

基于恒温控制的FDM3D打印机PID系统设计

甘新基¹, 齐试航², 郑栋¹, 管明福¹, 何召龙¹

(1. 北华大学 机械工程学院, 吉林 吉林 132021; 2. 中国科学院 沈阳自动化研究所 海洋机器人卓越创新中心, 沈阳 110000)

摘要: 基于熔融沉积成型原理(FDM)的3D打印机具有结构简单、经济的优点,但其成形表面质量不稳定,表面粗糙度值较大,究其原因主要是成型温度对打印质量具有重要的影响。受环境温度、风速等因素的影响,挤出头温度变动较大。文中通过研究影响FDM打印机质量的因素,提出了一种采用PID控制方法实现打印挤出头的恒温控制,在对设定的PID控制系统进行仿真中,通过采用Ziegler-Nichols工程整定法实现了S型阶跃响应曲线适用延滞一阶惯性环节,并运用Cohn-Coon公式得到了受控对象的特征参数,从而保证了控制精度。

关键词: 3D打印; 熔融沉积成型; PID; 恒温控制

中图分类号: TP 334.8

文献标志码: A

文章编号: 1002-2333(2018)10-0001-03

Design of PID System Based on Constant Temperature Control of FDM 3D Printer

GAN Xinji¹, QI Shihang², ZHENG Dong¹, GUAN Mingfu¹, HE Zhaolong¹

(1. College of Mechanical Engineering, Beihua University, Jilin 132021, China; 2. Center of Marine Robotics Innovation Excellence, Shenyang Institute of Automation Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110000, China)

Abstract: 3D printer, which is based on the principle of fused deposition modeling (FDM), has the advantages of simple structure, economy of operation. But the forming surface quality is unstable and the surface roughness is large. The main reason is that the molding temperature has an important influence on the quality of printing. Because of the influence of environment temperature and wind speed, the temperature of extrusion head is greatly changed. Through the study of factors affecting the quality of FDM printer, in the simulation of the PID control system, it achieves the step response curve of S type in first-order delay by using Ziegler-Nichols engineering tuning method. At the same time the characteristic parameters of the controlled object are obtained by using the Cohn-Coon formula, which would ensure the printing quality.

Keywords: 3D printer; fused deposition modeling; PID; thermostatically control

0 引言

3D打印技术诞生于20世纪80年代,近年来随着科技的进步3D打印技术得到了快速发展,特别是熔融沉积成型(FDM)打印技术因其经济、结构简单的优点得到了广泛的普及和传播,为教育、医疗、工业设计等领域注入了新的生产力^[1-7],甚至近年来有学者已经对3D打印技术实现生物组织再生和生物器官打印进行研究^[8-9]。因此3D打印技术是实现工业4.0和我国“2025”计划的一个不可忽视的重要技术。但是采用FDM技术打印的产品普遍存在台阶纹、开裂等表面缺陷^[10-11],分析其主要原因是由于环境空气扰动造成的打印温度不稳定,冷却速度不均匀等问题。邹国林、汪程等^[12-14]也通过实验和数据分析对FDM工艺过程进行优化,提高模型的打印质量。杨柏森^[15]研究了打印过程中散热条件对FDM丝材黏结质量的影响,认为通风速率、成形室温度、平台温度及分层截面尺寸等因素都会对丝材的黏结强度、尺寸精度以及翘曲变形都会有影响。本文提出了采用PID控制策略实现打印挤出头的恒温控制。

1 PID控制原理

基金项目: 吉林市科技创新发展计划项目(20161203);大学生创新创业训练项目(201610201042)

在3D打印机中,打印耗材的温度控制存在热传导和热对流的两种导热方式:一方面采用热传导原理,使用加热电阻将材料加热到熔融状态,使材料具有良好的流动黏性;另一方面为了防止加热腔温度过高或者过低,采用热对流方式开启风扇控制加热腔的温度过高。这两个过程控制的温度变化对模型的质量有着直接的影响。

本文恒温测控算法为PID算法,构建数学模型^[16-17]。以ABS成型材料为例,进行加热,温度控制在230℃。在控制系统中,PID算法是根据理想温度设定的值 $r(t)$ 和实际测量反馈的值 $c(t)$ 的偏差 $e(t)$ 来进行比例、积分、微分的调节,如式(1)所示:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right];$$

$$e(t) = r(t) - c(t).$$
 (1)

式中: T_i 为积分时间; T_d 为微分时间; $u(t)$ 为控制器的输出; $e(t)$ 为控制器的输入; K_p 为比例系数。

对于产生的积分和微分连续时间信号要进行离散化处理, T_s 为缩短采样周期,用求和代替积分,差商代替微商,从而使PID算法离散化,如式(2)所示:

