

# 熔融挤压成形螺旋挤压机构设计

张国良,沈建宇,周 根,梅 柱,程晓民  
(宁波工程学院 机械工程学院,浙江 宁波 315016)

**摘 要:** 依据挤出理论和已有的经验,对螺杆的各个参数进行详尽的设计,将槽深激变型螺杆设计成三段:加料段、压缩段和计量段,并对此进行了较详细的分析,使得螺旋挤压机构具有很大的流量,且流量均匀。同时设计出喷头结构,系统控制借助于加工中心数控系统来实现。  
**关键词:** 熔融挤压成形;螺旋挤压;机构设计  
**中图分类号:** TH162      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1671-8798(2009)03-0289-04

## Design of screw extrusion mechanism based on melted extrusion modeling

ZHANG Guo-liang, SHEN Jian-yu, ZHOU Gen, MEI Zhu, CHENG Xiao-min  
(School of Mechanical Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo 351016, China)

**Abstract:** According to extrusion theory and current experience, every parameter of the screw was designed exhaustively and the slot deep upheaval screw was designed to three zones: feed zone, compression zone and metering zone. Also it was deeply analyzed and proved that it could increase the flux of the screw extrusion machine and the flux was well-proportioned. The nozzle structure was designed at the same time. System control was realized with the aid of machining center.  
**Key words:** melted extrusion modeling; screw extrusion; mechanism designing

挤压成形具有连续性和较高的生产率,其构造简单,操作亦比较容易。故借助于挤出机工作原理和设计经验来设计快速成形机的螺旋挤压机构。螺旋挤压机构主要包括三部分:主机部分、喷嘴部分和相应的控制系统。控制系统控制驱动螺杆的电机按照所需要的转速旋转,通过加热和温控系统保证熔料连续、稳定地从喷嘴挤出,这一功能通过加工中心数控系统来实现。螺旋挤压机构的每个部件的性能好坏都将直接影响快速制件的质量<sup>[1]</sup>。但在构成挤出机构的各个环节中,螺杆设计的好坏往往是关键的一环,螺杆参数和结构的优化能提高挤出机构

生产率,改善快速制件的质量<sup>[2]</sup>。

### 1 螺杆的设计

影响螺杆性能的参数有二十几种,其中包括螺杆参数  $D$ 、 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $H_1$ 、 $H_3$ 、 $\varphi$ ,工艺参数  $Q$ 、 $n$ 、 $p$ 、 $T_b$ ,物性参数  $K_s$ 、 $K_m$ 、 $T_s$ 、 $T_m$ 、 $\lambda$ 、 $\rho_s$ 、 $\rho_m$ 、 $C_m$ 、 $C_s$ ,还有间隙  $\delta$  等<sup>[3]</sup>。这些参数之间往往相互影响。因此,在借助于挤出理论指导螺杆设计的同时,必须依据已有的经验公式、经验数据和设计经验。普通常见的螺杆有 2 种类型,渐变型螺杆和突变型螺杆。考虑成形材料的性能,选用槽深渐变型螺杆<sup>[4-5]</sup>。

收稿日期: 2009-06-09  
作者简介: 张国良(1987— ),男,河南信阳人,本科生。  
通讯作者: 程晓民,教授,博士,主要从事液压成形和快速制造技术的研究。

### 1.1 螺杆直径 $D$ 的确定

不考虑逆流和漏流的影响,螺杆挤压机构的流量计算公式,可以写成:

$$Q = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 n H_3 \sin \varphi \cos \varphi \quad (1)$$

