

3D 打印技术应用在奶油食品工业中的方案设计

Application 3D printing technology in cream industry design

姚青华

YAO Qing-hua

(河南财经政法大学, 河南 郑州 450046)

(Henan University of Economics and Law, Zhengzhou, Henan 450046, China)

摘要:糕点行业中的奶油食品是快速消费品,具有厚、稠、粘特性,针对奶油类食品加工的特点,结合微机技术,设计了主要由电源模块、控制模块、执行模块和驱动模块组成 3D 奶油打印机方案。该方案利用喷射技术、三相机械控制技术解决了奶油的不易流动性,保证了清洗方便性。在设计中采用了成熟的设备设施进行有机组合,并对关键部件及技术做了具体说明。

关键词:糕点行业;3D 打印;控制系统

Abstract: The pastry cream in the food industry is fast moving consumer goods, having a thick, thick, sticky characteristics. According to the characteristics creamy food processing, and combining computer technology, designed cream printer program, including the power module, control module, execution module and driver module 3D. The program which draws on jet technology, three-phase machine control technology solve that the cream is not easy mobility, to ensure ease of cleaning. In the design of equipment and facilities mature organic combination. And key components and technologies make specific instructions.

Keywords: pastry industry; 3D printing; control system

3D 打印技术自面世以来,以其快速成型、自由组合的方式正在改变传统的工业生产加工方式,也给人们日常生活、行为习惯带来了便利化、时尚化。此技术以高精度、高灵敏性、大众化的特点,受到国内外政府及研究机构的高度重视,针对 3D 打印技术的研发和运用方兴未艾,其应用范围迅速从建筑行业、航天工程等领域延伸到食品领域。李晓燕等^[1]利用自行开发的三维打印成形系统进行了石膏基复合粉末的三维打印成形试验。李萍红等^[2]介绍了工控组态软件 MCGS 在各种控制系统中的应用,以实用、易用为目的。

糕点行业中的奶油类食品是公众比较喜欢的食品之一,

以其细腻、柔软、香甜、健康的特点风靡全世界,消费市场巨大。传统的奶油食品是由面点师傅依靠经验手工妆点,不仅速度慢,花样少而陈旧,且成本高,不卫生。在糕点行业引入 3D 打印技术,可以大大提高工作效率、节约资源,还能满足大众化、个性化的营养、美味、秀色可餐的需求。

1 系统设计要求及思路

1.1 系统任务要求

首先设定操作平台,由 X 轴、Y 轴组成平面控制台,设定 Z 轴为打印平台以及打印机喷头。根据工作需要平面控制台轴向端安装伺服电动机,轴向平台和打印机喷头分别安装步进电动机。为了运行控制,在各运行终端设置限位接近开关,保证运行安全。根据奶油的特性,在喷描时便于流畅作业,需要进行加热和温度控制,所以采用加热器和温度控制器,可以随时根据环境、材料变化而自行设定。

1.2 系统设计思路

(1) 在自动化控制系统中,伺服电机、步进电机具有灵敏、轻便、适应性强的特点,可以很好地和单片机进行接口,比较适宜 3D 打印机设计方案要求。从实用性出发选用西门子 S7-300/300C 系列 CPU-300 单元为核心、MP 377 多功能面板共同控制程序的设计。通过触摸屏输入起始坐标,利用 CPU-300 控制接近开关信号进行跟踪定位,准确把握扫描轨迹。

(2) 利用西门子定位模块 EM231 的定位控制,对 X 轴的伺服电动机、Y 轴伺服电动机进行原始定位。在定位过程中还可以设定 Y 轴对 X 轴进行插补运动,满足复杂条件下的定位要求。利用 EM231 操作界面输入关键数据,通过 CPU-300 输出到伺服放大器控制伺服电动机,带动机械运转。

(3) 利用步进驱动器模块控制步进电动机工作,对 Z 轴的步进电动机按照设定程序进行动作。同时,通过单片机进行打印机喷头和打印平台的温度控制。

2 整机结构

3D 打印系统主要由四大模块组成,分别是电源模块、控

基金项目:河南省教育厅科技重点研究项目(编号:14A8800071.0)
作者简介:姚青华(1979—),女,河南财经政法大学讲师,在读博士。
E-mail: yaoqinghua333@163.com

收稿日期:2015-12-21

制模块、驱动模块与执行模块^[3]。

控制模块主要由 CPU 以及与 PLC 连接的定位模块组成,同时增加外围设备中间继电器和交流继电器。通过输入器输入具体参数,由 PLC 发送至驱动模块中的两路伺服放

