

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.05.017

伺服注塑机高速响应的液压控制系统

袁卫明, 陈法鑫, 曹宜荣, 黄俊, 王依群

(浙江申达机器制造股份有限公司, 浙江 杭州 310038)

摘要:目前标准伺服注塑机进行薄壁注塑时,因注射速度无法满足成型条件,存在塑件成型不满或变形等缺陷,笔者提出了一种伺服注塑机高速响应的液压控制系统。也就是在标准伺服注塑机液压控制系统上增加模块化液压控制。该模块化液压控制采用比例压力阀、压力传感器和方向阀来替换原电机泵输出压力的伺服控制,以提高伺服电机启动加速响应速度,构成一种伺服电机启动加速时间为零的高速响应注塑液压系统。试验表明在不增加动力源功率状况下,该系统也能够改善薄壁注塑成型的缺陷问题。

关键词:伺服注塑机;薄壁注塑;响应时间;高速响应;成型条件

中图分类号:TP271.31 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2018)05-0087-05

Hydraulic Control System of High-Speed Response for Servo Injection Molding Machine

YUAN Weiming, CHEN Faxin, CAO Yirong, HUANG Jun, WANG Yiqun

(Zhejiang Sound Machinery Manufacture Co., Ltd., Hangzhou 310038, China)

Abstract: In view of the defects such as the underfill and deformation of the plastic parts in the process of thin-wall injection molding by standard servo injection molding machine, that the reason is the injection speed cannot meet the molding conditions. A hydraulic control system for high-speed response of servo injection mold machine was proposed by means of adding modular hydraulic control system to the standard servo injection molding machine. The proportional pressure valve, pressure sensor and direction valve were used to replace the servo control of the output pressure of the original electric motor pump. The servo motor start acceleration response speed was improved and a high-speed response injection hydraulic system with a servo motor start acceleration time of zero was established. The research show that the defects of thin-wall injection molding can be improved without increasing the power capacity.

Keywords: servo injection molding machine; thin-wall injection; response time; high-speed response; molding conditions

伺服注塑机作为一种节能设备已十分普及,其原理是通过伺服电机驱动定量泵为系统提供流量和压力。伺服电机由伺服驱动器直接控制,液压系统的流量和压力都由传感器反馈到控制器进行闭环控制。通过伺服电机转速和扭矩的控制,达到注塑成型工艺要求,即流量和压力的完全匹配^[1-2]。一般标准伺服注塑机,其注射速度在100~120 mm/s,塑件壁厚较薄或高黏度的塑料原料成型时,会存在射胶不满或尺寸形状不稳定现象。通常以加大电机、控制器功率和油泵排量来解决实际生产问题,但改造成本和工作量较大。

而课题组提出了高速响应的液压系统控制方法,通过增加液压模块化设计,仅改变伺服电机的控制运行工作状态,使其在最大值流量和压力状态下进行伺服比例控制,实现电机的零启动,即加速时间 $t_j=0$ 。

1 薄壁注射成型技术的要求

1.1 薄壁件

所谓薄壁件^[3-4]是指壁厚小于1 mm且最小流动长度与厚度比(L/T)为100:1以上的注塑成品,或壁厚小于1 mm且最小表面积在50 cm²以上的零件。

收稿日期:2018-05-14;修回日期:2018-07-16

第一作者简介:袁卫明(1971),男,浙江杭州人,本科,高级工程师,技术总监,主要从事塑料注射成型机设计研制开发工作。E-mail:yuanweiming852@vip.sina.com

1.2 薄壁件成型要素

随着壁厚的减薄,塑料熔体在模腔中的冷却速度加剧,在很短时间内就会固化,因此薄壳制品成型时,必须充填时间短,注射速度快,注射压力大。如此,才能把料温较高、流动性好的树脂材料迅速压入型腔^[5]。

