

文章编号 1000-5013(2005)02-0172-04

# 流线型挤出模曲面构造

刘 斌 郑清娟 刘 华

(华侨大学机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

**摘要** 根据塑料挤出的特点,在编程实现对型材截面轮廓凹凸性自动判断的基础上,采用射线法与比例间隔法相结合的方法,确定流道入口圆周上型值点的位置.以三次多项式作为流道模腔型曲线的数学模型,依据流线型要求给出的初始、边界条件,得出型曲线的数学方程.构建了挤出模流道的三维参数化曲面模型.有限元分析结果显示,该方法创建的流线型流道模型,其流动稳定性和平顺性都优于直线型流道.

**关键词** 流线型挤出模, 型值点, 参数化建模, 曲面

**中图分类号** TB 21; TB 322

**文献标识码** A

在挤出成型技术中,模头设计是挤出工程的一个重要环节.模具流道的流线型设计是挤出模设计的基本要求和原则,构造模具曲面是流线型挤出模设计,也是开发其 CAD/CAE/CAM 系统的关键<sup>[1,2]</sup>.其中,机颈段流道模型构建是整个流道模型构建的难点.这一段流动由入口的圆形逐渐过渡到类似于型材产品截面的形状,变化大,结构复杂,建模比较困难.本文主要针对这一段的建模进行研究.针对已有方法的局限性,在编程实现对截面轮廓自动判定凹凸性的基础上,对截面上的凸凹点分别处理,确定其在入口圆周上的位置.采用三次多项式拟合模具型腔曲面的型曲线,实现流线型挤出模流道的三维参数化模型的自动构建.

## 1 流线型挤出模曲面构造

机颈的入口截面是圆形,如何在入口圆周上确定与出口截面上各点的对应点(也称型值点),是机颈流道形成的关键技术之一.另外一个关键技术在于确定用什么样的曲线来连接入、出口的对对应点来构造型腔曲面.

### 1.1 入口圆周上型值点确定方法

对于凹形截面,确定其入口圆周上的型值点相对比较麻烦一点,而凸形截面就简单的多.下面介绍两种常用的方法.一种是比例间隔法,这种方法简单实用,容易理解.其缺点在于入口圆周上和出口截面上对应的起始点位置的任意性,容易导致流道扭曲变形.另一种为射线法,该方法不但容易确定入口截面上各对应点的位置,具有流线型结构,还比较符合流率平衡原则.其不足之处在于只适用于截面为凸形的型材.为了弥补射线法和比例间隔法各自的不足之处,英国 Dundee 大学的 Chan 和 Hon 提出一种综合比例法与射线法两者长处的改进方法——混合法<sup>[3]</sup>.该方法发挥了两者的长处,克服了其各自的不足,是一种很好的方法.

### 1.2 截面凹凸性判断

为了便于判断截面的凹凸性以及凹形截面中凸凹点的进一步判断,在读入截面轮廓各点坐标后,首先对各个型值点按照顺时针或者逆时针的顺序进行排序.把排序后的型值点坐标存入数组.对截面凹凸性的判断依据采用图形顶点内角  $\theta$  的大小,如果图形截面上任一端点的内角  $\theta > 180^\circ$ ,则可以判断该

收稿日期 2004-09-27

作者简介 刘 斌(1972),男,讲师,主要从事模具 CAD/CAE 和材料成型数值模拟的研究. E-mail: mold\_bin@hqu.edu.cn

基金项目 福建省青年科技创新基金资助项目(2004J035)

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

截面为凹形, 该点就为凹点. 内角  $\theta$  大小的判断依据为直线段端点与相邻两点组成向量的向量叉积<sup>[4, 5]</sup>. 如图 1 所示, 假定截面各点已经按顺时针方向排序完毕, 设第  $I(x_i, y_i, z_i)$  点的内角为  $\theta$ , 其前一点为  $I-1$  点, 坐标为  $(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$ ; 后一点为  $I+1$  点, 坐标为  $(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$ . 点的凸凹性判断函数为

$$\Delta = (x_i - x_{i-1})(y_{i+1} - y_i) - (x_{i+1} - x_i)(y_i - y_{i-1}).$$

当  $\Delta \geq 0$  时, 该点为凸点; 当  $\Delta < 0$  时, 该点为凹点. 如果所有型值点均为凸点, 则该截面为凸形; 否则, 为凹形截面.