大器,从而让伺服电动机执行定位。工作时伺服电机与定位模块共同实现位置控制,另外也可以由步进电机与 PLC 输出模块一起来实现位置的控制,根据步进电机的启动要求必须要有驱动模块参与工作。系统框图见图 1。

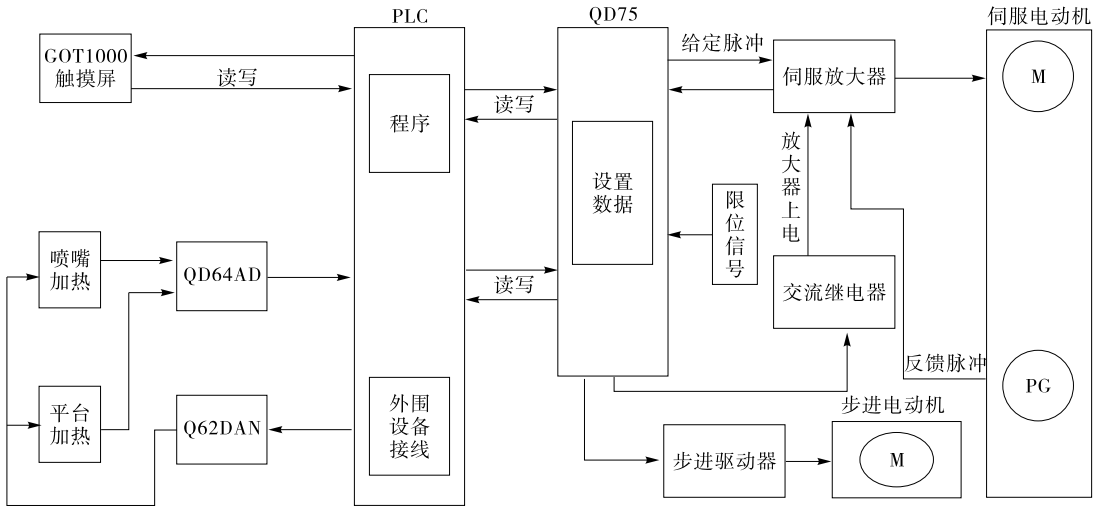


图 1 系统框图

Figure 1 System block diagram

输入器采用触摸屏方式,极大方便系统控制要求和人性化操作,真正实现人机无障碍对话。操作屏事先设计、调试完成,具备良好性能和工作功能,接入到 24 V 的电源,同时与 PLC 通信,起到控制及监控的作用^[4]。

3 整机工作原理及流程

3.1 控制系统设计

3D 打印机控制系统信息处理平台为 PLC,也就是 PLC 加运动控制模块的模式。运动控制模块控制 X、Y、Z 轴轴端伺服电动机及喷嘴电动机工作。PLC 通过数据总线连接运动控制模块,实现数据高速双向交流。数据总线为基于操作系统的平台进行软件升级开发更易于实现,同时也极大方便与配套的其他软件接口。

3D 打印机只有实现高精度、高效率、高速度和高可靠性才能满足实际需要,因此 PLC 接口芯片选用 PLX 公司的 PCI9030,该芯片主要由 DSP 和 FPGA 两个核心芯片组成,共同发挥运动控制功能。它们的性能优劣直接决定了整个系统的优劣程度,通过综合考虑,本系统选用 TI 公司的 DSP 芯片为 TMS320LF2407A, FPGA 芯片为 ALTERA 公司的 Cyclone 系列 EP1C3T144。

TMS320LF2407A 和 EP1C3T144 这两个芯片具备多重功能,可以为系统提供控制脉冲,还可以控制系统的驱动速度、插补运算,以及加工状态的实时监控^[5]。

3.2 机械系统方案设计

3D 打印机机械系统设计遵循 X、Y、Z 三向运动要求, X、Y 轴组成平面操作平台,在伺服电动机牵引下做平面运动,带动控制喷头扫描运动;Z 轴在伺服电动机控制下做垂直运动。由于奶油质地较轻,荷载不大,所以在高速运转下会产生一定的惯性,在控制精度上要求实现柔性、快速制动;

而 Z 轴则需要具备足够的承载能力和运动平稳性。

因此,3D 奶油打印系统中设计打印喷头移动方式在不同方向采用不同的驱动方式,如在 X 轴方向,采用直流电动机经同步齿形带传动,圆柱导轨导向,设定喷头的移动速度为 1 m/s,重复定位精度为 ± 0.02 mm,运动加速度最高值为 1 g。Y 轴方向则采用步进电机经精密滚珠丝杠传动,精密循环滚珠滚动导轨导向,设定丝杠的最大转速为 3 000 r/min,重复定位精度为 ± 0.01 mm。奶油喷嘴安装在 X 轴运动单元上,可以沿着 X 方向直线运动,整个 X 轴运动单元被安装在 Z 轴上。工作平面 Z 轴方向的移动为步进电机精密滚珠丝杠传动,精密圆柱导轨配以直线再循环滚珠轴承导向,设定丝杠的最大转速为 3 000 r/min,重复定位精度为 ± 0.01 mm,垂直推力可达 1 000 N。