1.3 薄壁充填的本质

在壁厚变薄时,因熔体达到距离相对变长,流动更为困难。如图1所示,在薄壳充填时由于冷凝层变厚速度加快,流动通道变得更窄,厚度为1 mm的薄壳制件,冷凝层厚度就有0.25 mm。由于在型腔中塑料熔体更少、散热加快,使得流道关闭得更快,导致塑料熔体易“冻结”。因此,为了能顺利充满型腔,薄壳相对常规注射应该使用更少的充填时间^[6]。

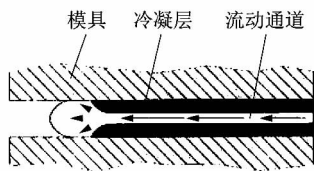


图1 充填过程

Figure 1 Filling process

1.4 薄壁注塑中的主要问题

①短射:由于模具型腔填充不完全造成塑件不完整的质量缺陷。②翘曲变形:不均匀的内部应力导致的塑件缺陷。③熔接线:型腔内2个或多个熔体流动前沿熔合时形成的界线^[7]。

2 标准伺服注塑机注射动作原理

2.1 注射动作的工作过程

标准伺服液压原理及控制框架原理^[8]如图2~3所示。

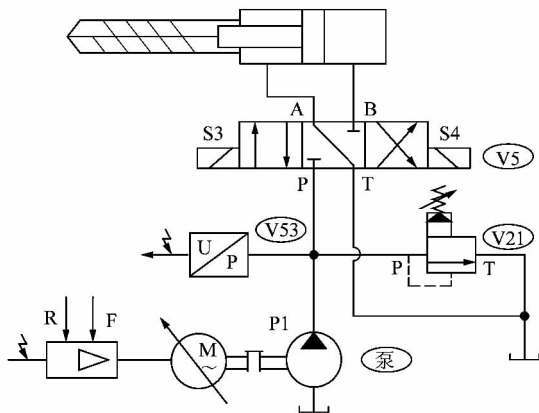


图2 标准伺服注塑动作液压原理图

Figure 2 Hydraulic principle diagram of standard servo injection action

如图2所示,注射时方向阀V5电磁铁S4得电,高压油经方向阀V5的P,B口进入注射油缸无杆腔,杆腔油液经A,T口回油箱,螺杆在注射油缸推动下实现注射动作。整个注射过程中,通过控制器电压值(0~10 V)的调整改变了伺服电机转速和扭矩,从而获得油泵输出流量和压力。注射油缸压力通过压力传感器V53的检测数字反馈由控制器运算达到设定值,油泵输出最大压力由溢流阀V21调定。

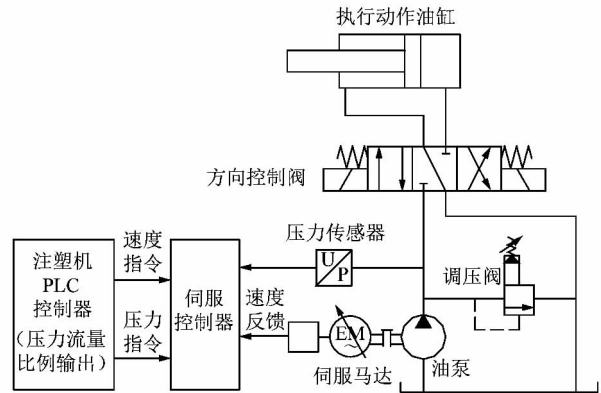


图3 标准伺服控制框架原理图

Figure 3 Principle diagram of standard servo control frame

2.2 注射快速响应时间

伺服电机在执行任何动作之前都为静止状态,即转速为零。一般注塑机用伺服电机驱动油泵,伺服电机从零转速至额定转速和额定扭矩时用时50~100 ms,同时方向控制阀的电磁铁得电后切换位置用时40~80 ms。因此,注射动作的反映是一个渐进的过程,注射动作最大值是在伺服电机和方向阀为最大开启状态时,其注射动作所用时间为两者之和,约90~180 ms。

2.3 伺服系统响应时间测试

选用申达SE130机器进行伺服系统响应测试,相应配置:①电机,额定电流49.2 A、额定扭矩87 N·m、额定功率22.6 kW、额定转速2 500 r/min;②驱动器,额定功率25 kW;③油泵,排量40 mL/r;④测量仪器为示波器。

