

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.11.027

注塑机节能技术研究与应用^{*}

余匡华,陶振刚,廖秋慧

(上海工程技术大学,上海 201620)

摘要:为解决常规液压注塑机高能耗、高噪音、重污染等一系列问题,达到集节能、高效、环保为一体的高性能要求,根据注射成型工艺过程中流量、压力及动作要求的特点,对国内传统液压控制系统及节能新技术做了详细对比,指出全电动注塑机必将成为注塑行业发展方向。

关键词:注塑机;节能;全电动;伺服电机

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)11-0116-04

Research and Application of Energy-Saving Technology for Injection Molding Machine

She Kuanghua, Tao Zhengang, Liao Qiuhui

(Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: In order to solve the problems of conventional hydraulic injection molding machines including high energy consumption, high noise, heavy pollution and other issues, and achieve the high-performance requirements of energy saving high efficient and environmentally friendly, according to the characteristics of flow, pressure and movement request in the injection molding process, comparison between the traditional domestic hydraulic control systems and the new energy-saving technology was made in detail, it is the conclusion that the all-electric injection molding machine will become development direction of injection molding industry.

Keywords: injection molding machine; energy saving; all-electric; servo motor

随着液压传动技术和电子控制技术的快速发展,注塑机已广泛应用于建筑、汽车、模具、家电、食品、医药等行业。自2006年以来塑料消费年均增长9%左右,我国已成为世界最大的塑料制品生产和消费市场之一,因此节能降耗已上升到经济发展战略^[1],注塑机的节能问题也受到了广泛关注。近年来,我国进出口注塑机的数量基本保持在1.5万台左右,主要是以液压驱动系统为主,其浪费能量相当大,因此注塑机节能技术的应用与研发受到了很大的重视。目前,变频器和伺服电机在注塑机上的应用,极大地推动了注塑行业的发展,其中伺服电机越来越被广泛接受。当今的注塑机正朝着节能、高效、精密、环保、稳定的方向发展。笔者介绍了注塑机成型技术的一般原理,主要分析了国内注塑机节能技术,同时也指出了节能技术的发展方向。

1 注射成型原理

注射成型是利用塑料3种状态,借助于注塑机和模具,成型出所需要的塑料制品^[2]。注射成型是一个循环的过程,每一周期主要包括:定量加料→熔融塑化→施压注射→充模冷却→启模取件。取出塑料件后再闭模,进行下一个循环。在注塑工艺过程中,每一个动作的切换都需要不断变换各动作的速度、压力、位移等,以确保各个动作之间衔接的精确性

以及适应注射成型工艺对压力、速度、时间的控制要求,这样才能注塑出合格的制品,同时也能够延长注塑机和模具的使用寿命。

在注塑过程中,有合模、锁模、浇注、保压、溶胶、冷却、开模等工序。每个工序都需要注塑机有着不同的注塑动作要求。

(1) 合模和锁模。合模快速,动作完成后立即停止,防止模具到位时碰撞,其动作须符合慢-快-慢要求,并且有低压保护阶段。高压低速锁模阶段是保证模具具有足够的锁紧力,以免在注射、保压时产生溢边等现象。

(2) 浇注。匀速射出,速度精度高,射出量精确控制,射满模腔后立即转为压力控制进入保压过程。

(3) 保压。恒定压力控制,确保制品成型密度一致。

(4) 熔胶和冷却。熔胶时进行速度控制,要求尽可能快

^{*} 上海工程技术大学科研创新项目(13KY0517);上海工程技术大学科技成果转化专项资助项目(2012zh02);民用飞机平尾壁板时效成形工艺研究项目(B-8932-13-011)

联系人:廖秋慧,工程硕士,副教授,长期从事材料成型及控制技术的科研工作

收稿日期:2013-08-21

地将射台推出至适当的位置,同时螺杆将足够量的熔胶推出至射口处,并且要求射台推出时有一定的背压。为节省时间,熔胶与冷却一般同时进行,但如果冷却时间较长,会出现熔胶结束后仍需等待冷却的空等时间。

