

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.08.028

模糊 PID 法在塑料成型条件优化中的应用^{*}

肖坤峨

(德宏师范高等专科学校, 云南德宏 678400)

摘要: 针对比例-积分-微分 (PID) 方法在塑料成型加工仿真模拟中存在一定的超调和震荡现象的问题, 利用模糊控制对工艺参数改变的反应不太敏感的特点, 将两种方法进行联用, 可在一定程度上弥补 PID 方法的超调和震荡现象, 从而实现塑料加工过程快速高效的控制。为此, 综述了模糊 PID 控制方法在塑料注射成型、挤出成型、吹塑成型、压延成型等成型方法中的应用, 并着重阐述了其在注塑机料筒温度控制和电液系统控制方面的应用。

关键词: 模糊 PID 法; 工艺优化; 注射成型; 挤出成型; 吹塑成型; 压延成型

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)08-0129-04

Application of Fuzzy-PID Method in Optimization of Plastic Molding Conditions

Xiao Kune

(Dehong Teacher's College, DeHong 678400, China)

Abstract : According to the problems that a certain overshoot and oscillation phenomenon exist in the plastic molding simulation through proportional-integral-derivative (PID) method, using the characteristic of fuzzy control which is not sensitive to the change of process parameters, combining PID with fuzzy control can ease the overshoot and oscillation phenomenon of PID method at a certain extent, thus the rapid and efficient control of plastic processing process can be achieved. Therefore, the application of fuzzy-PID control method in plastic injection molding, extrusion molding, blow molding, calendaring molding were introduced, and the application in injection molding machine barrel temperature control and electro-hydraulic system control were discussed in details.

Keywords : fuzzy-PID method ; process optimization ; injection molding ; extrusion molding ; extrusion blow molding ; calendaring molding

塑料具有优异的化学稳定性、耐热耐寒性、力学性能、加工性能等一系列优异的应用性能, 广泛被应用于机械零部件的加工。随着功能性高端的高分子材料的开发, 越来越多的特种塑料被用于航空航天、军事、医疗等领域^[1]。

通常情况下, 大部分的热塑性塑料的主要加工方式有注射成型、挤出成型、压延成型以及吹塑成型方法, 这些加工方式需要首先将塑料材料加热到熔点之上, 形成塑料熔体, 然后利用模具固定为特殊形状, 经过冷却后得到塑料制品。所获得的塑料制品的质量在很大程度上依赖于塑料加工过程中各工序的工艺参数, 例如熔体的流动性和内在残留剪切力会受到加工时温度、压力和加工速率的影响, 而塑料制品的冷却速率也会在很大程度上对塑料制品的尺寸稳定性造成影响^[2]。

为了更好地选择聚合物材料的加工工艺参数, 通常在加工之前会利用计算机对其加工过程进行仿真和模拟, 从而挑选出合适的加工工艺。比例-积分-微分 (PID) 方法是一种较为常用的仿真模拟方法, 在工艺条件出现变化时响应速率较快, 不存在静态误差, 但是有一定的超调现象和震荡

现象^[3-5]。模糊控制对工艺参数改变的反应不太敏感, 在一定程度上弥补了 PID 方法的超调和震荡现象。另外, 模糊控制法仿真过程是从工业生产的经验出发, 不需进行过多的数学计算, 便于理解, 过程简单, 并且仿真过程相对较为独立, 可以同时多个参数进行模拟。将模糊-PID 控制法联合进行仿真, 同时兼顾了传统 PID 法快速、无静态误差等优点, 又结合了模糊控制法鲁棒性强, 无超调和震荡现象等优点, 可以较好地应用于塑料制品的加工工艺的优化^[6]。

1 模糊 PID 法在塑料注射成型中的应用

注射成型是塑料最为常用的加工方法之一, 其加工原理是将塑料通过加热熔融为熔体, 然后通过注塑机的料筒将熔体注塑到相应的模具中, 经冷却后得到最终的塑料制品。其中影响塑料制品质量的工艺参数有料筒温度、升温速率、注射速率、注塑压力、注塑温度、模具温度、冷却速率等。

^{*} 云南省教育厅科学研究基金项目 (2013Y571)

