

L型宽幅片材挤出机头优化设计及流场模拟

林广义,董方晨,张士杰,刘 峰

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:构建 L 型宽幅片材机头的三维物理模型,利用 ANSYS WORKBENCH 和 POLYFLOW 软件对机头内部速率流体的压力场和速度场进行模拟。分析结果表明,当口模高度为 4 mm、阻尼高度为 3.5 mm、主流道首末端直径比为 1.2:1~1:1 时,L 型机头具有较好的挤出效果。

关键词:L 型机头;有限元分析;流场模拟;参数优化

中图分类号:TQ330.4+1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2015)04-0235-05

挤出机头在聚合物成型中占有十分重要的地位。L 型机头广泛应用于橡胶板/片生产。20 世纪 80—90 年代我国引进了多套 L 型机头橡胶片材生产线,并在此基础上实现了国产化^[1-2]。随着高分子材料加工机械的发展,L 型宽幅机头将受到更多关注。

衡量挤出质量的重要指标之一是高分子材料的流动均匀性,而流动均匀性又直接受机头流道的压力和速度分布均匀性的影响。杨卫民等^[3-4]通过建立物理模型,利用理论知识和计算机求解,确定了 L 型机头流道几何尺寸的合理性;并借助有限元方法对 L 型挤出机头中的胶料流动均匀性进行了分析,从而对 L 型机头的结构进行优化,提高了产量。董传涛等^[5]根据 L 型机头的阻尼特点,研究了阻尼与温度的关系,进而提高了物料在机头中分布的均匀性。张冰等^[6]利用计算机技术对 L 型挤出机头中物料的温度分布进行了模拟。尽管国内学者针对 L 型机头做了很多工作,但在机头优化设计方面仍有不足之处,尤其在流道的压力场和速度场分析方面有待进一步研究。

本工作主要从数值模拟的角度出发,应用 SOLIDWORKS 软件对 L 型机头流道进行构建,

运用 ANSYS WORKBENCH 和 POLYFLOW 软件对 L 型机头的压力场和速度场进行模拟,得到一系列不同截面的压力和速度曲线,并通过变换机头流道参数实现 L 型机头的优化。

1 模型建立

1.1 机头内部流道数学模型

在三维直角坐标系中建立 L 型机头内部流场的几何模型,如图 1 所示。

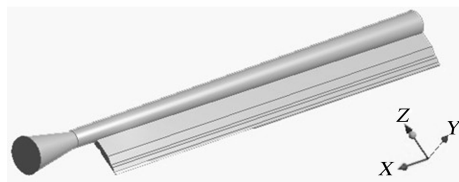


图 1 流道内部几何模型

在计算和分析中 X、Y 和 Z 方向始终保持不变。取机头口模开口为 3 mm,出片宽度为 1 370 mm。其中,圆锥形流道称为主流道,物料由入口流入且沿 X 轴负方向移动;与主流道相接的称为小流道,物料在入口进入时,一方面填满主流道,另一方面沿 Z 轴负方向运动填满小流道。在小流道上有一个阻尼结构,可使物料运动更为均匀,阻尼块沿 X 轴负方向由高且窄逐渐变为低且宽,直至与小流道的底部平齐。

高聚物熔体在口模中流动的控制方程如下^[7]。

连续性方程:

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (1)$$

基金项目:青岛市科技发展计划项目[12-1-4-3-(30)-jch];中国博士后科学基金资助项目(2013M541882);山东省自然科学基金资助项目(ZR2013EMM002)

作者简介:林广义(1975—),男,山东青岛人,青岛科技大学副教授,博士,主要从事高分子材料成型技术研究工作。

动量方程:

$$\rho(\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla \bar{v}) = -\nabla \cdot \tau - \nabla P \quad (2)$$

$$\nabla = \delta_1 \frac{\partial}{\partial x} + \delta_2 \frac{\partial}{\partial y} + \delta_3 \frac{\partial}{\partial z}$$

式中 $\bar{v}$ ——速度矢量, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;

t ——时间, s ;

ρ ——流体密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

τ ——应力张量, Pa ;

P ——压力, Pa ;

∇ ——微分算子;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ ——单位矢量。

胶料在流道中流动符合如下幂率规律^[8]:

$$\eta = \eta_0 (1 + \lambda^2 \dot{\gamma}^2)^{(n-1)/2} \quad (3)$$

式中 η ——剪切粘度;

η_0 ——零剪切粘度;

λ ——松弛时间;