(5) 松模开模。快速打开模具,动作快捷到位。

根据上述注塑动作要求的分析,其电机多数时间用于负载和空转,因此产生大量溢流,造成约为 36%~68% 的能量损失^[3],而成功注塑一个制品其耗能主要体现 3 个方面^[4]:(1) 注射成型耗能;(2) 执行机构耗能;(3) 动力驱动耗能。动力驱动耗能是整个设备工作过程中能耗最主要的部分,其比例高达 80%,因此若提高动力驱动系统的能耗效率及驱动系统输出功率与执行机构执行功率可达到自适应调节匹配的能力,两者之间的能量利用率越高,即系统节能率越高^[2,5]。因此,大多厂家从节制溢流方面作了大量的研究,从过去的流量压力双控制发展到负载敏感控制,变频调速控制和伺服控制,以及最具发展前景的全电动控制。

2 国内常规控制系统

目前,国产注塑机的液压控制系统主要是采用定量泵与比例流量/压力复合阀(PQ 阀)的控制方式^[6]。系统是由普通电机驱动定量泵,控制系统输出压力和流量控制信号,通过比例压力阀和比例流量阀的调整来实现对系统的压力和流量持续地按比例的控制。虽然这种系统基本满足了注塑机整个工作循环压力与速度的要求,比传统的多泵容积调速系统有了很大的进步,对环境的影响要求不高,同时也优化了控制器件的数量和管道、摩擦的能量耗损,但由于采用定量泵,节流和溢流损失不可避免,大约有 50% 的能量被溢流损失掉了,因而功率损耗较大,特别是对于一些保压压力较高,保压时间长的制品而言,表现更为明显^[7-8]。这种系统到目前为止,还有许多低端的注塑机在应用,随着人们对能源和环保的认识逐步加深,这种系列的注塑机逐渐会被市场淘汰。

3 节能新技术

自 20 世纪 90 年代至今,电液比例控制技术实现对压力和流量的比例控制,对整个设备的响应、精度以及稳定性等性能有了很大的提高,为了进一步避免上述阀控控制系统因溢流产生的能量损失,日本、德国等研发了比例变量泵控制系统,此系统有效地减少了节流、溢流损失,降低了能耗及噪音等。

在交流异步电动机的诸多调速方法中,变频调速的性能最好,调速范围大,稳定性好,运行效率高。变频器驱动是伴随着变量泵而诞生的,主要通过变频器输出信号来改变异步电动机的供电频率,可以改变其同步转速,实现调速运行,达到节能的效果。变频器实现了无级调速,从根本上杜绝了

油路上的节流和溢流导致的能量和功率损失。

伺服电机驱动系统(直驱容积控制电液伺服系统)具有伺服电机响应速度快、过载能力高、刚性好、重复精度高的特性,系统的压力和流量可以通过改变伺服电机的转速反馈信号进行闭环控制,此系统结构紧凑、体积小、效益高更加适应液压控制技术的发展趋势和客户的需求。

3.1 比例变量泵系统

比例变量泵系统替代了常规的定量泵与比例流量/压力复合阀(PQ 阀)系统,有开环和闭环两种,具有比例压力、比例流量等多种复合控制系统,实现了液压阀控制到油泵控制的转换以及节流调速向容积调速的转变^[9]。此系统可以使用户根据注射成型工艺过程中需求的压力、流量和速度等参数将其设定合适的大小,转换为相应的信号来改变比例溢流阀和比例节流阀输入的电流信号从而改变系统的压力,系统压力会反馈给变量机构,变量柱塞泵斜盘倾角随之发生变化,从而控制流量和压力。所以此系统的工作流量能够随输入电信号的变化而连续稳定改变,能够最大限度地避免能量的浪费^[10]。与定量泵系统相比,不仅减少了大量的溢流损失,还使得油泵电机负载变小,但是此系统不能从根本上避免节流、溢流损失造成的能量损耗。

比例变量泵系统比常规系统节能效果好,尤其是处于保压阶段变量泵会根据系统的压力控制自身的排油量,节能高达 25%;其具有能量损失减少、系统效率提高、系统发热降低等优点^[7,11],这是由于比例变量泵的核心控制元件与油泵于一体,响应速度快(100 ms);交流电机转速恒定,且没有磁带效应及转动惯量的影响;承载能力强等。

