

背压对聚丙烯塑化过程的影响

陈晋南 姜叶涛

(北京理工大学化工与环境学院,北京 100081)

摘要 用有限元法研究了背压对聚丙烯塑化过程的影响。研究表明,随着背压的增加,螺杆流道内压差增加,计量段熔体的流速减小,剪切应力、剪切速率和粘性热增加,粘度变化不明显;计量段内沿螺杆轴向熔体的最大压差、最大剪切应力、最大剪切速率和最大粘性热增加,流速和粘度均匀,止逆环后各物理量出现峰值。

关键词 数值模拟 注射螺杆 聚丙烯 背压

背压是注射成型工艺中控制熔体质量和产品质量的重要参数之一。采用合适的背压能够使螺槽中的物料密实,排除物料中的气体,避免机筒内物料出现局部滞料现象,延长物料在螺杆上的热历程,改善塑化质量,提高制品质量,避免未完全熔化塑料射进口模内,造成喷嘴、流道、浇口或进料通道阻塞,使充模过程受阻^[1-3]。2004 年,谢美华等^[4]研究了背压对不同类型塑料注塑工艺的影响,指出在一般注射成型背压范围内,背压具有改变压力和温升的双重性效应,而且两者相互消长。

笔者在不同背压条件下,使用 Polyflow 软件,数值计算了注射螺杆流道内聚丙烯(PP)熔体各物理量的分布,分析了背压对注射螺杆流道内 PP 熔体各物理量的影响。

1 理论模型

1.1 数学物理模型

根据注塑机螺杆加工 PP 的实际情况,假设 PP 熔体为不可压缩纯粘性非牛顿流体,在螺杆流道中是三维非稳定层流流动,流道全充满,流道壁面无滑移。由于 PP 熔体的高粘性,惯性力和质量力相对于粘性力很小,可忽略不计。在以上假设条件下,描述注塑机塑化和注射过程中 PP 熔体的控制方程^[5]:

连续性方程:

$$\frac{u_i}{x_i} = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\rho \frac{u_i}{t} + \frac{p}{x_i} = -\left(\eta \frac{u_i}{x_j} \right) \quad (2)$$

能量方程:

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

剪切速率:

$$\dot{\gamma} = \frac{1}{4} \left(\frac{u_i}{x_j} + \frac{u_j}{x_i} \right) \quad (4)$$

粘性热:

$$= \eta \dot{\gamma}^2 \quad (5)$$

Carreau 模型和近似 Arrhenius 式的乘积^[6]描述 PP 材料的表观粘度随剪切速率和温度的本构方程为:

$$\eta = \eta_0 \left(1 + \lambda^2 \dot{\gamma}^2 \right)^{(n-1)/2} \exp[-\beta(T - T_0)] \quad (6)$$

式中: $i, j = x, y, z$;

u ——速度, m/s;

x_i, x_j ——坐标;

ρ ——物料的密度, kg/m³;

t ——时间, s;

p ——压力, MPa;

η ——表观粘度, Pa·s;

C_p ——物料的比热容, 为 2 100 J/(kg·K);

T ——温度, K;

k ——物料的热传导系数, 为 0.15 W/(m·K);

——粘性热, W/m³;

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率, s⁻¹;

η_0 ——零表观粘度, $\eta_0 = 26 470$ Pa·s;

λ ——自然时间, $\lambda = 2.15$ s;

n ——非牛顿指数, $n = 0.38$;

β ——热敏系数, $\beta = 0.02$ K⁻¹;

T_0 ——参考温度, $T_0 = 473$ K。

1.2 几何模型和计算方法

根据某公司提供的螺杆尺寸,选取长度为 360 mm 的螺杆计量段和螺杆头作为研究对象。以计量段起点截面的圆心为原点,以流道中心线为 Z 轴建立直角坐标系。根据机筒静止、螺杆旋转和周期性

