

工艺参数对聚合物气辅共挤成型的影响

肖 兵

尹智龙

(江西南昌工程学院机械与动力工程学院,南昌 330099) (江西蓝天学院机械工程系,南昌 330029)

摘要 利用流体力学有限元分析软件对二维气辅共挤出过程进行数值模拟,研究各工艺参数对聚合物气辅共挤成型的影响。结果表明,速度场的峰值和压力峰值会随着流量的增加而增加;气辅共挤时熔体流动稳定,呈柱塞状挤出;气辅共挤可以有效提高挤出速率,防止制品表面的“鲨鱼皮”现象。

关键词 聚合物 气辅共挤成型 CFD 数值模拟

英国的 R. F. Liang 等^[1]于 2000 年首次提出气辅挤出成型技术的概念并进行了相关研究。在口模挤出过程中,聚合物熔体和口模之间形成气垫膜层,从而将现有的非滑移黏着剪切口模挤出方式转化为气垫完全滑移非黏着剪切口模挤出方式,该技术是一种有效的减黏、降阻的手段^[2]。笔者通过计算流体力学有限元分析软件对二维气辅共挤出过程进行数值模拟,研究各工艺参数对聚合物气辅共挤出的影响,并与传统的共挤出工艺进行对比。

1 数值模拟

数值模拟采用无限宽共挤出流道的二维几何模型,如图 1 所示。口模尺寸为:AB=AU=BT=UT=CS=DP=EQ=FG=2 cm;CD=4 cm;DE=3.5 cm;EF=7 cm;BC=5.2 cm;收敛角(∠TSR)=60°;共挤出上下部分沿着直线 SG 对称。

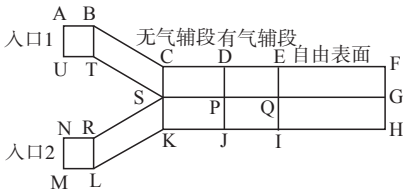


图 1 口模几何模型

1.1 有限元网格划分

口模几何造型和网格划分采用流体分析建模软件 GAMBIT 来完成,此类口模流动属于二维流动,选取八节点四边形单元,坐标原点取在 P 点(见图 1),纵坐标为 Y 轴,横坐标为 X 轴。在流体梯度变化较大的地方,如两种熔体的入口处(AU、MN)、气体入口处(DP、PJ)、口模出口处(EQ、QI),应当将网格划分的比较细密,初始网格的划分如图 2 所示。

1.2 材料特性

以低密度聚乙烯(PE-LD)、聚苯乙烯(PS)为对象对二维气辅共挤出成型过程进行模拟,PE-LD 从入口 1 进入,PS 从入口 2 进入。材料参数见表 1。

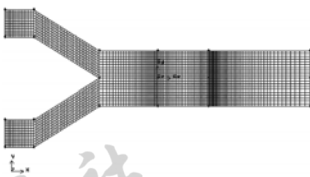


图 2 口模的网格划分

表 1 PE-LD、PS 的性能参数^[3-4]

材料	粘度 /Pa·s	非牛顿指数	松弛时间 /s	密度 /kg·m ⁻³
PE-LD	10 000	0.110	0.1	960
PS	44 700	0.294	2.06	970

1.3 边界条件

(1) 口模入口处

UA、MN 分别为两种熔体的入口,设定上、下两种聚合物的入口流量分别为 $Q_1 = 1 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、 $Q_2 = 1 \text{ cm}^3/\text{s}$ (流量比为 1:1); $Q_1 = 1 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、 $Q_2 = 3 \text{ cm}^3/\text{s}$ (流量比为 1:3); $Q_1 = 3 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、 $Q_3 = 1 \text{ cm}^3/\text{s}$ (流量比为 3:1)三种情况。并假设入口处的流动充分发展。分别对传动共挤和气辅共挤进行比较。

(2) 无气辅段口模内壁处

在无气辅段(CD、KJ),熔体和口模内壁之间没有相对滑移,即 $v_n = v_s = 0$,其中 v_n 、 v_s 分别为口模壁面处熔体的法向速度和切向速度。