3.2 变频器节能技术系统

变频器节能技术系统^[12-13]主要是由变频器、交流电机、定量泵以及液压阀等组成,其电机的转速 $n = 60f/P$ (f 为频率, P 为电机磁极对数),泵输出流量 $Q = Vn/60$ (V 为排量),可得 $Q = Vf/p$ (通过改变电机的交流电频率来控制流量大小)。变频器节能原理是通过根据注塑机当前的工作状态,控制油泵电机的转速来调节油泵的输出流量,使油泵实际供油量与注塑机实际负载流量在任何工作阶段均能保持一致,保证电机在整个变化的负荷范围内的能量消耗达到所需的最小程度,实现无级调速,彻底消除了溢流现象,并确保电机平稳、精确地运行。变频驱动的电液注塑机的总效率可达 52%,而普通液压驱动的注塑机的总效率不足 25%^[14]。鉴于我国的注塑机绝大部分都是定量泵泵控系统,很多厂家通过采用变频器对异步电动机进行调速控制,即对传统的定量泵系统进行变频改造^[15]。但是变频技术是在定量泵基础上对流量进行了实时控制而实现节能的,同时也有着很大的不足,动态响应速度慢 800~1000 ms;低速节能效果不佳;过

载能力低等。

3.3 伺服控制系统

伺服控制系统(简称DDVC)^[16-18]主要由永磁同步伺服电机、定量泵、压力传感器、伺服控制器和旋转编码器等组成^[19],其工作原理是在控制系统给出一定的压力和流量信号时,伺服控制器根据提供的压力信号和压力传感器及伺服电机旋转编码器反馈的实际压力进行比较运算,对输出的压力进行在线监测、比较和修正,实现系统压力和流量的闭环控制^[20]。

基于永磁同步电机^[21]的结构原理其转子转速等于其同步转速,转速始终为 $n=60f/P$,同步电机在很宽的负载范围内保持接近于1的功率因数,效率比同容量的异步电机高8%,功率密度比同容量的异步电机高5%,力学性能指标提高18%。虽然变频器与交流异步电机的结合克服了无级变速的缺点,但是还是不能从根本上克服由交流异步电机本身产生的功率因数、效率、发热及损耗大等缺点。从工作原理上同步电机要优于同容量的异步电机,基于伺服电机的速度和力矩控制特性,使伺服系统在注塑过程中的不同阶段都具备了每个阶段所需求的流量、压力和时间等功能,从而保证注塑制品的高质量、高速率以及优化了各阶段的能量损耗,达到节能的效果。

此系统有着以下优点^[22-23]:

(1) 节能效果显著。

可实现压力和流量双闭环控制,按照实际需要的压力和流量来供油,克服了传统系统高压溢流回流产生的高能耗,在合模和浇注等高流量工作阶段同步电机可按预定的转速工作;而在保压和冷却等低流量工作阶段降低了电机转速,其能耗比传统系统降低50%~75%。

(2) 响应迅速,生产效率高。

减少了压力和流量上升时间,提高了响应速度,减少了不同动作之间的时间间隔,同时提高了注塑机运转速度和生产效率。

(3) 压力稳定、控制精度高。

伺服调节能力强,压力稳定性高,提高了制品的成型质量。

(4) 低噪音、环保。

(5) 重复精度高。

采用闭环控制,重复精度高,生产出的制品精度高,一致性好;克服了普通异步电机定量泵系统由于电网电压、频率等变化带来转速变化,进而引起流量变化,使注塑制品成品率降低的缺点。

4 控制系统性能比较

传统注塑机油泵马达基本按最高压力和流量确定功

率,以固定转速确定恒定流量,多余的液压油通过溢流阀或节流阀回流,造成能量浪费。而直驱液电伺服系统采用压力、流量双闭环和计算机控制,在不同阶段都能按需求输出不同的流量和压力;电机低速或停转,功率消耗达到最小。由于异步电机负载偏大,所做无功较大,导致功率消耗大。伺服电机为永磁同步电机,效率和功率因素高,在注塑机平均工况下,伺服电机比异步电机效率高10%,传统注塑机因高压节流,油温升高大,导致油体变稀、管路软化、漏油,必须对液压油进行冷却。而伺服系统采用齿轮泵,根据需求提供流量,不存在节流,液压油温升高小。相比伺服系统要优越得多。

