

全电动注塑机两种射胶系统的分析

王 鹏 罗 飞 曹建忠

蔡文远

(华南理工大学自动化学院, 广州 510640) (深圳五洲龙汽车有限公司, 深圳 518116)

摘要 分析了全电动注塑机的两种射胶系统。结果表明, 高性能同步带的误差不会影响射胶精度; 多螺杆射胶结构可显著降低对滚珠丝杠副性能的要求; 多螺杆射胶结构的动态性能与单螺杆射胶结构差别不大。

关键词 全电动注塑机 射胶系统 滚珠丝杠副 螺杆

全电动注塑机具有注射精密、重复精度高、节省能源、噪音低、环保、生产周期短等优点, 是近年来注塑机发展的趋势^[1]。目前市场上的全电动注塑机主要以单螺杆射胶系统为主, 单螺杆射胶系统使用的是高性能的滚珠丝杠副, 这种高性能滚珠丝杠副能承受高载荷、短行程反复运动, 因而, 全电动注塑机的性能得到很大提高。国内厂商研发的全电动注塑机迟迟不能推向市场, 主要是由于滚珠丝杠副等关键部件需要进口, 其价格昂贵, 在成本方面不占优势。因此, 笔者分析用多螺杆射胶结构代替单螺杆射胶结构, 采用性能相对较差的多根国产螺杆代替进口螺杆, 以降低射胶系统对滚珠丝杠副的性能要求, 具有现实意义。

1 射胶系统分析

目前, 全电动注塑机采用的射胶结构基本由固定板、动板、熔胶桶、滚珠丝杠副、同步带和电机等组成。单螺杆的射胶结构如图 1 所示。多螺杆的射胶结构如图 2 所示。

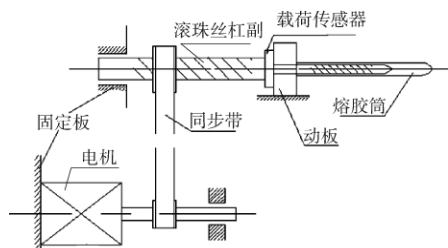


图 1 单螺杆射胶结构示意图

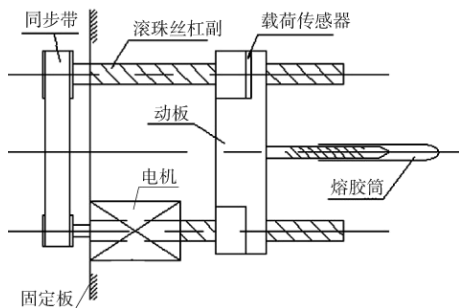


图 2 多螺杆射胶结构示意图

图 3 为射胶系统控制方式图。射胶系统可以大致分为两部分。一是由控制器、驱动器、电机和光电编码器构成的闭环回路部分, 即驱动部分; 另一部分是在闭环回路之外由同步带、滚珠丝杠副和射胶螺杆等构成的直线运动部分, 即传动部分。多螺杆的射胶系统与单螺杆的射胶系统大致相同, 只是使用多滚珠丝杠副取代单滚珠丝杠副。

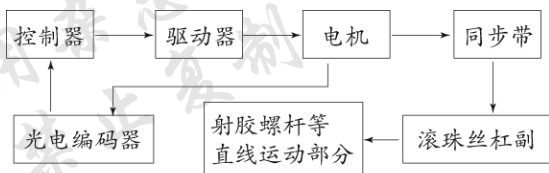


图 3 射胶系统控制方式图

1.1 驱动部分分析

驱动部分是全电动注塑机的关键部分。驱动部分的动态性能和控制精度将直接决定射胶速度和射胶精度。

单螺杆射胶系统和多螺杆射胶系统的驱动部分是相同的, 一般采用交流伺服系统, 它包括控制器、驱动器、交流永磁同步电机及光电编码器等。控制器结合光电编码器的反馈实现电机的位置、速度、转矩和电流控制。驱动器属于功率驱动单元, 用以驱动电机。光电编码器把电机的角度信号反馈给控制器。光电编码器采用绝对式编码, 精度一般在 12 ~ 20 位之间。交流永磁同步电机的特点是结构简单、运行可靠、易控制。伺服控制技术是决定交流伺服系统性能好坏的关键技术之一, 是国外交流伺服技术封锁的主要部分。国内在高性能永磁同步电机方面还不具备竞争力, 而且, 国外的伺服系统通常是成套销售, 不利于国内自行开发产品, 也为售后服务带来困难。

矢量变频器的出现使另一种驱动方式成为可能,即用控制器、矢量变频器、交流变频电机及光电编码器进行驱动。矢量变频器对电机的参数坐标进行变换,使电机定子的电流分解成励磁电流和转矩电流并分别加以控制。因此,交流电机伺服系统中交流电机的控制方法完全近似于直流电机伺服系统中直流电机的控制方法。高性能矢量变频器的出现使交流异步电机的控制变得简单易行。通过自行开发控制器,配置矢量变频器和交流变频电机,可开发出成本相对较低的伺服系统,从而拥有自己的核心技术^[2]。

