

非啮合错列型双螺杆螺纹元件挤出过程的 CAE 分析*

朱向哲 谢禹钧

苗 一

(辽宁石油化工大学机械工程学院, 抚顺 113001) (华东理工大学化工机械研究所, 上海 200237)

摘要 利用 ANSYS 软件包对非啮合错列型双螺杆螺纹元件进行了三维等温非牛顿流场分析, 分析速度场和压力场的分布情况, 讨论了不同边界条件对整个流道的速度场、压力场及流量的影响, 所得结论对生产实践具有一定的指导意义。

关键词 双螺杆 非啮合错列型螺纹元件 挤出特性 ANSYS 软件

在塑料加工过程中, 双螺杆是一种重要的加工挤出部件, 非啮合错列型螺纹元件是其基本螺纹元件, 因此, 了解掌握非啮合错列型螺纹元件的性能对塑料加工有着十分重要的意义。由于双螺杆几何结构及聚物流变行为的复杂性, 往往不能采用数学解析方法来研究, 而是采用反复试验和修正的方法来设计几何结构和操作工艺条件, 具有很大的盲目性, 且耗费大量的时间和资金, 无法适应塑料工业的发展^[1]。笔者以聚物流变学为基础, 利用 ANSYS 软件包建立了非啮合错列型双螺杆螺纹元件的三维等温非牛顿流场模型, 计算了不同边界条件对流道的速度场、压力场及流量的影响, 以期对双螺杆的优化设计提供理论指导。

1 理论模型

1.1 几何模型及有限元模型

图 1 为双螺杆外形及其相互位置。其中内径 24 mm, 外径 30 mm, 导程 30 mm, 两螺杆中心距 30.2 mm, 单头螺纹。利用 ANSYS 中的布尔操作从机筒中减去两个螺杆, 得到流道几何模型, 如图 2 所示, 机筒内径 30.8 mm, 流道的长度 75 mm, 转速 120 r/min, 两个螺杆的旋转方向相反。

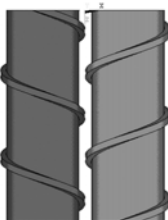


图 1 双螺杆外形及其相互位置

选用 ANSYS 中的 3DFLUID142 四面体单元进行网格划分, 对流道的中心区和螺棱顶端小间隙处进行网格细化。为了保证求解的精度, 由粗到细进行了多次有限元网格划分, 并进行了计算, 取各监测曲线波动最小的网格为最终有限元计算网格, 其中



图 2 流道几何模型

单元数为 282 452 个, 结点数 66 628 个。

1.2 工程假设

为方便计算进行如下假设: ①流体为幂律流体; ②流场为稳定、等温流场; ③雷诺系数较小, 为层流流动; ④由于惯性力、重力等体积力远小于粘滞力, 可忽略不计; ⑤流体为不可压缩流体; ⑥流道壁面无滑移。

1.3 数学方程

幂律流体本构方程为^[2]:

$$\tau = 3802(\dot{\gamma})^{n-1} \quad (1)$$

连续方程为:

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (2)$$

动量方程为:

$$\nabla P = \nabla \cdot \tau \quad (3)$$

式中: τ ——剪切应力张量;

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率, s^{-1} ;

n ——幂指数;

∇ ——哈尔米顿算子;

$\mathbf{v}$ ——速度矢量, m/s ;

P ——静压力, Pa 。

数值模拟采用的物料为抚顺石化公司生产的 PP 粒料, 根据 PP 粒料在 170℃时的流变曲线, 计算

* 中油中青年科技创新基金资助课题 (2001 CX - 30)

收稿日期: 2004-07-21

出物性参数:密度 770 kg/m^3 , 熔体粘度 $3802\text{ Pa}\cdot\text{s}$, 幂指数 $n=0.4$, 热导率 $0.18\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, 比热容为 $2100\text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ 。

1.4 边界条件

速度边界条件包括螺杆和机筒表面的速度, 由挤出机实际运转条件(机筒静止、螺杆旋转)及流道壁面无滑移假设确定。

右螺杆表面边界速度为:

$$\begin{aligned}V_x &= -W \cdot y \\V_y &= W \cdot x \\V_z &= 0\end{aligned}$$

左螺杆表面边界速度为:

$$\begin{aligned}V_x &= W \cdot (y - y_0) \\V_y &= -W \cdot (x - x_0) \\V_z &= 0\end{aligned}$$

