

注塑机控制系统

钟汉如 编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北京·

序 言

塑胶制品已经充斥于我们生活和生产的各个方面。汽车、家电、建筑、办公用品和日常用品之中，随处可以见到塑胶制品。市场需求的不断扩大、塑胶新材料的不断发现和电子技术的不断进步，三者相互促进，推动了世界注塑机制造技术的不断发展。

因应这一发展需要总结经验 and 培养人才、需要普及技术和引导创新。钟汉如先生编著的《注塑机控制系统》就是这些方面的有益工作。此书全面地介绍了注塑机和注塑机构成的各个方面，特别地把注塑机械和控制的两个方面系统地结合起来，对注塑机控制系统的理论和实践进行了详细的论述，并将作者多年以来的研究成果包含其中，是一部很有价值的专业著作。在塑胶制品的市场需求不断扩大和品质要求不断提高的今天，希望这本书的出版能对中国注塑机制造技术的进步起到很好的推动作用，这也正是香港蒋震工业慈善基金会的宗旨之一，是为序。

香港蒋震工业慈善基金会 主席

蒋震 博士



2003年12月 于香港

前 言

注塑制品在人们生活中占有较大的比重，在工业、农业中得到广泛使用，如电视、电脑、玩具等主要配件用塑料制造，以塑代钢的塑料齿轮，汽车上使用的工程塑料等。注塑机通过塑料模具注射出成型塑料制品，产品质量与注塑机控制参数有直接关系，控制系统是注塑机的重要组成部分，目前注塑机发展的主要特点是向精密化、低噪声、高效率节能和高度自动化方向发展。本书编写是适应国内外注塑机控制系统不断更新而编写。书中内容是作者多年来研究的成果，是基于自动控制理论结合注塑机工艺过程对注塑机提出一些新的控制方法，包括注塑机液压异步电机节能变频技术改造；自动设定注塑工艺参数的专家系统；精密注塑机及其电动注塑机控制系统。本书力求内容新颖、理论结合实际，把握注塑机发展方向，系统地把注塑机械与控制系统相结合，体现了注塑机研究创新的一大特色。

全书共分八章。第一章介绍注塑机控制系统概述。第二章描述注塑成型基本参数及注塑机组成，内容包括注塑过程主要性能参数、控制系统介绍及精密注塑机特点。第三章是自动控制系统基础。第四章介绍注塑机控制系统组成，内容有螺杆温度控制、射胶液闭环控制、可编程控制器在注塑机动作顺序控制、自动调校锁模参数。第五章介绍注塑机常用检测传感器和放大电路。第六章介绍注塑机变频技术，内容有注塑机变频节能原理、变频器在注塑机的应用实例。第七章论述注塑成型专家系统，内容有注塑成型过程及其控制参数、注塑材料与充模过程建模方法、自动设定注射工艺参数及实验方法研究。第八章介绍电动注塑机控制原理，伺服电机在注塑机合模机构，注射过程，溶胶及其顶出四个动作过程控制的方法，国外伺服电机应用在注塑机的使用例子。

本书在一些章节中选编了一些实例，例如第四章可编程控制器在注塑机动作顺序控制，第六章注塑机变频节能改造技术等，这些技术是近年来科研项目积累的素材。第七章内容参考了郁滨博士论文。

在编写本书过程中，王创生、朱金辉、叶国华参与注塑机控制的硕士论文工作，毕盛、梁俊斌等研究生做了部分资料整理工作，对他们的辛勤劳动表示感谢。特别感谢香港蒋震工业慈善基金会对项目资助。感谢香港理工大学梁天培教授，感谢香港宝源机械厂在我任技术顾问期间所给予的支持和帮助。同时感谢香港科技大学袁铭辉博士。感谢香港华大机械厂技术部的支持。

限于作者的水平，加之时间仓促，书中难免出现不妥之处，恳请读者予以批评指正。

编者

2003年12月于广州

目 录

第一章 注塑机控制系统概述	1
第一节 塑料工业的历史回顾和未来发展展望.....	1
一、历史的回顾和现状.....	1
(一) 注塑机的技术水平及发展趋势.....	1
(二) 精密注塑技术水平及发展趋势.....	2
(三) 电动注塑机的技术水平及发展趋势.....	4
二、未来的发展展望.....	8
第二节 国内外注塑机控制系统简介.....	9
第三节 注塑机的工作过程.....	11
一、注塑机结构及原理.....	12
二、注塑机主要动作.....	12
第二章 注塑成型基本参数及注塑机组成	15
第一节 注射部分主要性能参数.....	15
一、注射量.....	15
(一) 注射容积.....	15
(二) 注射质量.....	16
二、注射压力.....	17
三、注射速率.....	19
四、注射功及注射功率.....	20
五、塑化能力与回复率.....	20
(一) 螺杆塑化能力计算.....	20
(二) 回复率.....	22
第二节 合模力性能参数.....	22
第三节 注塑工艺程序控制流程.....	24
一、注塑机的组成.....	24
(一) 注塑机液压油路系统.....	24
(二) 合模系统.....	29
(三) 注射系统、射台移动系统.....	30
(四) 电气控制系统.....	31
(五) 冷却系统.....	38
(六) 安全保护与监测系统.....	38
二、注塑工艺周期与工作循环.....	38
(一) 注塑工艺.....	38
(二) 注射充模过程.....	41
三、精密注塑机的特点.....	42