式(1)中: $Q$ 为螺旋挤压机构的流量; $D$ 为螺杆直径; $H_3$ 为螺槽深度。

在一般情况下,取螺距  $S$  等于螺杆直径  $D$ , 因此  $\varphi = 17^\circ 42'$ , 螺槽深度  $H_3 = K \times D$ ,  $K$  为比例系数,其数值介于 0.02 ~ 0.07 之间,将其代入式(1)并化简为:

$$Q = \beta D^3 n \quad (2)$$

当螺杆直径  $D$  的单位采用 cm, 螺杆转速的单位采用 r/min, 流量  $Q$  的单位采用 kg/h 时,反映螺杆参数和基础条件综合影响的系数  $\beta$  等于 0.002 ~ 0.004 5。当加工黏度较高的材料或螺杆转速较低时,  $\beta$  值可选大值。反之,当加工黏度较低的材料或螺杆转速较高时,  $\beta$  只可选小值。初步选择螺杆转速为  $n = 400$  r/min, 取  $\beta$  的值为 0.002。流量为  $0.5 \text{ cm}^3/\text{s}$ , 所用材料的密度约  $0.8 \text{ g/cm}^3$ , 那么, 算出  $Q = 1.44 \text{ kg/h}$ , 代入式(2), 可得螺杆的直径  $D = 1.21 \text{ cm}$ , 因此初步决定螺杆直径为  $D = 12 \text{ mm}$ 。

### 1.2 螺槽深度 $H$ 的确定

螺槽深度主要计算加料段槽深  $H$ , 计算段槽深  $H_3$ , 压缩段槽深  $H_1$  至  $H_3$  的过渡深度, 螺槽深度越小, 料层内部产生更多的热量越多。较小的螺槽深度意味着螺杆上料层较薄, 由外界加热器传进来的热量容易使熔料温度均匀, 出丝越均匀。设反流  $Q_p = 0.05Q$ , 当螺杆在匀速运动时有:

$$Q = Q_d - Q_p = Q_d - 0.05Q \quad (3)$$

$$Q_d = 1.05Q = \frac{\pi^2 D^2 n H_3 \sin \varphi \cos \varphi}{2} \quad (4)$$

$$H_3 = \frac{2.1Q}{\pi^2 D^2 n \sin \varphi \cos \varphi} = 0.775 \frac{Q}{n D^2}$$

$$\text{以 } Q = 0.5 \text{ cm}^3/\text{s}, n = 400 \text{ r/min} = \frac{20}{3} \text{ r/s},$$

$D = 1.2 \text{ cm}$  代入式(4) 得:  $H_3 = 0.05 \text{ cm}$ 。

加料段的主要目的是建立必要的压力和保证材料输送。材料输送速度并不随螺槽深度的增加而按比例的增加。相反,螺槽深度增大时,输送能力会降低。当加料段螺槽较深时,压力难以传至螺槽深处,靠近螺纹底面的材料运动速度较慢,这就降低了输送率。加料段的槽深  $H_1$  是根据压缩比  $\varepsilon$  和计量段槽深  $H_3$  来决定的,可用下式计算:

$$\varepsilon = \frac{(D - H_1) H_1}{(D - H_3) H_3}$$

$$\text{即: } H_1 = 0.5 [D - \sqrt{D^2 - 4\varepsilon H_3 (D - H_3)}] \quad (5)$$

根据资料,考虑到蜡料密度的变化、压缩性、回流等因素,让熔料体积压缩至密实状态,压缩比取  $\varepsilon = 1.5$ , 将  $H_3, D$  代入式(5), 得:  $H_1 = 1.58 \text{ mm}$ , 取  $H_1 = 1.5 \text{ mm}$ 。

### 1.3 螺杆长径比 $L/D$ 的确定和螺杆的分段

螺杆长径比  $L/D$  指的是螺杆的有效长度  $L$  和螺杆直径  $D$  之比。螺杆全长分为 3 段, 即加料段  $L_1$ 、压缩段  $L_2$  和计量段  $L_3$ 。压缩段指的是螺槽深度由加料段槽深  $H_1$  变至计量段槽深  $H_3$  的那一段长度, 目的是为了增加压力, 它是人为确定的一个长度。长径比加大后, 螺杆长度增加会增加螺杆的弯曲度, 造成螺杆与机筒的间隙不均匀, 有时会使螺杆刮磨机筒, 影响挤出机寿命; 螺杆、料筒的加工和装配都比较复杂, 成本相应要提高。因此, 长径比  $L/D$  的选择要综合考虑以上的影响, 尽量做到最优化。螺杆 3 段长度的确定和挤出工艺条件及成形料性能有密切的关系。现在所输送的材料是经预热的熔融态材料, 因此根据回流对流量影响程度, 只以  $L_3$  进行设计。