设定参数:注射流量99%,压力14 MPa时,撞击上升响应时间为68~116 ms(要求过冲小于5 MPa),其压力时间关系如图4所示。

2.4 电机和阀响应时间对注射动作的影响

通常在理论计算时,常以油泵单位时间最大输出流量进行注塑速度和时间的计算,来验证技术参数是

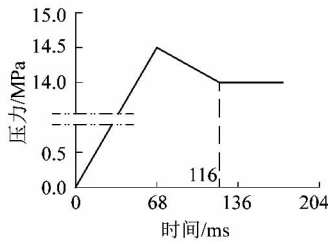


图4 压力时间坐标图

Figure 4 Pressure and time coordinate diagram

否满足某薄壁件注塑成型要求。因伺服系统存在启动加速时间延时现象,并且各厂家使用配套品牌元件不同,因此即使各设备在设计技术参数相同情况下,在成型同一薄壁注塑件时将会体现出差异性。

假设成型某薄壁注塑件所需时间为 t ,油泵单位最大流量为 Q_{max} ,则油泵在 t 时间内油液输出总量为 V_L ,计算公式为:

$$V_L = Q_{max} \cdot t_0 \quad (1)$$

式中: V_L 为油泵的理论输出量, cm^3 ; Q_{max} 为油泵单位时间最大流量, cm^3/min ; t 为注射时间, min 。

实际伺服系统油泵在注射动作时间 t 内,其输出液压油时间分2个阶段:① $0 \sim t_1$,电机从静止状态加速上升至最大转速 n_{max} 。② $t_1 \sim t_2$,电机恒定最大转速 n_{max} 。油泵流量和时间关系如图5所示。

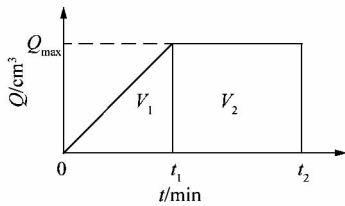


图5 油泵工作流量和时间关系图

Figure 5 Diagram of pump flow and time

由图5可知:

$$V_1 = (Q_{max} \cdot t_1)/2; \quad (2)$$

$$V_2 = Q_{max} \cdot (t_2 - t_1) \quad (3)$$

$$V_s = V_1 + V_2 = Q_{max} \cdot t_2 - Q_{max} \cdot t_1/2. \quad (4)$$

式中: V_s 为泵实际出油总量, cm^3 ; V_1 为第一阶段泵出油量, cm^3 ; V_2 为第二阶段泵出油量, cm^3 。

假设理论计算与实际工作泵出油总量相同,则

$$V_L = V_s. \quad (5)$$

将式(1)和(4)代入式(5),即

$$Q_{max} \cdot t = Q_{max} \cdot t_2 - Q_{max} \cdot t_1/2, \text{ 则} \quad (6)$$

$$t_2 = t + t_1/2. \quad (7)$$

由式(5)~(7)可知,要在实际工作时保持泵出油

总量与理论值一致,必须在时间上多增加 $t_1/2$,由此可见注射时间跟电机起始加速时间密切相关,同理阀的开启响应时间也影响注射时间 t 。综上所述,伺服电机和阀的响应时间对注射动作的影响至关重要,如何减小伺服电机对注射动作时间的影响是本文值得探讨的重点。