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率;

n ——幂率指数。

1.2 材料性能

随着流体动力学和计算机软硬件技术的发展,越来越多的计算流体动力学软件用于聚合物加工的模拟分析,进而指导机头流道的设计^[9]。本研究所选取的物料密度为 $1\,066\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。采用 POLYFLOW 中非牛顿幂率粘度模型 Bird-Carreau 模拟物料的流变特性。其中幂率指数为 0.385 ,粘度为 $10^6\text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

1.3 单元划分

将 L 型机头流道整体进行四面体单元网格划分,划分后的网格有限元模型有 $42\,089$ 个单元,如图 2 所示。



图 2 流道网格划分

1.4 边界条件

依据壁面不滑移原理,除了进口和出口两个面外,其余各面的速度均为零^[10]。入口施加压力为 17 MPa ,出口压力为零。

2 L 型机头优化设计

为了更精确地表示机头流道内部的压力场和速度场,将整个机头流道沿 X 轴方向依次划分出 5 个不同的截面,如图 3 所示,并在垂直于 X 轴方向上再划分出 6 个不同的截面,如图 4 所示,分别取得各个截面上的压力和速度曲线。

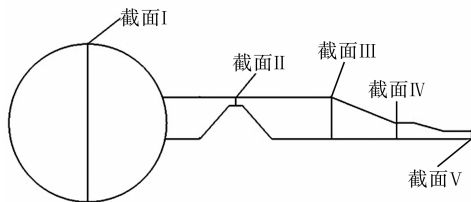


图 3 X 轴方向截面示意

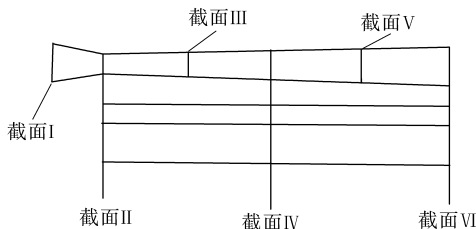


图 4 垂直于 X 轴方向截面示意

当口模高度为 3 mm 时, L 型机头流道的压力模拟分析结果如图 5 所示。

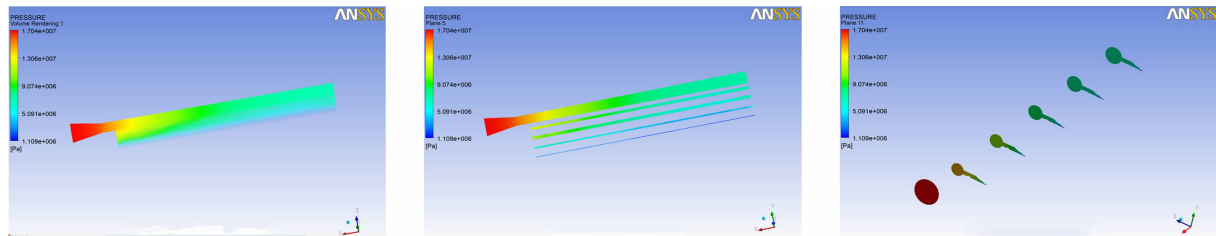
由图 5 可见,物料入口处所承受的压力最大,且沿轴向逐渐减小。对于小流道部分,物料刚进入小流道时的压力比出口处的压力大得多。这是由于小流道存在阻尼,离入口近的小流道部分受到阻尼力的作用较大,致使其压力分布比远离入口处的部分大,而因阻尼制约了靠近入口端的物料沿 Z 轴负向的运动,使得物料在轴向分布的不均匀度降低,物料可更均匀地被机头挤出。

当口模高度为 3 mm 时, L 型机头的速度模拟分析结果如图 6 所示。

由图 6 可见,由于主流道是圆锥管结构,在过渡区域中速度明显提升,并随着 X 轴负向速度逐渐降低。在小流道区域内,由于有阻尼板结构,使靠近入口处的物料速度有所下降,从而减小了轴向的速度分布差,在出口处的物料速度慢慢趋于一致,流动均匀性得到了保障。