往复运动的特点,分别建立了两种止逆螺杆流道内熔体的三维模型。采用四面体网格划分螺杆头、止逆环和螺棱等复杂部位,采用六面体网格划分机筒和螺杆的柱体部位。使用网格叠加技术(MST)^[7],按照实际情况将螺杆和机筒内的流体网格组合生成流道的动态网格,35°锥角止逆螺杆和机筒的划分网格总数为80 576个。图1给出了35°锥角止逆螺杆计量段的几何模型和有限元网格。

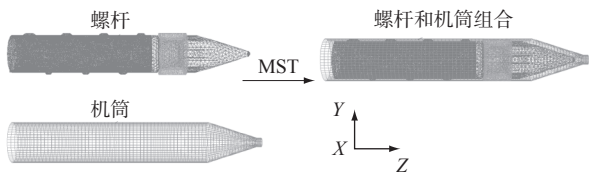


图1 35°锥角止逆螺杆计量段几何模型和有限元网格

采用国内某公司提供的工艺条件:塑化时螺杆转速为95 r/min,轴移速度为0.012 5 m/s,背压分别为0.5、1.5、3.0 MPa,PP熔体密度为735 kg/m³,入口温度和机筒内壁的温度均为513 K。使用软件Polyflow 3.10,计算中速度采用Mini-element插值,压力采用线性插值,粘度采用皮卡插值,能量方程采用上风法插值,用隐式欧拉法数值联立求解离散方程组(1)~(6),计算的收敛精度为0.001,在HPXW9300工作站上完成计算工作,最长一次运算机时为26 h。

2 结果与讨论

该注塑机的塑化时间为3.76 s,鉴于熔体塑化过程直接影响注射制品的质量,讨论了塑化终了时刻 $t=3.5$ s时PP熔体流场中各物理量的分布。由于机筒和螺杆壁面是极限情况,因此选取机筒和螺杆壁面中间的特殊参考线来讨论熔体各物理量沿轴向的变化。图2给出了 $y=0.0426$ m参考直线的位置。忽略计算边界的影响,重点讨论分析图2中 $y=0.05\sim0.33$ m计量段的结果。

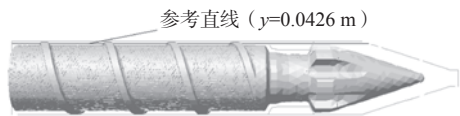
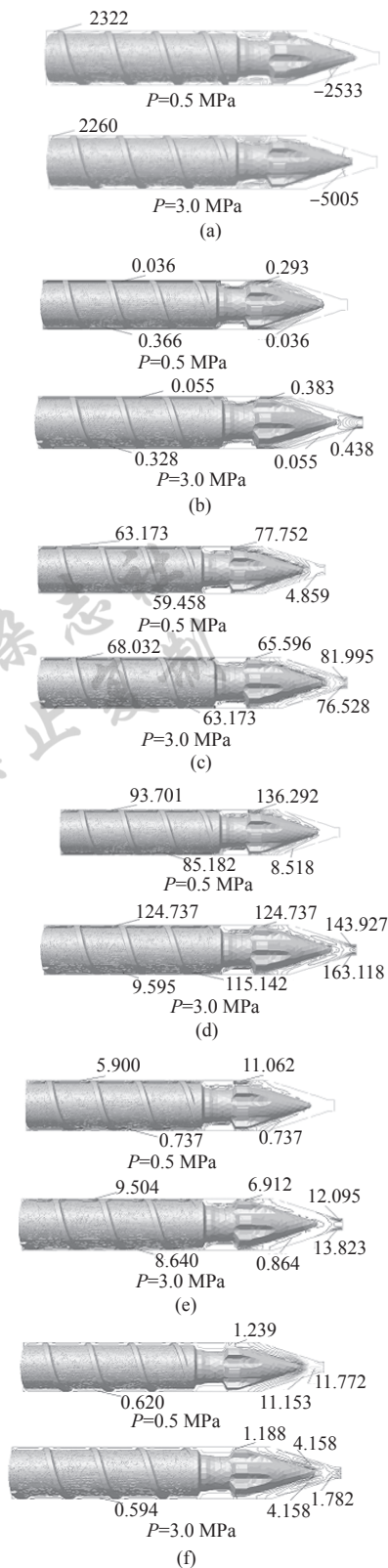