3 高速响应液压控制系统

3.1 高速响应液压原理构成

高速响应伺服液压原理图^[9]及控制框架原理如图6~7所示。

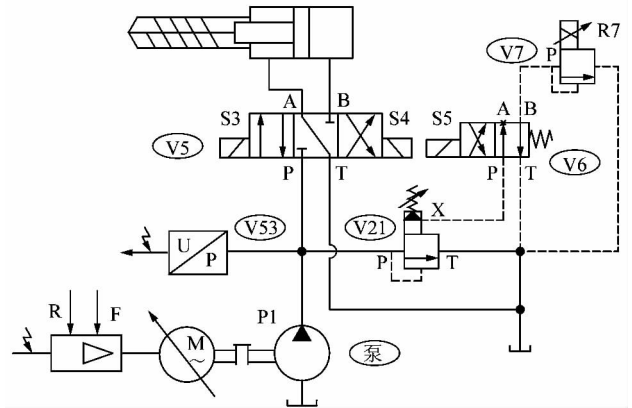


图6 高速响应伺服注塑动作液压原理图

Figure 6 Hydraulic principle diagram of high-speed response servo injection action

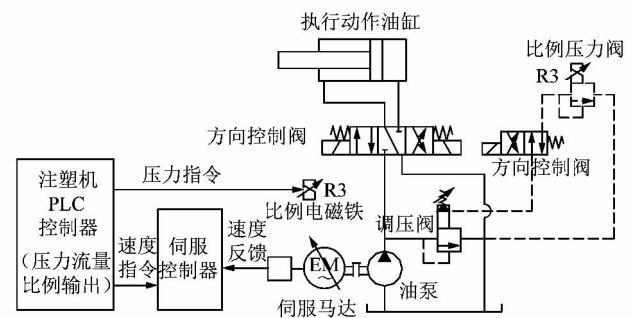


图7 高速响应伺服控制框架原理图

Figure 7 Principle diagram of high-speed response servo control frame

如图6所示,在图2液压原理图基础上把溢流阀V21遥控口X与方向阀V6的P腔相连,方向阀V6的B腔与比例压力阀V7的P腔相连接。通过方向阀V6电磁铁S5的得电工作,使得溢流阀V21遥控口X与比例压力阀V7的P腔相连,实现注射动作压力远程遥控变化。

3.2 高速响应注射动作的工作过程

在注射前先将压力传感器V53切断,即输出信号

变为零。因伺服电机在压力传感器零信号状态下将加速至最高设定转速 n_{max} , 输出最大流量压力并保持不变, 最大压力由溢流阀 V21 调定。当注射时方向阀 V5 电磁铁 S4 得电, 高压油经方向阀 V5 的 P, B 口进入注射油缸无杆腔, 杆腔油液经 A, T 口回油箱, 螺杆在注射油缸推动下实现注射动作。整个注射过程中, 通过调整控制器电压值 (0 ~ 10 V) 改变伺服电机转速获得油泵输出流量; 通过调整比例压力阀 V7 的比例电磁铁 R7 来控制注射压力。

3.3 高速响应液压系统对注射动作的影响

由液压原理图 6 和控制框架原理图 7, 以及高速响应注射动作的工作过程可知, 因注射动作前伺服电机已处于满速运转状态, 不再需要经历静止加速过程, 所以注射动作减少了第一注射时间 t_1 , 直接从第二注射时间 t_2 开始进行工作, 即图 5 中的 V2 部分, 与理论计算一致, 整个注射过程只需考虑各阀对注射动作的影响。此时:

$$V_2' = Q_{max} \cdot t_2; \tag{8}$$

$$V_s = V_2' \tag{9}$$

因高速响应注射动作油泵曲线与理论计算相同, 则可得

$$t_2 = t_0 \tag{10}$$

通过对比分析可知, 高速响应伺服注射系统在执行注射动作时, 其响应时间比标准伺服注射系统提高 $t_1/2$, 因此 t_1 时间是反映伺服系统性能的指标之一。

4 薄壁件成型条件

薄壁件成型时, 注射填充是一个短时的连续变化过程, 熔体充模流道逐渐变窄, 因此一定厚度的塑件具有理论充模时间 t_L 。而实际充模时间 t 与设备各技术参数相关联, 其中液压系统提供流量大小和响应速度的快慢是决定能否成型完整制品的重要因素。依据 ARBURG 公司提供的精密注塑技术^[10]资料内容表述, 成型薄壁件时需满足条件为: $t < t_L$ 。