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{i=0}^k e(i) + K_d [e(k) - e(k-1)];$$
 (2)

$$K_i = K_p \times \frac{T_d}{T_i};$$

$$K_D = K_p \times \frac{T_d}{T_s}。$$

式中: K_p 为比例系数; K_i 为积分系数; K_D 为微分系数。

在加热系统中采用一阶惯性滞后环节建立温控对象数学模型, 所以加热模块传函为

$$G(s) = \frac{K \times e^{-\tau s}}{T_s s + 1}。 \quad (3)$$

式中: K 为被控对象静态增益; T 为时间系数; τ 为滞后时间。

2 仿真实验

采用Matlab的Simulink模块建立PID控制仿真实验系统^[18], 如图1所示。Transfer Fcn为传递函数, 配置函数: Numerator为0.233, Denominator为25.5, Transport Delay滞后时间为19.5 s。给系统一个300 °C的阶跃信号, 每隔10 s采集一次喷头温度并绘制阶跃曲线, 并结合拟合曲线求得传函参数值, 实验数据见表1。

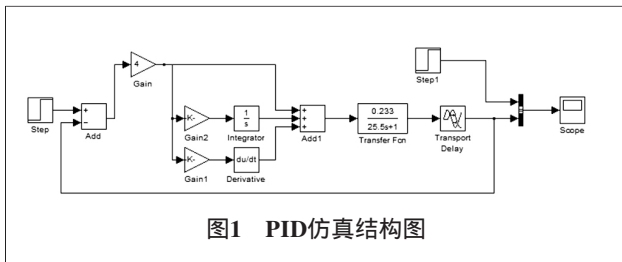


图1 PID仿真结构图

表1 阶跃响应时间数据

时间/s	0	10	20	30	40	50	60
温度/°C	230	235	242	252	267	280	290

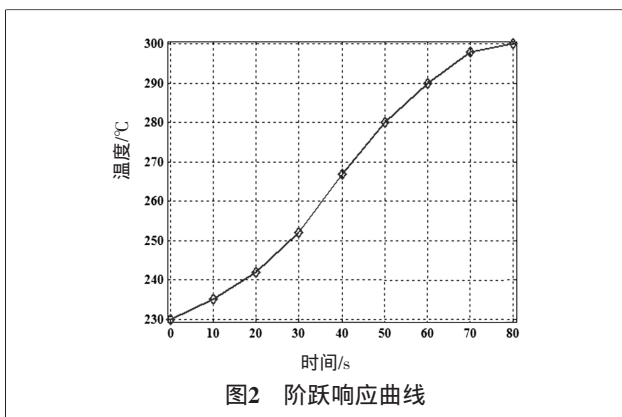


图2 阶跃响应曲线

通过表1的数据拟合, 得到如图2所示曲线。从图2可以看出响应曲线近似为S型, 由Ziegler-Nichols工程整定法可知^[19-20] S型阶跃响应曲线适用延滞一阶惯性环节, 验证了传函, 运用Cohn-Coon公式 (4) 得出: $K=0.233$, $T=25.5$, $\tau=19.5$ 。

$$K = \frac{\Delta C}{\Delta M};$$

$$T = 1.5(t_{0.632} - t_{0.28});$$

$$\tau = 1.5 \left(t_{0.28} - \frac{t_{0.632}}{3} \right)。 \quad (4)$$

式中: ΔC 为控制系统输出响应; ΔM 为控制系统阶跃输入; $t_{0.28}$ 表示升高的温度达到0.28 ΔC 所用的时间; $t_{0.632}$ 表示升高的温度达到0.632 ΔC 所用的时间。因此传函为

$$G(s) = \frac{0.233 \times e^{-19.5s}}{25.5s + 1}。 \quad (5)$$

通过PID系数不断试验, 验证了当 $K_p=4$ 、 $K_i=0.26$ 、 $K_D=-19.6$ 时, 控制效果达到了需要的精度, 当喷头加热到230 °C需要12.5 s, 超调量8.7%, 稳定时间为34 s, 如图3所示。但是当环境存在空气扰动时, 必然会引起温度起伏, 如图4所示。超调量增加的同时稳定时间也增长, 但是虽然温度不断发生起伏变化, 但是PID控制系统一直可以维持其不失调的状态。