设反流  $Q_p \leq 0.05Q$ , 在螺杆匀速运动时得:

$$Q_p = \frac{\pi D H_3^3 \sin^2 \varphi}{12 \eta} \times \frac{p}{L_3} \leq 0.05Q \quad (6)$$

$$L_3 \geq \frac{\pi D H_3^3 \sin^2 \varphi}{0.6 \eta} \times \frac{p}{Q}$$

$$\text{由 } \dot{\gamma} = \frac{\pi D n}{H_3} = \frac{3.14 \times 2 \times 400}{0.1 \times 60} \approx 420 \text{ s}^{-1}, \text{ 当料温在}$$

$60^\circ \text{C}$  时, 可以得到:  $\eta = 0.002 \text{ kg} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ 。

将  $D, H_3, \varphi, p, Q$  代入式(6) 得:  $L_3 \geq 2.07 \text{ cm}$ 。由此可知, 在可能的条件下, 计量段长度越长, 对提高螺杆的产量和改善均匀度都越有利。从挤压机的发展趋势看, 螺杆的长径比约为 8 ~ 36, 且越来越大(世界上最大的长径比已达 43), 这里取:  $L_3 = 30 \text{ mm}$ 。

由于转速、产量、剪切速率、黏度和喷头压力之间互相影响。当转速下降时, 不仅产量降低, 而且黏度也会因剪切速率的降低而增高, 压力会适当减少, 它们之间并非线性关系。此外, 计量段长度又与螺杆总的长径比关系很大, 尤其是和计量段螺槽深度  $H_3$  的关系很大, 任何影响槽深  $H_3$  的因素都会反过来影响计量段长度。因此, 根据设计经验, 分配 3 段的长度如下: 加料段  $H_1$  20% ~ 30%, 压缩段  $L_2$  45% ~ 50%, 计量段  $L_3$  25% ~ 35%。

初步确定:  $L_1 = 0.25L$ ,  $L_2 = 0.40L$ ,  $L_3 = 0.35L$ , 则  $L = L_3/0.35 = 85.7 \text{ mm}$ , 取  $L = 86 \text{ mm}$ ,  $L_1 = 0.25L = 22 \text{ mm}$ ,  $L_2 = 0.4L = 34 \text{ mm}$ 。那么,  $L/D = 7.2$ 。

螺杆其他参数的确定如下: 螺距  $S$  取  $1.2 \text{ cm}$ , 螺旋升角  $\Phi$  为  $17^\circ 42'$ 。螺杆螺纹开头选择矩形断面。推进面的圆弧半径  $R_1$  取  $0.5 \text{ mm}$ ,  $R_2$  取  $1 \text{ mm}$ , 螺棱宽  $e$  取  $1.2 \text{ mm}$ , 轴向宽度  $b$  取  $1.26 \text{ mm}$ 。

## 2 螺杆和机筒的间隙选择

由流体动力学理论分析, 漏流正比于螺杆与机筒之间的间隙的三次方。因此, 如果间隙较大, 一方面生产率将明显下降, 甚至会达到完全无法挤出的程度; 另一方面, 聚合物在过大的间隙中时间也难以控制, 易于发生局部分解。

