

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2026.04.017

双螺杆阻尼盘元件与反螺纹元件的阻流特性对比

吴继桥¹, 杜嘉¹, 张宗汉¹, 何亚东^{1,2}, 信春玲^{1,2}

(1.北京化工大学机电工程学院,北京 100029; 2.教育部高分子材料加工装备工程研究中心,北京 100029)

摘要:针对啮合同向双螺杆挤出机中阻尼盘与反螺纹两类阻流元件的阻流特性不清、适用场景不明等问题,基于ZSK36双螺杆挤出机的参数,建立“正向螺纹元件+啮合块+阻流元件”的流道模型,采用Ansys Fluent软件开展了数值模拟。系统探究了阻尼盘间隙(0.5~1.5 mm)、反螺纹导程(22~44 mm)以及工艺参数产量(10~30 kg/h)和转速(200~400 r/min)对压力场和温度场的耦合影响规律。通过实验设计建立了压力降回归预测模型,明确了两类元件结构参数的等效关系,实现了其在特定工况下的性能对标。结果表明,对于阻尼盘元件,压降随转速升高而下降,最大温升随转速升高而升高;间隙0.5 mm,产量30 kg/h下,压降降低0.82 MPa,温升增加6.69 K;压降随产量增大而增大,最大温升随产量增大而降低;间隙0.5 mm,转速200 r/min下,压降增加2.03 MPa,温升降低5.30 K。对于反螺纹元件,压降、最大温升均随转速升高而升高;导程22 mm,产量30 kg/h下,压降增加0.33 MPa,温升增加6.19 K;压降随产量增大而增大,最大温升随产量增大而降低;转速200 r/min下,压降增加0.46 MPa,温升降低3 K。以上结果说明阻尼盘对工况变化响应灵敏,适用于高负荷、变产量、需精准调压的工况;反螺纹温度场分布均匀且压降响应平缓,更适配中低负荷、稳产量、需均匀温控的工况。

关键词:双螺杆挤出;阻尼盘;反螺纹元件;数值模拟;流场特性

中图分类号:TQ320.66 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2026)04-0152-07

Comparison of flow restriction characteristics between damping disk element and anti-thread element of twin-screw extruder

WU Jiqiao¹, DU Jia¹, ZHANG Zonghan¹, HE Yadong^{1,2}, XIN Chunling^{1,2}

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China;

2. Polymer Processing Equipment Engineering Research Center, Ministry of Education, Beijing 100029, China)

Abstract: Aiming at the unclear flow restriction characteristics and undefined application scenarios of damping disk element and anti-thread element in intermeshing co-rotating twin-screw extruder, a flow channel model of with forward thread element, kneading block and flow restriction element was established based on ZSK36 twin-screw extruder parameters, numerical simulations were conducted via Ansys Fluent. The coupling effects of damping disk gap with range of 0.5–1.5 mm, anti-thread lead with range of 22–44 mm, output with range of 10–30 kg/h and rotating speed with range of 200–400 r/min on pressure and temperature fields were systematically investigated. A pressure drop regression prediction model was built through design of experiments, clarifying the equivalent relationship between the structural parameters of the two types of elements, and realizing their performance benchmarking under specific working conditions. The results show that for damping disk, pressure drop decreases while maximum temperature rise increases with rising rotating speed, the pressure drop decreases by 0.82 MPa and temperature rise increases by 6.69 K at 0.5 mm gap and 30 kg/h output. Pressure drop increases while maximum temperature rise decreases with higher output, the pressure drop increases by 2.03 MPa and temperature rise decreases by 5.30 K at 0.5 mm gap and 200 r/min rotating speed. For anti-thread element, both pressure drop and maximum temperature rise increase with rising rotating speed, the pressure drop increases by 0.33 MPa and temperature rise increases by 6.19 K at 22 mm lead and a production output of 30 kg/h. Pressure drop increases while the maximum temperature rise decreases with higher output, the pressure drop increases by 0.46 MPa and temperature rise decreases by

通信作者:何亚东,博士,教授,硕士生/博士生导师,研究方向为高分子材料加工原理及装备

收稿日期:2026-02-07

引用格式:吴继桥,杜嘉,张宗汉,等.双螺杆阻尼盘元件与反螺纹元件的阻流特性对比[J].工程塑料应用,2026,54(4):152–158.

WU Jiqiao, DU Jia, ZHANG Zonghan, et al. Comparison of flow restriction characteristics between damping disk element and anti-thread element of twin-screw extruder[J]. Engineering Plastics Application, 2026, 54(4): 152–158.