(一) 技术参数方面的特点	42
(二) 精密注塑机在控制方面的特点	43
(三) 精密注塑机的液压系统	44
(四) 精密注塑机结构特点	44
(五) 注塑参数的检测与调节	45
第三章 自动控制系统基础	46
第一节 名词术语及其定义	46
第二节 闭环控制和开环控制	47
第三节 控制系统的结构和设计原则	50
一、控制系统的基本结构	50
二、控制系统的设计原则	51
(一) 对控制系统的一般要求	51
(二) 控制系统设计中的基本问题	51
(三) 分析	52
(四) 设计	52
(五) 综合	52
(六) 控制系统设计的基本方法	52
三、控制系统性能指标描述	53
(一) 随动控制系统性能指标	53
(二) 定值控制系统的性能指标	53
(三) 控制系统的描述	54
第四节 自动控制系统的传递函数及性能指标	55
一、系统开环传递函数	56
二、 $r(t)$ 输入作用下系统的闭环传递函数	56
三、 $n(t)$ 干扰作用下系统的闭环传递函数	56
四、系统的总输出	56
五、闭环系统的误差传递函数	56
(一) $r(t)$ 作用下系统的误差传递函数	57
(二) $n(t)$ 作用下系统的误差传递函数	57
(三) 系统的总误差	57
六、降低系统稳态误差的方法	58
七、二阶系统的瞬态响应性能指标	58
八、高阶系统的瞬态响应分析	59
第五节 采样控制系统	59
一、信号的采样与保持	59
二、离散系统的差分方程	60
三、 z 变换	61
四、脉冲传递函数	62
五、离散系统的分析	62
六、离散系统的综合设计	63

第六节 数字 PID 控制算法	63
一、二阶连续模拟 PID 调节器	64
(一) 比例调节器	64
(二) 比例积分调节器	65
(三) 比例积分微分调节器	65
二、数字 PID 控制算法	66
三、离散 PID 控制算法	67
四、对标准 PID 算法的改进	69
(一) “饱和”作用的抑制	69
(二) 干扰的抑制	72
(三) 其他修改算法	74
(四) PID 调节器参数选择	75
(五) 凑试法确定 PID 调节参数	76
(六) 实验经验法确定 PID 调节参数	77
(七) 采样周期的选择	78
第七节 完全微分型和不完全微分型的 PID 控制算法比较	80
一、完全微分型算式	80
二、不完全微分型算式	81
三、两类算式的比较	83
四、编制控制算式子程序框图的几点说明	84
(一) 抗积分饱和与限幅	84
(二) 减少计算次数	84
(三) 防止积分极限环的产生	84
(四) 存储数据	85
第四章 注塑机控制系统	86
第一节 注塑机电控系统组成	86
一、电动机控制部分	86
二、注塑机动作顺序控制部分	87
三、注塑机螺杆筒温度控制部分	88
第二节 液压油温度智能自适应控制	91
第三节 射胶液压闭环控制及 $p-V-T$ 控制	93
第四节 注塑机可编程控制器的原理与设计	102
一、PLC 的组成及原理	103
二、PLC 的选用和程序设计	103
三、PLC 的维修与故障排除	105
四、PLC 的安装与保养	106
第五节 可编程控制器注塑机电控装置实例	107
第六节 计算机在注塑机上的应用	116
一、微机控制器	118
(一) 组成及原理	118

(二) 微机控制器的设计	119
(三) 维修与故障排除	121
(四) 安装与保养	122
二、微机控制系统与 PLC 比较	123
第七节 自动调校锁模参数	123
一、锁模力测量	124
二、自动调校锁模参数的获得	125
三、自动调校锁模程序设计	125
第五章 注塑机常用检测传感器和放大电路	128
第一节 热电偶温度计	128
一、热电效应及热电偶	128
二、热电偶在测温中的设备误差及其补偿	133
三、接触式测温误差分析	136
四、接触式测温的使用范围	139
五、常用的标准型热电偶	139
六、标准型热电偶的分度表	141
第二节 传感器信号环流变送放大器 AD693 集成电路应用	142
第三节 轴转角数字编码器原理	147
一、绝对式编码器	147
二、增量式编码器	148
三、光学编码器转动方向检测原理	149
四、编码器电路	151
五、光学轴编码器电路应用	152
第四节 光栅电子尺	155
一、特点及分类	155
二、光栅的应用	156
第五节 感应同步器	157
一、特点及分类	157
二、感应同步器的几种用法	158
三、感应同步器的误差及技术指标	159
第六节 直流测速发电机	159
一、工作原理及分类	159
二、直流测速发电机的应用	160
三、直流测速机的技术数据	161
第七节 光电数字检测器	161
一、光电管门限电路	162
二、光电数字转速检测器	163
第八节 磁电式转速计	164
第六章 注塑机变频技术	166
第一节 注塑机变频的优点	167

