

气辅技术的注气控制系统设计^{*}

匡唐清 柳和生 周国发 赖家美

(南昌大学机电工程学院,南昌 330029)

摘要 气辅技术能够克服常规注射成型和挤出成型中所固有的缺陷,具有一系列的优点。塑料成型过程中采用气辅技术只需增加一套气辅设备,其技术核心是气体压力控制系统。设计了一个基于多模态智能 PID 控制器的低压控制系统并进行了软件开发,结果表明,该控制系统可以实现对气压高精度的实时控制,为实现高压控制打下了坚实的基础。

关键词 气辅技术 注射成型 挤出成型 压力控制系统 设计

塑料工业的发展非常迅速,塑料制品的应用也日益广泛。注射成型工艺和挤出成型工艺是塑料制品的两种重要成型方法^[1]。但传统的注射成型和挤出成型由于自身的工艺特点导致一些缺陷不可避免,气辅技术的出现则能克服这些缺陷。

在注射成型中引入气辅技术的核心思想就是引入高压气体,驱动熔体充填,并充当保压压力。由于气体的粘度相对聚合物熔体的粘度而言可以忽略不计,因而注塑压力可以通过气体基本没有损失地传递^[2~4]。在共注射成型中引入气辅技术(气辅共注射成型^[5,6])也是基于同样的思想。气辅技术在注射成型工艺中应用带来的主要优点有:节省原料、降低生产成本、减轻制件质量、缩短生产周期;降低注塑压力、降低锁模力、减轻制件翘曲变形、提高制件表面质量、易于成型壁厚差异较大的复杂结构制件。

在挤出成型中引入气辅技术的核心思想就是利用气体在聚合物熔体和挤出口模之间形成气垫膜层,将传统挤出的非滑移粘着剪切口模挤出方式转化为气垫完全滑移非粘着剪切口模挤出方式,从而取得明显的口模减粘降阻效果。在共挤成型中引入气辅技术(气辅共挤成型)也是基于该原理。气辅技术在挤出成型工艺中应用带来的主要优点有:大大减小挤出制品的出口膨胀,提高产品的尺寸精度,实现了对挤出产品外观及尺寸更好的控制;减少甚至消除挤出破裂问题,提高挤出质量和产量;降低挤出压力,节约能量,降低模具损耗,降低成本^[7,8]。

气辅技术的引入自然也带来了新的工艺参数。在气辅注射成型的新工艺参数中,气体延迟时间是最为敏感、最为关键的因素,对气体穿透的距离长短、穿透截面大小及表面质量有很大影响;气体注射和保压压力及其随时间的变化,以及总的注射时间对制件壁厚及复杂制件的成型都会产生较大影响。

这些都影响到制件的最终质量^[9~11]。在气辅挤出成型中要求在模壁和熔体之间形成一层稳定而且薄的气垫层。气体压力应超过聚合物的基本内应力,高到足以使聚合物沿整个气垫层长度与口模内壁分离,但气体压力过高又可能引起挤出制品的表观质量问题。

因此,气辅技术要在注射成型和挤出成型中得到成功应用,必须实现对气体的有效控制。气辅设备中的核心技术就是注气控制系统。为此笔者对气辅技术的压力控制系统进行了研制和软件开发。气辅设备组成如图 1 所示。

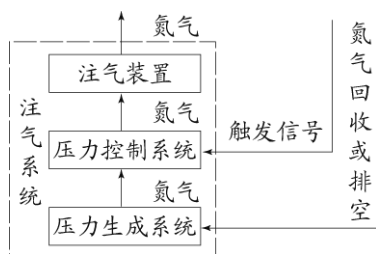


图1 气辅设备组成示意图

1 气辅控制系统的设计

1.1 控制方案的拟定

直接数字控制(DDC)系统是将计算机用于工业生产过程控制的最典型的一种系统^[12]。笔者采用如图 2 所示的 DDC 注气控制系统来实现气辅成型工艺的高精度压力控制要求。该注气控制系统气路部分包括减压阀(如果有低压气源,则不需减压阀)、低压电磁比例阀、高压压力伺服阀等。高压压力伺服阀是以低压电磁比例阀作为先导阀来进行工作的。电控部分包括微型计算机、触发信号发生器、压力传感器、A/D-D/A 转换卡及相关线路。其工

^{*} 国家自然科学基金资助项目(20274016)