3 K at a rotational speed of 200 r/min. These results prove that damping disk are highly responsive to working condition changes and suitable for high-load, variable-output conditions requiring precise pressure regulation, while anti-thread element has uniform temperature field distribution and gentle pressure drop response, being more adapted to medium-low load, stable-output conditions demanding uniform temperature control.

Keywords: twin-screw extrusion; damping disk; anti-thread; numerical simulation; flow field characteristics

随着高分子材料在航空航天、生物医药及绿色能源等高端领域的应用拓展,单一聚合物因其性能局限性难以满足复杂工况下的使用需求,通过多组分共混改性技术提升材料综合性能已成为行业重要技术路径^[1]。同向双螺杆挤出机凭借其优异的混合能力、稳定的输送性能及灵活的工艺调控特性,已成为聚合物共混改性及连续化加工的核心装备^[2]。因此,系统研究双螺杆元件的作用机制与构型优化,对于提升挤出装备的工艺适应性与设计合理性具有重要意义^[3-4]。

阻流元件是双螺杆挤出机主要组成元件之一,起调控流道阻力、延长物料停留时间等作用,影响物料的混合均匀性及挤出性能。根据阻流机制的不同,螺杆挤出机常用的阻流元件可分为两类:一类是通过改变流道截面形状形成狭缝节流效应,增加流动阻力,例如节流环;另一类是通过增加反向输送能力,抵抗流体流动,例如反螺纹元件。

阻尼盘是一种节流型元件,通过在传统节流元件基础上采用阶梯轴结构实现对熔体流动的局部阻滞。对于阻尼盘类节流元件的研究,国内外学者已经做了较多研究。Matsumoto等^[5-6]针对挤出过程中填料的分散问题,先后提出了阻流盘(BD)和固定式阻流盘(XBD)两种元件。BD元件通过在圆盘上开设多孔结构引入拉伸流动,而XBD元件则采用侧屏蔽球轴承将元件固定于机筒,消除了传统BD元件因盘片间隙导致的熔体泄漏,进一步增强了拉伸与剪切作用。方子斌^[7]亦采用该结构用于脱挥双螺杆过程强化的研究。此外,刘有山^[8]在单螺杆挤出机中引入开槽式分流环作为排气段阻流元件,以增强混合均匀性。综上所述,现有研究多聚焦于该类元件对混合效果的提升作用,缺乏对其作为阻流元件在压力、温度等调控特性的系统性研究。

对于反螺纹元件,现有研究同样侧重其对混合性能的影响。例如,陈峰峰等^[9]通过Polyflow模拟发现,反螺纹元件能有效增强纳米粒子在聚合物基体中的分散性;韩海川等^[10]对比了啮合块与反螺纹元件的流场特性,指出含反螺纹元件的组合螺杆具

有更优的混合效果;齐宏博等^[11]采用Ansys Fluent对反向螺纹与变螺距结构进行协同优化,显著提升了螺杆的建压能力。上述研究主要关注反螺纹元件的混合强化机制,对其作为阻流元件的压力建立与温度分布规律尚缺乏系统探讨。另外,虽然有研究涉及反螺纹的流动特性研究,但也停留在单一阻流元件分析,并未涉及多种阻流元件的阻流机制和特性对比分析。

近年来,随着计算流体动力学(CFD)技术的发展,Ansys Fluent、Polyflow等软件已成为国内外学者研究双螺杆挤出机内部复杂流场的重要手段^[12-15]。本文在上述研究基础上,采用Ansys Fluent进行数值模拟,系统探究两类元件的阻流特性与适用场景,并通过DOE分析构建的回归模型建立两类元件的等效替换关系,为双螺杆挤出机阻流元件的选型、设计与结构优化提供理论依据。

1 理论模型

1.1 物理模型

本研究基于ZSK36双螺杆挤出机参数构建物理模型,螺杆外径36 mm,中心距30 mm,根径23.2 mm,机筒内径36.4 mm。本次研究中的螺杆组合形式为:正向螺纹元件+啮合块元件+阻流元件。输送元件导程22 mm;啮合块角度45°,长度32 mm;阻流元件分为两类:阻尼盘(间隙 $H=0.5, 1, 1.5$ mm)、反螺纹元件(导程 $T=22, 33, 44$ mm),保持长度22 mm不变。图1为两类阻流元件的螺杆组合图。

1.2 数学模型

聚合物熔体在螺杆中全充满,流动过程中无相变;聚合物熔体为不可压缩流体,流体流场稳定;流体流动雷诺数较小,流动形式为层流;流体所受惯性力和重力忽略;流体在机筒壁面和螺杆壁面流动时,无滑移;流体为幂律流体,考虑温度变化。