决定间隙主要根据所能达到的加工精度与装配精度, 例如, 螺杆的径向跳动  $\Delta_1$ , 螺杆外圆的制造公差  $\Delta_2$ , 机筒端面与轴线的不垂直度  $\Delta_3$ , 机筒内制造公差  $\Delta_4$  等。在装配时, 这些偏差形成累积误差, 这个误差和考虑热膨胀所必需的间隙  $\Delta_5$  加在一起, 即构成室温下的最大间隙  $\delta_{\max}$ :

$$\delta_{\max} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 \quad (7)$$

在不考虑螺杆外圆的制造公差  $\Delta_2$  和机筒内制造公差  $\Delta_4$  时, 即可得到室温下的最小间隙  $\delta_{\min}$ :

$$\delta_{\min} = \Delta_1 + \Delta_3 + \Delta_5 \quad (8)$$

热膨胀的螺杆与机筒所必需的间隙  $\Delta_5$  为:

$$\Delta_5 = D[\alpha_s(T_s - T_c) - \alpha_b(T_b - T_c)] \quad (9)$$

式(9)中:  $D$  为螺杆和机筒的名义直径;  $\alpha_s$  为螺杆材料的热膨胀系数;  $\alpha_b$  为机筒材料的热膨胀系数;  $T_s$  为螺杆工作温度;  $T_b$  为机筒工作温度;  $T_c$  为室温。

螺杆材料选  $40Cr$ ,  $\alpha_s = 12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ , 机筒材料为  $45^\#$  钢,  $\alpha_b = 11.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ , 螺杆和机筒的工作温度为  $T_s = T_b = 150^\circ\text{C}$ , 室温为  $T_c = 25^\circ\text{C}$ , 又  $D = 12 \text{ mm}$ , 则:

$$\Delta_5 = 12 \times [12 \times 10^{-6}(150 - 25) - 11.8 \times 10^{-6}(150 - 25)] = 0.0003 \text{ mm}$$

显然, 公差  $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ 、 $\Delta_3$  和  $\Delta_4$  与螺杆和机筒的制造、装配水平有直接关系。取螺杆制造精度为 IT7, 机筒制造精度为 IT8, 则:  $\Delta_1 = 0.012 \text{ mm}$ ,  $\Delta_2 = 0.018 \text{ mm}$ ,  $\Delta_3 = 0.015 \text{ mm}$ ,  $\Delta_4 = 0.027 \text{ mm}$ ,  $\delta_{\max} = 0.0735 \text{ mm}$ ,  $\delta_{\min} = 0.0275 \text{ mm}$

螺杆与机筒之间的间隙是随螺杆和机筒的磨损而变化的。由此可见, 在确定间隙时还应该考虑到材料的耐磨性和机器的寿命。间隙的影响是很大的, 它

直接影响到产量的高低和能量消耗的多少。

在设计螺杆时, 除要正确决定各几何参数外, 结构设计也很重要。在挤出过程中, 聚合物熔体从螺旋槽进入喷头流道时, 其料流形式急剧改变, 由螺旋带状流动变为直线流动。为得到较好的挤出质量, 要求料流尽可能平稳地从螺旋槽进入喷头; 为防止螺杆头部熔料流速较慢, 或者是产生漩涡状的流动, 导致滞留, 螺杆头部设计成锥头形状。为防止熔料从螺杆尾部漏出, 在螺杆尾部无螺纹部分使用螺纹密封, 可将漏入密封内的塑料推回螺杆的工作部分。