1.2 传动部分分析

传动部分处于闭环回路外,无法通过反馈消除同步带和滚珠丝杠副的传动误差。因此,它将直接影响传动的精度。

1.2.1 同步带分析

同步带由一根内周表面设有等间距齿的封闭环形胶带和相应的带轮组成。同步带运动时,带齿与带轮的齿槽相啮合传递动力,是一种啮合传动,因而具有齿轮传动、链传动和带传动的优点。同步带传动具有准确的传动比,无滑差,传动效率高。同步带用于电机和滚珠丝杠副之间的传动。

带轮的加工误差会引起齿间偏差,从而造成射胶位置偏差。经滚珠丝杠副转化成直线运动的偏差 μ_k 为:

$$\mu_k = \frac{L}{(2\pi r)}(\mu_m + \mu_n) \quad (1)$$

式中: L ——滚珠丝杠副导程, m;

r ——从动轮的外半径, m;

μ_m ——主动轮偏差, μm ;

μ_n ——从动轮偏差, μm 。

以锁模力为 550 kN 的全电动注塑机为例,设 $L = 0.016$ m, $r = 0.153$ m, 则:

$$\mu_k \approx \frac{1}{60}(\mu_m + \mu_n) \quad (2)$$

由式(2)知,当同步带达到相当精度后, μ_k 会很小,可基本忽略不计。

1.2.2 滚珠丝杠副分析

(1) 滚珠丝杠副的作用

在整个射胶结构中,滚珠丝杠副是其中最重要的一环,其重要性表现在:①将电机的旋转运动转变为射胶的直线运动;②把粘度较高的塑性材料以高速射出。

因滚珠丝杠副在高载荷状态下以行程 20 ~150 mm、速度 200 mm/s 重复运动,要求滚珠丝杠副能在短行程下运动并具有良好的承受高载荷的能力。

(2) 滚珠丝杠副受力分析^[3]

假设射胶结构由 n 个滚珠丝杠副组成。作为一个整体,在射胶过程中,滚珠丝杠副将平均分担载荷。每个滚珠丝杠副承受的额定静载荷 C_{0s} 为:

$$C_{0s} = \frac{f_s P_m X}{n} \quad (3)$$

式中: f_s ——静安全系数;

P_m ——最大射胶压力, Pa;

X ——射胶面积, m^2 ;

n ——滚珠丝杠副个数。

每个滚珠丝杠副承受的额定动载荷 C_{am} 为:

$$C_{am} = \frac{f_s F_m^3 60 n_m L_h}{100 f_a f_c n} \quad (4)$$

式中: f_s ——载荷性质系数;

F_m ——每个滚珠丝杠副承受的当量载荷, N;

n_m ——当量转速, r/min;

L_h ——预期工作寿命, h;

f_a ——精度系数;

f_c ——可靠性系数;

n ——滚珠丝杠副个数。

由式(3)和式(4)可知,在相同的工作条件下,多螺杆射胶结构中每个滚珠丝杠副所承受的额定静载荷和额定动载荷是单螺杆射胶结构中的滚珠丝杠副承受载荷的 $1/n$ 。因此,多螺杆射胶结构降低了对滚珠丝杠副的性能要求。

1.3 射胶系统的转动惯量分析^[4]

射胶系统的转动惯量直接影响射胶速度的响应时间,进而影响产品质量,特别是薄壁产品的质量。

根据动能守恒定律,射胶系统等效系统的总转动惯量 J 为:

$$J = (J_m + J_{mp}) + \frac{n(J_{sp} + J_s)}{\alpha^2} + \frac{m_1 L^2}{(2\pi\alpha)^2} \quad (5)$$

式中: J_m ——电机的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$;

J_{mp} ——电机飞轮的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$;

n ——滚珠丝杠副个数;

J_{sp} ——从动轮的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$;

J_s ——滚珠丝杠副的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$;

α ——同步带的传动比;

m_1 ——射胶螺杆等直线运动部分的质量, kg;

L ——滚珠丝杠副导程, m。

以锁模力为 550 kN 的全电动注塑机为例,计算射胶系统的总转动惯量。

已知条件: $J_m = 0.159 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $\alpha = 4$, $m_1 = 95 \text{ kg}$, $L = 0.016 \text{ m}$, 从动轮的质量 $m_{sp} = 4.8 \text{ kg}$, 从动轮的外半径 $r_{sp\text{外}} = 0.153 \text{ m}$, 从动轮的内半径 $r_{sp\text{内}} = 0.063 \text{ m}$ 。