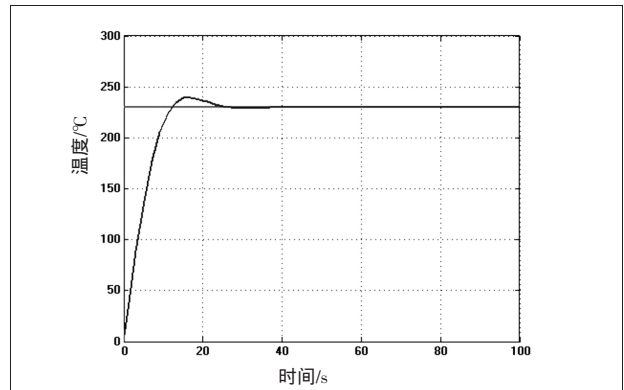


图3 PID控制响应曲线

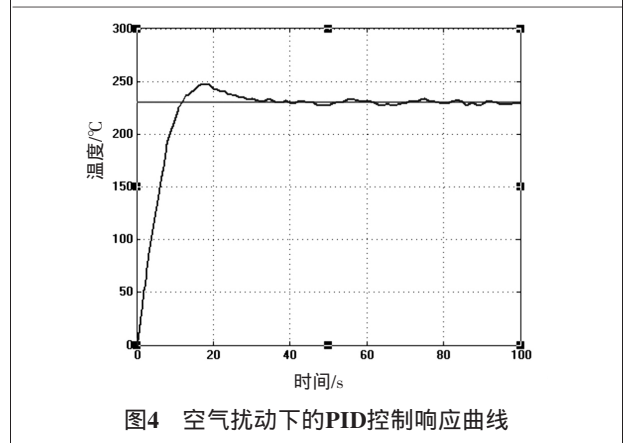


图4 空气扰动下的PID控制响应曲线

3 结语

本文采用PID控制算法对FDM3D打印机挤出系统进行了温度控制, 针对所需要控制的对象, 找到了各个控制变量的最佳比例系数, 实现了较低超调量的控制效果, 对FDM3D打印机的打印精度的提高具有一定的借鉴作用。

[参考文献]

- [1] 卢秉恒, 李涤尘. 增材制造(3D打印)技术发展[J]. 机械制造与自动化, 2013, 42(4): 1-4.
- [2] 田国强, 鲁中良, 李涤尘. 基于增材制造技术的复杂结构模具数字化制造方法[J]. 航空制造技术, 2014, 453(9): 38-41.
- [3] 李小丽, 马剑雄, 李萍, 等. 3D打印技术及应用趋势[J]. 自动化仪表, 2014, 35(1): 1-5.
- [4] 孙成, 于金华. 3D打印技术在口腔临床的应用[J]. 口腔生物医学, 2014, 5(1): 49-52.

(下转第6页)

半径),工具阀在全开时开度 h 是一定的,随着流体黏度越大,工具阀流量就越小。

4 结论

1) 流线云图和压力云图均表明:低黏度流体时,碟片趋于关闭,开度较小,表现的是控水效果;高黏度流体时,碟片趋于打开,开度较大,表现的是增油效果,表明所设计的工具阀控水增油的可靠性。

2) 在碟片引入的纵向引压孔能很好地将压力传导到碟片底部流场,使工具阀控水的效果进一步加强,极大提高了工具阀的功能性。

3) 碟片面积与入口面积的比值决定黏度适应范围(比值越大,黏度适应范围就越大)和控水效果(比值越大,控水效果越好),碟片上引压孔主要影响控水效果,孔面积越大,工具阀控水效果越好,但是同时碟片在同等黏度下越不容易到全开状态。

[参考文献]

[1] 全秀华,杨家笠.试论石油战略储备[J].中国能源2003(8):28-31.
 [2] 宋健.中国石油产量与消费量的动态分析[D].青岛:中国石油大学,2011.
 [3] HALVORSEN M, ELSETH G, NAEVDAL O. Increased oil production at Troll by autonomous inflow control with RCP valves[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition.2012.
 [4] 石磊,陈平,胡泽,等.井下微流量控制方法[J].天然气工业,2011,31(2):79-81.
 [5] 陈献铭.水平井ICD完井控水增油效果数值模拟研究[D].成都:西南石油大学,2014.
 [6] 刘均荣,于伟强.ICD/ICV井下流量控制技术[J].石油矿场机械,2013(3):1-6.
 [7] 袁进平,齐奉忠.国内完井技术现状及研究方向建议[J].钻采工艺,2007,30(3):3-6.