第二节 注塑机变频节能原理	168
一、注塑机液压系统及其组成	168
二、变频电机在保压、冷却、开模取料工艺阶段节能作用	171
三、注塑机变频结构组成	172
四、前馈比例微分控制数学模型	174
五、交流电动机晶闸管交-直-交变频调速装置	178
第三节 变频器原理基础	186
一、交流调速分类	186
(一) 间接变换方式(交-直-交变频)	187
(二) 直接变换方式(交-交变频器)	188
(三) 无换向器电动机调速	188
二、脉宽调制逆变器	189
(一) 概述	189
(二) PWM 逆变器的工作原理	189
(三) PWM 逆变器的控制方式	191
三、直流-交流无源逆变电路	194
(一) 概述	194
(二) 交-直-交电压型逆变器	195
四、脉冲宽度调制电路	198
(一) 单极性 PWM 放大器	198
(二) 双极性 PWM 放大器	201
五、正弦波 SPWM 电路	203
(一) 正弦波 SPWM 工作原理	203
(二) SPWM 控制	204
(三) 同步调制与异步调制	206
第四节 变频调速系统的控制方式及其机械特性	207
一、恒频恒压时异步电动机的机械特性	208
二、恒压频比控制时电动机的机械特性	208
三、异步电动机按 $T_{\max} = C$ 控制方式时的机械特性	210
四、恒功率控制方式	211
第五节 转速开环、电压闭环恒压频比控制的变频调速系统	212
一、给定积分器	213
二、绝对值放大器	213
三、电压控制环节	213
四、频率控制环节	213
第六节 异步电动机矢量变换控制系统	214
一、矢量变换控制的基本概念	214
二、坐标变换和矢量变换	215
三、矢量变换控制的异步电动机数学模型	218
(一) 双轴理论和原型电机的电压方程	218

(二) 用 $\alpha\beta$ 轴坐标系描述的异步电动机数学模型	220
(三) 用 $M-T$ 轴坐标系描述的异步电动机数学模型	221
(四) 数学模型中各变量的关系	223
(五) 两种数学模型比较	224
四、矢量变换控制的变频调速系统	225
(一) 磁链开环转差型矢量控制的交-直-交电流型变频调速系统	225
(二) 转速、磁链闭环控制的电流跟踪型 PWM 变频调速系统	227
第七章 注塑成型专家系统	229
第一节 专家系统简介	231
一、人工智能的发展	231
二、专家系统	232
三、模糊推理	235
四、知识获取	239
第二节 注塑成型过程及其控制参数	240
一、注射过程	242
二、冷却过程	243
三、熔胶过程	243
四、开模及顶针过程	244
五、注射成型工艺条件的选择与控制	245
第三节 经验规则提取与知识表达	247
一、文献回顾	248
二、注塑产品缺陷	253
三、初始规则的提取	253
第四节 注塑材料与过程建模	255
一、聚合物的热物理性能	255
二、聚合物的流变性能	257
三、充模过程简化建模	262
第五节 模腔几何形状辨识与分级注射参数自动设定	265
一、成型理论	266
二、简化模型仿真	268
三、实验	269
四、确定注射速度分级参数	273
第六节 注塑工艺参数的自动设定	277
一、引言	277
二、数学描述	278
三、过程参数的初始化选择	280
四、机器参数的初始化设定	281
五、消除缺陷的系统结构框图	282
六、模糊系统设计	284
七、消除缺陷的算法实现	289

八、消除注塑制品缺陷的经验规则.....	289
第七节 实验研究.....	292
一、实验方案设计.....	293
二、确定规则强度的实验研究.....	295
三、分级注射速度位置和速度.....	301
四、缺陷消除算法验证.....	304
五、测试结果.....	306
第八节 系统实现.....	308
一、系统结构.....	308
二、系统界面.....	308
三、菜单功能.....	309
第八章 电动注塑机	316
第一节 国外电动注塑机发展概况.....	316
第二节 电动注塑机结构.....	317
一、电动式注塑机的分类.....	317
二、全电动式注塑机主要部件结构.....	318
三、电动式注塑机控制系统.....	323
第三节 交流伺服电动机磁通特性.....	329
一、高性能三相永磁同步伺服电动机.....	330
二、三相异步伺服电动机.....	333
三、伺服电动机的选择及评价因素.....	334
第四节 交流永磁同步电机控制算法.....	336
一、交流永磁同步电机数学模型的建立.....	337
二、磁场定向控制的数学模型.....	338
三、空间矢量脉宽调制.....	341
四、空间矢量 PWM 波的生成.....	345
第五节 电动注塑机中的几个控制方法.....	348
一、电动注塑机中的注射压力与注射速度的控制方法.....	348
(一) 注射过程各阶段对制品质量的影响.....	348
(二) 采用电动注塑机对成型质量的影响.....	349
(三) 注射速度控制响应.....	352
(四) 电动注塑机优点.....	354
二、锁模压力控制方法.....	355
三、直流电机中的限流保护.....	356
四、新型顶出监控原理.....	358
主要参考文献	360