收稿日期:2004-03-08

作过程为:计算机将工艺所需的压力过程离散化,触发信号发生器发出信号,触发控制系统使之启动,开始压力控制,控制系统根据设定压力及压力传感器检测的压力误差,经计算实时地输出相应电压信号给低压电磁比例阀,控制低压电磁比例阀的输出压力。在低压电磁比例阀的输出压力作用下,高压压力伺服阀的输出气压也相应地发生改变。采用闭环控制以达到对注气压力的精确控制。

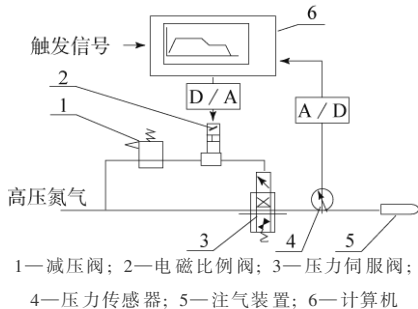


图2 气辅成型注气控制系统

由于条件的限制,该气辅装置只有低压系统,因而该注气控制系统的控制对象为低压系统(输出压力在0.88 MPa之内),控制的是低压电磁比例阀的输出压力,压力传感器安装在低压电磁比例阀的输出端。

1.2 控制系统的硬件

注气控制系统的试验装置包括:微型计算机、光电隔离 A/D-D/A 卡(集成了 D/A 转换器, A/D 转换器)、氮气瓶、电磁比例阀、压力传感器、气缸及气体管道。

试验系统选用的是由北京新科航测控技术研究所研制开发的 KH-9230H 型(C 型)多功能光电隔离 A/D、D/A、DI/O 卡,其 A/D 转换和 D/A 输出均为 12 位。在使用时必须先设置基址及工作方式,必要时还要对 A/D、D/A 进行调整,以保证其性能最佳。在试验系统中设定基址为 280HEX,信号输入方式为单端输入,电压范围为 0~10 V,信号输入极性为单极性, D/A 信号输出范围为 0~5 V。

气体压力传感器选用日本 SMC 公司的 ISE40-01-22L-M 型,其主要性能参数为:使用压力范围 0.100~1.000 MPa;模拟输出电压(1~5)V $\pm$ 2.5%满刻度内;气体压力信号线性转换为电压信号。

电气比例调节阀选用日本 SMC 公司的 VY1A00-M5 型,其主要性能参数为:反应时间 30 ms;最高使用压力 0.88 MPa;输入信号 1~5 VDC;电信号输

入按比例控制气压输出。

1.3 控制系统的软件开发

一个软件系统的开发分为三个步骤:(1)分析问题,提出解决方案;(2)程序编写与调试;(3)试验验证,若效果不佳返回步骤(1)进行修正。

(1) 程序思想

在注气控制系统的每一个控制周期里,首先计算机程序启动 A/D 转换,进行采样;采到数据后,通过控制算法计算出相应的控制输出;然后启动 D/A 转换,模拟输出控制低压电磁比例阀的输出气压。要实现气辅成型工艺的高精度压力控制,就要求保证采样的实时性、采样值的真实性和控制算法的高效性。

为了保证采样的实时性,实现控制的实时性,在该注气控制系统中,根据硬件的反应时间和程序运算时间,取采样周期为 40 ms。由于该控制系统采用通用的 Windows 操作系统作为操作平台,几十毫秒一次的数据采集及处理对 Windows 这种实时多任务系统的实时性提出了很高的要求。实际上 Windows 本身无法满足这一实时要求。考虑到控制系统的实时性要求、硬件条件和具体实现难易程度等因素,笔者采用了 Windows 系统的多媒体扩展库所提供的多媒体定时函数 timeSetEvent,利用其回调函数来实现实时控制^[13,14]。经试验验证该计时器能满足较高的实时控制精度要求。

该注气控制系统控制的对象是气体的压力,其变化较快,且有脉动干扰的存在。为此,在系统中加入了简便易行的数字滤波方法,采用加权平均滤波和中值滤波两种方法组合而成的复合滤波法。具体实施过程为在一个控制周期内连续采样 7 次,将采样值进行滤波:先去掉一个最大值和一个最小值,去除由于随机干扰、误检测等引起的失真和尖峰电压;然后将剩下的 5 个数数据加权平均,作为本次采样的信号值。这样较好地去除了干扰,又保证了采样值的真实性。

该注气控制系统采用具有强大生命力的 PID 控制算法,通过对 PID 控制理论及其算法进行深入研究后对其进行相应的改进,并结合智能控制技术,最终在注气控制系统中采用变积分-不完全微分-带死区的多模态智能 PID 控制算法^[15]。该算法可以对控制规律和参数进行实时修正,将人的调节经验与 PID 控制的良好适应性和稳定性有机地结合,以实现气体压力的高精度控制。