图2 $y=0.0426$ m 参考直线的位置

2.1 YZ截面上不同背压下PP熔体的流场

图3给出了不同背压条件下,塑化过程中螺杆流道内YZ截面上PP熔体的压力场、速度场、剪切应力场、剪切速率场、粘性热场和粘度场。

由图3a可知,随着背压的增加,螺杆头部的压差增加,螺杆头部和入口的压差也增加。当背压增加5倍时,螺杆头部的压差增加了97.6%,螺杆头



a—压力场; b—速度场; c—剪切应力场; d—剪切速率场; e—粘性热场; f—粘度场

部和入口的压差增加了12倍,这与谢美华^[4]试验研

究得出的背压具有改变压力的作用的结论相符合。

由图 3b 可知, 当背压分别为 0.5、3.0 MPa 时, 计量段内熔体最大速度值分别为 0.366、0.328 m/s, 螺杆头部熔体的最大流速分别为 0.293、0.383 m/s。随着背压的增加, 计量段内熔体的流速减小, 螺杆头部熔体的流速增大。

由图 3c ~图 3f 可知, 当背压分别为 0.5、3.0 MPa 时, 计量段内熔体的最大剪切应力分别为 63.173、68.032 kPa, 最大剪切速率分别为 93.701、124.737 s⁻¹, 最大粘性热分别为 5.900、9.504 MW/m³。螺杆头部熔体最大剪切应力值分别为 77.752、65.596 kPa, 最大剪切速率分别为 136.292、124.737 s⁻¹, 最大粘性热分别为 11.062、6.912 MW/m³。当背压增加 5 倍时, 计量段内熔体的最大剪切应力增加了 7.7%, 最大剪切速率和最大粘性热分别增加了 33.1%、61.1%。在没有考虑模具的情况下, 螺杆头部熔体最大剪切应力和最大剪切速率分别减小了 8.5% 和 15.6%, 最大粘性热降低了 37.5%, 最大粘度减小了 4.1%。正如公式 (6) 描述, PP 的表观粘度 η 随剪切速率 $\dot{\gamma}$ 的升高而降低, 随着剪切速率的增加, PP 熔体的粘度降低, 有利于熔体的流动。由于计量段螺棱处熔体的速度梯度大、剪切应力大、剪切速率大, 此处熔体的粘度低, 且分布均匀, 因此在适当范围内提高背压可以增加熔体的剪切应力和剪切速率, 降低熔体的粘度, 有利于注射过程。

2.2 螺杆轴向上不同背压下 PP 熔体的流场

图 4 给出了不同背压下, 螺杆流道内参考直线上 PP 熔体压差、速度、剪切应力、剪切速率、粘性热和粘度沿螺杆轴向的变化。由图 4 可知, 螺杆流道内的熔体沿 Z 轴方向压差先减小后增大, 流速比较均匀。螺棱顶部与机筒相接处熔体的剪切应力、剪切速率和粘性热最大, 此处的粘度明显小于螺槽处, 这是由于该处速度梯度较大, 导致剪切速率较大, 对熔体的剪切稀化作用增加, 粘度降低。

熔体在螺棱处的压差比在螺槽处的大。在 Z = 0.15 m 附近, PP 熔体的压差为 0。当 Z < 0.15 m 时, PP 熔体的压差均为正值, 当 Z > 0.15 m 时, PP 熔体的压差均为负值。在 Z = 0.33 ~0.38 m 处是止逆环, 止逆环前后压差有突变。当背压增加 5 倍时, 熔体的最大压差增加了 80.7%。