第一章 注塑机控制系统概述

第一节 塑料工业的历史回顾和未来发展展望

一、历史的回顾和现状

从20世纪50年代技术创新推出了螺杆式塑料注射成型机至今已有50多年的历史。目前在工程塑料业中,80%的塑料制品采用了注射成型。近年来汽车、建筑、家用电器、食品、医药等行业对注塑制品日益增长的需要,更推动了注射成型技术水平的发展和提高。中国塑料机械2000年销售额在70亿元人民币左右,以台数记约为8.5万台,其中40%左右是注射成型机。从美国、日本、德国、意大利、加拿大等主要生产国来看,注塑机的产量都在逐年增加,在塑料机械中占的比重最大。

(一) 注塑机的技术水平及发展趋势

从注塑机问世起,锁模力在1000~5000 kN、注射量在50~2000 g的中小型注塑机占绝大多数。到了20世纪70年代后期,由于工程塑料的发展,特别是在汽车、船舶、宇航、机械以及大型家用电器方面的广泛应用,使大型注塑机得到了迅速发展。其中以美国最为明显,在1980年全美国约有140台10000 kN以上锁模力的大型注塑机投入市场,到1985年增至500多台。日本名机注塑机(Meiki)公司则成功地制造了当今世界最大的注塑机,其锁模力达到120000 kN,注射量达到92000 g。

20世纪80年代以来,CAD/CAE/CAPP/CAM计算机应用技术在塑机制造业的广泛应用,促进了中国注塑机研发和制造水平的高速发展。中国一批国家级高新技术企业都相继引进美国EDS公司的UGS软件和PTC公司的计算机辅助设计和分析等软件,实现了三维立体参数化建模,机构运动仿真,对关键零件分析,对高应力区的应力分布、应力峰值、危险区域等进行准确的分析计算,帮助设计人员迅速地了解、评估和修改设计方案,保证了重要零件的结构合理性和可靠性;实施了CIMS工程,实现了生产计划、物料、成本等计算机集成管理;引进IMAN系统,实现了产品技术数据的创建和跟踪,产品结构和版本,产品属性和关联数据的查询以及信息传递等计算机集成管理。

从目前的国际水平来看,注塑机的移模速度已从过去的20~30 m/min提高到40~50 m/min,高的甚至达到70 m/min;注射速度从过去的100 mm/s提高到现在的250 mm/s,有的达到450 mm/s。日本制钢所研制的电动型注塑机达到900 mm/s。注射压力从过去的120~150 MPa提高到目前的180~250 MPa。日本的SN120P机已达到460 MPa,它生产的制品收缩率几乎为零,制品公差可保证在0.02~0.03 mm,壁厚可达到0.1~0.2 mm。节能方面,从过去的流量比例和压力比例控制发展到变量控制或定量控制。变频调速控制、伺服控制技术的注塑机,其能耗仅为传统机器的30%。注塑机的高效率主要体现在工作节拍快,制品周期短,普遍比过去提高24%以上。高效注塑机的开模与预塑一般都是同步完成,开模过程中同时完成抽芯和顶出。日本展览会上最快的注塑机,其工作周期只有1 s。注塑机的控制技术历经了继电器、接触器控制及可编程控制器控制和专用计算机控制的发展过程。自20世纪60年代末美国费洛斯公司首先应用计算机控制技术开始,经过20世纪80年代以后的高速发展,它已经不再

是简单的动作控制，而是包括熔体温度、注射压力、注射速度、保压时间、冷却过程及液压回路等各种参数的综合控制。注塑机过去大多数采用开环控制，目前正在向闭环控制方向发展。德国克劳斯马菲公司的 PM 控制系统，通过合模力、模腔压力和充模过程的控制，使制品质量的误差精确到 0.15%。

目前注塑机发展的另一个重要方面，是各种专用注塑机，如排气式注塑机、发泡注塑机、多色注塑机等。以加拿大 HUSKY 公司为代表的瓶坯机、包装机，集中体现了高新技术含量的特征。该公司推出的低压注塑成型技术，在锁模力只有传统技术 1/3 时，仍可高质量地保证制品成型，这使得机器的体积和质量都大幅度降低，在节能和制品成本控制方面都具有重大意义。

(二) 精密注塑技术水平及发展趋势

精密注塑是指塑件的尺寸精度达到 0.01~0.001 mm 的注塑。有关资料表明，20 世纪 80 年代的精密塑件在整个注塑产品中所占的比重约为 1%，20 世纪 90 年代则为 10% 左右，特别是近几年来，随着 VCD、DVD 以及微电子通讯产品的迅猛发展，这一比例有急剧上升之势。一些注塑设备生产厂家，为了适应这一发展，加大了精密注塑机及其辅助设备的研制开发力度，不断推出适于精密注塑的新机型。如 1998 年 10 月在德国杜塞尔多夫举办的第 14 届国际塑料与橡胶展览会上，日本 NISSEI 公司推出的 DVD 注塑机，德国 BATTEN FELD 公司推出一种伺服电动注塑机，用来生产质量为 2 mg、植入人耳的高精度传感器，DR-BOY 公司的 12M 型及 AR-BURG 公司的 JUBILEE 等注塑机厂都推出了最新的注塑机。