3.3 喷射系统设计

3D 打印的材质是奶油,不易流动,可采用微型气泵,通过气压控制压力的变化,控制活塞运动,在腹腔内形成负压,挤压奶油从喷嘴以射流的形式连续喷涌而出,根据图形轨迹逐层堆积形成不同风格的图形、图案。微型气泵一般由料筒、喷嘴、活塞和密封圈、气泵组成。目前,美国 D871-23-01 微型气泵相当成熟,已被广泛运用于食品工业中,根据本设计尺寸的要求,作为 3D 奶油打印机喷射系统的驱动原件,可以采用此款产品。

3.4 人机界面设计

触摸屏为人机对话的主要工具,通过触摸屏获取机器语言,根据机器语言,设法把人的指令转换成汇编语言提供给机器从而实现人机对话。在 3D 打印控制系统中,触摸屏使得传统操作方式变得流畅、易懂,当然,在人机对话过程中, CPU 起到中间桥梁作用,一切指令转换都要通过这个“中央

机构”进行。

触摸屏有效的工作需要程序的支撑,因此触摸屏初始化工作就是程序输入过程,实现系统调节和控制,在此阶段可以设定调试时间、技术负责人、联系方式、经营单位等相关信息;接着就可以进入操作系统,对伺服放大器上电,点击手动界面进入调试程序;通过点击手动界面上的正传按钮和“进丝”、“退丝”按钮,设备自动提醒运行状态是否正确,当判断结果正确,可以点击返回按钮回到主页面,不正确则按照提示要求进行排除;在主页面中有原点回归按钮,待回到原点后,根据需要点击不同设计方案,点击打印按钮;点击监控页面进入监控程序,在监视页面里可以看到相关参数,包括操作平台的运行速度、打印位置坐标、扰动显示、“轴一速度”和“轴二速度”的趋势图、“轴一进给当前值”、“轴二进给当前值”、“轴一进给速度”、“轴二进给速度”的数值显示。

在主菜单中设定手动页面,用来提供系统一些点动操作模式,具体的按钮有“X 轴向左”、“X 轴向右”、“Y 轴向前”、“Y 轴向后”、“Z 轴向上”、“Z 轴向下”按钮。只要用手触摸,即可以实现向上、向下、向左、向右、向前、向后动作,在整个工作区间可以实现画面自由切换,从而带动喷嘴喷出不同形状、大小的造型,实现自动化生产要求。

4 关键部件及技术

4.1 元器件选型

4.1.1 PLC 的选型 在本次控制系统中,采用西门子公司的 S7-300/300C 系列 CPU-300 产品。该产品微型化,适合中小用户 3D 打印机现场操作;各模块简单实用,满足自动化控制要求,特别是人物增加时,可以自由扩展;适用温度从 -25~70℃,具有强大的地域适用能力;允许短时冷凝以及短时机械负载的增加。此款特别适用于食品加工行业。

4.1.2 伺服放大器的选择 西门子 6SL3120 伺服放大器作为驱动电液伺服阀的一种电子设备,输入电压在±10 V 内,输出电流±10~±100 A 可调,方便不同力矩伺服阀需要,线性误差小于 3%Fs;该伺服放大器频宽大于 1 200 Hz,适应高频系统需要;具有超载、短路、限流自动保护功能。

4.1.3 伺服电动机的选择 本案设计选用西门子相关产品,如核心部件 S7-300/300C 系列,执行元件采用 M3 系列伺服放大器、伺服电机、双相步进电动机。该款伺服电动机能在很宽的调速范围内进行连续无级调节,抗干扰性强,能适应快速指令和信息的瞬间变化,极大提高打印技术的灵活性和高可靠性。另外在物理性能上具有体积小、重量轻、输出转矩大、低惯性等优点。

4.1.4 步进电机的选择 从安装、维护方便出发,在选择步进电动机时,考虑西门子公司的 17HD4063-05N 型号的步进电机。该款步进电动机体积小巧,节约占用空间,现已被广泛应用于 3D 打印机。

