

注塑机螺杆头三维等温流场的数值模拟

马德君 陈晋南 彭 炯 王明丽

(北京理工大学化工与环境学院,北京 100081)

摘要 使用 Polyflow 软件建立注塑机两种螺杆头的三维流动模型,并采用机筒静止、螺杆旋转及进行周期性往复运动的运转条件进行等温数值模拟,求解出了各自流道内的速度场、压力场和剪切应力场。对数值模拟结果的分析表明,有螺纹的螺杆头能更好地减少 PVC 熔料的停滞热解,增强塑化作用,但是与无螺纹螺杆头相比在防止熔料倒流方面略显不足。

关键词 注塑螺杆 螺杆头 数值模拟 三维等温流场 Polyflow

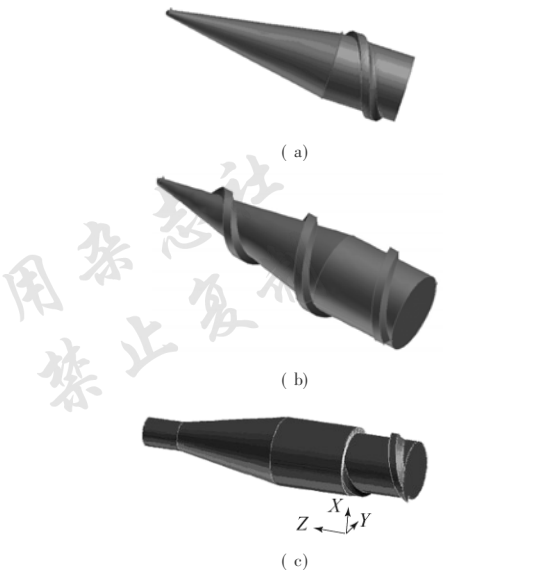
往复式螺杆注塑机的核心部件是螺杆,其作用是将固态的塑料熔融塑化,并将其注入模腔。螺杆设计是往复式螺杆注塑机设计的关键技术之一^[1]。由于没有解析公式来辅助设计注塑螺杆,故通常简单地参照挤出螺杆的设计方法进行设计^[2,3]。

与挤出螺杆相比,注塑螺杆具有特殊形式的头部结构,这是由注塑机塑化部件的特点决定的。在注塑加工聚氯乙烯(PVC)时,由于材料具有热敏性和高粘度,常引起注塑螺杆头部排料不尽而造成滞料分解。为了防止和避免这种现象,多采用带小锥角或附有螺纹的螺杆头。笔者利用 Polyflow 软件模拟头部无螺纹和有螺纹的注塑螺杆头的等温流场,求解两种不同螺杆头流道内的速度场、压力场和剪切应力场,并进行比较分析,以期对注塑螺杆的优化、设计提供理论依据。

1 注塑机螺杆头的几何造型和网格划分

准确进行数值模拟的一个重要前提条件是对模拟对象的几何形状进行精确描述。根据机筒静止、螺杆旋转并周期性往复运动的条件,分别建立头部无螺纹和有螺纹的螺杆头流道的三有限元模型。选取注塑螺杆计量段 144 mm 的头部作为计算域,以流道入口截面的圆心为原点,以流道中心线为 Z 轴建立直角坐标系。图 1a、1b 分别给出了两种螺杆头的几何造型,图 1c 给出了螺杆头与流道的组合造型。

为了提高计算的精度,在 Gambit 中首先对流道的边界层进行加密,然后采用六面体单元网格划分流道,采用四面体单元网格划分注塑螺杆头。再将划分网格的螺杆头和流道组合在一起,见图 2。同时,为了减少因螺杆运动而重复进行网格划分的工作量,使用了 Polyflow 软件包提供的网格叠加 MST 技术来生成有限元网格^[4],大大提高了工作效率。



a—头部无螺纹; b—头部有螺纹; c—螺杆头和流道的组合
图 1 螺杆头的几何造型

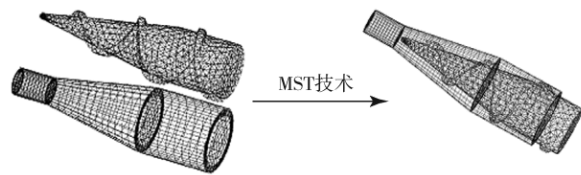


图 2 计算域的网格划分

2 数学模型

假设聚合物熔体为不可压缩流体,流动为等温拟稳态流动,流道全充满。由于聚合物熔体具有高粘性,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,描述流场的基本微分方程为^[5,6]:

连续性方程

$$\vec{\mu} = 0 \tag{1}$$

运动方程

$$-\vec{P} + \vec{\tau} = 0 \quad (2)$$

本构方程

$$\vec{\tau} = 2\eta\vec{D} \quad (3)$$

式中: $\vec{\mu}$ ——速度向量;

P ——压力;

$\vec{\tau}$ ——应力张量;

η ——粘度;

$\vec{\gamma}$ ——剪切速率;

$\vec{D}$ ——形变速率张量。

网格生成后,在 Gambit 中定义边界条件,然后导入 Polydata。在 Polydata 中输入初始条件和其它计算参数。数值计算采用的工艺条件和边界条件为:注射时螺杆不转动,注射速率 12.5 mm/s;塑化时螺杆转速 95 r/min,轴移速度 12.5 mm/s,进出口压力差 19.9 MPa。注塑物料为 PVC,熔体粘度 $1.64 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,熔体密度 $1.0629 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。假设机筒内壁和螺杆表面无滑移。全部计算工作使用 Fluent 公司的软件 Polyflow 3.10 在 HP xw6000 工作站上完成。计算的收敛精度设为 10^{-4} 。使用后处理软件 Fpost 处理计算结果。

3 计算结果与讨论

3.1 塑化计量时螺杆头部物料的三维流场

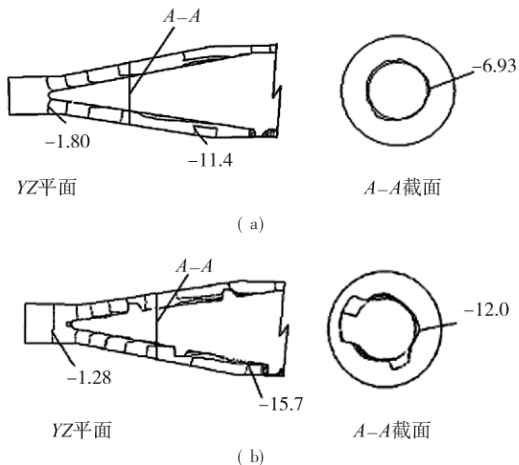
注塑机注射结束后,经过保压阶段,积聚在存料区内的熔体压力(其大小等于背压)会以一定的速度推动旋转的螺杆后退,也就是沿 $-Z$ 方向进行轴向运动。当注塑螺杆后退至计量值时,螺杆便停止转动,准备下一次注射。

由于塑化阶段时间相对较长,各个时刻螺杆头对熔体流场的影响是不一样的,其中以塑化起始阶段的影响最为显著,所以选择塑化时间 $t=1.00 \text{ s}$ 时的两种不同螺杆头的流场作为对比研究的对象,分别对螺杆头与流道组合造型的纵剖面 and 横截面进行讨论。纵剖面选择为 $x=0$ 的 YZ 平面, A-A 截面选择为 $z=0.09 \text{ m}$ 的 XY 平面。

对速度场进行分析,发现无螺纹和有螺纹的螺杆头产生的最大速率分别为 0.217 m/s、0.214 m/s,二者没有显著差别。

图 3 比较了两种螺杆头纵剖面内的压力场。从图 3 可直观地看到,无螺纹和有螺纹的螺杆头的压力均在锥体后部大致相同的部位达到最大值,且同为 $-Z$ 方向,不同的是有螺纹螺杆头产生的压力约

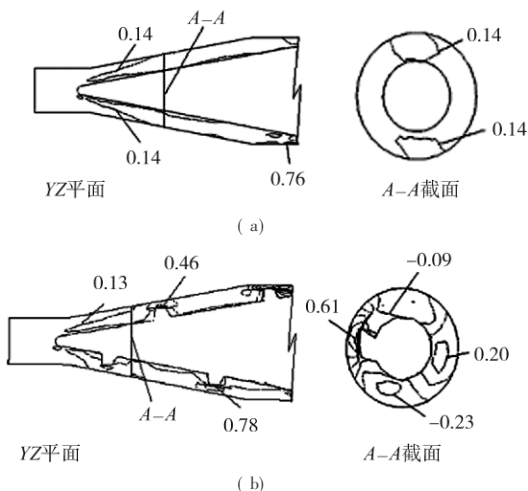
为无螺纹螺杆头的 1.4 倍。从 A-A 截面可看出,两种螺杆头产生的压力场都比较均匀,有螺纹螺杆头产生的压力约为无螺纹螺杆头压力的 2 倍。



a—无螺纹的螺杆头; b—有螺纹的螺杆头

图 3 塑化时间 $t=1.00 \text{ s}$ 时的压力场 (MPa)