薄壁件所需理论最大注射时间^{[10]28}

$$t_L = 0.4S^{1.7} \tag{11}$$

式中: t_L 为理论所需注射时间, s; S 为塑件壁厚, mm。

实际注射量^{[10]29}

$$V_s = m/\rho \tag{12}$$

式中: V_s 为注射容积, cm^3 ; m 为塑件质量, g; ρ 为熔体密度, $g \cdot cm^{-3}$ 。

理论加速量^{[10]29}

$$V_L = (Q/2) \cdot t_j \tag{13}$$

式中: V_L 为理论加速量, cm^3 ; Q 为注射流量, cm^3/s ; t_j 为

加速时间, s。

最大注射时间^{[10]29}

$$t_{max} = t_j + (V_s - V_L)/Q \tag{14}$$

式中 t_{max} 为所需最大注射时间, s。

5 案例分析

某塑胶厂家有注塑机 SE130: 锁模力 1 300 kN, 螺杆直径 32 mm, 油泵排量 40 mL/r, 油泵转速 2 500 r/min, 注射油缸直径 115 mm, 活塞杆直径 60 mm, 注射油缸行程 155 mm。生产塑胶产品为手机护壳, 原料 PC, 溶体密度 $\rho = 0.97 g/cm^3$ 。伺服液压系统采用图 2 的原理, 设备、产品信息如表 1 ~ 2 所示。

表 1 注塑机技术参数

Table 1 Specification of injection molding machine

机型	螺杆直径/mm	注射流量/($cm^3 \cdot s^{-1}$)	锁模力/kN
SE130	32	88.23	1 300

表 2 产品数据

Table 2 Product data

产品	原料	长 × 宽 × 高/ (mm × mm × mm)	壁厚/ mm	单件 质量/g	模穴数/ (件 · 模 ⁻¹)
手机护壳	PC	115 × 60 × 10	0.75	10	2

根据图 4 波形图得最大响应时间 68 ms, 即加速时间 $t_j = 0.068 s$, 由公式 (11) ~ (13) 和表 1 ~ 2 数据计算, 可得:

$$t_L = 0.4S^{1.7} = 0.4 \times 0.75^{1.7} = 0.245 s;$$

$$V_s = m/\rho = (10 \times 2)/0.97 = 20.618 cm^3;$$

$$V_L = (Q/2) \cdot t_j = (88.23/2) \times 0.068 = 3.0 cm^3;$$

$$t_{max} = t_j + (V_s - V_L)/Q = 0.068 + (20.618 - 3.0)/88.23 = 0.268 s。$$

通过上面计算结果可知: $t_{max} > t_L$, 结果不符合薄壁成型件条件, 产品成型如图 8 所示。



图 8 标准伺服 SE130 成型产品

Figure 8 Molding product by standard servo IMM SE130

1) 优化方案。采用高速响应伺服液压系统图 6 的原理, 根据系统分析, 因伺服电机无加速时间, 故公式 (13) 和 (14) 中的 $t_j = 0$, 则:

$$V_L = (Q/2) \cdot t_j = 0;$$

$$t_{\max} = t_j + (V_s - V_L)/Q = 0 + (20.618 - 0)/88.23 = 0.224 \text{ s}。$$

由计算可知: $t_{\max} < t_L$,结果符合薄壁成型件条件,产品成型如图9所示。



图9 高速响应 SE130 成型产品
Figure 9 Molding product by high-speed response servo IMM SE130

2) 通用方案。加大油泵排量结果等同优化方案,则注射时间 $t_d = t_{\max} = 0.224 \text{ s}$ 。

由公式(13)可知:

$$V_{Ld} = (Q_d/2) \cdot t_j \quad (15)$$

式中: V_{Ld} 为加大油泵理论加速量, cm^3 ; Q_d 为加大油泵注射流量, cm^3/s 。

由公式(14)可知:

$$t_d = t_j + (V_s - V_{Ld})/Q_d \quad (16)$$

式中 t_d 为加大油泵排量的注射时间, s 。

根据公式(15)~(16)得:

$$Q_d = V_s / (t_d - t_j/2) = 20.618 / (0.224 - 0.068/2) = 108.52 \text{ cm}^3/\text{s}。$$