选用的物料为线性低密度聚乙烯(PE-LD),牌号为4203,其本构方程为幂律模型,使用Arrhenius公式描述黏度 η 随温度的变化规律^[16],见式(1)。

$$\eta = \eta_0 \dot{\gamma}^{(n-1)} e^{\frac{a}{T} - \frac{1}{T_0}} \quad (1)$$

式中: η_0 为零切黏度,单位Pa·s; $\dot{\gamma}$ 为剪切速率,

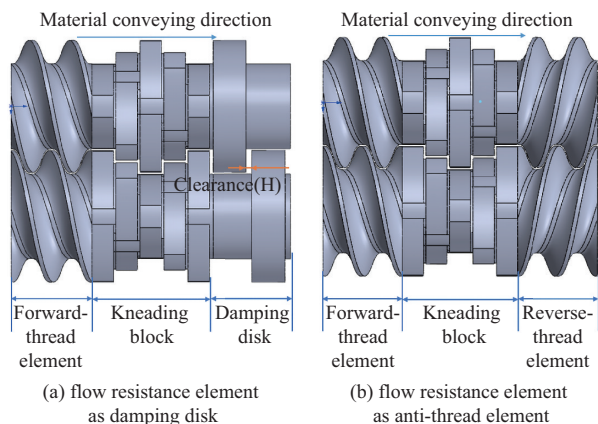


图1 螺杆组合

Fig. 1 Screw configurations

单位 s^{-1} ; n 为流动指数; a 为活化能, 单位 K; T 、 T_0 为温度熔体和基准温度, 单位 K。当 $T_0=200\text{ }^{\circ}\text{C}$, 模型参数为 $\eta_0=15\,688.98\text{ Pa}\cdot\text{s}$, $n=0.31$, $a=2\,391.12\text{ K}$ 。

2 数值模拟

2.1 数值模拟

将三维几何模型导入 Ansys Workbench 的流体流动模块, 对出入口及壁面进行命名定义后, 导入 Meshing 进行网格划分。仅对流体域进行网格划分, 采用四面体网格, 网格尺寸设为 0.9 mm 。图2为不同螺杆组合的流体域网格划分图。

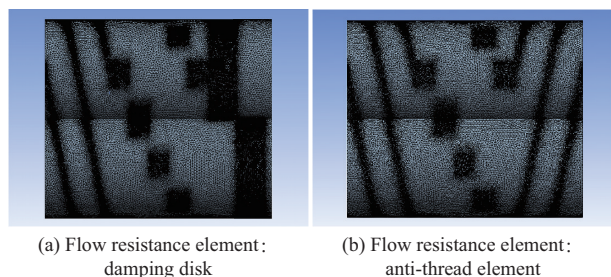


图2 流体域网格划分图

Fig. 2 Mesh generation of fluid domain

2.2 边界条件设定

本次采用非等温非牛顿流体的稳态模拟, 设置的边界条件为: (1) 质量流量入口, 产量设置范围为 $10\sim 30\text{ kg/h}$, 进料温度为 473 K ; (2) 压力出口, 设置出口表压为 0 , 回流温度 483 K ; (3) 螺杆壁面无滑移, 绝热, 螺杆转速范围为 $200\sim 400\text{ r/min}$; (4) 机筒壁面无滑移, 温度为 483 K 。

3 结果与讨论

3.1 压力场特性

压力场分布直接反映阻流元件的阻流效果, 其变化规律受结构参数与工艺参数的显著影响。为便于分析参数对压力场的影响, 定义阻流元件入口

与出口的压力差为压降。图3为阻尼盘和反螺纹的压力分布云图。

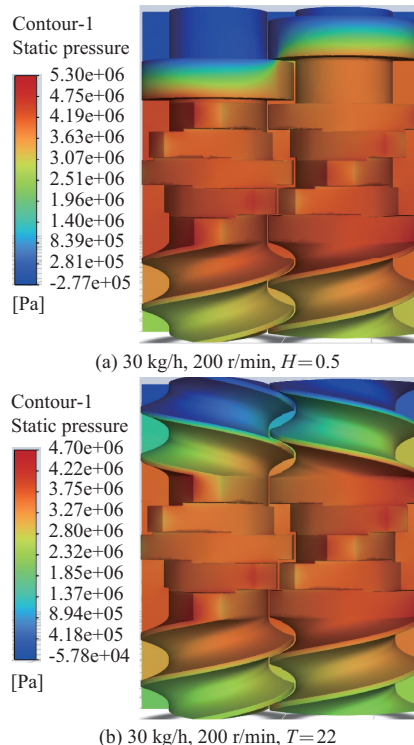


图3 阻尼盘和反螺纹压力分布云图

Fig. 3 Contour diagrams of pressure distribution for damping disk and anti-thread element