2.1 不同口模高度下的压力场与速度场

分别取口模高度为 $3, 4, 5$ 和 8 mm 进行分

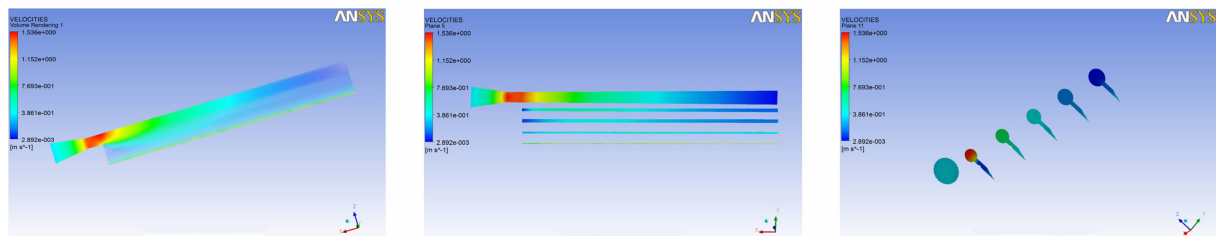


(a)整体压力分布

(b)轴向截面压力分布

(c)垂直于轴向截面压力分布

图 5 流道压力模拟分析结果



(a)整体速度分布

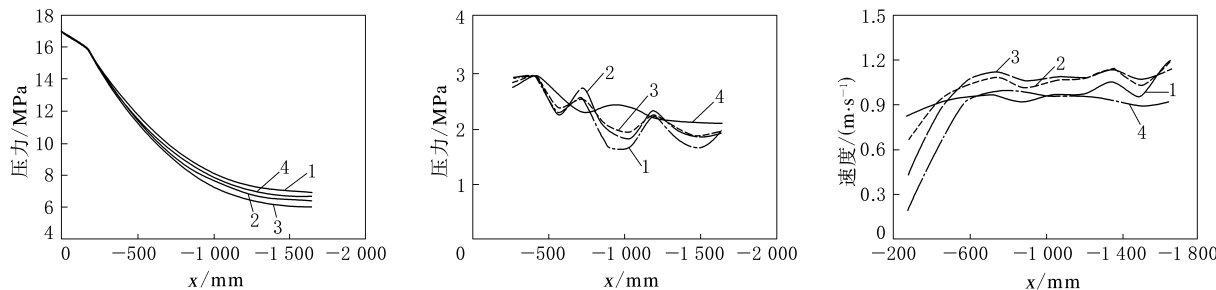
(b)轴向截面速度分布

(c)垂直于轴向截面速度分布

图 6 流道速度模拟分析结果

析,不同口模高度下主流道压力分布和出口处压力分布及速度分布曲线如图 7 所示。

由图 7 可见,在不同口模高度下,主流道所受压力最小值为6~7 MPa,当口模高度为3~5 mm



(a)主流道压力

(b)出口压力

(c)出口速度

口模高度/mm:1—3;2—4;3—5;4—8。

图 7 不同口模高度下的流道模拟分布曲线

时,挤出产量最大,且口模高度为 3 mm 时的出口速度相对最均匀、平稳,因此可得到挤出产量最大时口模高度约为 4 mm。

2.2 不同阻尼高度下的压力场与速度场

阻尼在 L 型机头中起到至关重要的作用,物料流动的均匀性以及挤出产量都受到阻尼的影响。本研究设计阻尼高度分别为 3,4,6 和 8 mm。不同阻尼高度下的流道模拟分布曲线如图 8 所示。

由图 8 可见:当小流道中阻尼板高度为 8 mm 时,主流道压力差很大,虽然出口处压力分布

比较均匀,但是出口处的物料挤出速度较慢;当阻尼板高度为 3 和 4 mm 时,主流道压力分布差较小,且物料挤出的横向均匀性基本一致,因此合适的阻尼高度为 3.5 mm 左右。

2.3 不同主流道首末端直径比下的压力场与速度场

由于 L 型机头的主流道是圆锥形管道,一般的设计尺寸为入口直径 120 mm、末端直径 80 mm,主流道首末端的直径比也直接影响物料在机头中的压力和速度。设计主流道首末端直径比为 2 : 1,1.5 : 1,1.2 : 1 和 1 : 1,入口直径都为