压力边界条件为:

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

式中: P ——压力差, MPa;

P_1 ——入口处压力, MPa;

P_2 ——出口处压力, MPa。

分析时 ΔP 取 0、1、2、3、4、5 MPa。

2 结果与分析

2.1 压力场

(1) 宏观压力分布

图3为分析段宏观压力分布等值线图($\Delta P=5\text{ MPa}$)。由图3可见, 每经过螺棱顶端时, 左右流道压力等值线的密度显著增加, 说明螺棱顶端物料的压力梯度较大; 而螺槽中的压力等值线分布较均匀, 压力梯度较小。因此, 螺棱顶端的物料特别是啮合区螺棱部分的物料应重点研究。

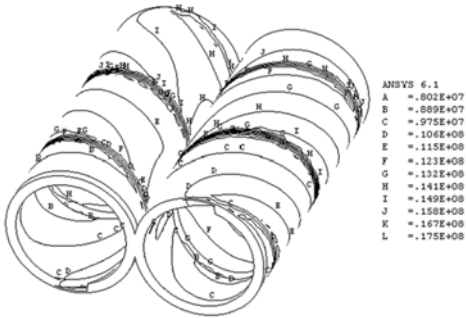
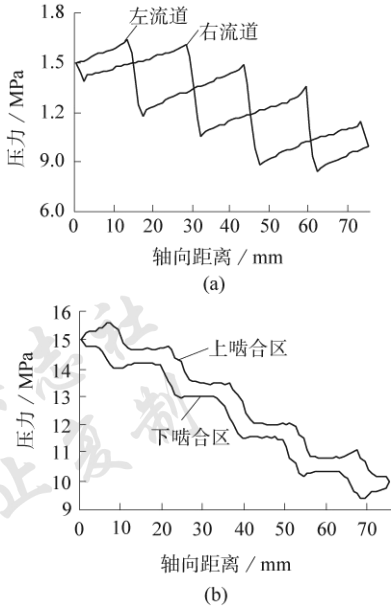


图3 分析段宏观压力分布等值线

(2) 压力变化曲线

图4为流道压力变化曲线图。由图4a可以看出, 左右流道的压力最大值和最小值分别出现在相

邻的螺棱和螺槽, 因此, 螺棱与螺槽之间形成了较大的压力梯度, 这有利于物料的混合; 左流道和右流道的最大、最小压力值出现时有半个螺距的时间差, 这主要与左右螺杆的相对位置有关。由图4b可知, 上啮合区的压力值大于下啮合区, 上下啮合区间的压力降有利于物料在啮合区进行混合。



a—左右流道机筒内壁压力; b—啮合区压力
图4 流道压力变化曲线图($\Delta P=5\text{ MPa}$)

(3) 不同边界条件对流道压力分布的影响

图5为流道两端压力差 $\Delta P=5\text{ MPa}$ 、螺杆转速分别为 30、60、90、120、150 r/min 时对上啮合区压力分布的影响曲线图。由图5可见, 随着螺杆转速的增加, 压力增大, 但增大幅度较小, 说明螺杆转速对流道的压力分布影响较小。

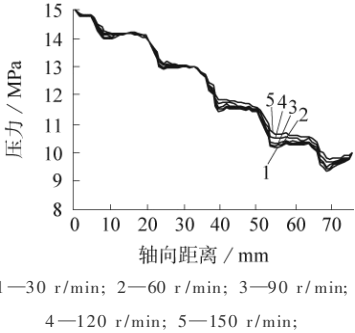
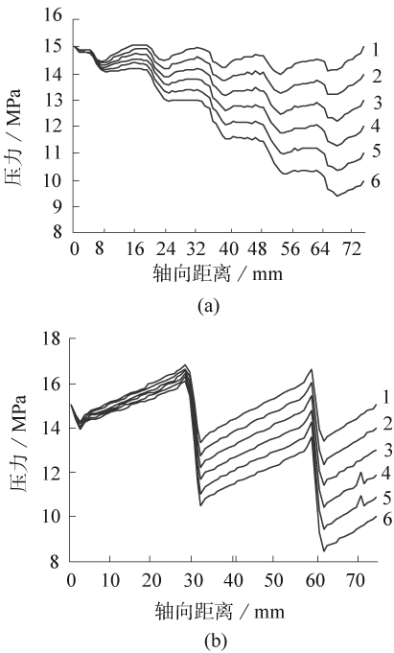