图3表明, 两类阻流元件的最高压力区均位于其入口段, 并在流经元件后压力显著下降, 形成明显的压力梯度。阻尼盘在间隙入口前形成陡峭的压力峰值, 呈现出典型的局部节流特征; 反螺纹则在反向螺纹的起始段因物料堆积而产生更平缓的压力升高, 展现出整体阻滞的建立压力模式。这直观揭示了两类截然不同的阻流机制。

图4为不同工艺和结构参数下, 转速、产量分别对阻尼盘和反螺纹压降的影响关系图。

图4a表明, 不同间隙下, 阻尼盘压降均随转速升高而减小, 且间隙越小, 降幅越显著。例如, 固定 $Q=30\text{ kg/h}$, 当 $H=0.5\text{ mm}$ 时, 转速从 200 r/min 升高至 400 r/min , 压降从 4.09 MPa 降至 3.27 MPa , 降低了 0.82 MPa ; 当 $H=1.5\text{ mm}$ 时, 转速从 200 r/min 升高至 400 r/min , 压降从 1.76 MPa 降至 1.24 MPa , 降低了 0.52 MPa 。这是由于其流动驱动机制为“压力驱动”, 物料的流动主要依靠上下游的压力差。转速增大导致剪切速率提升, 熔体因剪切变稀使黏度显著下降, 流动阻力减小。同时, 间隙越小, 物料的剪切速率越高, 剪切变稀效应越明显, 因此压降的降幅更大。

不同导程下,反螺纹压降均随转速升高递增,且导程越小,增幅越大。例如,固定 $Q=30\text{ kg/h}$,当 $T=22\text{ mm}$ 时,转速从 200 r/min 升高至 400 r/min ,压降从 3.59 MPa 升至 3.92 MPa ,增加了 0.33 MPa ;当 $T=44\text{ mm}$ 时,转速从 200 r/min 升高至 400 r/min ,压降从 1.24 MPa 升至 1.37 MPa ,增加了 0.13 MPa 。反螺纹逆向输送阻滞效应随转速增强的作用超过了剪切变稀带来的黏度降低效应,使得压降呈上升趋势。同时,导程越小,逆向输送阻滞作用越强,因此压降的增幅更大。

由图4b可知,产量增加使两类元件压降均呈上升趋势,但敏感度差异显著。间隙越小,阻尼盘压降对产量越敏感。例如,固定 $N=200\text{ r/min}$,当 $H=0.5\text{ mm}$ 时,产量从 10 kg/h 升高至 30 kg/h ,压降从 2.06 MPa 升至 4.09 MPa ,增加了 2.03 MPa ;当 $H=1.5\text{ mm}$ 时,产量从 10 kg/h 升高至 30 kg/h ,压降从 0.75 MPa 升至 1.76 MPa ,增加了 1.01 MPa 。小间隙狭缝通道对流速变化敏感,产量增加使物料的流速显著提升,使阻力累积效应被放大,因此压降对产量的

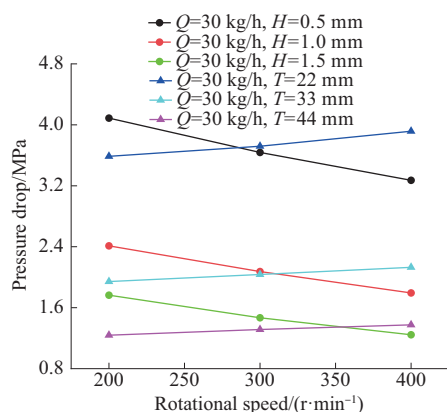
敏感度更高。

反螺纹导程越大,压降对产量的敏感度越低。例如,固定 $N=200\text{ r/min}$,当 $T=22\text{ mm}$ 时,产量从 10 kg/h 升高至 30 kg/h ,压降从 3.13 MPa 升至 3.59 MPa ,增加了 0.46 MPa ;当 $T=44\text{ mm}$ 时,产量从 10 kg/h 升高至 30 kg/h ,压降从 1.13 MPa 升至 1.24 MPa ,增加了 0.11 MPa 。大导程减小流速波动,削弱产量对压降的影响,使压降对产量的敏感度更低。