(3) 有气辅段口模内壁处

在有气辅段(DE、JI)壁面形成了气垫层,以壁面处剪切应力为 0 来代替气垫层的作用。边界条件为: $\tau_{ns} = 0$, $v_n = 0$,其中 τ_{ns} 为滑移壁面处的剪切应力。

(4) 自由表面处

自由表面处需满足速度和应力边界条件,当不考虑表面张力时, $v_n = 0$, $\tau_{nn} = 0$,其中 τ_{nn} 为熔体的法向应力。

(5) 熔体出口处

FG、GH 分别为两熔体的出口,边界条件为: $v_n =$

0, $\tau_{nn}=0$ 。

(6) 两熔体的界面

SPQG 为两熔体的界面。运动学条件: 假定在界面上熔体流动没有穿透界面, 沿界面材料之间没有相对滑动, 界面上两种材料的切向速度相等。动力学条件: 界面两侧的切向应力和法向应力是连续的, 即界面两侧应力张量相等。

2 数值模拟结果及分析

2.1 流量比的影响

为了研究流量比参数对气辅共挤的影响, 选定边界条件中设定的三种熔体入口流量比, 在其它条件都不变化的情况下, 对传统共挤出和气辅共挤出进行了模拟比较。

(1) 流量比对速度场的影响

图 3 示出在 PE-LD、PS 两种熔体的入口流量比为 1:1、1:3 和 3:1 时, $X=-1\text{ cm}$ (无气辅段)、 $X=1\text{ cm}$ (有气辅段)、 $X=10\text{ cm}$ (自由表面段) 处 3 个截面的速度分布情况。

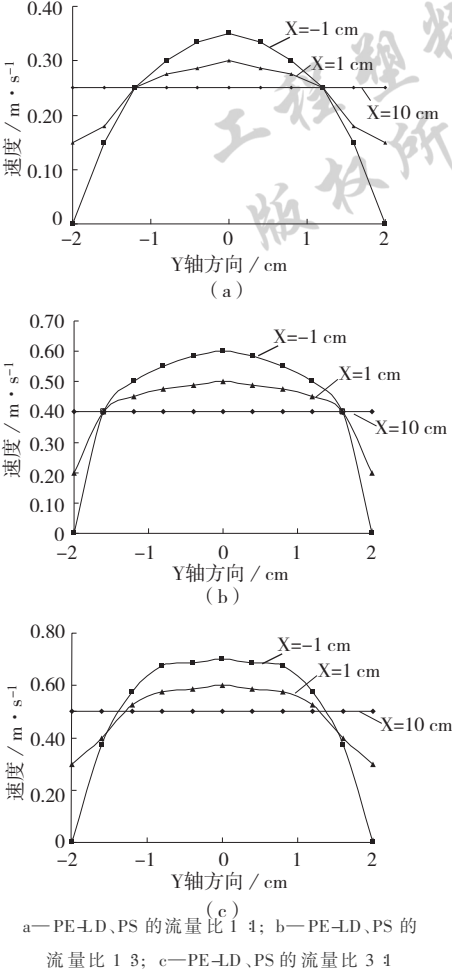
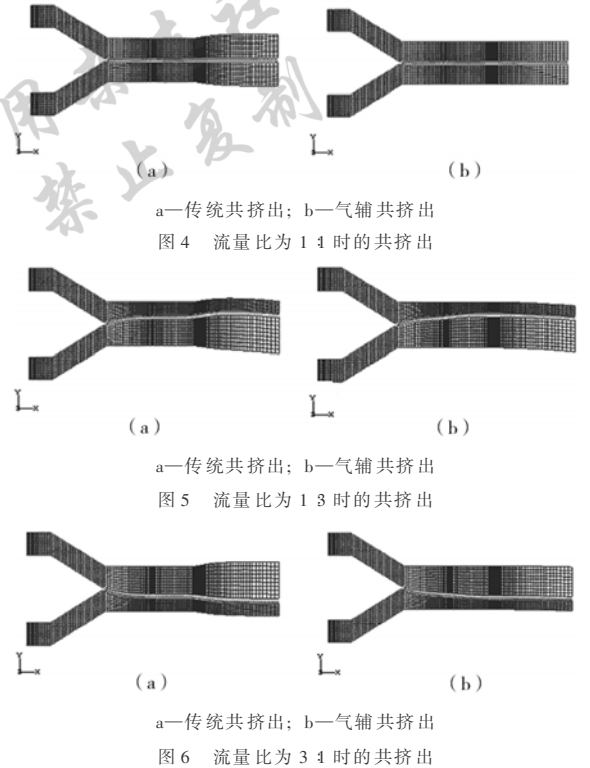


