

# 采用 PLC 的精密注塑加工控制系统 设计与实验研究\*

张 华      王志新      白国振      黎永明

(上海理工大学欧姆龙研究与开发实验室      上海 200093)

**摘要** 针对精密注塑加工的关键技术,分析了模腔压力、预塑计量和温度等影响注塑制品质量的重要参数及其控制原理,采用欧姆龙可编程控制器 PLC 构成注塑加工多级控制系统,通过直接检测模腔压力来控制充填和多级保压过程,进行实验与分析研究。

**关键词** PLC 精密注塑 预塑计量 模腔压力

## 1 引 言

精密加工是先进制造技术的重要组成部分,与国防、计算机、仪器仪表工业以及机械制造业的发展有着密切的联系,反映了一个国家科学技术水平的高低,同时,对国家工业水平的提高和国民经济的发展起着重要作用。

现代注塑加工具有能够一次成型复杂制品、后加工量少、加工制品种类多特点,因此,发展非常迅速,现已成为塑料加工的一种重要方法,并能够满足计算机、录像机、复印机、照相机、钟表、汽车等对于塑料制品精度、性能、外观等要求,能够加工磁盘、光盘、磁鼓、塑料齿轮、六面体和中空体等。精密注塑机要求实现高压、高速、高精度和微型化,一般注射量和锁模力分别在 $30\text{cm}^3$ 和 $40\text{t}$ 以下,注塑制品的最小重量及重量精度分别为 $0.02\text{g}$ 和 $0.1\%$ 。例如日精公司 MM5 型超精密机,注射量为 $5\text{g}$ ,用于加工聚醛材料的钟表元件,重量误差仅为 $0.002\text{g}$ ,厚度误差为 $\pm 0.001\text{mm}$ 。注塑成型通常由合模、射台进、射料、保压、冷却、射台退、预塑、防涎、开模、顶针进、顶针退等基本工序组成,采用 PLC 来实现注塑机的多级控制,在主机与控制系统所组成的常规局部闭环控制基础上,通过引入温度、预塑计量和模腔压力控制等构成全闭环控制系统<sup>[1-3]</sup>。

\* 机械工业技术发展基金、香港蒋氏工业慈善基金会资助课题

收稿日期: 1997- 08- 13

修稿日期: 1997- 11- 03

## 2 精密注塑加工参数控制策略

精密注塑加工要求主机的各个机械部件的加工精度高, 订机能够达到高速、高压并满足在线控制要求。同时, 料筒温度、模温、预塑计量和模腔压力等参数及其控制质量已成为影响精密注塑的技术关键<sup>[4-11]</sup>。

### (1) 预塑计量与温度控制

通过提高预塑计量精度可以避免塑料不足, 或余料过多出现重复加热而发生分子降解现象, 影响制品质量和精度。因此, 螺杆的位置控制精度决定了塑化计量控制效果, 即决定制品的重量稳定性, 预塑计量通常根据每次实测缓冲垫大小来确保计量精度, 计量控制的对象是熔料的重量而不是体积, 计量定位精度与温度  $T$ 、压力  $P$  有关。往复螺杆式注塑机可以通过测量螺杆后移量来对塑化过程进行计量控制, 决定保压缓冲量、补偿塑化过程产生的波动或止逆阀开始运转时对充填过程的影响。

通常螺杆式注塑机的预塑计量主要取决于螺杆预塑行程(即熔料体积), 并通过采取降低螺杆计量结束时的转动惯量、严格控制背压、熔料温度等工艺参数来提高计量精度, 达到获得致密、均匀注塑制品目的。预塑计量的控制分为熔料体积计量控制和熔料 PVT 特性计量适应控制两种方法, 前者假定塑化过程熔料的温度及背压波动很小, 控制装置具有良好的跟踪特性和重复性, 直接检测每次成型实际缓冲量的变化和计量位置的变化值, 并据此来确定一次预塑量, 控制填充量为恒定值; 后者根据熔料的 PVT 关系, 通过消除由于体积变化引起的计量行程误差, 综合考虑了熔料温度、压力及比容积三要素对制品重量的影响并予以补偿。由于模糊控制具有精度高、过渡过程时间短、超调小、适应性强、鲁棒性好、控制规律简单、模糊算法更接近人的行为方式、无需对系统进行数学建模等特点, 因此螺杆的位置控制采用双模控制算法, 即在 PID 控制的基础上引入模糊控制来控制塑化螺杆位移。料筒温度要求实现解耦控制, 动态温度控制精度优于  $\pm 0.1$ ; 模具温度控制精度优于  $\pm 0.05$ 。