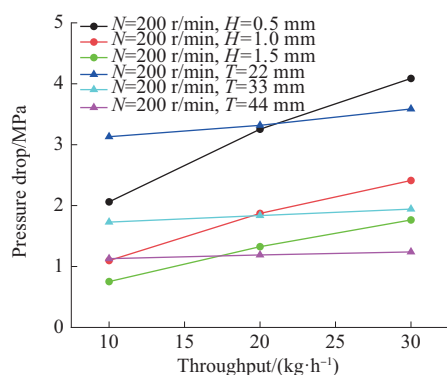
综上所述,阻尼盘的核心优势是压力调节灵敏度高,可适配高转速、变产量的柔性生产场景,尤其适合需要精准控压的高负荷挤出工况;反螺纹元件的核心特点是压力调节平缓稳定,更适用于中低转速、产量稳定的连续化生产,特别契合对压力稳定性要求高的精密挤出或热敏性物料加工需求。两类元件的压力调控特性与场景适配性,为双螺杆挤出机阻流元件的选型与参数优化提供了明确方向。

3.2 温度场特性

温度场由黏性升热与热传导共同主导,两类阻流元件的温度分布特征存在明显差异。为便于分析参数对温度场的影响,定义组合段熔体局部最大温度与进料温度的差值为最大温升。图5为阻尼盘和反螺纹的温度分布云图。



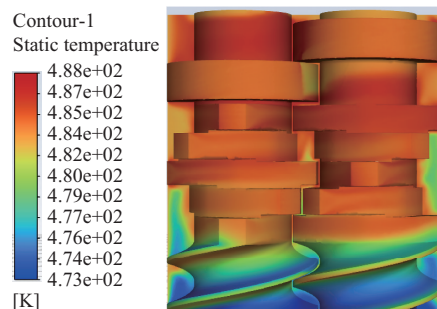
(a) Effect of rotational speed on pressure drop



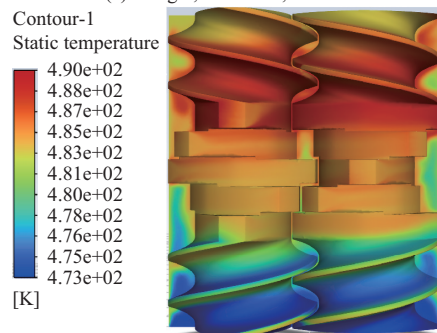
(b) Effect of output on pressure drop

图4 不同工艺和结构参数下转速和产量对压降的影响

Fig. 4 Effect of rotational speed and output on pressure drop under different process and structural parameters



(a) 30 kg/h, 200 r/min, $H=0.5$



(b) 30 kg/h, 200 r/min, $T=22$

图5 阻尼盘和反螺纹温度分布云图

Fig. 5 Contour diagrams of temperature distribution for damping disk and anti-thread element

图5表明,两类元件的温度场分布模式差别很大。阻尼盘的最高温升区高度集中于狭窄的环形间隙内,表明其剪切与生热极其集中;反螺纹的温升区则相对均匀地分布于整个元件的螺纹顶隙与啮合区,表明其剪切场分布更为均匀。图6为不同工艺和结构参数下,转速、产量分别对阻尼盘和反螺纹最大温升的影响关系。

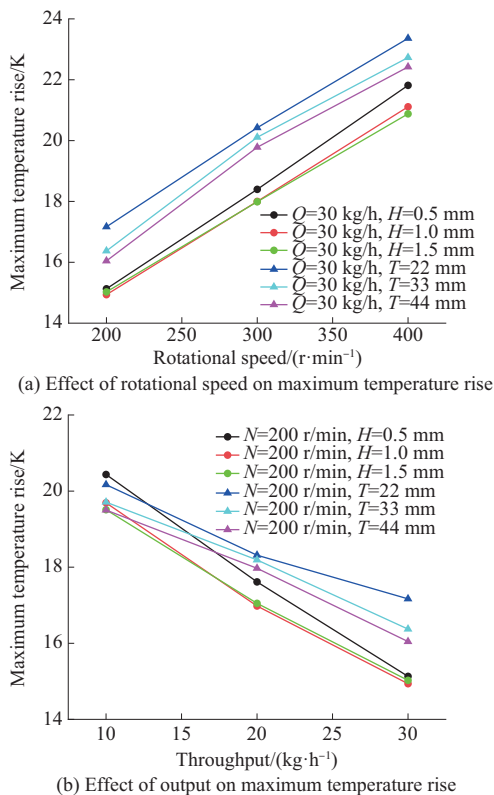


图6 不同工艺和结构参数下转速和产量对最大温升的影响

Fig. 6 Effect of rotational speed and output on maximum temperature rise under different process and structural parameters