图 3 不同流量比时截面速度沿 Y 方向的分布图

由图 3a 可知, 在自由表面段, 速度分布基本一致。当 PE-LD、PS 两种熔体的入口流量比分别为 1:1 时, 比较无气辅段和有气辅段可以发现: 两者的速度场呈正态分布, 在理论界面 ($Y=0$) 处达到最大; 无气辅段边界处 ($Y=-2$ 和 $Y=2$) 的速度为 0, 气辅段约等于 0.15 m/s , 这说明有气辅段能够缓解熔体和壁面之间的黏着滑移; 传动共挤出段 (即无气辅段) 的速度峰值高于气辅共挤出段。由图 3b、图 3c 可知, 所选取的三个截面上的速度分布情况大致相同, 但是当总流量增加的时候, 其速度峰值在增加。

(2) 流量比对熔体界面分布的影响

图 4 ~ 图 6 示出 PE-LD、PS 两种熔体的入口流量比分别为 1:1、1:3 和 3:1 时, 传统共挤出和气辅共挤出的熔体界面分布对比。



由图 4 ~ 图 6 可知, 当流量比为 1:1 时, 气辅共挤和传统共挤时两熔体的界面都很平直, 但气辅共挤时熔体挤出口模后几乎没有变形, 说明气辅共挤能消除共挤出成型中的挤出胀大。由图 5、图 6 可知, 当流量比为 1:3 和 3:1 时, 气辅共挤和传统共挤两熔体的界面都变得不平整, 气辅共挤时界面在自由表面段扭曲更大, 但气辅共挤时界面扭曲曲率变化更连续。这说明两种熔体入口流量比的变化对于界面偏移有较大的影响, 气辅共挤成型界面扭曲变化较稳定。由图 5b、图 6b 可知, 在气辅挤出时, 模具

流道入口处,共挤出熔体的界面曲线变化很大,而在沿 X 轴方向接近模具中心部位界面变得近乎平直。因此在设计模具时,必须选定足够的模具长度才能获得稳定的共挤出界面。两种流体入口流量比的变化会引起共挤出界面位置和形状的变化。随着两种熔体流量差异的增大,界面位置偏移量增大,同时出口截面上熔体界面曲线的曲率增大。

(3) 流量比对剪切速率的影响

图 7、图 8 示出不同流量比时气辅共挤和传统共挤口模内壁处剪切速率沿 X 方向的分布。由图 7、图 8 可知,流量比变化时剪切速率会发生变化,在流量比为 1:3 和 3:1 时剪切速率的变化基本相似,但比流量比 1:1 时有所增加,这主要是因为入口处气体总流量增加,使口模内壁剪切速率增加。从图 8 可以看出,气辅共挤时,在无气辅段,气体入口处剪切速率急剧上升,出现峰值;在有气辅段,气体入口处熔体由非滑移状态突然变成完全滑移状态,剪切速率有一个突然增加,在气体进入后剪切速率逐渐变为零,与入口流量无关,口模内壁出现完全滑移,挤出熔体呈柱塞状的挤出状态;而从图 7 可以看出,传统共挤沿口模内壁基本保持稳定,直到口模出口处剪切速率出现明显变化,有一个峰值,在离开口模后剪切速率迅速降为零。