4.1.5 触摸屏的选择 西门子多功能触摸屏 MP377,12.1 寸 64 K 色,12 MB 内存,满足高性能应用需求。采用 Windows CE 5.0 操作系统,方便适时升级需要。使用 Profinet,2×USB 2.0,MMC/SD 插卡槽接口技术,为后续扩展提供方便。

4.2 系统编写流程

3D 打印系统构建结束,即可以进行工作参数定义和输入、设定,包括对方位控制、速度控制、扰动控制进行数据初始化,对近点运行、点动运行、连续运行、自动控制状态下启动、停止信号的设定,还可以对原点回归做出明确设定,如自动回归、手动回归。

在定位过程中一旦出现程序错误或输入错误,系统会自动报警并紧急停车。根据系统要求的功能编写程序见图 2。

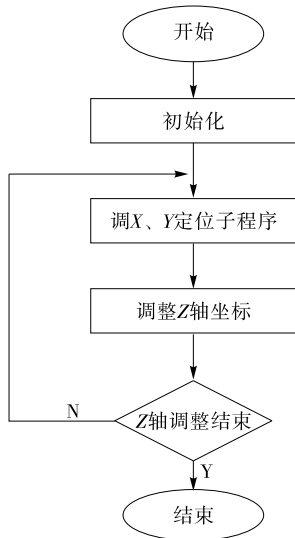


图 2 程序流程图
Figure 2 Program flow chart

4.3 联机调试

(1) 将各硬件线路连接好,通过电脑插座按照连接方案进行通电。然后把 PLC、触摸屏分别与编程计算机相连,在编程计算机监控下对 PLC 运行进行调试,在调试过程中需要对系统运行状态进行跟踪观察。

(2) 对 3D 打印机进行初始化操作。打印机如果想进入良好工作状态,必须对 3D 打印机进行初始化操作,初始化之前要确认各电气连接正确、可靠,当确认无误后可以将运行程序和 QD75 定位模块的参数同时输入到 PLC 中。初始化的关键就是对 X、Y、Z 轴的原点进行定位以及其它参数整定,对原点归位信号采用近点设置的办法,归位顺序依次是 X、Y 和 Z 轴。

(3) 通过人机界面执行运行参数设定。根据奶油不易流动特性(当加热到 230℃时形成流动液体),因此对打印平台温度设定为 110℃,打印喷嘴温度设定为 230℃,当两者温度达到设定值,则可以执行设定程序。

Z 轴上升到离喷头 0.4 mm 处,X、Y 轴执行打印物体的“切片”定位,当 X、Y 轴完成二维面的定位时,X、Y 轴停止,此时 Z 轴下降 0.4 mm,Z 轴下降完成后 X、Y 轴继续程序给定的“切片”定位,由此种程序走法循环,当 Z 轴下降到设定高度时,X、Y 轴再执行一次二维面的定位,当此次二维面定位完成后执行原点归位,一次使 X、Y 和 Z 回归到初始位置上。

(下转第 110 页)

(3) 验证实验:对由正交试验得出的最佳条件及表中最佳结果的组合 A₃B₁C₃ 进行验证性实验,结果见表 8。在 A₃B₃C₁ 条件下总酚含量为 0.435 g/L,色差为 1.18,PPO 活性为 0.096,试验重现性较好,说明上述最佳组合条件可行,能用于梨浊汁生产中护色。

表 8 验证实验结果

Table 8 Results of verification experiment

实验	总酚含量/(g·L ⁻¹)	色差 ΔE	相对酶活
空白	0.191	2.98	1.000
A ₃ B ₁ C ₃	0.396	1.27	0.237
A ₃ B ₃ C ₁	0.435	1.18	0.096
对照	0.521	0.00	0.000

3 结论

本研究结果表明,AA、氯化钙、CA、β-CD、EDTA 作为单一抑制剂对多酚氧化酶均具有抑制效果,且对于 PPO 相对酶活的抑制强弱顺序为:AA>氯化钙>CA>β-CD>EDTA,复合抑制剂(AA、β-CD、EDTA)之间的协同效应使其对酶促褐变的抑制效果优于单一抑制剂,因此在目前工业生产中常用的抑制剂 AA 的基础上,复配其他抑制剂会增强对梨浊汁酶促褐变的抑制效果,一个能够较好抑制梨浊汁褐变的抑制剂组合为:0.10% AA+0.4% β-CD+0.08% EDTA。该组合的复合抑制剂不仅能够较好地保存梨汁中的酚类物质,还可使梨汁中 PPO 活性降至未添加抑制剂的 9.6%,获得营养成分损失较小且色值较好的梨浊汁产品,使其满足质量标准特别是出口质量标准,拓宽梨浊汁产品的应用范围并提高其出口率,创造更大的经济价值。同时,该复合抑制剂组合对其他果蔬加工尤其是果汁的加工中护色关键工艺的控制具有一定的参考价值。