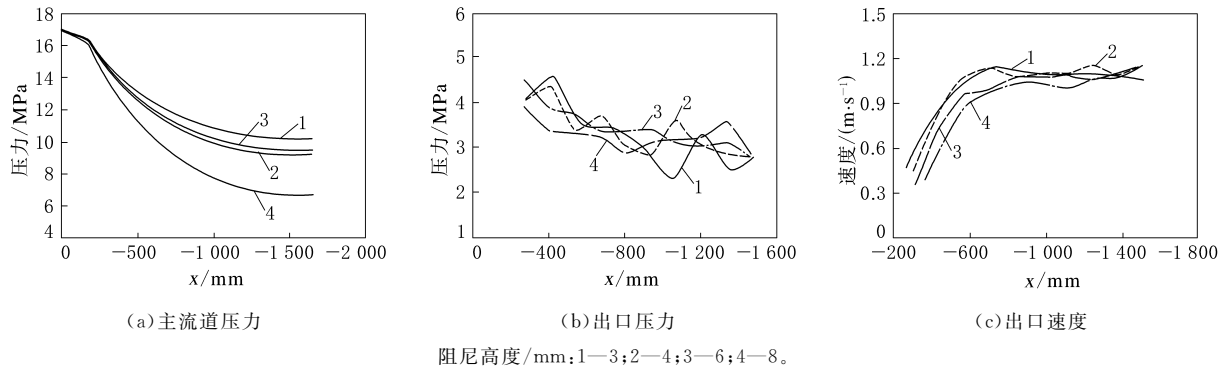


图8 不同阻尼高度下的流道模拟分布曲线

120 mm。不同主流道首末端直径比下的流道模拟分布曲线如图9所示。

由图9可见:当主流道首末端直径比为2:1时,主流道压力差很大且出口压力分布不稳定,不

利于物料良好地挤出;当主流道首末端直径比在1.2:1~1:1时,主流道压力差分布较好,出口挤出物料量大,可使物料更均匀地挤出。因此确定主流道首末端直径比为1.2:1~1:1。

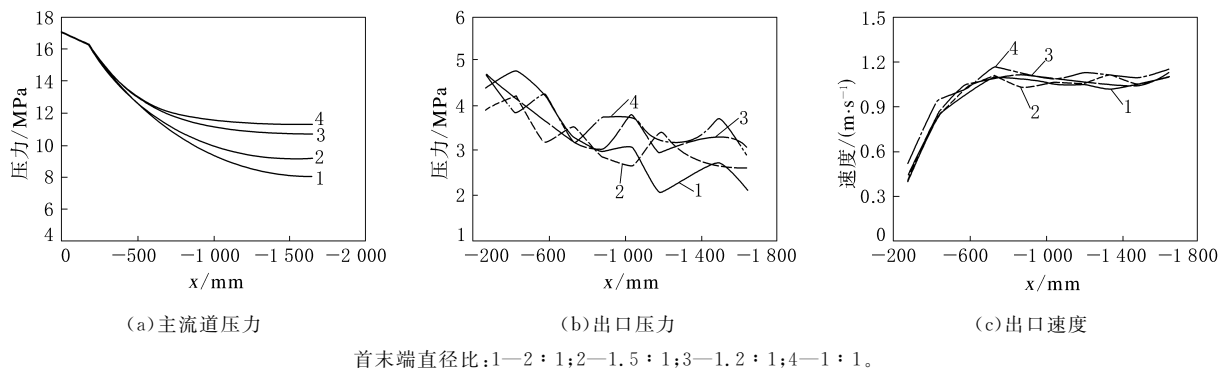


图9 不同主流道首末端直径比下的流道模拟分布曲线

3 结论

利用SOLIDWORKS软件对L型机头流道进行物理建模,应用ANSYS WORKBENCH和POLYFLOW软件进行压力场和速度场的模拟。结果表明,当口模高度为4 mm、阻尼高度为3.5 mm、主流道首末端直径比为1.2:1~1:1时,L型机头具有较好的挤出效果,为L型机头的优化设计提供了可靠的理论依据。

参考文献:

[1] 庞正齐,徐建月. 高分子材料在防水中的应用[J]. 新型建筑材料,1998(9):13.
[2] 高正志,林育江. 橡胶防水片材挤出连续硫化生产线的国产化[J]. 中国建筑防水,1997(1):29.

[3] 杨卫民,程源. L型机头的研究与设计[J]. 特种橡胶制品,1991,12(4):37-41.
[4] 杨卫民,程源. L型挤出机头中胶料流动的均匀性分析[J]. 橡胶技术与装备,1991,17(3):12-17.
[5] 董传涛,程源. L型机头阻尼板的调节与温控研究[J]. 特种橡胶制品,1991,12(5):49-51.
[6] 张冰,江波,许澍华. L型挤出机头中物料温度分布的研究[J]. 橡胶工业,2002,49(7):415-419.
[7] 张先明,陆永胜,贾毅. 片材机头中物料温度分布的模拟分析[J]. 塑料科技,2004(5):30-31.
[8] 钱欣,徐王定,金阳福. POLYFLOW基础及其在塑料加工中的应用[M]. 北京:化学工业出版社,2009:235-236.
[9] Gifford W A. A Three-dimensional Analysis of Coextrusion in a Single Manifold Flat Die[J]. Polymer Engineer and Science, 2000,40(9):2095-2100.
[10] 宿果英,杨卫民,丁玉梅. L形片材挤出机头流道压力分布三维有限元分析[J]. 合成橡胶工业,2001,24(5):288-290.