随着背压的增加, 螺杆流道内参考直线上熔体的最大剪切应力、最大剪切速率和最大粘性热增大,

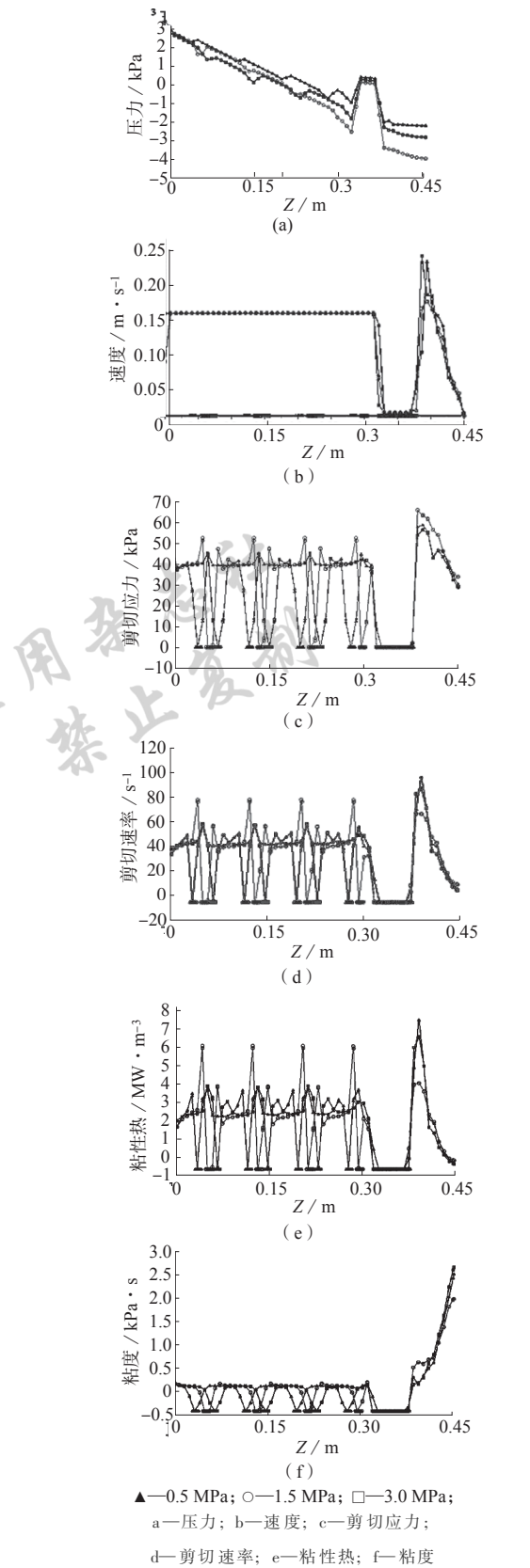


图 4 参考直线上熔体各物理量沿螺杆轴向的变化
粘度变化不明显。在止逆环后, PP 熔体的压力、速

度、剪切应力、剪切速率、粘性热和粘度出现峰值。

当背压分别增加 2 倍和 5 倍时,螺杆头部熔体的最大速度先增加了 3.9%,后降低了 25.8%。可见背压最大时,螺杆头部熔体的流速最小,这是由于机头压力增高,增大了螺槽中的逆流和机筒与螺杆间隙中的漏流,使单位时间能塑化的料量的塑化效率降低^[1],流入螺杆头部的流体减少。当背压增加 5 倍时,熔体的最大剪切应力增加了 16.8%,最大剪切速率增加了 33.8%,最大粘性热增加了 52.2%。由于研究的对象是螺杆流道熔体流动过程,不包括模具部分,因此螺杆顶部出现的各物理量的峰值不代表实际情况。

3 结论

使用高分子计算流体软件 Polyflow,建立了注塑机 35°锥角止逆螺杆流道的三维模型。在不同背压条件下,数值求解了塑化过程止逆螺杆流道内 PP 熔体的流场。研究表明,背压增加时,螺杆流道内压差增加,进而引起流场其它物理量的变化。计

量段内熔体的流速减小,剪切应力、剪切速率和粘性热增加,粘度变化不明显,各物理量在止逆环后出现峰值。因此在实际生产过程中,选择背压要综合考虑熔体的流变性能和功率消耗。