## 3 设计结果

设计的喷头结构如图1所示, 图2为挤压成形头内部结构实体图, 图3为控制系统示意, 图4为挤压成形头总装图。

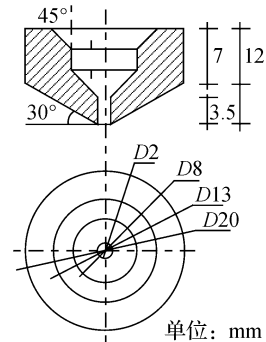


图1 喷嘴结构

Fig. 1 Nozzle structure

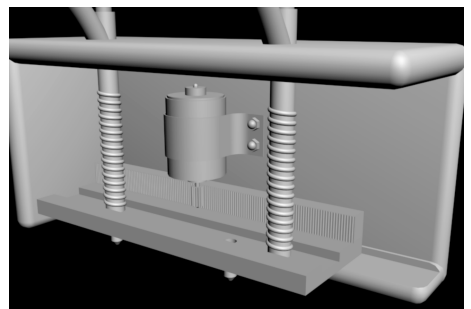


图2 挤压成形头实体图

Fig. 2 Entity of extrusion molding

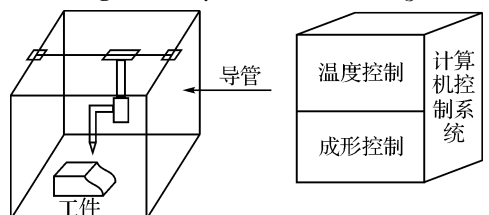


图3 控制系统示意图

Fig. 3 Sketch of control system

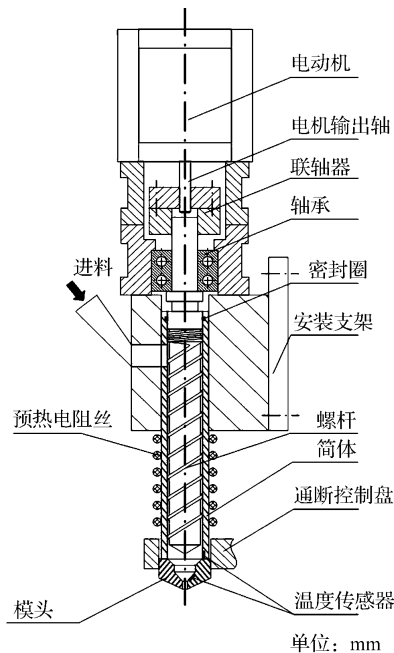


图 4 挤压成形头总装图

Fig. 4 Assembly drawing of extrusion molding

(上接第 248 页)

4 结 语

对油底壳拉延成形模使用过程中所出现的问题进行分析和修整,在设计和制造同类模具时应注意下列几点:

- 1) 根据工件工艺的要求,选取正确、合理的间隙。
- 2) 选取合适的凸、凹模拉延圆角。
- 3) 调整适当的压边力,增加分布合理的拉延筋。
- 4) 添加与拉延材料相适应的润滑剂。

油底壳成形模具较大,制作成本较高,生产周期较长。经修整压制出的产品达到图纸要求,经数千冲次观察,产品尺寸稳定,达到了修理的目的。由此

4 结 语

按照此设计制造出了螺旋挤压机构,并借助于加工中心的进给和控制系统进行了实验,结果显示挤压机构具有很大的流量,并且流量比较均匀,达到了预期的设计目标。

参考文献:

[1] 张永,周天瑞,徐春晖. 熔融沉积快速成型工艺成型精度的影响因素及对策[J]. 南昌大学学报,2007,29(3): 252-255.

[2] 刘斌,谢毅. 熔融沉积快速成型系统喷头应用现状分析[J]. 工程塑料应用,2008,36(12):68-71.

[3] 王平,沈晓阳. 双螺杆磨浆机设计理论的研究与进展[J]. 天津科技大学学报,2007,22(3):84-88.

[4] 郭永彪,范桢,董祥忠. 基于螺杆挤出塑化熔融沉积先进快速成型技术的探讨[J]. 现代制造工程,2007(12):61,67.

[5] 张磊,徐昌贵,仇毅. 基于 Pro/E 的分件供送螺杆的造型设计[J]. 包装工程,2007,28(5):70-72.

可见,通过改变模具拉延过程中的相关参数及模具结构,可以改善和提高产品质量。

参考文献:

[1] 吴诗淳. 冲压工艺学[M]. 西安:西北工业大学出版社,1999.

[2] 薛啟翔. 冲模制造实用技能[M]. 北京:机械工业出版社,2005.

[3] 彭建声. 冷冲压技术问答[M]. 北京:机械工业出版社,2006.

[4] 彭建声,秦晓刚. 模具技术问答[M]. 北京:机械工业出版社,2005.