1.3 入口圆周上型值点坐标计算

对于凸形截面, 在给定出口截面上型值点的坐标和入口圆周的半径之后, 可以很容易地以射线法求出入口圆周上与之对应点的坐标. 如图 2(a) 所示, 设出口截面上点  $P_1(x_1, y_1)$ , 入口圆周半径为  $R$ ,  $O$  为出口截面图形的形心. 根据几何关系, 可得出入口圆周上对应点  $P_0(x_0, y_0)$  有

$$x_0 = R \cdot \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}, \quad y_0 = R \cdot \frac{y_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} \tag{1}$$

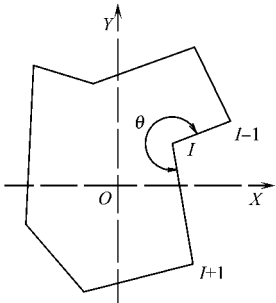
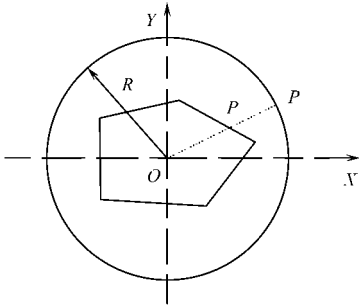
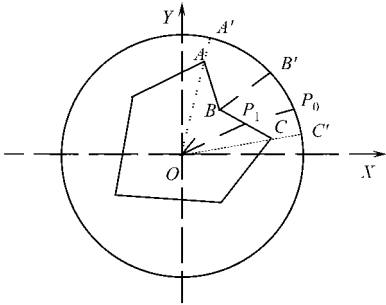


图 1 凸凹点判断示意图

对于凹形截面中的凸点, 其处理方法同凸形截面中点的处理方法, 直接采用射线法处理即可. 对于其中的凹点, 则需用比例间隔法处理. 如图 2(b) 所示, 设点  $A(x_A, y_A)$ ,  $B$



(a) 射线法求解示意图



(b) 比例间隔法求解示意图

图 2 入口圆周上型值点确定方法

( $x_B, y_B$ ),  $C(x_C, y_C)$  为出口截面图形上的 3 个直线段端点,  $O$  点为出口截面图形的形心, 位于坐标系原点. 端点与坐标原点和坐标系  $X$  轴正向形成的角度, 可用直线段端点坐标值的反正切函数求得

$$\begin{aligned} \angle COX &= \arctg(y_C/x_C) = \theta_C, & \angle AOX &= \arctg(y_A/x_A) = \theta_A, \\ \angle BOX &= \arctg(y_B/x_B) = \theta_B, & \angle P_0OX &= \arctg(y_0/x_0) = \theta \end{aligned}$$

由此, 可以判断出  $A, C$  两点为凸点,  $B$  点为凹点. 对于  $B$  点以及  $B$  点与  $A, C$  之间的点, 必须用比例法确定其在入口圆周上的对应位置. 设  $P_1(x_1, y_1)$  点为  $B$  点  $C$  点之间任一点, 用比例法求其在进口圆周上的对应点  $P_0(x_0, y_0)$ . 显然,  $P_0$  必须在点  $A'$  与点  $C'$  之间. 设比例参数为  $\lambda$ , 按比例法定义有

$$|P_1C|/(|AB|+|BC|) = LARC(P_0C')/LARC(A'C'),$$

式中  $LARC(P_0C')$  为  $P_0$  与  $C'$  点之间圆弧长,  $LARC(A'C')$  为点  $A'$  与  $C'$  之间圆弧长. 当  $\theta_A - \theta_C < 180^\circ$  时,  $\lambda = |P_1C|/(|AB|+|BC|)$ . 由  $\lambda = LARC(P_0C')/LARC(A'C') = \frac{\theta - \theta_C}{\theta_A - \theta_C}$ , 得  $\theta = \lambda(\theta_A - \theta_C) + \theta_C$ . 当  $\theta_A$

$-\theta_C > 180^\circ$  时,  $\lambda = |P_1C|/(|AB|+|BC|)$ . 由  $\lambda = LARC(P_0C')/LARC(A'C') = \frac{\theta_C - \theta}{360 - (\theta_A - \theta_C)}$ , 得  $\theta = \lambda((\theta_A - \theta_C) - 360) + \theta_C$ . 如果求得的  $\theta < 0$ , 则  $\theta = \theta + 360$ .  $\theta$  角得出后, 即可容易求出入口圆周上与出口截面上  $P_1(x_1, y_1)$  对应点  $P_0(x_0, y_0)$  的坐标为

$$x_0 = R\cos(\theta), \quad y_0 = R\sin(\theta). \tag{2}$$

这样, 无论是凸形截面还是凹形截面, 其型值点在入口圆周上的对应点的确定方法和坐标求解公式均已得到.