联系人: 肖坤峨, 硕士, 讲师, 主要研究方向为软件工程、计算机网络通信

收稿日期: 2016-06-03

1.1 模糊PID法在注塑机料筒温度控制方面的应用

注塑机的料筒温度是影响注塑制品质量较为重要的一个工艺参数,过高的料筒温度会导致塑料材料烧焦,不仅会使塑料制品的质量下降,还会造成塑料材料粘附在注塑机料筒上,难以清理;若料筒温度过低,则会导致塑料熔融不完全,使其流动性变差,并且熔体内应力较大,从而导致塑料制品的质量下降。料筒加热速率也会对塑料材料造成影响,加热速率过快,塑料熔体的内应力来不及释放,加热过慢又会造成加工过程成本提高。另外,料筒温度与模具温度相差不能太大,若温差过大会导致塑料熔体进入模具后产生快速的尺寸收缩,从而使其尺寸精度降低。

模糊PID方法可以对料筒的加热速率、加热终温、保温过程进行较为细致地仿真,从而找到较为合适的加工温度。王平江等^[7]利用模糊自整定PID法,同时结合预估控制法对“华中8型”数控全电注塑机的料筒温度控制进行了仿真和模拟。料筒温度最终控制在190℃,升温时间约为800s,升温过程不存在超调现象,升温完成后,温度在2200s内可以稳定在190℃,不存在震荡现象。结合料筒的结构和热力学特点,同时兼顾环境变化,温度控制精度高达 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 。这种控制方法不仅可以提高塑料制品的质量,还可以延长注塑机螺杆的使用寿命。

不同类型的原料的最佳注塑工艺不同,不同厂家和条件下生产的同一种原料的最佳注塑工艺也不一样,所以单一的PID法的普适性较低。陶西孟等^[8]利用分段的模糊PID法对注塑机的料筒温度进行了仿真。将整个注塑机料筒分为3~6个加热段,并将每个加热段设定为不同的温度。实验结果表明,当设定温度为280℃时,分段模糊PID控制的稳态误差仅为0.19℃,而普通PID控制的稳态误差高达5.8℃;当设定温度为380℃时,分段模糊PID控制的稳态误差为1.13℃,也远低于普通PID控制法下的稳态误差(7.78℃)。这种分段的模糊PID法无论是在动态特性,还是在稳态特性方面都具有较为突出的控制精度,可以适用于多种材料的注塑加工,可以作为进一步的注塑机料筒温度控制升级和改造的方法。

在实际生产中模糊PID法对混料混色的原料加工也具有较高的稳定性,周锡恩等^[9]在混色混料注塑加工的料筒温度控制中,利用模糊自适应的PID法代替了传统PID控制方法,在仿真过程发现,对于料筒温度控制器的多个变量可以进行精确地控制,并且具有较为优异的稳定性。当温度设定为160℃时,加热过程中的超调被控制在了20℃,温度响应时间控制在了150s以内,并且在保温过程中并未出现温度震荡现象,可以较好地满足生产中混合混色原料注塑加工的工艺调控要求。

除了塑料品种外,料筒结构和人工因素也在很大程度上影响温度的控制精度,罗帆等^[10]针对这些因素提出了一种新的规则自整定的模糊PID法。仿真结果表明,在料筒温度分段控制过程中,不同加热段的温度超调都降低了1℃,并且加热时间缩短了8min,喷嘴温度的稳态误差降低了0.1℃。这一规则自整定的模糊PID法对塑料注塑加工的料筒温度控制仿真具有一定的前瞻性和指导意义。

1.2 模糊PID法在注塑机电液系统方面的应用

注塑机的电液系统主要是用于控制塑料注塑加工过程中的注塑压力、注射速率、保压压力和保压时间等参数。注塑压力和注射速率对塑料制品质量的影响是一致的,较高的注塑压力会导致注射速率的提高。较高的注射速率会使塑料熔体的流动速率加快,提高残留的内应力,从而导致塑料制品的质量下降;过低的注射速率有可能造成塑料材料过度熔融或烧焦,同样会影响塑料制品的质量。另外,合适的保压压力和保压时间是保证塑料制品具有较高尺寸精度的前提,塑料制品在模具中冷却过程中会产生尺寸收缩,足够的保压时间和保压压力可以在塑料制品冷却过程中补加原料,从而使得最终的塑料制品具有较高的尺寸精度^[11]。