收稿日期:2014-10-29

Optimized Design and Flow Field Simulation of L-Type Wide Extrusion Die

LIN Guang-yi, DONG Fang-chen, ZHANG Shi-jie, LIU Feng

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: A three-dimensional physical model for L-type wide extrusion die was established, and the pressure field and velocity field of internal power-law fluid were simulated by ANSYS WORKBENCH and POLYFLOW software. The analysis results showed that, when the die height, damping height and the ratio of start diameter and end diameter of the mainstream channel were 4 mm, 3.5 mm, 1.2 : 1 ~ 1 : 1, respectively, the extrusion result was good.

Key words: L-type extrusion die; finite element analysis; flow field simulation; parameter optimization

乙丙橡胶从紧缺走向过剩

中图分类号: TQ333.4 文献标志码: D

对国内乙丙橡胶(EPR)行业来说,最重要的消息莫过于2015年宁波爱思开合成橡胶有限公司、朗盛化学(中国)有限公司即将有新产能投放市场。加上2014年年底投产的上海中石化三井弹性体有限公司(以下简称三井公司)EPR装置、中石油吉林石化公司C线EPR装置,国内EPR产能将集中释放。一直依赖进口的EPR行业的对外依存度将降低。

(1)国内余量超过3万t。2014年年底到2015年一季度,国内有一批三元乙丙橡胶(EPDM)新建装置产品投入市场。三井公司7.5万t·a⁻¹装置经过调试和试生产,2014年12月中旬正式投产。据悉,装置开车先排产2060M,其他生产牌号都是三井公司的常规牌号。宁波爱思开合成橡胶有限公司5万t·a⁻¹EPDM装置原计划于2014年9月建成,11月投产,但从目前来看投产时间将延至2015年一季度。朗盛(常州)有限公司年产16万t EPDM项目进展顺利。该公司计划在国内10个不同地区召开10场产品推介会议,以技术推广为切入点,引导用户需求,为下一步产品正式投放市场奠定技术基础。结合市场需求和生产开工情况,新装置估计将释放商品量20.6万t。短期内如此众多的产能释放,将导致市场供应过剩。2015年国内市场将有3万多吨的产品余量。

(2)国外产品占据高端。作为自给率较低的合成橡胶,EPR 2013年进口量达到23.0万t,国产EPR销售量仅2万多吨,出口量也只有0.13

万t,而国内市场表观消费量25.37万t,自给率不足10%。2014年我国累计进口EPR 25.33万t,同比增长7.8%。造成这种状况的根本原因是国内产品结构单一,覆盖面窄,应用领域受到限制。目前国产EPR只在轮胎、电线电缆和橡胶杂件领域占有一些市场份额;在用胶量最大的汽车零部件领域,仅有3080和3092E两个品种,并且只能把一小部分中低档产品作为目标市场,其他95%以上的国内市场则长期被进口产品所占据。虽然国内产品自给率大幅度提高,但进口数量不会大幅度减小。一是非一般贸易EPR占进口总量的30%左右,国产EPR难以挤出这部分资源;二是海外装置集中投产使市场竞争更加白热化,亚洲将是争夺的主战场;三是埃克森美孚、陶氏、锦湖、埃尼等产品在国内有稳固销售渠道,短期不会退出中国市场。

(3)下游需要难以放量。EPR的主要应用领域是汽车行业,占总需求量60%左右的份额。中国汽车工业协会预计2015年整车市场的销售量增速在7%左右,同时国内汽车企业陆续公布的2015年汽车销售量目标增速也大幅下调。2015年中国汽车市场呈现低速增长态势几成定局。

2014年年底,一直强调不会限购的深圳市突然宣布限购,想必2015年还会有一些城市加入限购行列,这让汽车市场雪上加霜,进而会影响对上游原料如EPR的需求。单纯从EPR产量上看,国内产能基本可以满足市场需求,对外依存度将大幅度降低。但国外产品凭借技术优势仍将大量涌入,市场厮杀将更加激烈。

(摘自《中国化工报》,2015-02-04)