(2) 程序实现

笔者利用 Visual C + + 6.0 开发了一套基于 Windows 平台的气辅成型注气控制系统软件。软件具有较为完善的功能;具有良好的用户界面,采用了用户熟悉的菜单、属性表、对话框等 Windows 基本操作元素,方便易用;能以数据文件的形式存储和导入硬件性能参数和工艺参数;软件容错性好,能处理异常情况。图 3 为气辅注气控制系统的程序流程。

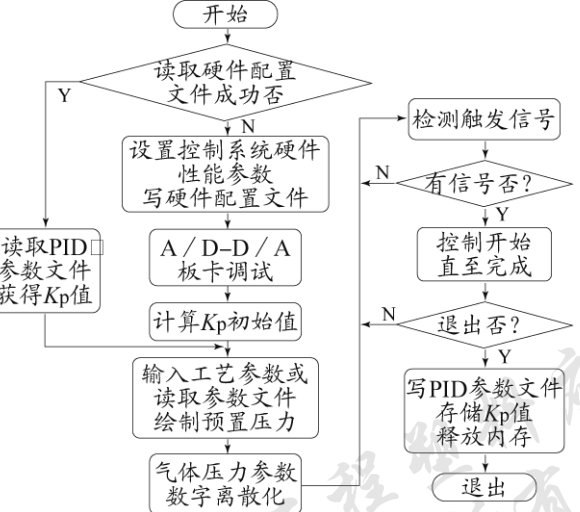


图 3 气辅注气控制系统软件流程图

该软件采用模块化的设计思想,其主要模块包括硬件参数的设置模块、板卡调试辅助模块、压力工艺参数处理模块、控制模块及图形实时显示模块等。

硬件参数设置模块使得该气辅成型注气控制系统具有通用性,而不是限定在某一台注塑机上应用。硬件参数设置包括 A/D 转换卡性能参数设置、A/D 数据格式设置、D/A 数据格式设置、气阀参数设置(包括低压电磁比例阀和高压压力伺服阀)、压力传感器参数设置和触发传感器参数设置等。这些参数的设置直接影响控制参数的初始化、控制程序的触发、压力采样、控制输出。图 4 是硬件参数设置对话框。



图 4 硬件参数设置对话框

板卡调试辅助模块可以在首次使用时对 A/D - D/A 卡进行性能检测和调试,以保证其性能最佳。板卡辅助调试模块方便用户进行板卡调试,不必为调试板卡再自编程序。图 5 是 A - D 板卡调试对话框。

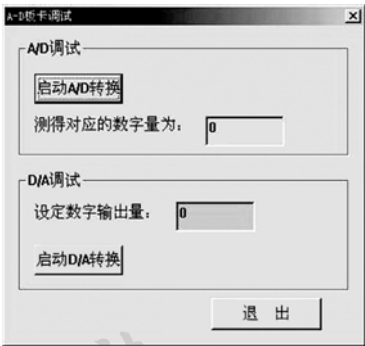


图 5 A - D 板卡调试对话框

压力参数处理模块允许针对具体的气辅产品来对压力参数进行处理,包括压力参数的输入、存储、载入和修改,以及计算机过程控制所需的过程离散化,获取各离散点的压力值。该注气控制系统允许设置多达 13 段的压力控制,只需输入每段的终了压力和经历时间(注气开始和结束的压力的为大气压)。对于气辅挤出成型工艺而言,压力参数的输入更为简单:只需输入相等的终了压力,经历时间足够长(在退出程序时已设置关闭阀门)。图 6 为气辅压力参数设置对话框。



图 6 气辅压力参数设置对话框

控制模块是该注气控制软件中最为关键的一个模块,控制的主要工作均在此完成。它包括如下几个子模块: A/D 采样滤波子模块、分析计算子模块、D/A 输出子模块、参数实时修正子模块。

图形显示模块使得计算机能实时显示控制效果图和误差分析图。控制效果图包括预置压力 - 时间曲线和实际压力 - 时间曲线(二者叠合在一起)。误差分析图显示相对误差 - 时间曲线,更直观地表明不同时刻的控制效果。控制效果图和误差分析图通过菜单进行切换。