### (2) 模腔压力测试与控制策略

注塑成型中注射与保压过程是决定制品质量优劣的关键。其中注射过程由注射、填充、压实与注射转保压等数阶段组成, 此时模具浇口仍未封闭, 模具内塑料呈熔融状态。模具内塑料因冷却收缩, 故需要通过保压过程进行冷缩补塑, 同时达到减小制品内应力目的。因此, 对注射和保压过程分别采用速度控制和压力控制策略是有效的, 大量独立的工艺参数和过程参数互相作用, 并通过模腔压力来影响制品的性能。过去, 由于对模腔压力了解甚少, 加之测试方法及手段不完善, 存在许多困难, 而采用间接控制注射速度、注射压力和熔料温度, 并依据注射时间或注射行程来确定注射转保压过程切换点等方法, 结果不尽人意。同时, 由于无法直接监测制品在模具中的状态, 仅凭借经验来确定注射和保压时间等, 延长了成型周期。通过精确测量模腔压力并施以闭环控制来确定注射转保压过程切换点, 能够缩短成型周期, 避免过充或填料不足, 并有效实施多级保压过程控制, 满足制品重量和尺寸精度要求。通过测试模具内压力损失和模腔峰值压力来确定最小锁模力, 辅助模具和注塑机设计, 还能够采用模腔压力反馈和电液比例技术进行自适应控制, 满足加工精密注塑制品要求。

### 3 控制系统构成原理

图1为采用 PLC 的精密注塑加工控制实验系统。其中,小型 PLC CQM1完成单机顺序控制,3台中型 PLC C200HS 分别用于控制注塑机的料筒和模具温度、模腔压力测试与控制,以及与上位监控计算机586进行通讯,实现数据的存贮、分析和各种算法,可编程终端 PT 用于参数输入和图形显示。耐高温石英晶体压力传感器(瑞士 Kistler 公司生产,型号6151)将模腔压力转换为一定电荷量,再经电荷放大器(瑞士 Kistler 公司生产,型号5007)处理与放大,将电荷量转换为与模腔压力成比例的电压信号(0~10V)。压力传感器分别放置在模腔近浇口和远浇口二点,外表面与模具内表面平齐。K 型热电偶检测模具温度,将模温转换为电压信号,再经由 LM 221A、LM 308A 组成的高增益放大器后输入 PLC。精密导电塑料位移传感器(上海仪表厂生产,型号 SZ3A)检测注射螺杆位移。德国力士乐公司生产三通电液比例溢流调速阀(型号 EFBG-03-125C)对注射速度和保压压力进行复合控制,应变式压力传感器(华东电子仪器厂生产,型号 BPR-2/200)检测预塑背压、注射压力和保压压力。PLC 通过 A/D 采集压力、位移及温度信号,并经8位 D/A 和比例放大器后作用于电液比例溢流调速阀,控制注射速度和保压压力。注射过程采用多级注射速度控制并经螺杆位移进行切换,根据模腔峰值压力进行注射转保压切换控制,并对保压压力也采用多级切换控制方案,并分别通过控制注射油缸的流量和压力来控制注射速度和保压压力<sup>[12-13]</sup>。