生产电子产品的高新技术企业，所使用的塑件体积小、壁薄、尺寸精度高，曾先后引进了一大批性能优良的适合于精密成型的注塑机及其辅助设备。如德国 AR-BURG 公司的注塑机，COCH 公司的除湿干燥机，瑞士 GROSSENBACHER 公司的模温控制器等。

通过实践认识到，要全面了解精密成型技术，必须考虑以下几个问题。

1. 高精度的注塑设备

精密塑件的发展必将对注塑机等塑料成型设备提出更高的要求，使它们向着品种多、规格全、质量稳定可靠、自动化程度高、快速高效、高精度、节能省电、低噪声方面发展。精密注塑需要高精度的注塑机械，例如要注塑精度为 0.01~0.001 mm 的塑件，就要求注塑机压力、流量、温度、计量等都能控制准确到相应精度，采用多级或无级注塑，保证工艺的再现条件和制品的重复精度等。

目前，世界上先进的注塑机一般都采用微电脑处理的全闭环控制系统，此系统包括：键盘输入、屏幕显示、系统运行、系统检测、信号反馈及校正等。操作人员可根据屏幕上显示的问题输入指令或数据，如：机筒温度、开合模距离、注射压力、注射速度、保压压力、冷却时间、顶出次数、生产周期、模腔数、生产总数等。数据或指令输入完毕后，系统便会按照输入的数据或指令运行，同时微电脑处理系统开始监视和检测系统实际数据和设定数据是否一致，如发现两者有差异则迅速反馈给处理系统予以及时纠正。这样既保证了塑件的再现性及重复精度，又可实现快速调机。同时机床上备有磁盘数据存储器，可将当前生产数据储存，以便下次生产时再用。

目前，一种更先进的注塑机已开始进入市场，那就是全电动式注塑机，这种注塑机相对于传统液压式注塑机有许多优点，包括：节能、整洁、安静、精度高及可重复性高等。所以，对于要求高精度的注塑制品，它比传统液压式注塑机有更好的性能。试验表明，电动式注塑机的可重复性比液压式注塑机高出 50%，这对于保证制品质量稳定大有好处。

因此，国际塑料与橡胶展览会上有数家公司都推出了自己最新研制的电动式注塑机，如日本的 NISSEI 公司、奥地利 ENGEL 公司的设备，都极受大家欢迎。

2. 精密注塑成型模具

精密注塑模具所用的材料性能是直接影响模具加工精度的关键。在使用某些型号钢的过程中，发现此类钢对精密注塑存在热处理变形相对较大的情况；表面质量不好，达不到平面粗糙度（镜面）要求；在注塑生产中则经常发生模芯断裂及模腔开裂现象，需经常更换模芯、模腔，费工费时，给生产带来许多麻烦。为了减少热处理变形，对于关键的模腔和模芯镶件，均采用先热处理后进行电加工的方法。这样就有效地保证了模腔和模芯的尺寸精度，从而保证了塑件的尺寸精度。模具设计的合理性及模具加工精度对精密注塑来说是至关重要的。

3. 高流动性的塑料材料

在精密注塑中往往采用很高的注塑压力使塑料在型腔内充填密实，以减少塑件的收缩变形。这样长时间的操作会使模具及注塑机损伤很大。为了降低注塑压力，目前已通过改性、添加增塑剂等方法来提高塑料的流动性，发展了很多种高流动性的材料，如：LCP、PBT、PET 等，这些材料很适合于精密注塑。

4. 合理的注塑成型工艺

精密注塑与一般注塑成型是有所不同的，它的工艺合理与否将会直接影响所得塑件的质量。在生产中人们发现，对于精密注塑来说，在工艺上应注意控制以下几个方面。

(1) 锁模力 在精密注塑中往往需要很高的注塑压力，因而锁模力也需相应增大，否则就会使塑件尺寸加厚或出现较大的飞边。

现在，一些先进的注塑机已设有锁模力的自动控制系统，只需设定锁模力的数值，系统便可自动调节。注塑机上的探测器不断测量注塑机拉杆被拉伸的长度变化，所产生的信号调节着拉杆的长度以抵消设定值以外的变化，拉杆长度变化的原因可能来自模具的温度变化。注塑机可以利用安装在它尾板上的液压马达来移动锁模的整组肘杆系统，这样就无需操作人员在生产时调节锁模力了。