图6a表明,不同间隙下,阻尼盘流体最大温升均随转速升高而显著增大,且间隙越小,温升增幅越显著。例如,固定 $Q=30$ kg/h,当 $H=0.5$ mm时,转速从200 r/min升高至400 r/min,最大温升从15.13 K升至21.82 K,增加了6.69 K;当 $H=1.5$ mm时,转速从200 r/min升高至400 r/min,最大温升从15.03 K升至20.88 K,增加了5.85 K。转速升高使剪切速率增大,黏性生热增强,小间隙下剪切集中效应更突出,热量不易扩散,温升更明显。

不同导程下,反螺纹流体最大温升均随转速升高而显著增大,但导程变化,温升的增幅变化不大。例如,固定 $Q=30$ kg/h,当 $T=22$ mm时,转速从200 r/min升高至400 r/min,最大温升从17.17 K升至23.36 K,

增加了6.19 K;当 $T=44$ mm时,转速从200 r/min升高至400 r/min,最大温升从16.04 K升至22.42 K,增加了6.38 K。这是由于导程变化,剪切分布均匀且剪切速率变化不大,且反螺纹元件无局部高温聚集,温升分布均匀,因此温升增幅变化不大。

由图6b可知,产量增大导致两类元件温升均呈下降趋势。间隙越小,阻尼盘流体温升对产量越敏感。例如,固定 $N=200$ r/min,当 $H=0.5$ mm时,产量从10 kg/h升高至30 kg/h,最大温升从20.43 K降至15.13 K,降低了5.30 K;当 $H=1.5$ mm时,产量从10 kg/h升高至30 kg/h,最大温升从19.51 K降至15.03 K,降低了4.48 K。产量增大使熔体停留时间缩短,小间隙下黏性生热集中,停留时间变化对热量累积的影响更显著,因此温升对产量的敏感度更高。

导程变化,温升的增幅变化不大。例如,固定 $N=200$ r/min,当 $T=22$ mm时,产量从10 kg/h升高至30 kg/h,最大温升从20.17 K降至17.17 K,降低了3 K;当 $T=44$ mm时,产量从10 kg/h升高至30 kg/h,最大温升从19.50 K降至16.04 K,降低了3.46 K。这是因为反螺纹流道平缓,温升分布均匀,即使产量变化导致停留时间改变,黏性生热总量的波动也较小,因此温升的增幅变化不大。

综上所述,阻尼盘的核心优势是控温灵活性,对转速、产量响应敏感,通过间隙调整可适配变工况加工需求;反螺纹元件的核心特点是温度场均匀稳定,无局部高温风险,导程与工艺参数的匹配能有效保障温控精度,更适合热敏性物料及稳工况生产。两类元件的温度调控机理与场景适配性,为不同热稳定性物料的挤出工艺提供了明确的元件选型与参数优化方向。

3.3 回归模型与DOE分析

为实现挤出过程中背压的精准调控,量化结构参数与工艺参数对压力降的耦合影响,通过实验设计(DOE),以结构参数(阻尼盘间隙 H /反螺纹导程 T)、工艺参数(产量 Q /转速 N)为影响因子,压力降为响应因子,建立回归模型。表1为阻尼盘元件DOE实验设计与响应值数据。

阻尼盘元件的回归模型拟合精度 $R^2=0.9964$,调整后 $R^2=0.9900$,预测 $R^2=0.9427$,充分精度41.86,表明模型具有极高的拟合度与预测可靠性,能准确反映各参数对压力降的耦合影响。剔除不显著的因素项与交互项,阻尼盘压力降回归方程见式(2)。

表1 阻尼盘元件DOE实验设计与响应值

Tab. 1 DOE experimental design and response values of damping disk element

Samples	H/mm	$Q/(\text{kg}\cdot\text{h}^{-1})$	$N(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	P/MPa
1	0.5	10	300	1.674 5
2	0.5	20	200	3.253 9
3	0.5	30	300	3.637 4
4	0.5	20	400	2.466 2
5	1	10	400	0.691 1
6	1	30	200	2.411 6
7	1	10	200	1.097 6
8	1	20	300	1.521 9
9	1	20	300	1.521 9
10	1	30	400	1.793 3
11	1	20	300	1.521 9
12	1.5	20	400	0.869 1
13	1.5	10	300	0.560 4
14	1.5	30	300	1.468
15	1.5	20	200	1.326 4

Notes: H is damping disk gap; Q is throughput; N is rotational speed; and P is pressure drop.

$$P_1 = 3.67019 - 4.31703H + 0.168199Q - 0.007040N - 0.052765HQ + 1.58735H^2 \quad (2)$$