图 4 比较了两种螺杆头塑化时的剪切应力场。从图 4 可以看到,螺棱顶部的剪切应力明显增大,螺槽底部的剪切应力较小。这是因为螺棱顶部与机筒间的间隙较小,速度梯度较大。两种螺头产生的最大剪切应力无明显差别。从 A-A 截面可看出,螺杆头增加螺纹后,剪切应力增加到 4.4 倍,剪切应力场变化明显,剪切作用加强,有利于改善物料的塑化效果。



a—无螺纹的螺杆头; b—有螺纹的螺杆头

图 4 塑化时间 $t=1.00 \text{ s}$ 时的剪切应力场 (MPa)

3.2 注射时螺杆头部物料的三维流场

鉴于注射阶段时间相对较短,各个时刻螺杆头对熔体流场的影响是不一样的,其中以注射终了阶段的影响最为显著,所以选择注射时间 $t=3.25 \text{ s}$ 时

两种不同螺杆头的流场作为对比研究对象, 分别对螺杆头与流道组合造型的 $x = 0$ 纵剖面 and $B - B$ 截面 ($z = 0.09 \text{ m}$ 的 XY 平面) 进行深入讨论。

图 5 比较了两种螺杆头纵剖面内的压力场。从图 5 可直观地看到无螺纹和有螺纹的螺杆头的压力都在锥体后部大致相同的部位达到最大值, 且同为 Z 方向, 不同的是有螺纹螺杆头产生的压力是无螺纹螺杆头的 3.2 倍。在 $B - B$ 截面上, 两种螺杆头产生的压力场差别比较大。无螺纹螺杆头的压力场比较均匀, 且数值不大; 有螺纹螺杆头的压力场变化较大, 压力最大值达到 36.2 MPa, 是前者的 6.5 倍。

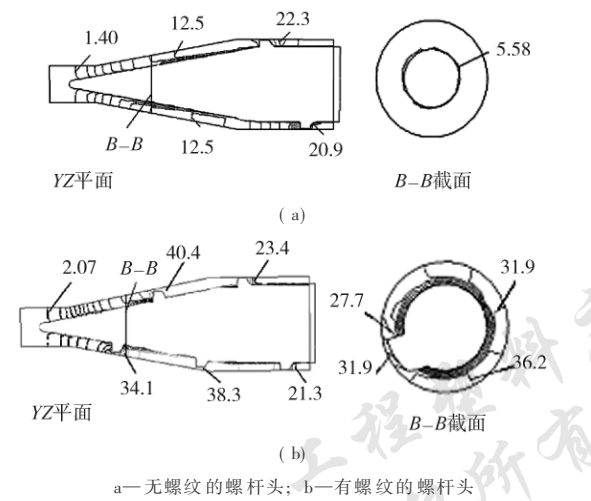


图 5 注射时间 $t = 3.25 \text{ s}$ 时的压力场 (MPa)

图 6 比较了两种螺杆头注射时纵剖面内相同轴向部位的 Z 方向速度场。从图 6 可以清楚地看到, 有螺纹时产生极为明显的倒流, 无螺纹时几乎没有倒流。在图 6b 中, 有螺纹的螺杆头使物料形成流体流动, 在螺槽深度方向上的速度分布表现出压力流和拖曳流的组合特征^[7]。这将使螺杆受到的阻力增加, 推力降低, 生产能耗增加。