(2) 塑料的塑化 塑料塑化的均匀性不仅影响塑件的翘曲和变形，还影响材料通过浇口时所受到的阻力大小。为了得到均匀的塑化，现已发展了一系列特殊的专用螺杆和专用的增塑技术。另外，螺杆筒的温度也应精确控制。现在的螺杆筒温度多采用 PID 控制（比例、微分、积分），精度可控制在 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，已经适合于精密注塑了。目前又有一种更先进的温度控制方法——FUZZY（模糊）控制，可使精度达到 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，更适合于精密注塑了。

(3) 材料的准确计量 要使塑件保持较高的稳定性，在每次注塑时必须注入等量的热熔塑料。因此，材料的准确计量非常重要。在实际生产中，材料的准确计量主要通过控制螺杆每周期的复位精度来实现，螺杆的复位精度越高，生产过程的稳定性就愈大，塑件的质量也就更稳定。理想的情况是螺杆后退时应停在所设定的计量位置，但事实上螺杆后退时总会有一点越位。螺杆的直径越大，越位的程度越难控制。一般的做法是把越位的范围控制在 0.4 mm 以内，最好是控制在 0.2 mm 以内。

(4) 注射速度 热熔塑料从开始注入模腔到完成填充之间有一段时差，在这段时差中，热熔塑料即开始冷却，为了使浇口处与模具另一端的材料均匀冷却就应采取高速注射。为了提高注射速度，先进的注塑机都配置了一个能快速充填模腔的蓄能器以缩短时差。如果因为外观等因素无法安装蓄能器的，可在液压回路上加装一个辅助压力阀（开环控制），此油阀可提高注射速度 $20\% \sim 30\%$ 。

精密注塑除需要较高的注射速度外，注塑时还要在不同的螺杆位置转换不同的注射速度，以避免塑件的某些外观缺陷，例如：蛇形纹、飞边烧伤痕迹等。现在大多数的注塑机都设有不同注射速度的控制，称为多级注射速度。例如，德国 AR-BURG 公司的注塑机就有四级注射速度。多级注射速度的使用不仅可以改善塑件质量，还可以提高生产效率。注射速度和行程控制的使用可以分别获得熔料进入流道系统及模腔的最佳状态。这一功能可以缩短注塑周期的时间 15%~40%，对于技术难度高及尺寸控制要求精密的塑件更是不可缺少。若多级注射速度的设定是在最佳状态时，模具充填周期时间的变化不应超过 0.1 s，最好是控制在 0.06 s 以内。

(5) 注射压力 精密注塑需要较大的注射压力，以提高塑件的密实度，减少收缩变形，保证塑件精度。但这并不是说压力越大越好，压力过大易产生飞边。根据经验，设定注射压力应经过多次调整，最后才能找出最佳的注射压力。在最佳的注射压力下，注射周期时间的变化应不超过 0.08 s，最好是控制在 0.04 s 以内。

(6) 保压 从型腔充填完毕到浇口凝固之前这段时间的保压情况对精密注塑也有影响。准确的保压能较好地补缩，减少塑件变形，保证塑件精度。一般的保压压力是注射压力的 25%~65%，通常使用的压力范围为 80~100 MPa。

(7) 模具温度 在一般精度的塑件注塑成型过程中，控制模温仅仅是为了提高生产效率，然而模温控制对精密注射成型却关系甚大。模温控制准确一方面使热熔塑料能够顺利充满模腔，另一方面可使塑件冷却均匀，减少内应力，避免收缩不均造成塑件变形。

对一般注塑而言，模腔表面的温度变化控制在 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内就可以了。但对精密注塑来说，模腔表面的温度变化应控制在 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之内，这就应该使用 PID 形式的温度控制系统，它可以保证模具的温度变化控制在所需范围内。

随着中国高新技术产业的飞速发展，特别是信息技术的迅速发展，精密塑件的应用越来越广泛，这就促使精密注塑向更高水平——超精密注塑成型的方向发展。所谓“超精密注塑成型”，是指塑件的尺寸精度范围在 0.001~0.0001 mm 之间的注塑成型。据报道，这种万分之一毫米超精度的塑件主要是用来制造通信器材、电脑以及微处理机的部件。当然，目前精密注塑及其相关技术的重点不仅是追求塑件的更高精度，还引起了对整个系统的重视。

(三) 电动注塑机的技术水平及发展趋势

日本电动注塑机具有集节能、高精度度、高速及稳定等优点于一身的电动注塑技术。有业内人士指出，若要加强塑料工业的竞争力，生产高增值产品是惟一方向，要朝这个方向发展的话，便需引入新的注塑技术，而其中将有关技术本地化更是业内人士经常谈论的话题。

拥有节能、精密、高速和稳定等优点的电动注塑机，打破了传统油压机垄断的局面；近年其价格不断下调，更令亚洲国家和美国用户趋之若鹜。除了日本制造商大力研发之外，素以液压系统为傲的欧洲厂家也积极推出新产品，香港厂家亦加入开发行列，市场可说是百花齐放。

日本研制出世界上最快的注塑机：在 2002 年上海国际塑料机械展览会上，日本 NISSEI 公司展出一台 ES200 全电动注塑机，其速度快得使人难以置信，一个产品生产周期只须 0.63 s，合模时间 0.1 s，开模 0.13 s，注射 0.05 s，加料时间 0.25 s，整个周期全自动连续进行。这预示着注塑机将向电动、高速方向发展。