5 全电动驱动系统

全电动注塑机与传统的全油压注塑机相比,全电动在动力系统上彻底抛弃了液压系统,所有动作采用伺服电机驱动。电动式注塑机是指通常使用交流伺服电动机,配以滚珠丝杠、齿形带以及齿轮等元器件来驱动各个机构的注塑机。全电动注塑机的驱动系统全为电动式,非液压式,因此克服了传统液压驱动在注塑机上存在的油路压力流量的损失、溢流、油管摩擦、油管方向改变、油泵效率和摩擦损失等缺陷。即电动式注塑机没有液压系统,也没有任何液压元部件。故与传统的液压系统比较,全电机的节能效果可高达70%。

全电动注塑机有着独特的优点^[24-25]:

(1) 精密度高、重复性好。

由伺服电机驱动,传动机构采用滚珠丝杠和齿形带,大幅度提高动力系统的控制精度。

(2) 生产周期短。

由多个伺服电机负责锁模、注射、保压、储料和顶出等动作,与传统单用一个液压系统逐一控制上述动作相比,可在开模时储料,合模时射料。

(3) 速度控制范围宽、响应性好。

伺服电机的速度控制特性较好、范围大、稳定性好。

(4) 节省能源且环保。

低耗能的伺服电机驱动,彻底避免了液压冷却水系统产生的热量,环境整洁,噪音低。

(5) 效率高、使用成本低。

日本NISSEI公司展出一台ES200全电动注塑机,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,这预示着注塑将向电动、高速方向发展。

综上所述,全电动注塑机拥有节能、环保、噪音低、精密、高速、稳定等优点,优化了制品生产周期,具有完美的可重复性和工艺稳定性,因此全电动注塑机必然会成为注塑行业的发展方向。

6 展望

就目前注塑机行业的节能技术来看,比例变量泵系统是我国电液控制最为基本的节能方法,技术成熟,占据着主导地位,但是变量泵价格偏高、结构复杂、易受油液污染和存在能量损失等,与之相比变频器的应用不仅减少了能耗及噪音等,特别是在冷却时还可以做到浆泵完全停止,降低了电机与泵的空载损耗,具有比变量泵系统更大的节能潜力,但是受限于传统异步电机驱动效率低、低速运转时转矩小、谐波损耗大、速度变动率大、动态性能低等缺点,这种节能技术只是在传统注塑机上进行改造,不可能替代变量泵系统^[26-27]。目前伺服控制系统深受广大厂家的青睐,已经在注塑机、压力机和冶金设备等装备上使用,基本解决了传统液压驱动系统的缺点,在节能、降低噪声、提高频响、环保、工作重复性和稳定性等方面取得了很好的效果,其性能和全电动的性能相当,它融合了全液压式注塑机的高性能和全电动式的节能优点,尤其在电传动无法实现大功率系统中凸显了伺服控制系统的优越性,这种动力驱动系统已成为国内注塑机技术发展的一个主导方向。

伺服控制系统虽然在某种程度上能够到达全电动驱动系统的优良性能,但是它仍然存在液压油流量压力的损失。随着塑料制品多样化市场需求越来越大,注塑机设备的升级换代也越来越快。早期的注塑机都是全液压式,由于环保和节能的需要,以及伺服电机的成熟应用和价格的大幅度下降,近年来全电动式的精密注塑机越来越多,相信全电动驱动将会是未来发展的主要方向,然而全电动注塑机在环保、节能和控制特性方面都具有独特的优势,相信未来全电动注塑机将会是国内注塑机技术的主要发展方向。