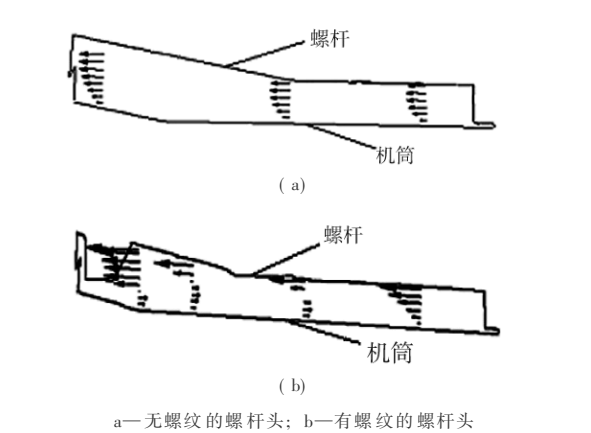


图 6 注射时间 $t = 3.25 \text{ s}$ 时 YZ 剖面内 Z 方向的速度场

图 7 给出两种不同螺杆头注射时的剪切应力场。由于注射时螺杆仅有轴向运动, 所以剪切应力整体上都比较小。有螺纹的螺杆头在头部产生的剪切应力明显大于无螺纹的螺杆头, 这是因为增加螺纹以后, 螺棱顶部与机筒间的间隙较小、速度梯度较大的缘故。在横截面上, 有螺纹的螺杆头产生的最大剪切应力是无螺纹螺杆头产生的最大剪切应力的 6.2 倍。这与有螺纹的螺杆头有较大的压力场是一致的。由此进一步说明在螺杆头部增加螺纹后增强了塑化作用。

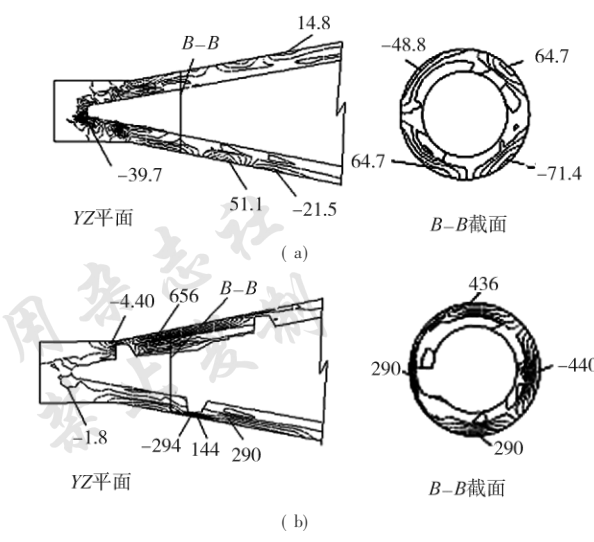


图 7 注射时间 $t = 3.25 \text{ s}$ 时的剪切应力场 (kPa)

4 结论

(1) 从两种螺杆头的速度场分析可知, 注射时有螺纹螺杆头产生极为明显的倒流, 而无螺纹螺杆头在相同部位几乎未观察到倒流; 塑化计量时二者的速度场大致相同。

(2) 从两种螺杆头的压力场分析可知, 注射时有螺纹的螺杆头产生的压力明显大于无螺纹螺杆头产生的压力; 塑化计量时有螺纹螺杆头可以产生更大的压力。

(3) 从两种螺杆头剪切应力场分析可知, 注射时有螺纹螺杆头产生的剪切应力明显大于无螺纹螺杆头产生的剪切应力。速度梯度增大和压力的增大是导致有螺纹螺杆头剪切应力增大的主要原因。塑化计量时有螺纹螺杆头产生的剪切应力明显大于无螺纹螺杆头产生的剪切应力。由此可见, 锥形头部增加螺纹后剪切作用加强, 有利于改善物料的塑化效果。

总之, 有螺纹的螺杆头能够更好地减少 PVC 熔

料的停滞热解,增强塑化作用,但是与无螺纹的螺杆头相比在防止熔料倒流方面略显不足。

参考文献

- 1 北京化工大学,华南理工大学.塑料机械设计.北京:中国轻工业出版社,1995.
- 2 戴干策.聚合物加工中的传递现象.北京:中国石化出版社,1999.
- 3 李长勇,应济.螺杆塑化性能的有限元分析及优化研究.工程设计学报,2004,11(4):218

- 4 Bertrand F, Tanguy P A, Thibault F. A three-dimensional fictitious domain method for incompressible fluid flow problem. Int J Num Meth Fluids, 1997, 25 (6): 719
- 5 金日光.高聚物流变学及其在加工中的应用.北京:化学工业出版社,1986.
- 6 陈晋南.传递过程原理.北京:化学工业出版社,2004.
- 7 瞿金平,胡汉杰.聚合物成型原理及成型技术.北京:化学工业出版社,2001.