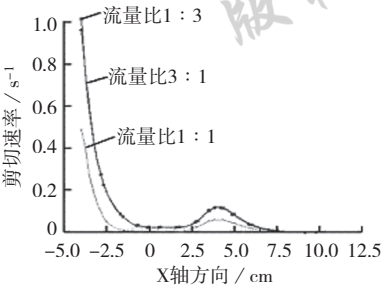


图 7 Y=0 传统共挤剪切速率

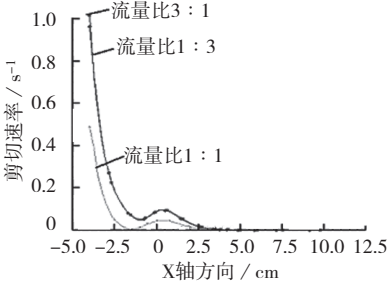


图 8 Y=0 气辅共挤剪切速率

气辅共挤时随着入口流量比的变化剪切速率会发生变化,但口模出口处的剪切速率都保持为零,这有助于提高挤出效率,对于一些低临界剪切速率的聚合物,共挤出有重要意义。

传统共挤口模出口处剪切速率急剧增加,当其超过某一限度时挤出物表面就会出现“鲨鱼皮”现象,而气辅共挤时,入口流量变化时口模出口处的剪切速率保持为零,尽管气体入口处的剪切速率会增加,但在有气辅段有足够的松弛时间,挤出物表面不易出现“鲨鱼皮”现象。

(4) 流量比对口模压降的影响

图 9、图 10 示出不同流量比时 Y=0 处气辅共挤压力沿 X 方向的分布。由图 9、图 10 可知,两种气体流量比下口模压降变化规律类似,在入口处压力最大,沿着 X 轴,在气体入口处压力逐步减小为零;随着共挤总流量的增加,其压力峰值随之增加。

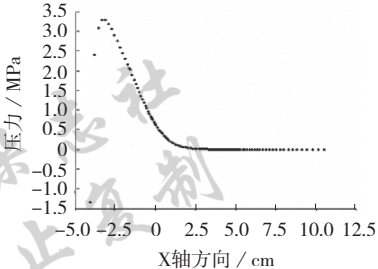


图 9 气辅共挤流量比 1:4 对口模压降的影响

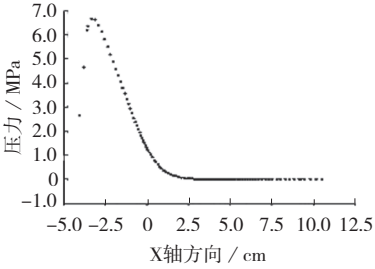


图 10 气辅共挤流量比 1:3 对口模压降的影响

2.2 熔体黏度对口模压降的影响

在选用的二维黏弹流体模型中,熔体的黏度、材料常数和黏度比率等物性参数对挤出过程有较大的影响。笔者通过改变熔体黏度,在流量比 1:1、除熔体黏度外其他条件不变的情况下,模拟了熔体黏度对气辅挤出时压降的影响。图 11、图 12 示出两种熔体黏度分别为 10 000、10 000 和 5 000、10 000 时气辅共挤 Y=0 截面沿着 X 方向的压力分布。

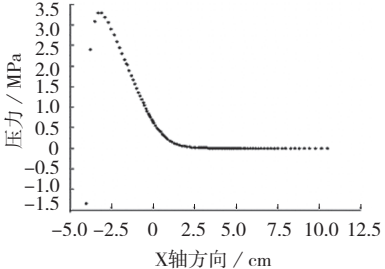


图 11 两种熔体黏度分别为 10 000、10 000 气辅共挤 Y=0 压力分布图

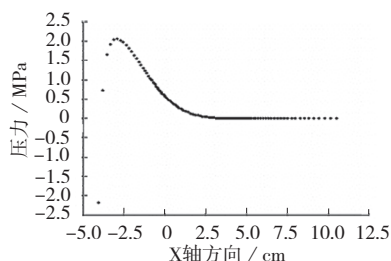


图12 两种熔体黏度分别为5000、10000气辅共挤Y=0压力分布图

从图11、图12可以看出,压力降只在无气辅段出现,在气体入口处逐渐降低为零;两者都是在入口处达到压力峰值,但是前者的峰值要比后者大,说明随着黏度的增加,口模压降会增加。