图5 不同螺杆转速对上啮合区压力分布的影响

图6为在流道两端压力差 ΔP 分别为 0、1、2、3、4、5 MPa 时, 对流道压力分布的影响。由图6可以看到, 随着流道两端压力差的增大, 压力曲线逐渐下移, 波动规律基本相同, 说明流道的压力分布受流道两端的压力边界条件影响显著。



1—0 MPa; 2—1 MPa; 3—2 MPa; 4—3 MPa; 5—4 MPa; 6—5 MPa;
a—对上啮合区压力; b—对左流道压力

图 6 压力边界条件对流道压力分布的影响

2.2 速度场

(1) 速度矢量分布

图 7 为流道啮合区速度矢量图。由图 7 可以看出, 左螺杆中的物料在流经啮合区时, 大部分物料从左螺杆流向右螺杆, 因此物料在啮合区可以进行混合和交换。这有利于物料的改性。

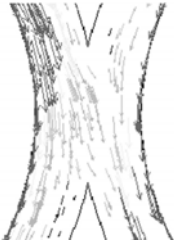


图 7 流道啮合区速度矢量图

(2) 速率变化曲线

图 8 为啮合区剖面平均速率变化曲线。由图 8 可以看出, 物料在啮合区的流动速率基本上呈周期变化。这是因为该模型的流道长度为 2.5 个螺距,

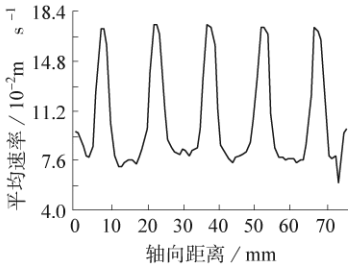


图 8 啮合区中心剖面平均速率变化曲线

螺杆为单头螺纹, 所以两螺杆的螺棱在流道啮合区, 共出现 5 次, 而物料在螺棱顶端的流动速率最大, 所以出现 5 个极大值。

(3) 轴向速度分布

图 9 为流道截面轴向速度分布图。由图 9 可以看出, 物料在大部分区域的轴向速度为正值, 与挤出方向相同, 说明物料向前输送。物料只有在两螺杆螺棱顶端的小间隙处的轴向速度为负值, 与挤出方向相反, 因此物料有回流现象, 这有利于物料的轴向混合。

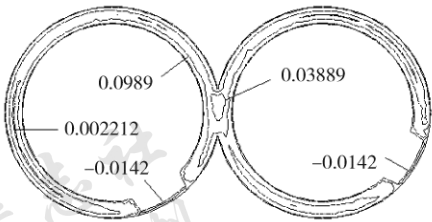
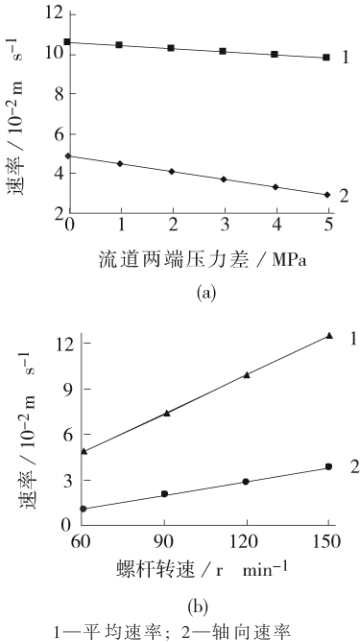


图 9 截面轴向速度分布

(4) 不同压力边界条件和螺杆转速对流速率分布的影响

图 10 为不同螺杆转速和压力边界条件对结点 A (0, -0.00432, 0) 速率的影响曲线。由图 10a 可以看出, 随着流道两端压力差的增加, 结点 A 的轴向速率和平均速率均逐渐减小, 但轴向速率的减小幅度大于平均速率。由图 10b 可见, 随着螺杆转速的增加, 结点 A 的轴向速率和平均速率逐渐增大,