日本四个品牌注塑机，分别为东洋、住友、日精和东芝。这几个公司在电动注塑机和液压电动混合注塑机研制方面各有特色，体现在优化的生命周期成本。全电动注塑机为取得最大的用户利益，自动化专家们正越来越多地直接关注于他们新成果的工艺优化和操作

成本的降低，例如降低塑料加工者的“生命周期成本”。

在注塑机中采用电动马达而不是液压系统，这为塑料加工者带来了能源需求降低、操作环境友好和低噪声的优点。更低的保养要求是采用电机的又一个好处。

液压传动技术的优势：由于与系统相关的原因，液压传动也具备电动机所没有的一些优势。液压传动直接产生一种线性移动，不需要任何机械转化，而且力度和速度比值的范围很宽。相对于负载来说，液压系统传动过载能力强，存储的能量也能够即刻使用。而且，液压传动代表一种历史悠久的、经过了时间验证的技术。对于大型机器和经过成本优化的中型机器来说，这些优势就显得特别有价值。

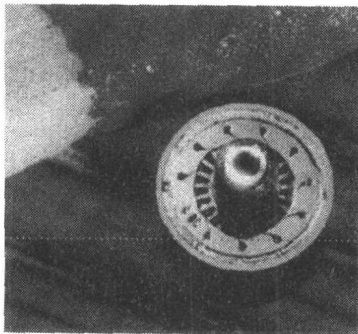
液压传动技术的缺点可以总结为：渗漏、噪声大、性能欠佳。相比之下，电动传动技术根本不存在渗漏的问题，而且噪声也低（小于 60 dB）。与不停运转的液压泵相比较，它能减少 50% 的能量消耗。另外，因为不存在废油处理的问题，所以对环境更有益。从维修角度来讲，电动传动也更方便。

与液动相比，电驱动和控制技术的主要优势是更佳的可控制度和工艺稳定性，可重复性（位置、周期时间）约能增加两倍。所以，生产优质薄壁技术部件如外壳（移动电话和照相机等）或联结器时，电动注塑机是理想的选择。驱动系统的这种较高可重复性有益于试图提高过程能力的加工者。超凡的净化车间（无液压油污染）开拓了在 CD 和 DVD 生产线上，以及医学用品制造这些成长市场中的应用。

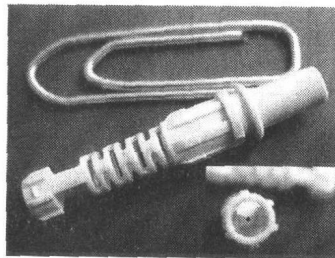
注射装置设计的竞争：在注射装置设计中，直接驱动电机与皮带驱动设计展开着较量。虽然皮带驱动机器成本较低，但来自皮带的微粒给净化车间环境带来了困难。例如在生产 CD 或医学用品时，空气中比 $1\ \mu\text{m}$ 大的微粒最大允许含量是 $800\sim 8000$ 个/ m^3 。因为没必要降低速度，所以直接驱动电机也实现了更快的操作速度，从而缩短了周期时间。在闭模装置中，电动注塑机一般通过滚珠螺杆来驱动。

电动传动和液压传动技术的优缺点相比，电动传动的关键优势在于可控性与更好的工艺连续性。只需改变一两个系数，就能增加可重复性（位置、周期时间）。

全电动注塑机带动了精密零件的微型化。现在的消费市场均要求产品创新、具多样功能和体积微型化，所以近年发展的一枝独秀的 3C 产品，如微型计算机、手提电话和数码影音，它们均有一共同特点就是拥有薄至 0.6 mm 的外壳、中孔直径小于 0.2 mm 的光导纤维接驳器和零件质量轻至 0.001~3 g 的塑料产品。这些产品均依赖精密度极高的电动注塑机才能生产。图 1-1 是利用电动注塑机所生产的微型产品（资料来源：Milcacion Company）。



(a) 手术用剪刀



(b) 光导纤维接头



(c) 比蚂蚁还小的齿轮

图 1-1 电动注塑机生产的微型产品

2001年10月25日，在德国杜塞尔多夫举办的K 2001国际塑料及橡胶展上出现了多种新型全电动注塑机。全电动注塑技术日趋普遍。在欧洲和日本，全电动注塑机的优点跨越了传统液压注塑机的局限，已成为精密注塑用户的新宠儿，制造商利用全电动注塑机的优点来提高运作效率而获得了较高的利润。

基本上全电动注塑机具备以下三大优点。

1. 精密度高且具极佳之重复性

电动注塑机由伺服电机驱动，具有重复循环式计算机控制系统控制，注塑位置准确度可达0.01 mm。表1-1为利用全电动注塑机生产PBT Connector的统计数据。结果显示连续生产50只PBT Connector其变动质量偏差在0.005 g范围内。