1.4 模腔曲面型曲线的数学描述

借鉴国内外学者的研究成果, 本文采用多项式作为型曲线方程的一般表达式. 根据流线型要求, 给出初始、边界条件以确定曲线参数. 型材截面图形复杂多变, 但一般可以用某一方程  $F(x, y, L)$  来表示,

其中  $L$  为流道机颈段的长度. 挤出流道的入口截面一般为圆形, 给定圆周的半径  $R$ , 以入口圆形截面形心为坐标原点, 以挤出方向为  $z$  轴方向, 即可以得到入口截面的方程  $F(x, y, 0) = x^2 + y^2 = R^2$ , 如图 3 所示. 进出口截面上相对应两点之间曲线上任一点的坐标, 可以由下面的方程得到, 即

$$F(x, y, z) = F(x, y, 0) \cdot v(z) + F(x, y, L) \cdot (1 - v(z)). \tag{3}$$

从熔体流动性考虑, 挤出流道表面轮廓最好是流线型变化, 因此  $v(z)$  必须是一个连续函数, 且具有边界条件为

$$v(0) = 1, \quad v(L) = 0. \tag{4}$$

为了保证熔体在挤出流道内的光顺流动, 避免流动速度的突变, 模具流道曲面的出入口切矢方向应该与挤出流动的方向保持一致, 即要满足如下的约束条件. 当  $z = 0$  和  $z = L$  时, 都有

$$dv(z)/dz = 0, \quad 0 \leq z \leq L, \quad 0 \leq v(z) \leq 1. \tag{5}$$

对型腔曲面轮廓的曲线表达, 一般采用分段直线、样条曲线、双曲线以及多项式函数等来表示流道型腔轮廓曲线. 其中多项式函数具有适应性强、应用范围广的特点, 可以拟合任意一条曲线. 为获得满足式 (4), (5) 条件要求的函数解析式, 可构造一般三次多项式为

$$v(z) = az^3 + bz^2 + cz + d, \tag{6}$$

其中  $a, b, c$  和  $d$  为待定系数, 可由初始边界条件求出. 最后可得

$$v(z) = 2(z/L)^3 - 3(z/L)^2 + 1. \tag{7}$$

已知入口和出口的截面表达式为  $F(x, y, 0), F(x, y, L)$ , 以及流道长度  $L$ . 那么, 相应的挤出流道中间轮廓任一点位置, 可由式 (3) 唯一确定. 由式 (3) 可得到  $P_0$  与  $P_1$  之间任一点的坐标  $P(x, y, z)$  为

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 \cdot v(z) + x_1 \cdot (1 - v(z)), \\ y &= y_0 \cdot v(z) + y_1 \cdot (1 - v(z)), \\ z &= z. \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

这样, 在式 (1), (2) 给出了进出口截面上各对应点坐标的情况下, 即可由式 (8) 得出曲线上的中间点坐标. 程序的输出模块可以把型曲线坐标数据, 以不同格式要求输出到文件, 便于其它 CAD, CAE 软件调用和进一步处理. 用 Pro/E 软件生成的凹形截面挤出模流线型流道三维模型, 如图 4 所示.

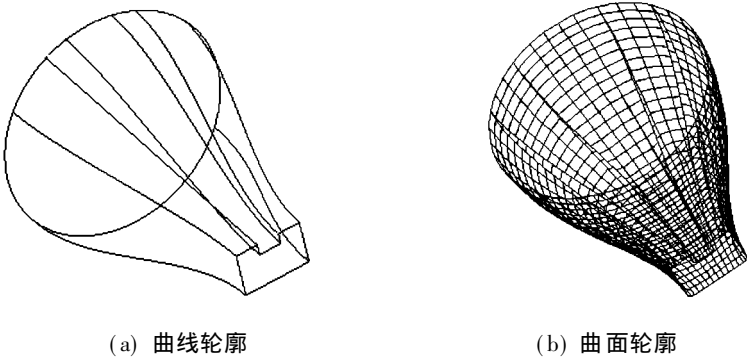


图 4 流线型挤出模流道模型

## 2 流道的流动稳定性分析和数值模拟

口模机颈段设计的主要目的和任务, 在于保证其流线型结构以使料流平稳、该段压力降最小. 下面通过对两种流道流场的数值分析结果的比较, 讨论流线型流道对挤出流动稳定性和平顺性的影响. 采用通用有限元软件 ANSYS 为分析平台, 以三维单元 Fluid 142 对流道进行网格划分. 在入口施加压力边界条件, 出口压力为 0, 以一个标准大气压作为参考压力. 以热力学温度为参考温度, 加工温度为 453 K (180 ℃). 其它与流道模壁相接触的面, 采用无滑移速度边界条件. 材料本构关系采用幂律模型, 在 180 ℃时熔体的名义粘度为 22 700 Pa·s, 幂律指数  $n$  为 0.42. 分析结果如图 5 所示<sup>[5]</sup>.