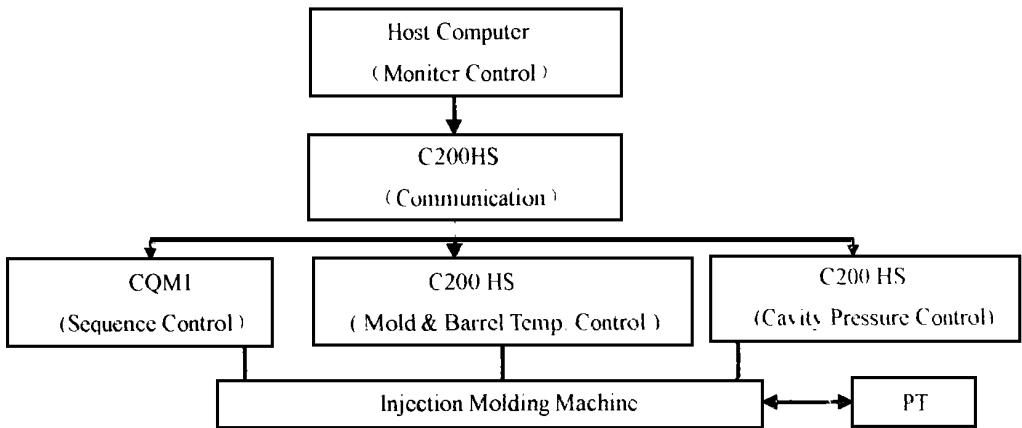


Fig. 1 Multi-stage control system of precision injection molding

### 4 实验结果与分析

分别在实验模具近浇口(距浇口中心10mm)和远浇口处(距浇口中心50mm)放置模腔压力传感器,并利用 VT-130/880注塑机(柳州力风塑料成型机厂生产)和聚丙烯塑料进行实验,主机为北京四通公司生产的 V40工控机。实验结果如下:

(1) 注射及保压过程分别采用三级注射速度和二级保压控制。图2为近浇口、远浇口和注射油缸处测得压力曲线,在模具不同位置测得模腔压力峰值和响应时间均不同,可见模腔压力传感器安装位置的选择非常重要。通常,近浇口测压点能够客观反映注射、填充及保压全过程模腔压力曲线,但若该检测点离浇口太近,测得的冲击力而不是模腔压力。模腔压力随着注射压

力增加而相应增大,利于物料压实。但是注射压力过高将引起胀模,使得制品脱模困难,并明显出现飞边等缺陷。

(2)在注射阶段相对于比例阀开口大小,模腔压力的阶跃响应由有时滞的一阶环节和斜坡两部分组成;而在填充阶段模腔压力可由有时滞的一阶环节来描述。采用PID控制注射及保压过程,如图3所示模腔压力具有较为理想的输出特性。通过优化PID控制器参数,可以明显改善注射转保压切换控制效果,并能够减小多级保压过程模腔压力负超调量,避免制品出现中空缺陷。如图4示对注射转保压切换控制Dalin控制虽与PID控制具有相同的响应时间,但超调量较小。如图5所示采用自适应模型跟踪控制(AMFC),输出跟踪特性较PID控制优良,获得理想注塑制品。