则加大油泵排量:

$$q_d = q \cdot Q_d / Q = 40 \times 108.52 / 88.23 = 49.2 \text{ mL/r}。$$

根据油泵规格标准选取,选用油泵规格为 50 mL/

r,则相应的电机、驱动器功率需要加大。

6 结论

对高速响应的液压系统应用于薄壁注塑的控制方法进行了定性的分析与研究,并以此为依据提出了一种模块化设计方法。该方法与传统的方法相比,具有安装方便、控制可靠稳定、响应速度快并可于标准功能间进行任意切换等优点。实现电机零启动注塑,并能保证注塑过程的快速和精密响应,使其满足薄壁注塑的要求。

参考文献:

- [1] 钟汉如,王文俊. 液压注塑机伺服泵流量于压力解藕控制方法[J]. 机械与电子,2012(6):54-56.
- [2] 李军生,欧卫斌,李维新. 永磁同步电动机在液压注塑机伺服控制系统中的应用[J]. 制造业自动化,2009,31(8):95-97.
- [3] 袁卫明. 薄壁成型技术与注塑机选型[J]. 中国塑机,2012(18):75-78.
- [4] 宋满仓,颜克辉,赵丹阳. 薄壁塑件注塑成形特性的试验研究[J]. 中国机械工程,2010(17):380-383.
- [5] 傅沛福,谷争巍. 薄壳成型技术研究进展[J]. 电加工与模具,2006(6):1-4.
- [6] 韩健,陈静波,申长雨. 薄壳注射成型技术[J]. 工程塑料应用,2005,33(10):28-31.
- [7] 周志冰,谢桂兰,冯培淑. 薄壳塑件注塑成型特性研究[J]. 科学与教育,2008(5):65-66.
- [8] 张涛,李斌礼,李子玉. 基于液压泵伺服驱动的注塑机节能技术研究[J]. 机电工程技术,2010,39(8):73-75.
- [9] 袁卫明,杜监时,陈法鑫,等. 高速注射实时启动的液压控制系统: ZL201220477745.3[P]. 2012-09-19.
- [10] 闫路顺. ARBURG 精密注塑技术(一)[EB/OL]. (2011.03.11) [2018-05-01]. <https://wenku.baidu.com/view/6fecfd4f767f5acfa1c7cd9.html>

(上接第86页)

参考文献:

- [1] 赵滨. 高压高产气井油管气液两相流特性研究[D]. 西安:西安石油大学,2015:29-31.
- [2] 何世权,李斌,沈江,等. 角式调节阀流量特性的数值模拟及分析[J]. 化工机械,2008,35(5):291-294.
- [3] 刘建瑞,苏起钦. 自吸泵气液两相流数值模拟分析[J]. 农业机械学报,2009,40(9):73-76.
- [4] 张剑可. 气液两相流调节阀流量系数计算方法研究[D]. 北京:中国石油大学,2012:45.
- [5] YAMASAKI Y, KARIYASAKI A, KAGAWA M, et al. Gas-liquid two-phase flow in microchannels [J]. International journal of

multiphase flow,1999,25(3):377-394.

- [6] 阎昌琪. 气液两相流[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2010:12-21.
- [7] 林宗虎. 气液两相流和沸腾传热[M]. 西安:西安交通大学出版社,2003:25-32.
- [8] 张慧冬,李纯,周云龙,等. 气液两相流流过阀门局部阻力特性研究[J]. 化工科技,2009,17(2):31-33.
- [9] 杨玉思,张世昌,付林. 有压供水管道中气囊运动的危害与防护[J]. 中国给水排水,2002,18(9):32-33.
- [10] 哈奇森. 调节阀手册[M]. 2版. 化学工业出版社,1984:16-19.
- [11] 王燕,胡建,郝娇山,等. 大口径高压差调节阀设计[J]. 石油化工设备,2013(4):31.