表 1-1 连续生产 50 只 PBT 的统计数据

制品质量	质量/g	模具型号	EC20P-0.4A
最大质量(max)	6.229	塑料	PBT
最小质量(min)	6.224	质量/g	6.226
平均质量 \bar{x}	6.226	模具温度/°C	60
变动幅R	0.005	注射时间/s	2.0
标准偏差 σ	0.001	冷却时间/s	5.0
R/\bar{x}	0.080	循环周期/s	9.93
$3\sigma/\bar{x}$	0.064		

2. 生产周期短

由于全电动注塑机分别由多个独立的伺服电机负责锁模、注塑、保压、储料和顶出等动作，与传统只单用一个液压系统来逐一控制以上动作相比较，它可以在开模的同时作储料，在闭模时随之立刻进行射料，因此注塑周期可大大缩短。图1-2是电动注塑机与传统液压注塑机的生产周期比较。

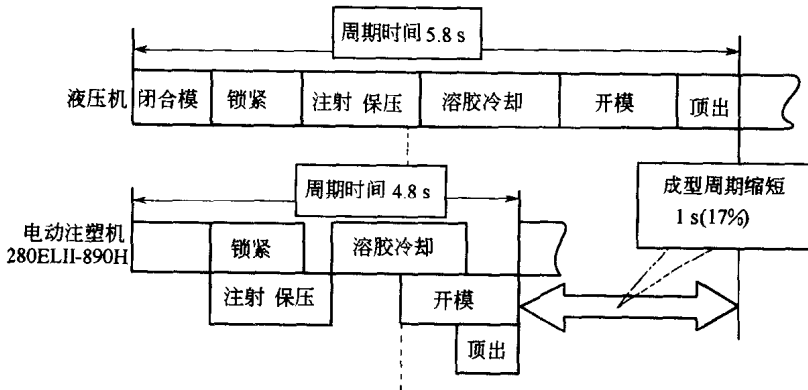


图 1-2 电动注塑机与液压注塑机生产 CD 盒的周期比较

高速液压注塑机的最快循环时间是5.8 s，标准全电动注塑机的循环时间是4.8 s，比前者改善了17.2%。

3. 节省能源

全电动注塑机利用耗电量低的伺服电机驱动，亦不会产生如液压系统在运作过程中产

生的大热量，故可省掉冷却水系统的能源，加上环境整洁，不存在油渍污染，所以对生产精密零件有极佳效果。表 1-2 是全电动注塑机与传统液压注塑机的资源耗用量比较。

表 1-2 全电动注塑机与液压注塑机的资源耗用量比较（资料来源：Toshiba Machine）

电 力	用 量	电费支出/\$		
	/kW·h	第一年	第三年	第五年
液压注塑机	23.7	16995	50987	84979
全电动注塑机	5.2	3729	11187	18645
成本差别		13267	39800	66334
液压油	用 量	液压油支出/\$		
	/kW·h	第一年	第三年	第五年
液压注塑机	317	778	0	1556
全电动注塑机	0	0	0	0
成本差别		778	0	1556
液压油的冷却水	用 量	水费支出/\$		
	/kW·h	第一年	第三年	第五年
液压注塑机	43	774	2322	3870
全电动注塑机	0	0	0	0
成本差别		774	2322	3870
总比较	总成本差别/\$			
		第一年	第三年	第五年
		14818	42122	71759
仿真条件	操作时间	24 h	30 天	12 月
	液压油	2.45 \$/USgal ^①		
	水	0.05 \$/t		
	电	0.083 \$/kW·h		

① 1 USgal=3.78541 dm³。

德国 Demag Ergotech 公司从 2001 年展览会开始向客户提供其 Ergotech EL-EXIS E 系列的精密注塑机如图 1-3 所示。这个系列的注塑机有五种型号，这五种型号是按锁模力大小来分的，有 600 kN，1000 kN，1250 kN，1500 kN 和 2000 kN。这种系列注塑机的

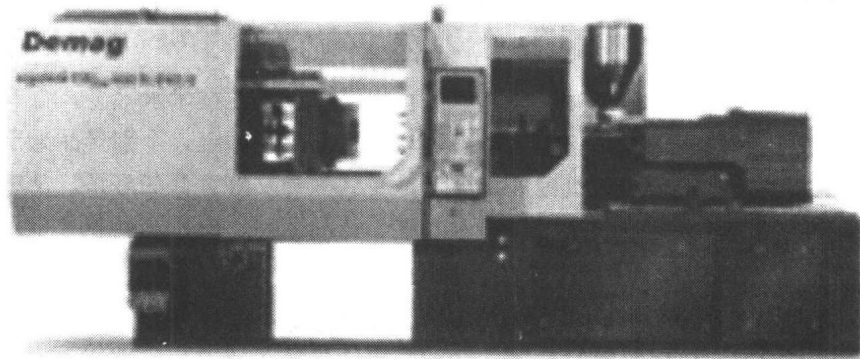


图 1-3 德国 Demag Ergotech 公司的电动和液压 Ergotech EL-EXIS E 注塑机