彭华^[12]利用模糊PID法对MA900型注塑机的电液系统进行了仿真,最终确定注塑压力为6MPa,保压阶段分为5段,保压时间为1s,5段保压压力分别为2,4,6,4,2MPa,成功解决了注射过程中建压不足的问题,另外也解决了注射过程中所存在的超调现象。利用优化后的注射工艺对圆片型塑料制品进行了实验验证,最终所得的塑料制品的质量误差可控制在0.04g左右。模糊PID法的系统响应较快,超调现象低,可以用于注塑机的电液系统的控制过程中。

张鹏飞等^[13]利用模糊PID法对塑料注塑加工过程中注射速率进行了仿真,当注射速率为1~2.5m/s时,传统PID控制下存在着较大的超调现象,且达到稳态后0.1s内存在着一定的震荡现象。与之不同的是,模糊PID控制下响应过程不存在超调现象,进入稳态以后也不存在稳态误差,这说明模糊PID方法的精度更高,稳定性更好,更适用于注塑加工过程中注射速率的控制。

1.3 模糊PID法在其它注塑工艺方面的应用

除了注塑机的料筒温度、加热速率、注塑压力和保压时间等因素的影响,注塑过程的加热方案、塑化和射胶过程以及脱模温度和冷却速率都会对塑料制品的质量产生较大程度的影响^[14]。崔振华^[15]利用模糊PID法对注塑射胶装置的动力学和运动学、射胶系统的电流、速率和位置进行了详细的研究,研究表明利用预估补偿的模糊PID法对射胶系统进行仿真,其响应速率和稳定性都要远远优于传统的PID法,并且得到了最佳的注塑曲线和工艺。

模糊 PID 法在塑料注射成型的工艺调控过程中体现了较快的响应速率,并且无论是动态过程下的超调现象或稳态过程中的震荡现象都得到了大大降低,甚至消除了这种不稳定现象。仿真过程可以得到动态波动和稳态误差较小的注射成型工艺,应用于实际生产具有较强的指导作用。

2 模糊 PID 法在塑料挤出成型中的应用

挤出成型常用于管材、型材等塑料制品的加工,其通过加热将塑料原料熔融之后,使塑料熔体通过螺杆作用经口模挤出成型,挤出也常用于共混改性,通过造粒等方法制备改性塑料粒子。在加工过程中螺杆的转速、螺纹间隙、螺杆沿程的温度分布、压力分布等情况都会影响塑料的加工质量,并且对于不同的聚合物原料,这些参数所造成的影响也各不相同。例如合适的螺杆温度有利于控制聚合物熔体的流动性和内应力,并且沿程温度分布均匀利于塑料制品的质量均一性的控制。在基础加工过程中对工艺调控的精度和稳定性具有较高的要求,利用模糊 PID 法进行仿真和控制有利于得到质量较高的塑料挤出制品^[16]。

聚合物材料的挤出过程中存在熔体温度的时滞性和非线性等特点,针对这些问题于同敏等^[17]提出了一种自整定的模糊 PID 控制法,并进行了仿真模拟。实验结果表明,与传统的 PID 控制法相比,这种自整定模糊 PID 控制法在对挤出机温度控制时,响应时间减少了 5.9 s,稳定时间减少了 45.7 s,并且加热过程中超调量降低了 16.8%。而且这种模糊 PID 法可以对挤出过程中温度进行实时调整,可以快速适应环境及人工的干扰,即便出现了温度的波动也可以快速使之平稳下来,普适性和稳定性更高。另外,这种自整定的模糊 PID 法对木塑复合材料的挤出成型工艺调控也具有较高的精确性和稳定性,孙垚^[18]利用这种方法对木塑复合材料的挤出成型进行了仿真,实验结果表明,自整定的模糊 PID 法对挤出温度进行控制时,其响应时间低至 0.175 s,超调量仅为 1.5%。与传统 PID 法相比,模糊 PID 法的响应时间和超调量均降低了 50% 以上。另外,在仿真过程中加入幅值为 0.5 的外界干扰后,与传统 PID 法相比,模糊 PID 法恢复到稳态的时间更短,并且恢复过程中超调量更小。这说明模糊 PID 法更能保证材料挤出成型过程中工艺条件的稳定性。

挤出成型中的精密注气系统也可以利用模糊 PID 法进行控制和仿真,戈大伟等^[19]设计了模糊 PID 法的 PLC 程序,在仿真过程中模糊 PID 法达到稳态的时间仅为 2 s,并且在动态过程中不存在超调现象,稳定过程不存在波动现象。传统 PID 法达到稳态的时间大于 4 s,且存在约 20% 的超调现象。