类似阻尼盘,改变结构参数为反螺纹导程(22、33、44 mm),设计15组反螺纹DOE实验,构建回归模型,拟合精度 $R^2=0.999\ 6$,调整后 $R^2=0.998\ 8$,预测 $R^2=0.993\ 0$,充分精度98.48,拟合效果与预测精度略高于阻尼盘模型。剔除不显著的因素项与交互项,反螺纹压力降回归方程见式(3)。

$$P_2 = 7.63516 - 0.31595T + 0.037644Q + 0.003674N - 0.000631TQ - 0.000070TN + 0.003729T^2 \quad (3)$$

图7为产量30 kg/h,转速300 r/min下,阻尼盘间隙和反螺纹导程的等效关系图。

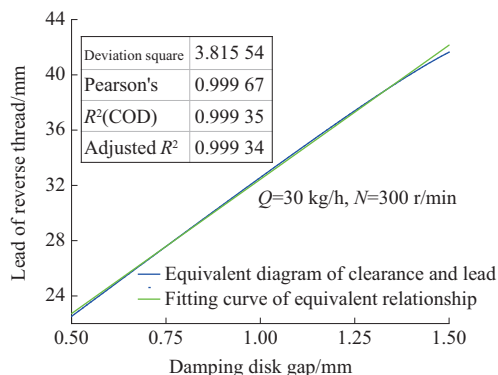


图7 相同工艺参数和压降下,阻尼盘间隙和反螺纹元件导程关系的拟合曲线

Fig. 7 Fitting curves of relationship between damping disk gap and anti-thread element lead under the same process parameters and pressure drop

从图7可知,产量30 kg/h,转速300 r/min下,两类元件关系近似呈线性,拟合方程见式(4)。可根据生产工况需求灵活选择阻流元件类型并优化结构参数,实现挤出工艺的无缝衔接。根据模拟流场的规律,可以建立不同工况下的等效关系,从而对双螺杆阻流元件根据不同工艺参数进行结构优化设计。

拟合方程为:

$$T = 13.01246 + 19.42544H \quad (4)$$

式中: T 为反螺纹元件导程,单位mm。

4 结论

(1)建立“正向螺纹元件+啮合块+阻流元件”的流道模型,采用Ansys Fluent开展数值模拟,讨论了不同工况、不同结构参数下,阻尼盘与反螺纹元件的流场特性和变化规律。

(2)在压力调控方面,阻尼盘表现出对转速、产量及间隙变化的高灵敏度,而反螺纹则呈现平稳的压降响应特性:0.5 mm间隙下,阻尼盘压降随转速的升高降低了0.82 MPa,随产量升高增加2.03 MPa;22 mm导程下,反螺纹压降随转速升高增加0.33 MPa,随产量升高增加0.46 MPa。且小间隙、小导程结构对工艺参数响应更敏感。

(3)在温度分布方面,两类元件温度场稳定性均良好,但阻尼盘控温灵活度更高,反螺纹温升分布更均匀:0.5 mm间隙下,阻尼盘温升随转速升高增加6.69 K,随产量升高降低5.30 K;22 mm导程下,反螺纹温升随转速升高增加6.19 K,随产量升高降低3.00 K。

(4)基于流场特性对比,明确了两类元件的适配场景:阻尼盘适配高产量、中低转速所形成的高背压(高负荷)工况的双螺杆挤出,而反螺纹元件适配中低产量、高转速的双螺杆挤出。

(5)通过DOE实验设计建立压力降回归模型,实现不同结构与工艺参数下压力降的精准预测。建立不同工况下两类元件结构参数的等效关系,为阻流元件的结构优化与工艺参数匹配提供了量化依据和设计指导。

(6)本研究基于数值模拟揭示了阻尼盘与反螺纹元件的流场特性及适用边界,后续可通过实验对模拟结果进行验证。此外,当前建立的等效关系基于特定工况下的回归模型,其普适性有待进一步拓展。后续研究可引入量纲分析法构建无量纲准则数,结合回归分析等方法,建立更普适性模型,为双