[8] 杨立平.海洋石油完井技术现状及发展趋势[J].石油钻采工艺,2008,30(1):61.
 [9] Anon. China's crude oil inventory falls in June[J]. China Energy Weekly,2009.
 [10] OUYANG Liangbiao. Practical Consideration of an Inflow - Control Device Application for Reducing Water Production[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition.2012.
 [11] MATHIESEN V, AAKRE H, WERSWICK B, et al. The Autonomous RCP Valve New Technology for inflow Control in Horizontal Wells [C]//SPE offshore Europe Oil and Gas Conference and Exhibition. 2011.
 [12] BROUWER D R, JANSEN J, VAN DER STARRES, et al. Recovery Increase through Water Flooding with Smart Well Technology[C]//SPE European Formation Damage Conference. 2001.
 [13] SCHUMANN C, NEUGEBAUER M, BADE R, et al. Implicit vessel surface reconstruction for visualization and CFD simulation [J]. International Journal of Computer Assisted Radiology & Surgery, 2008, 2(5):275-286.
 [14] 胡坤,李振北.ANSYS ICEM CFD工程实例详解[M].北京:人民邮电出版社,2014.
 [15] 唐家鹏.FLUENT14.0超级学习手册[M].北京:人民邮电出版社,2013.
 [16] 王积伟,章宏甲,黄谊.液压传动[M].北京:机械工业出版社,2006.
 [17] 要继业.基于FLUENT的节流槽滑阀仿真[D].秦皇岛:燕山大学,2010. (责任编辑 张立明)

作者简介:刘欣(1958—),男,博士,副教授,研究方向为流体传动与控制、汽车电子技术、汽车轻便换挡理论及应用、汽车自动变速理论及应用等;
 刘元杰(1992—),男,硕士研究生,研究方向为流体传动与控制。

收稿日期 2018-03-13

(上接第2页)

[5] MACKU M, HORACEK M. Applying RP-FDM Technology to Produce Prototype Castings Using the Investment Casting Method[J]. Archives of Foundry Engineering, 2012, 12(3):75-82.
 [6] PLOCH C C, MANSI C S S A, JAYAMOHAN J, et al. Using 3D Printing to Create Personalized Brain Models for Neurosurgical Training and Preoperative Planning[J]. World Neurosurgery, 2016, 90:668-674.
 [7] TOMASELLO F, CONTI A, TORRE D L. 3D printing in Neurosurgery[J]. World Neurosurgery, 2016, 91:633-634.
 [8] DO A, KHORSAND B, GEARY S M, et al. 3D Printing of Scaffolds for Tissue Regeneration Applications [J]. Advanced Healthcare Materials, 2015, 4(12):1742-1762.
 [9] CUI H, NOWICKI M, FISHER J P, et al. 3D Bioprinting for Organ Regeneration[J]. Advanced Healthcare Materials, 2016, 6(1): 1601118.
 [10] 文成,徐少华,安芬菊,等.FDM三维成型样品缺陷的工艺分析与研究[J].制造技术与机床,2017(5):116-120.
 [11] 朱静,伍冯洁,韩晓英,等.浅谈FDM打印机的误差分析与3D模型质量优化[J].东莞理工学院学报,2015,22(5):99-103.
 [12] 邹国林,郭东明,贾振元,等.熔融沉积制造工艺参数的优化[J].大连理工大学学报,2002,42(4):446-450.

[13] 汪程,王宏松.FDM成形精度分析及实验研究[J].热加工工艺,2012,41(9):217-219.
 [14] 韩江,王益康,田晓青,等.熔融沉积(FDM)3D打印工艺参数优化设计研究[J].制造技术与机床,2016(6):139-142.
 [15] 杨柏森.散热条件对FDM丝材粘结质量的影响研究[D].大连:大连理工大学,2014.
 [16] 陶永华,尹怡欣,葛芦生.新型PID控制及其应用[M].北京:机械工业出版社,1998.
 [17] BELLMANN M P, LINDHOLM D, SORHEIM E A, et al. 3D dynamic simulation of heat transfer and melt flow in an inductively heated crystallization furnace for mc-silicon with PID temperature control[J]. Journal of Crystal Growth, 2013, 383(12):119-125.
 [18] 刘金琨.先进PID控制及其MATLAB仿真[M].北京:电子工业出版社,2003.
 [19] 黄家英.自动控制原理:上册[M].北京:高等教育出版社,2003.
 [20] 孙增圻.智能控制理论与技术[M].北京:清华大学出版社,2011. (责任编辑 邵明涛)

作者简介:甘新基(1969—),男,博士,副教授,主要从事光机电一体化、增材制造技术研究。
 收稿日期 2017-08-10