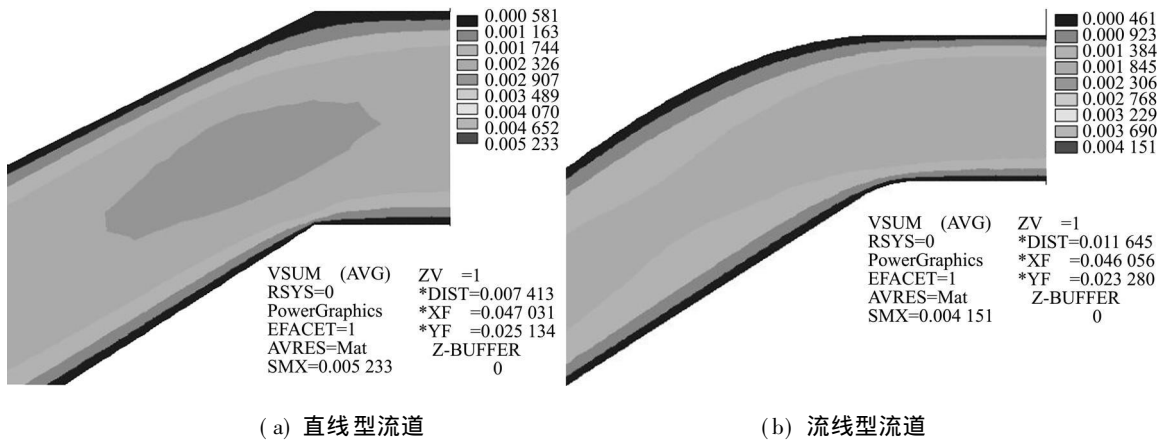


图 5 流道内的速度分布

从流道内的速度等值分布情况看, 直线流道的转角处, 速度有突变, 速度变化比较大. 流线型流道中的速度变化比较平顺, 其流动的稳定性要比直线型流道高, 流道没有死区, 不容易积料.

### 3 结束语

针对挤出模特点, 提出以三次多项式作为流道模腔曲面型曲线的数学模型. 依据流线型要求给出的初始、边界条件, 得出型曲线的数学方程. 在编程实现对型材截面外轮廓凸、凹性判断的基础上, 实现挤出模机颈段(过渡段)的参数化建模. 该方法既适合于凸形截面, 也适合于凹形截面, 具有较强的适应性. 数值分析结果显示, 该方法创建的流线型流道模型, 其流动稳定性和平顺性都优于直线型流道.

### 参 考 文 献

- 1 韩宝仁, 朱元吉, 冯连勋. 塑料异型材制造原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001. 272~ 308
- 2 申长雨. 塑料模具计算机辅助工程[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998. 111~ 136
- 3 Chan G S H, Hon K K B. Integration of computing techniques for plastics extrusion die design[J]. Computer Aided Engineer Journal, 1990, 7(4): 37~ 42
- 4 刘耀中. 塑料异型材挤出模模头的参数化特征建模研究[D]: [学位论文]. 大连: 大连理工大学机械工程学院, 2003. 51~ 60
- 5 刘 斌. 塑料挤出流动数值分析及其模具结构设计优化研究[D]: [学位论文]. 大连: 大连理工大学机械工程学院, 2003. 23~ 41

## Surface Construction for the Streamlined Extrusion Die

Liu Bin Zheng Qingjuan Liu Hua

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, 362021, Quanzhou, China)

**Abstract** Based on the characteristic of plastic extrusion, the convexity concavity of sectional profile of section bar is automatically estimated by programming. By adopting method of ray tracing in combination with method of proportional spacing, the offset points on the circumference of channel inlet are located. Taking cubic polynomial as mathematical model of the skeleton curve of channel modular cavity and according to initial condition and boundary condition given to meet the requirement of streamline, the mathematic equations of skeleton curve are obtained. And then, a three dimensional parameterized surface model is constructed for the channel of extrusion die. As shown by the result of finite element analysis, the streamlined channel model establishing by this method is better than linear type channel in stability and smoothness of its flow.

**Keywords** streamlined extrusion die, offset points, parameterized modeling, surface