以上研究充分说明,模糊 PID 法在塑料的挤出加工条件控制中表现出了较为优异的稳定性和精确性,大大缩短了

条件响应的时间,减少了动态过程中工艺条件的超调现象,降低或消除了稳态过程中工艺条件的震荡幅度以及外界干扰的影响。与传统 PID 法相比,模糊 PID 法更适用于塑料制品的挤出成型,具有更为优异的稳定性。

3 模糊 PID 法在其它塑料成型方法中的应用

除了注射成型和挤出成型外,常见的塑料加工方式还有吹塑成型、压延成型等方法,这些方法同样是将聚合物原料熔融后,再利用气体的吹塑或辊轮的压延作用等制得塑料制品。在吹塑成型中的吹塑温度、气体压力、吹气速率、壁厚控制系统,压延成型中的压延温度、辊轮间隙、传送速率等都会对最终塑料制品的质量产生较大的影响,利用模糊 PID 法可以精确控制成型过程中各工艺条件的稳定性和精度,有利于制备出高质量的塑料制品^[20-22]。

吹塑成型中的核心系统是壁厚控制系统,传统的 PID 法对其进行控制往往难以兼顾较快的响应速率和较高的工艺精度。张礼华等^[23]利用模糊 PID 法对塑料吹塑的壁厚控制进行了仿真和模拟,实验结果表明,与传统 PID 法相比,模糊 PID 法控制过程中,响应时间由原来的 0.3 s 降低至了 0.1 s,超调量也由原来的 20% 降低至 6%;同时在稳态过程中加入外界干扰后,模糊 PID 法的震荡现象较小,并且也更快地恢复到了稳定状态。罗园^[24]也利用模糊 PID 法对塑料吹塑成型中壁厚系统进行了控制和仿真,研究结果表明,可以较好地实现曲线制品各过渡点的圆滑过渡,局部控制良好,并且可以实现一定程度上的拉伸。

吹塑成型的模架定位也在一定程度上影响着塑料制品的质量,方丁^[25]对模架定位进行了工艺模拟。由模架定位的 trace 曲线可知,模糊 PID 法的响应时间较短,可控制在 3 s 以内,并且不存在超调现象。通过精度测定得知,模架上定位的误差为 0.797 mm,模架下定位的误差为 0.985 mm,可以满足吹塑成型工艺的要求。

塑料延压成型时辊轮的温度控制过程较为复杂,利用传统的 PID 法难以满足高精度控制和实时调控的要求。李全溪等^[26]利用基于 BP 神经网络的模糊 PID 法对辊轮温度进行了控制和仿真,结果表明,当辊轮温度设定为 150℃ 时,模糊 PID 的响应时间虽然较长,但是在加热过程中并未出现超调现象,而且稳态过程中也未出现震荡现象。

以上结果充分说明,模糊 PID 法不仅在注塑和挤出成型中可以对其工艺条件进行控制和优化,对于其它成型方法也具有普适性,并且同样可以实现高精度的工艺条件控制。在动态过程中不存在或存在较小的超调量,达到稳态后几乎不存在震荡现象,当受到外界干扰后也能快速恢复到稳态。

4 结语

详细介绍了模糊 PID 法在塑料的注射成型、挤出成型、

吹塑成型和压延成型中的工艺条件控制和优化中的应用,通过仿真过程可以得知,模糊PID法控制下工艺条件响应的时间一般较短,并且在动态过程中各工艺参数的超调量较小,或者不存在超调现象。当进入稳态后,模糊PID法控制下几乎没有静态误差和震荡现象的出现,当出现外界干扰时模糊PID法的响应速率也较快,而且震荡幅值较小,回复稳态时间较短。总体来说,模糊PID法在塑料加工过程可以实现快速高效的控制,具有较高的指导意义。