对于单螺杆射胶系统: $n = 1$, 滚珠丝杠副螺母的外半径 $r_{s\text{外}} = 0.063 \text{ m}$, 内半径 $r_{s\text{内}} = 0.04 \text{ m}$, 质量 $m_s = 0.95 \text{ kg}$ 。则直线运动部分的载荷和旋转运动部分的载荷折合的转动惯量分别为:

$$\frac{m_1 L^2}{(2 \pi \alpha)^2} \approx 3.85 \times 10^{-5} \approx \frac{J_m}{4130} \tag{6}$$

$$\frac{n(J_{sp} + J_s)}{\alpha^2} = \frac{n}{\alpha^2} \left[\frac{m_{sp}(r_{sp\text{外}}^2 + r_{sp\text{内}}^2)}{2} + \frac{m_s(r_{s\text{外}}^2 + r_{s\text{内}}^2)}{2} \right] = 0.0043 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \tag{7}$$

由式(6)可知,直线运动部分的载荷折合到电机轴上的转动惯量小于电机自身转动惯量的四千分之一,因此,可以忽略直线运动部分的载荷对系统动态性能的影响。将式(7)代入式(5)得单螺杆射胶系统的总转动惯量 $J_{\text{单}}$ 为:

$$J_{\text{单}} \approx (J_m + J_{mp}) + 0.0043 \tag{8}$$

对于双螺杆射胶系统: $n = 2$, 滚珠丝杠副丝杠的半径 $r_s = 0.04 \text{ m}$, 质量 $m_s = 18 \text{ kg}$, 则直线运动部分的载荷和旋转运动部分的载荷折合的转动惯量分别为:

$$\frac{m_1 L^2}{(2 \pi \alpha)^2} \approx 3.85 \times 10^{-5} \approx \frac{J_m}{4130} \tag{9}$$

$$\frac{n(J_{sp} + J_s)}{\alpha^2} = \frac{n}{\alpha^2} \left[\frac{m_{sp}(r_{sp\text{外}}^2 + r_{sp\text{内}}^2)}{2} + \frac{m_s r_s^2}{2} \right] = 0.01 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \tag{10}$$

由式(9)可知,直线运动部分的载荷折合到电机轴上的转动惯量小于电机自身转动惯量的四千分

之一,因此,可以忽略直线运动部分的载荷对系统动态性能的影响。将式(10)代入式(5)得双螺杆射胶系统的总转动惯量 $J_{\text{双}}$ 为:

$$J_{\text{双}} \approx (J_m + J_{mp}) + 0.01 \tag{11}$$

由式(11)、式(8)得:

$$J_{\text{双}} - J_{\text{单}} \approx 0.0057 \approx \frac{J_m}{28} \tag{12}$$

由式(12)可知,使用 2 个滚珠丝杠副相对于 1 个滚珠丝杠副引起的转动惯量增加约占电机转动惯量的二十八分之一。通过将电机旋转轴做的细长一些,从而减小电机的转动惯量,可弥补这部分的动态性能的损失。因此,多螺杆射胶结构的动态性能也是很好的。

2 结语

通过比较可以发现,使用多螺杆射胶结构可以显著降低对滚珠丝杠副的要求,通过减小电机的转动惯量,也能得到很好的动态性能。目前国外只有少数几家公司能生产用于全电动注塑机的滚珠丝杠副,我国还不能生产满足全电动注塑机要求的滚珠丝杠副。用多螺杆射胶结构代替单螺杆射胶结构,即用 2 个或 3 个性能相对较差的滚珠丝杠副代替进口滚珠丝杠副,可以实现全电动注塑机射胶结构的国产化,降低全电动注塑机的成本,提高全电动注塑机的竞争力。

参考文献

1 林宏权,蒋卫东,林达.全电动式注塑机的发展现状及展望.塑料工业,2005,33(4):1
2 蔡文远,张锋杰,陈明,等.诱导式全电动注塑机的研究及开发.中国塑料,2004,18(6):84
3 成大先,王德夫,姬奎生,等.机械设计手册.第4版.北京:化学工业出版社,2004.
4 蔡文远.全电动注塑机射胶系统的理论分析.塑料工业,2004,32(11):33

ANALYSIS OF TWO KINDS OF INJECTION SYSTEMS OF FULL ELECTRIC INJECTION MOLDING MACHINE

Wang Peng, Luo Fei, Cao Jianzhong

(College of Automation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Cai Wenyan

(Shenzhen Wuzhoulong Motors Co. Ltd., Shenzhen 518116, China)

ABSTRACT Two kinds of injection systems of full electric injection molding machine are analyzed. The results show that the precision of injection can not be affected by the error of high performance synchronous belt; the performance requirement of ball screw can be decreased by using multi-screw injection system; the dynamic performance of multi-screw injection system is similar to that of single-screw injection system.

KEYWORDS full electrical injection molding machine, injection system, ball screw, screw