3 结论

(1) 随着两种聚合物熔体流量的变化,速度场发生了变化,随着总流量的增加,速度场的峰值增加,并且传统挤出段比气辅共挤段的增幅要大。

(2) 随着两种聚合物熔体流量的变化,传统共

挤和气辅共挤两种情况下两熔体界面都会发生偏移。并且随着总流量的增加而偏移变得更为严重,但气辅共挤下熔体界面曲率变化更光滑。

(3) 气辅共挤时,在入口流量变化时口模出口处的剪切速率都保持为零,有利于共挤出效率和消除“鲨鱼皮”现象。无论是气辅挤出还是传动挤出,口模压降都会随入口流量的增加而增加,熔体黏度的变化对口模压降也有较大的影响。

参考文献

- [1] Liang R F, Mackley M R. The gas-assisted extrusion of molten polyethylene[J]. *Journal of Rheology*, 2001, 45(1): 211 - 226.
- [2] Arda D R, Mackley M R. Sharkskin instabilities and the effect of slip from gas-assisted extrusion[J]. *Rheol Acta*, 2005, 44: 252 - 259.
- [3] 章本照. 流体力学中的有限方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.
- [4] 刘希云, 赵润祥. 流体力学中的有限元与边界元法[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1993.

EFFECT OF TECHNOLOGICAL CONDITIONS ON POLYMER GAS-ASSISTED COEXTRUSION

Xiao Bing

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China)

Yin Zhilong

(Department of Mechanical Engineering, Jiangxi Blue Sky University, Nanchang 330029, China)

ABSTRACT Gas-assisted co-extrusion molding (GACEM) process was numerical simulated by the FEM numerical analysis software, and the effects of the process parameters on the die swell were investigated. The simulation results showed that the peaks of the velocity field and the press increased as the flow ratio of two polymers increased respectively. The gas-assisted coextrusion could raise the extrusion efficiency and prevent the sharkskin phenomenon effectively.

KEYWORDS polymers, gas-assisted co-extrusion, CFD, numerical simulation

Duratel 公司推出直径 14 英寸的复合材料电线杆

近日,美国复合材料电线杆制造商 Duratel 公司宣布了其最新的复合材料电线杆,用于输配电。新产品比其他同类产品具有更强、更轻、更耐用、更具成本效益的特点。

复合材料电线杆安装时使用的安装设备和人力比其他产品少,并且从恶劣天气和自然灾害中恢复的速度比较快。Duratel 电线杆具有统一的直径和强度,从而消除了储存多个级别电线杆的需要。Duratel 杆可有多种应用,这样节省了为寻找某种特别级别的电线杆所需要的时间,并减少了库存。Duratel 产品比木材、混凝土和钢等同类产品更能够承受极端的气候条件,寿命更长。Duratel 的 11 英寸电线杆质量只有 136 kg,而同样大小的木质电线杆超过 454 kg,在安装和运输方面更具成本效益。(工塑)

中国推动全球尼龙 6 需求增长

据美国化学品市场协会(CMAI)预测,中国对尼龙 6 的强劲需求正推动尼龙 6 市场的日益增长。预计到 2015 年,全球的尼龙 6 需求年均增长速度将接近 5%。CMAI 指出,中

国对尼龙 6 的需求增长远远快于产能增长,致使中国不得不从国外大量进口尼龙 6。全世界的新增产能数比预测的全球尼龙 6 需求增长略有减少。

据预测,从现在起到 2015 年,全球对尼龙 66 的需求年均增长速度将接近 6%。2010 年,全球尼龙 66 供应受到了原料供应问题的制约,包括丁二烯缺货和各类主要中间体的生产问题等,但 2010 年的尼龙 66 需求基本保持平稳,需求和产能差距不像尼龙 6 那么大。(中聚)

阿科玛在华 PVDF 项目加速

阿科玛集团近日宣布,计划为其即将在江苏常熟建成的 Kynar PVDF 含氟聚合物生产厂进行扩能,到 2012 年中期将该厂产能扩大 50%。阿科玛称,新增产能是为了满足锂离子电池电极、光伏板背板和滤水产品制造企业的需求。初始产能将供应工业涂料市场。阿科玛最初在 2007 年宣布计划在其常熟生产基地内新建 Kynar 生产厂,当时拟定的投产时间是 2011 年 3 月。阿科玛还在美国肯塔基州 Calvert City 和法国 Pierre - Benite 建有 Kynar 生产厂。(中聚)