参考文献

- [1] 廖正品. 国外塑料, 2008, 26(4):22-30.
Liao Zhengpin. World Plastics, 2008, 26(4):22-30.
- [2] 宋春华, 等. 塑料工业, 2008, 36(6):30-33.
Song Chunhua, et al. China Plastics Industry, 2008, 36(6):30-33.
- [3] 钟汉如. 注塑机控制系统 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
Zhong Hanru. Control system for injection molding machine[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [4] 张友根. 包装工程, 2008, 29(3):207-209.
Zhang Yougen. Packaging Engineering, 2008, 29(3):207-209.
- [5] Snyder M R. Mod Plast, 2000, 77(4):34.
- [6] 张友根. 包装工程, 2008, 29(4):172-174.
Zhang Yougen. Packaging Engineering, 2008, 29(4):172-174.
- [7] 饶启琛, 等. 橡塑技术与装备, 2002(4):53-55.
Rao Qichen, et al. China Rubber / Plastics Technology & Equipment, 2002(4):53-55.
- [8] 刘海滨, 等. 液压与气, 2007(6):57-58.
Liu Haibin, et al. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2007(6):57-58.
- [9] 林克伟, 等. 工程塑料应用, 2011, 39(8):84-87.
Lin Kewei, et al. Engineering Plastics Application, 2011, 39(8):84-87.
- [10] 冯刚, 等. 工程塑料应用, 2011, 39(3):102-104.
Feng Gang, et al. Engineering Plastics Application, 2011, 39(3):102-104.
- [11] 陶文勇, 等. 塑料工业, 2011, 39(5):5-8.
Tao Wenyong, et al. China Plastics Industry, 2011, 39(5):5-8.
- [12] 文生平, 等. 工程塑料应用, 2006, 34(5):59-62.
Wen Shengping, et al. Engineering Plastics Application, 2006, 34(5):59-62.
- [13] 翁振涛, 等. 液压气动与密封, 2004(1):41-43.
Weng Zhentao, et al. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2004(1):41-43.
- [14] Achim Helbig. Injection molding machine with electric-hydrostatic drives[M]. 3rd. Aachen:Shaker Verlag, 2002:67-82.
- [15] 王敏. 塑料助剂, 2007, 64(4):54-55.
Wang Min. Plastics Additives, 2007, 64(4):54-55.
- [16] 张友根. 流体传动与控制, 2010, 43(6):9-15.
Zhang Yougen. Fluid Power Transmission and Control, 2010, 43(6):9-15.
- [17] 李大寅, 等. 橡塑技术与装备, 2005, 31(7):58-60.
Li Dayin, et al. China Rubber / Plastics Technology & Equipment, 2005, 31(7):58-60.
- [18] 张涛, 等. 机电工程技术, 2010, 39(8):73-75.
Zhang Tao, et al. Mechanical & Engineering Technology, 2010, 39(8):73-75.
- [19] Helduser S. The Eighth Scandinavian International Conference on Fluid Power, 2003:1 219-1 229.
- [20] Kenichi T, et al. Application of the "Asr Series" AC servo motor driven hydraulic pump to injection molding machines[C]. Proceedings of the 7th JFPS International Symposium on Fluid Power. Toyama, Japan:JFPS, 2008.
- [21] Wang Ming-hyan. IJCAT, 2009, 39(2):83-90.
- [22] 毛桂兴. 橡塑技术与装备, 2011, 37(2):53-56.
Mao Guixing. China Rubber / Plastics Technology & Equipment, 2011, 37(2):53-56.
- [23] 宋晓玲. 装备制造技术, 2011(10):34-35.
Song Xiaoling. Equipment Manufacturing Technology, 2011(10):34-35.
- [24] 林宏权, 等. 塑料工业, 2005, 33(4):1-4.
Lin Hongquan, et al. China Plastics Industry, 2005, 33(4):1-4.
- [25] 钟炳强. 国外塑料, 2004, 22(5):58-60.
Zhong Bingqiang. World Plastics, 2004, 22(5):58-60.
- [26] 金波, 等. 液压气动与密封, 2006(1):7-10.
Jin Bo, et al. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2006(1):7-10.
- [27] Matthew H, Naitove, Enewsletter, 2012, 58(2):80.