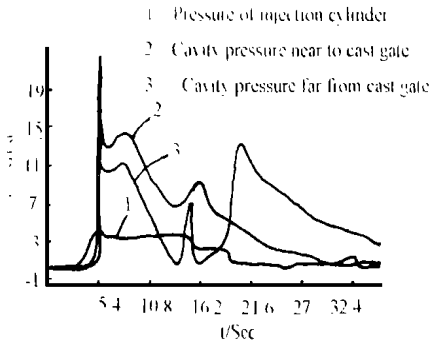


Fig. 2 Pressure response curve

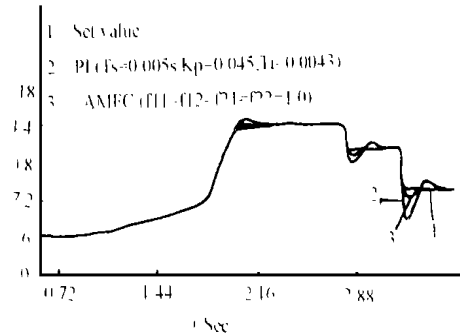


Fig. 3 Cavity pressure curve based on PID

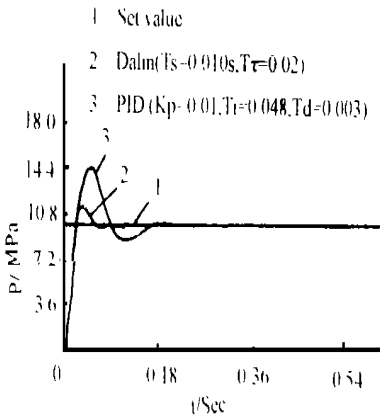


Fig. 4 Pressure curve from injection into holding based on Dalin and PID

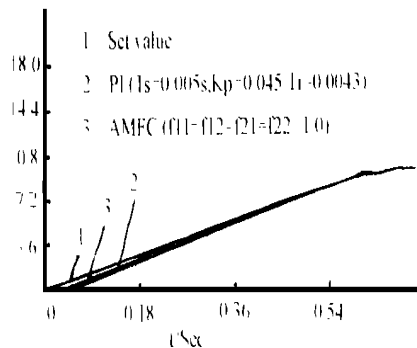


Fig. 5 Following character of AMFC and PI

## 5 结束语

重量稳定性作为衡量塑料制品质量优劣的一项重要指标,可以通过控制塑化螺杆的定位精度来获得。采用熔料体积计量控制方法能够获得较常规控制更好的效果。采用石英晶体压力

传感器来检测注射、填充及保压过程的模腔压力,可以同时满足模腔压力动态测试及高温测试环境温度稳定性要求。通过在模具内不同位置安装模腔压力传感器有助于了解熔料在模具内不同位置流动情况,以及注射成型各阶段工况。采用 Dalin 和 AMFC 等先进控制策略均能够获得较 PID 控制更为理想的输出控制效果,改善了注塑成型工况,并确保制品性能优良。

### 参 考 文 献

- 1 王志新. 塑料注射成型机微机控制软硬件结构设计及过程控制研究. 杭州: 浙江大学博士学位论文, 1994, 2
- 2 王志新, 白国振, 张 华等. 现代可编程控制器高级开发与应用技术. 上海理工大学教材, 1997
- 3 王志新, 白国振, 张 华等. 现代可编程控制器技术及其进展. 机电工程, 1997, 14(4): 26 ~ 28
- 4 [日] 铃木正康著, 许发樾, 陈京生译. 模具内压测量技术及应用. 模具工业, 1993, (8): 55 ~ 59
- 5 沈颖华. 注塑充模过程的数值模拟及实验研究[博士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 1989
- 6 李 萍, 承民联, 陈 枫. 注塑充模过程平均模腔压力的研究. 塑料科技, 1995(2): 34 ~ 38
- 7 Wang Zhixin, Zhang Hua, Lu Yongxiang. Research for switching over from injection to holding and holding based on cavity pressure and digital PID algorithm. Proc of IEEE ICIT, 1994, Guangzhou China: 514 ~ 518
- 8 Wang Zhixin, Zhang Hua, Ge Yiyuan, et al. Multistage holding process control of injection molding machine based on cavity pressure and digital PID algorithm. Proc of ISFP, 1995, Shanghai China: 227 ~ 230
- 9 Wang Zhixin, Zhang Hua Bai Guozhen. Fuzzy control strategy and experimental study on screw plasticizing position of plastic injection molding machine. Proc of ICFP '97, Hangzhou China
- 10 Wang Zhixin, Lu Yongxiang, Ge Yiyuan, et al. Process control and its realization for injection molding. Proc of ICFP, 1993, Hangzhou China: 555 ~ 560
- 11 王志新, 张 华. 注塑机料筒温度控制研究. 华东工业大学学报, 1996, 18(3): 37 ~ 44
- 12 王志新, 路甬祥, 邵大文. 注塑机注射过程控制及实现. 浙江大学学报, 1991(增刊): 150 ~ 157
- 13 王志新, 张 华, 葛宜远. 注塑机电液比例控制的应用研究. 华东工业大学学报, 1996, 18(1): 20 ~ 25

## Design and Experimental Study on Control System of Precise Injection Molding Based on PLC

ZHANG Hua, WANG Zhi-Xin, BAI Guo-Zhen, LI Yong-Ming

(OMRON R&D Lab., University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093)

### Abstract

Based on key technologies of precision injection molding, this paper analyzes parameters and control strategy, such as cavity pressure, plasticizing position and temperature, etc. By adopting PLC and detecting cavity pressure directly, multi-stage control system of injection molding is designed to control filling and multistage holding process. The experimental results are given and analyzed.

**Key words:** PLC, Precision injection molding, Plasticizing position, Cavity pressure

张 华 女, 1964年11月出生。上海理工大学欧姆龙研究与发展实验室工程师, 上海市机械工程学会、上海市工程图学学会、上海市创造学会、浙江省仪表学会会员。主要从事综合生产自动化、计算机应用、CAD&CG、工业控制等方面的研究工作。承担机械工业技术发展基金、香港蒋氏工业慈善基金等科研项目10余项, 多次获省部级奖励, 已发表论文45篇, 编写教材5部。