参考文献

- [1] 代芳,等. 工程塑料应用,2014,42(3):109-117.
Dai Fang, et al. Engineering Plastics Application, 2014, 42(3):109-117.
- [2] 李跃文. 塑料工业,2011,39(4):6-9.
Li Yuewen. China Plastics Industry, 2011, 39(4):6-9.
- [3] 田小强,等. 控制工程,2016,23(2):289-290.
Tian Xiaoqiang, et al. Control Engineering of China, 2016, 23(2):289-290.
- [4] 石旭伟,等. 计算机测量与控制,2016,24(4):51-54.
Shi Xuwei, et al. Computer Measurement & Control, 2016, 24(4):51-54.
- [5] 孙义经,等. 燃料与化工,2016,47(2):39-41.
Sun Yijing, et al. Fuel & Chemical Processes, 2016, 47(2):39-41.
- [6] 侯照君. 基于模糊-PID的精密注塑机控制系统设计与研究[D]. 大连:大连理工大学,2009.
Hou Zhaojun. Design and research on control system for precised injection machine based on Fuzzy-PID[D]. Dalian:Dalian University of Technology, 2009.
- [7] 王平江,等. 中国塑料,2013,27(1):98-104.
Wang Pingjiang, et al. China Plastics, 2013, 27(1):98-104.
- [8] 陶西孟,等. 塑料,2015,44(3):68-70.
Tao Ximeng, et al. Plastics, 2015, 44(3):68-70.
- [9] 周锡恩,等. 自动化技术与应用,2012,31(10):21-24.
Zhou Xien, et al. Techniques of Automation and Applications, 2012, 31(10):21-24.
- [10] 罗帆,等. 工程塑料应用,2015,43(6):65-69.
Luo Fan, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(6):65-69.
- [11] 蔡康雄,等. 中国塑料,2010,24(2):103-108.
Cai Kangxiong, et al. China plastics, 2010, 24(2):103-108.
- [12] 彭华. 注塑机电液复合液压系统设计及控制技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2011.
Peng Hua. Electro-hydraulic hybrid system design and control research of the injection molding machine[J]. Hangzhou:Zhejiang University, 2011.
- [13] 张鹏飞,等. 橡塑技术与装备,2014(4):45-49.
Zhang Pengfei, et al. China Rubber / Plastics Technology and Equipment, 2014(4):45-49.
- [14] 陈思,等. 山东工业技术,2016(5):27.
Chen Si, et al. Shandong Industrial Technology, 2016(5):27.
- [15] 崔振华. 全电动注塑机射胶过程控制研究[D]. 淄博:山东理工大学,2015.
Cui Zhenhua. Research on injection system of fully electric plastic injecting moulding machine[D]. Zibo:Shandong University of Technology, 2015.
- [16] 任重,等. 四川大学学报:工程科学版,2016(1):200-207.
Ren Zhong, et al. Journal of Sichuan University:Engineering Science Edition, 2016(1):200-207.
- [17] 于同敏,等. 现代制造工程,2010(3):123-126.
Yu Tongmin, et al. Modern Manufacturing Engineering, 2010(3):123-126.
- [18] 孙垚. 木塑复合共挤成型过程控制技术研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2014.
Sun Yao. Research of control technology of molding process of WPC co-extrusion[D]. Harbin:Northeast Forestry University, 2014.
- [19] 戈大伟,等. 塑料,2010,39(5):82-84.
Ge Dawei, et al. Plastics, 2010, 39(5):82-84.
- [20] 张玉龙. 塑料吹塑成型工艺与实例[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
Zhang Yulong. Plastic blow molding process and examples[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2011.
- [21] 刘学,等. 中国塑料,2010,24(3):83-91.
Liu Xue, et al. China Plastics, 2010, 24(3):83-91.
- [22] 杨中文. 塑料成型工艺[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
Yang Zhongwen. Plastic molding process[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2009.
- [23] 张礼华,等. 江苏科技大学学报:自然科学版,2014(6):535-539.
Zhang Lihua, et al. Journal of Jiangsu University of Science and Technology:Natural Science Edition, 2014(6):535-539.
- [24] 罗园. 挤吹装备型坯壁厚控制系统的研发[D]. 杭州:中国计量大学,2014.
Luo Yuan. The research and development on parison thickness control system of blow molding equipment[D]. Hangzhou:China Jiliang University, 2014.
- [25] 方丁. 全电动挤出吹塑中空成型机控制系统研究与设计[D]. 广州:华南理工大学,2013.
Fang Ding. Research and design on control system of all-electric extrusion blow molding machine[D]. Guangzhou:South China University of Technology, 2013.
- [26] 李泉溪,等. 科学技术与工程,2011,11(25):6 091-6 094.
Li Quanxi, et al. Science Technology and Engineering, 2011, 11(25):6 091-6 094.