参考文献

[1] 阙建全. 食品化学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2002:251.
[2] Komthong P, Igura N, Shimoda M. Effect of ascorbic acid on

the odours of cloudy apple juice[J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1342-1349.
[3] 程双, 胡文忠, 马跃, 等. 鲜切甘薯酶促褐变调控的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(6): 158-160.
[4] 赵玉生. 植酸对菠菜汁苹果汁的护色实验研究[J]. 食品研究与开发, 2000, 21(3): 19-21.
[5] 金定樑. 柠檬酸亚锡二钠对果蔬及其制品护色的研究[D]. 无锡:江南大学,2009.
[6] 邱龙新, 黄浩, 陈清西. 半胱氨酸对马铃薯多酚氧化酶的抑制作用[J]. 食品科学, 2006, 27(4): 37-40.
[7] 程双, 胡文忠, 马跃, 等. 鲜切果蔬酶促褐变机理及控制研究进展[J]. 食品与机械, 2009, 25(4): 173-176.
[8] Sukhontha S, Kunwadee K, Chockchai T. Inhibitory effect of rice bran extracts and its phenolic compounds on polyphenol oxidase activity and browning in potato and apple puree[J]. Food Chemistry, 2015, 190: 922-927.
[9] Liu Liang, Cao Shao-qian, Yang Hua, et al. Pectin plays an important role on the kinetics properties of polyphenol oxidase from honeydew peach[J]. Food Chemistry, 2015, 168: 14-20.
[10] 宋莲军, 杨月, 唐贵芳. 复合抑制剂对苹果汁防褐变效果的影响[J]. 河南农业大学学报, 2010, 44(5): 585-590.
[11] Alvarez-Parrilla E, De La Rosa L A, Rodrigo-Garcia J, et al. Dual effect of β-cyclodextrin (β-CD) on the inhibition of apple polyphenol oxidase by 4-hexylresorcinol (HR) and methyl jasmonate (MJ) [J]. Food Chemistry, 2007, 101(4): 1346-1356.
[12] 赵光远, 王璋, 许时婴. 混浊苹果汁加工过程中的酶促褐变及其防止的研究[J]. 食品工业科技, 2003, 24(10): 57-61.
[13] Mishra B B, Gautam S, Sharma A. Purification and characterisation of polyphenol oxidase (PPO) from eggplant (Solanum melongena) [J]. Food Chemistry, 2012, 134(4): 1855-1861.
[14] 宁正祥. 食品成分分析手册[M]. 北京:中国轻工业出版社,1997:306.
[15] 中华人民共和国农业部. NY/T 1600—2008 水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定[S]. 北京:中国农业出版社,2008.
[16] 李健, 徐艳艳, 黄美, 等. 鸭梨果实多酚氧化酶酶学特性[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 154-157.

(上接第 100 页)

(4) 从操作安全性考虑,该系统设定了急停和再启动,当打印系统在执行过程中出现偏离设计程序的情况时可以迅速执行紧急停车,并同时报警提示,操作人员可以迅速做出处理。如果在打印过程中人为地需要紧急停车,则可以执行紧急制动按钮,实现机械操作,当需要再次启动时可以按启动按钮继续工作。

(5) 当执行程序结束后,触摸屏会显示打印完成的指示信号,并以 1 Hz 闪烁灯提示,然后操作人员可以关断电源,待加热平台、喷嘴自然冷却后,取下打印物品,自此打印完成。

5 结束语

根据奶油特有的性质,3D 打印机在机械结构设计上采取了 PLC 加运动控制卡的模式,解决了立体打印的难题,通过对温控的针对性要求,实现连续化、细腻打印的可能。该

机结合微机技术,采用伺服电动机和步进电动机,实现自动控制,并采取二次插补算法大大提高了系统运作的实时性和可靠性。但复杂图案的设计和在线及时编程还需要进一步加强和改进。

参考文献

[1] 李晓燕, 张署. 三维打印快速成形及其实验研究[J]. 电加工与模具, 2005(5): 22-25.
[2] 李萍红, 杨柳春. 工控组态技术及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2013:63-65.
[3] 刘洪涛. PLC 应用开发从基础到实践[M]. 北京:电子工业出版社,2007:13-14.
[4] 徐国林. PLC 控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2007:25-26.
[5] 戴宁, 廖文和, 陈春美. STL 数据快速拓扑重建关键算法[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2005, 17(11): 2447-2452.