该注气控制系统的触发由菜单控制。

(3) 试验与分析

图7和图8分别为利用所开发的气辅注射成型注气控制系统软件所进行的一组控制试验的效果和相对误差分析的抓屏图。压力参数和相对误差可从图中直观地看出。

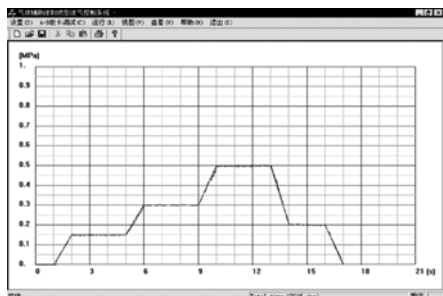


图7 实时控制效果图

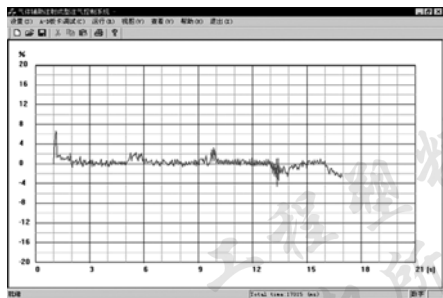


图8 相对误差分析图

从图7、图8可知,变压段的相对误差绝对值在4%以下,保压段的相对误差绝对值在2%以下;控制过程中的最大相对误差出现在延迟段结束、注气开始的瞬间,这是由于气阀存在摩擦和中位死区的缘故;在控制过程中还有一个较大的相对误差出现在卸压快结束、气阀要关闭的时候,该相对误差绝对值有逐渐增大的趋势。这是由于在卸压段排气流量对气阀输出端的气压的影响增大的缘故。

2 结语

气辅技术在注射成型工艺和挤出成型工艺中的应用是对这些工艺的一次划时代革命,克服了原成

型工艺难以克服的困难。气辅设备的关键技术是注气控制系统。笔者所设计的注气控制系统性能良好,能够满足气辅技术对气体压力的高精度控制要求,适用于所有应用气辅技术的成型工艺。由于试验条件的限制,笔者所设计的控制系统只在低压状态下进行了实验测试,但这已为高压状态下的控制打下了坚实的基础。

参考文献

- 1 申长雨,陈静波,王国中,等.塑料模具计算机辅助工程.河南:河南科学技术出版社,1998.
- 2 [美]Avery J. 气辅注射成型原理及应用.北京:化学工业出版社,2003.
- 3 Turng L S. Development and application of CAE technology of the gas-assisted injection molding process. *Advances in Polymer Technology*, 1995, 14(1): 1
- 4 Turng L S. Computer-aided engineering for gas-assisted injection molding. *Plastics Engineering*, 1993(9): 27
- 5 周国发. 聚合物多相分层流动成型理论及其数值模拟研究[学位论文]. 南昌:南昌大学,2002.
- 6 匡唐清,柳和生,周国发,等. 气辅共注成型的发展现状. *中国塑料*, 2003, 17(9): 1
- 7 Liang R F, Mackley M R. The gas-assisted extrusion of molten polyethylene. *Journal of Rheology*, 2001, 45(1): 211
- 8 鄢超,柳和生,黄兴元,等. 聚合物气辅挤出成型. *中国塑料*, 2003, 17(11): 15
- 9 Zhao J, Lu X, Fong L H, et al. Statistical experiment study of gas-assisted injection molding process. *ANTEC'98*, 454
- 10 Parvez M A, Ong N S, Lam Y C, et al. Gas-assisted injection molding: the effects of process variables and gas channel geometry. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, 121: 27
- 11 瞿金平,胡汉杰. 聚合物成型原理及成型技术. 北京:化学工业出版社,2001.
- 12 冯品如. 过程控制工程. 北京:中国工业出版社,1995.
- 13 裴景玉. 基于Windows95平台的实时控制技术. *工业控制计算机*, 2000, 13(3): 36
- 14 张正勇,熊清平,李作清,等. WINDOWS系列平台下的实时控制研究. *电工技术*, 1999(3): 36
- 15 匡唐清. 气辅注射成型注气控制系统研制[学位论文]. 南昌:南昌大学,2002.

DESIGN OF GAS INJECTION CONTROL SYSTEM FOR GAS-ASSISTED TECHNOLOGY

Kuang Tangqing, Liu Hesheng, Zhou Guofa, Lai Jiamei

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanchang University, Nanchang 330029, China)

ABSTRACT Gas-assisted technology can overcome many defects existing in normal injection molding and extrusion molding, and it has a series of merits. It needs to add a suit of gas-assisted fixture, and the key issue is the gas pressure control system. A low-pressure control system for gas-assisted molding on the basis of the multimode intelligent PID controller is designed and its software package is developed. The results show that the control system can realize the real-time control of high precision for gas pressure, which makes the stabilized base for high pressure control.

KEYWORDS gas-assisted technology, injection molding, extrusion molding, pressure control system, design