112.
- [5] 傅隆生, 冯亚利, 刘智豪, 等. 基于卷积神经网络的田间多簇猕

猴桃图像识别方法[J]. 农业工程学报, 2018, 34(2): 205-211.

- FU L S, FENG Y L, LIU Z H, et al. Image recognition method of multi-cluster kiwifruit in field based on convolutional neural networks[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(2): 205-211.
- [6] 周云成, 许童羽, 邓寒冰, 等. 基于双卷积链 Fast R-CNN 的番茄关键器官识别方法[J]. 沈阳农业大学学报, 2018, 49(1): 65-74.
ZHOU Y C, XU T Y, DENG H B, et al. Recognition method of tomato key organs based on dual convolution Fast R-CNN [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2018, 49(1): 65-74.
- [7] 梁喜凤, 章艳. 串番茄采摘点的识别方法[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(11): 131-134, 149.
LIANG X F, ZHANG Y. Recognition method of picking point for tomato cluster[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(11): 131-134, 149.
- [8] GIRSHICK R. Fast R-CNN[C]// IEEE International Conference on Computer Vision. Santiago: IEEE Press, 2015: 1 440-1 448.
- [9] REN S, HE S, GIRSHICK R. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2017, 39(6): 1 137-1 149.
- [10] REDMON J, FARHADI A. Yolo9000: Better, faster, stronger[C]// Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Honolulu: IEEE Press, 2017: 7 263-7 271.
- [11] DAI Y, LU M, CHEN Z G. A quick and accurate method to identify betel nut based on mobilenetv3 [C]// The International Conference on Image, Vision and Intelligent Systems. Singapore: Springer Press, 2022: 745-756.
- [12] HOWARD A, SANDLER M, CHU G, et al. Searching for Mobilenetv3[C]// The IEEE International Conference on Computer Vision. South Korea: IEEE Press, 2019: 1 314-1 324.
- [13] ZHANG L L, LIN L, LIANG X D, et al. Is Faster R-CNN doing well for pedestrian detection? [C]// ECCV. Amsterdam: Springer Press, 2016: 443-457.
- [14] ZHENG Z, WANG P, REN D, et al. Enhancing geometric factors in model learning and inference for object detection and instance segmentation[J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2021, 52(8): 8 574-8 586.

(上接第 76 页)

- [13] 王少峰, 张媛, 刘美莲, 等. 不同温度状态下啮合异向双螺杆挤出机的流道分布规律[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 71-74.
WANG S F, ZHANG Y, LIU M L, et al. Flow pattern distribution of meshing counter rotating twin screw extruders at different temperatures[J]. Food & Machinery, 2018, 34(10): 71-74.
- [14] 黄志刚, 蒋卫鑫, 李鑫, 等. 啮合异向双螺杆挤出机仿真研究[J]. 包装学报, 2019, 11(3): 9-15.
HUANG Z G, JIANG W X, LI X, et al. Simulation study of meshing counter-rotating twin-screw extruder [J]. Packaging

Journal, 2019, 11(3): 9-15.

- [15] 刘湘河, 彭涛, 马永寿. 异向双螺杆 S 型元件混炼效果的数值研究[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(4): 51-55.
LIU X H, PENG T, MA Y T. Numerical study on the mixing performance of different S screw elements of counter-rotating twin screw extruder[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(4): 51-55.
- [16] 杨明山, 赵明. 塑料成型加工工艺与设备[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2010: 14-16.
YANG M S, ZHAO M. Plastics processing technology and equipments[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2010: 14-16.