1—平均速率; 2—轴向速率

a—流道两端压力差; b—螺杆转速

图 10 螺杆转速和压力边界条件对结点 A 速率的影响

但平均速率的增加幅度大于轴向速率。

2.3 螺杆挤出特性

(1) 螺杆转速对流量的影响

图 11 为螺杆转速对流量的影响。由图 11 可以看出,螺杆转速和流量几乎成正比。因此在保证物料加工质量的前提下,增加螺杆转速可以提高产量。

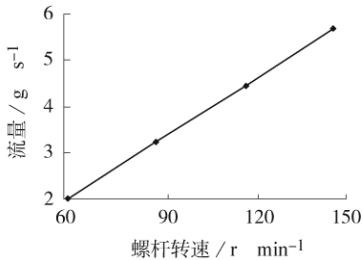


图 11 螺杆转速对流量的影响

(2) 流道两端压力差对流量的影响

图 12 为流道两端压力差对流量的影响。由图 12 可以看出,流道两端压力差与流量成反比。因此改变机头的压力可以调整双螺杆的流量。

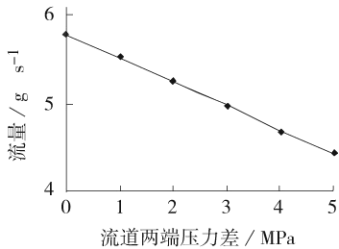


图 12 流道两端压力差对流量的影响

(2) 物料在啮合区进行了充分交换,有益于物料的改性。

(3) 流道压力分布明显受压力边界条件影响,而受螺杆转速的影响较小。

(4) 随着流道两端压力差的增加,物料的轴向速率和平均速率逐渐减小,随着两螺杆转速的增加,物料的轴向速率和平均速率逐渐增大。

(5) 螺杆转速与流量成正比,而流道两端压力差与流量成反比。

参考文献

1 陈晋南,胡冬冬.计算流体力学(CFD)及软件包在双螺杆反应器的应用.中国塑料,2001,15(12):12
2 翟金平,胡汉平.聚合物成型原理及成型技术.北京:化学工业出版社,2001.51

3 结论

(1) 物料在螺棱顶端的流动情况较复杂,该处具有较大的速度梯度和压力梯度,促进了物料的流动及混合。

CAE ANALYSIS ON THE PROCESS OF EXTRUSION FOR NON-INTERMESHING STAGGER SCREW OF TWIN SCREW

Zhu Xiangzhe, Xie Yujun

(School of Mechanical Engineering, Liaoning University of Petroleum & Chemical Technology, Fushun 113001, China)

Miao Yi

(Institute of Chemical Machinery, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

ABSTRACT Three-dimensional flow field of non-intermeshing stagger twin screw is analyzed by ANSYS soft, and the distributions of velocity field and pressure field are given. The effect of boundary conditions on velocity field, pressure field, and flow in the whole flow channel is discussed. The conclusions have certain instructional purpose on practice.

KEYWORDS twin screw, non-intermeshing stagger screw, extrusion characteristic, ANSYS soft

防水透气树脂革新传统雨衣

最近,日本三菱重工业公司研制出具有防水透气功能的高科技树脂。只要将这种被称为“形状记忆聚合物”的材料涂覆于面料表面,布料便不会透水,但湿气仍能从里向外透出,非常适合制作雨衣等服装。

该“形状记忆聚合物”的防水透气功能与人类的汗毛孔相似。低温时聚合物分子固定,抑制热量散失;高温时靠聚合物分子的运动产生空隙。因此,这种聚合物是利用热振动来提高布料的防水性和透气性的。该聚合物的分子空隙只有 0.35 nm,雨滴比其空隙大 1000 ~20 万倍,因而难以通过。

这种新型树脂的问世,对传统的雨衣、登山服、运动服等对透气防水要求性高的面料来说无疑是一场革命,未来的市场空间非常广阔。

(晓萌)

未来几年全球纳米材料将步入高速增长阶段

据美国商业通讯社(BCC)最新研究报告,2003 年全球纳米级材料、工具和设备市场需求总额达到 6 亿美元,预计今后几年将以 30.6% 的速度增长。BCC 称,2003 年全球纳米技术需求总额中,纳米材料占 98%。在纳米材料中,纳米管需求有望以年均 173% 的速度高速增长;其次是纳米复合材料,预测未来 5 年,年需求增长率将达 76%。(色通)