参考文献

- [1] 王华山. 塑料注塑生产技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] 钱泉森, 李奇, 高汉华. 塑料成型工艺及模具设计[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2006.
- [3] 张增红, 熊小平. 塑料注射成型[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [4] 谢美华. 背压对注塑工艺的影响[J]. 工程塑料应用, 2004, 32(7): 29-31.
- [5] 陈晋南. 传递过程原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [6] Ishikawa T, Kihara S I, Funatsu K. 3-D non-isothermal flow field analysis and mixing performance evaluation of kneading block in a co-rotating twin screw extruder[J]. Polymer Engineering and Science, 2001, 41(5): 841.
- [7] Bertrand F, Tanguy P A, Thibault F. A three-dimensional fictitious domain method for incompressible fluid flow problem[J]. Int J Num Meth Fluids, 1997, 25(6): 719-736.

INFLUENCE OF BACK PRESSURE ON POLYPROPYLENE PLASTICIZATION

Chen Jinan, Jiang Yetao

(School of Chemical Engineering and the Environment, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

ABSTRACT The influence of back pressure on polypropylene plasticization processes is studied by FEM. Simulation results indicate that the pressure difference, the shear-stress, the shear rate and the viscosity heating increase with the increase of back pressure, but the velocity decreases and the change of viscosity is not obvious in metering section. The max pressure, the maximum shear rate, the maximum shear stress, the maximum viscosity heating along screw axes increase with the increase of the back pressure, but the change of velocity and viscosity are not obvious. Without the die, all physical quantities reach the peak after non-return ring.

KEYWORDS simulation, injecting screw, polypropylene, back pressure

帝斯曼北京展示运动创新成果

近日,全球领先的生命科学和材料科学专业公司帝斯曼在北京宣布,于 8 月 7 日开始在农展馆“荷兰之家”展示多项运动创新产品。

作为荷兰奥委会的“运动合作伙伴”,帝斯曼不断在营养和材料领域推陈出新,以帮助运动员提高成绩,进而推动体育事业的发展。在创新过程中,帝斯曼特别考虑到运动员在中国将面临的特殊情况。例如,针对即将在青岛参加比赛的荷兰帆船选手,帝斯曼开发出一种新型树脂复合材料应用于 470 级帆船,并用强度最大的迪尼玛(Dyneema)高性能纤维材料制作帆绳,从而使船身硬度提高了 120%,并在降低 2 kg 总重的前提下使强度提 200%。因此,这种新型 470 级帆船在水中的稳定性得到显著加强,同时可以减少船体在波浪中的能量消耗,在青岛沿海水域以短小波浪为主的条件下,可以实现更快的速度。此外,帝斯曼还开发出体能恢复饮料 PeptoPro 固体粉末,更方便运动员携带和保存。北京奥运会期间,有 20 000 份固体饮料供荷兰奥运代表团在中国

使用,以帮助运动员加速肌肉恢复——这对于在短时间内参加多个项目的运动员来说至关重要。帝斯曼开发出的个人和团体降温装置也非常实用。它能帮助运动员在比赛间歇实时有效地控制体温,更好地发挥个人水平(舒适性降温),也可用于赛后迅速恢复体温,从而尽快恢复体力(运动后降温)。北京奥运期间,帝斯曼提供 100 套以上个人降温 and 团体降温设备供荷兰运动员使用。

在“荷兰之家”开幕典礼上,帝斯曼向荷兰奥委会主席 Erica Terpstra 介绍了一项别具创意的新产品。该产品是一个特殊的饮用装置,通过调节两个独立的运动饮料瓶中的 PeptoPro 和水的比例,使得运动员能够根据自己的需求摄取营养。这一创意出自帝斯曼“员工奥运创新竞赛”中的获胜理念。此外,帝斯曼正在开发用 Stanyl 制成的链轮,它质量轻、摩擦低,由耐磨的工程塑料制成并广泛应用在汽车行业中。这对需要用到链轮的赛车项目和残奥会轮椅项目来说将是一个突破。目前帝斯曼已经生产出这种特制的链轮,有望在通过运动员测试后正式投入使用。(中聚网)