SIMULATIONS OF 3-D ISOTHERMAL FLOW IN THE SCREW HEAD OF THE INJECTION MACHINE

Ma Dejun, Chen Jinnan, Peng Jiong, Wang Mingli

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

ABSTRACT Three-dimensional isothermal flows of two different screw heads of the injection molder are simulated by using the finite element package Polyflow and adopting the work conditions that the barrel wall is static and the screw rotates and reciprocates periodically. The velocity fields, pressure fields and stress tensor fields in both of channels are respectively determined. The results show that the screw with the whorled head can reduce the stasis and pyrogenation of the melting PVC and reinforce the plastication all the better. But it is slightly deficient in preventing the adverse flow in comparing to the screw with the conic head.

KEYWORDS injection screw, screw head, numerical simulation, three-dimensional isothermal flow field, Polyflow

PBS 完全可生物降解塑料前景广阔

聚丁二酸丁二醇酯(PBS)因其卓越性能成为最具产业化前景的可完全生物降解塑料。最近,PBS正式入围国家科技部“十一五”规划,成为政府层面推动产业化的可完全生物降解塑料。据悉,国家科技部将在年底提前启动可完全生物降解塑料产业化“十一五”专项。至此,PBS成功赢得产业化先机,成为中国可完全生物降解塑料产业化的领跑者。

PBS是生物降解塑料材料中的佼佼者,用途极为广泛,可用于包装、餐具、化妆品瓶及药品瓶、一次性医疗用品、农用薄膜、农药及化肥缓释材料、生物医用高分子材料等领域。PBS综合性能优异,性价比合理,具有良好的应用推广前景。与其它生物降解塑料相比,PBS力学性能十分优异,接近PP和ABS塑料;耐热性能好,热变形温度接近100℃,改性后使用温度可超过100℃,可用于制备冷热饮包装和餐盒,克服了其它生物降解塑料耐热温度低的缺点;加工性能非常好,可在现有塑料加工通用设备上各类成型加工,是目前降解塑料加工性能最好的,同时可以共混大量碳酸钙、淀粉等填充物,得到价格低廉的制品;PBS生产可通过对现有通用聚酯生产设备略作改造进行,目前国内聚酯设备产能严重过剩,改造生产PBS为过剩聚酯设备提供了新的机遇。另外,PBS只有在堆肥、水体等接触特定微生物条件下才发生降解,在正常储存和使用过程中性能非常稳定。PBS以脂肪族二元酸、二元醇为主要原料,既可以通过石油化工产品满足需求,也可通过纤维素、奶业副产物、葡萄糖、果糖、乳糖等自然界可再生农作物产物经生物发酵途径生产,从而实现来自自然、回归自然的绿色循环生产。而且采用生物发酵工艺生产的原料,还可大幅降低原料成本,从而进一步降低PBS成

本。

据预测,到2010年世界上降解塑料的产业规模将达到整个塑料制品市场份额的10%左右。因此,作为最具产业化前景的可完全生物降解塑料,PBS的产业发展前景将尤为广阔。

(锐)

余姚中国塑料城2005年大跃进

作为我国重要的塑料原料集散地,余姚中国塑料城2005年各项经济指标实现大幅增长。其中,销售额突破200亿元,达210亿元,较2004年大幅增长32.5%;销售量接近200万t,达196.8万t,较2004年增长25.46%。

2005年,余姚中国塑料城五大类通用树脂年均价格为11515元(吨价,下同),较2004年上涨6.1%。其中,低密度聚乙烯为11993元,上涨4.5%;线型低密度聚乙烯为11030元,上涨10.24%;聚丙烯为11836元,上涨15.34%;聚氯乙烯为7553元,下跌14.31%;聚苯乙烯为12039元,上涨0.91%;ABS为14804元,上涨9.04%。

2005年余姚中国塑料城业绩显著,并呈现出两大优势,一是经营规范、服务周全,吸引了大批各地商户进驻。至2005年底,该塑料城注册商户已达1120家,比2004年净增144家,增加14.8%。各公司经济实力和经营规范不断得到壮大和拓展,不但拥有年销售额超亿元的经营大户30多家,而且涌现出超过10亿元的大型贸易公司。二是信息领先。浙江中塑在线有限公司(原余姚中国塑料城信息中心)目前已成为国内重要的塑料专业网站,其发布的当日现货价格已成为原料市场的重要参考数据。目前,余姚中国塑料城已入选中国社会科学院财政与贸易研究所评选并发布的“中国商品专业市场竞争力50强”。

(毛柏银)