螺杆挤出机阻流元件的通用化设计与工艺调控提供更全面的理论支撑。

参考文献

- [1] 张晓志,张京,袁熙. 国外双螺杆挤出技术在含能材料领域的研究进展[J]. 含能材料, 2025, 33(9):1 067–1 083.
ZHANG Xiaozhi, ZHANG Jing, YUAN Xi. Research progress on twin-screw extrusion technology for energetic materials abroad[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2025, 33(9):1 067–1 083.
- [2] 唐志昊. 连续化双螺杆制粒机混合性能研究[D]. 南昌:南昌大学, 2025.
TANG Zhihao. Research on the mixing performance of continuous twin-screw granulators[D]. Nanchang:Nanchang University, 2025.
- [3] 夏雪,王召君,宁萌,等. 基于螺杆元件正交分析的双螺杆构型设计[J/OL]. 中国油脂, 1-12[2026-03-18].<https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.250469>.
XIA Xue, WANG Zhaojun, NING Meng, et al. Twin-screw configuration design based on orthogonal analysis of screw elements[J/OL]. China Oils and Fats, 1-12[2026-03-18]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.250469>.
- [4] 聂明鑫,郭树国,姚俊,等. 新型啮合块同向双螺杆挤出机数值模拟[J/OL]. 中国油脂, 1-8[2026-03-18].<https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.250371>.
NIE Mingxin, GUO Shuguo, YAO Jun, et al. Numerical simulation of co-rotating twin-screw extruder with new type kneading blocks[J/OL]. China Oils and Fats, 1-8[2026-03-18]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.250371>.
- [5] MATSUMOTO K, KAYAMORI N, TANAKA T, et al. The optimization of Blister Disk geometry for mixing performance in co-rotating twin-screw extruder[C]//Proceedings of PPS-30: the 30th International Conference of the Polymer Processing Society – Conference Papers, Cleveland, Ohio, USA. AIP Publishing LLC, 2015:020006.
- [6] MATSUMOTO K, TANAKA T. A modified blister mixing element for generating extensional flow in a twin-screw extruder: Process characterization and dispersion state of carbon nanotubes in cycloolefin polymer[J]. Polymer Engineering & Science, 2022, 62(4): 1 223–1 238.
- [7] 方子斌. 基于拉伸流场和助剂的聚乙烯挤出脱挥过程强化[D]. 杭州:浙江大学, 2024.
FANG Zibin. Intensification of polyethylene extrusion devolatilization process based on elongational flow field and additives[D]. Hangzhou:Zhejiang University, 2024.
- [8] 刘有山. 螺杆挤出方法制备再生胶的工艺及螺杆优化[D]. 北京:北京化工大学, 2019.
LIU Youshan. Technology and screw optimization of reclaimed rubber produced by screw extrusion[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2019.
- [9] 陈峰峰,李浩杰,王一飞,等. 基于Polyflow的反螺纹元件对粒子分散性仿真研究[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(9):82–86.
CHEN Fengfeng, LI Haojie, WANG Yifei, et al. Simulation study on particle dispersion of anti-thread element based on polyflow[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(9):82–86.
- [10] 韩海川,刘谨,李开国,等. 双螺杆啮合元件与反螺纹元件对流场影响的仿真[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(6):74–77, 87.
HAN Haichuan, LIU Jin, LI Kaiguo, et al. Simulation of influence of twin-screw meshing element and anti-thread element on flow field[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(6):74–77, 87.
- [11] 齐宏博,郭树国,王丽艳,等. 反向螺纹与变螺距螺纹协同设计的双螺杆组优化[J/OL]. 中国油脂, 1-11[2026-03-30].<https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.250432>.
QI Hongbo, GUO Shuguo, WANG Liyan, et al. Optimization of a dual screw assembly with coordinated design of reverse threads and variable pitch threads[J/OL]. China Oils and Fats, 1-11[2026-03-30]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.250432>.
- [12] BOJKO M, HERTL L, DRABKOVA S. Methods of cfd modelling of twin-screw pumps for non-Newtonian materials[J]. MM Science Journal, 2021, 2021(6):5 366–5 372.
- [13] DÜPHANS V, KIMMEL V, MESSING L, et al. Experimental and numerical characterization of screw elements used in twin-screw extrusion[J]. Pharmaceutical Development and Technology, 2024, 29(7):675–683.
- [14] STRITZINGER U, ALBRECHT H, LÖW-BASELLI B, et al. Modeling melt conveying and power consumption of conveying elements in co-rotating twin-screw extruders[J]. International Polymer Processing, 2025, 40(3):336–345.
- [15] 刘祺,王丽艳,金子云,等. 基于锥齿轮传动的变速三螺杆挤出机的三维流场分析[J]. 饲料工业, 2024, 45(22):21–27.
LIU Qi, WANG Liyan, JIN Ziyun, et al. Three-dimensional flow field analysis of variable speed three-screw extruder based on bevel gear transmission[J]. Feed Industry, 2024, 45(22):21–27.
- [16] 邢宇. 高粘度聚合物温度依赖流变特性及耗散生热特性研究[D]. 北京:北京化工大学, 2025.
XING Yu. Study on temperature-dependent rheological properties and dissipative heat generation characteristics of high viscosity polymers[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2025.