

基于 FDM 技术的 3D 糖画文创产品打印机设计

Design of 3D sugar painting creative product printing based on FDM

杨剑威¹ 胡亚南¹ 王毅² 张洪兴³

YANG Jian-wei¹ HU Ya-nan¹ WANG Yi² ZHANG Hong-xing³

(1. 西京学院, 陕西 西安 710021; 2. 西安理工大学, 陕西 西安 710021;

3. 陕西西微测控工程有限公司, 陕西 咸阳 712000)

(1. Xi Jing University, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 2. Xian University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 3. Shaanxi Xiwei Automation Control Engineering Limited, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

摘要:基于 FDM 技术设计包括机械机构、控制系统和 HMI 界面的 3D 立体糖画打印机。机械机构包括既可以精确送料又可以搅拌原料的给料搅拌机构和 Core XY 轴联动机构; 控制系统以 CPU1214C 为核心, 完成系统运动控制、温度控制和搅拌给料控制; HMI 界面由 SIEMENS OP73/Micro 触摸屏安装 WinCC Flexible 为开发平台, 实现人机交互。该设备结构简单、操作方便, 能够打印出结构复杂、有“颜”有味的 3D 立体糖画。

关键词:3D 技术; FDM; 3D 糖画; Core XY; CPU1214C; 文创产品

Abstract: The 3D sugar painting printer based on FDM technology was designed. It included the mechanical mechanism, control system and HMI interface. The mechanical mechanism consisted of the feeding mixing device and the Core XY axis linkage system. The feed mixing mechanism could accurately feed and stir the raw materials. The control system was based on CPU1214C, controlling the system motion, temperature, and stirring feeding. Siemens OP73/Micro touch screen was used to install WinCC Flexible as development platform, helping to realize human-computer interaction. This equipment could be used to print out any complex structure and delicious 3D sugar painting.

Keywords: 3D technology; FDM; 3D sugar painting; Core XY; CPU1214C; creative product

糖画是中国民间一种传统手工技艺, 既可食用又可观赏, 深受广大民众的喜爱^[1]。传统糖画产品的制作由艺人凭

借丰富的经验手工制作, 样式简单陈旧、更新滞后, 制作速度慢, 十分不卫生。将 FDM 技术与传统的糖画文创产业相结合是一个新兴的研究方向, 不仅可以改变传统的平面糖画样式, 而且可以打开限制中国糖画艺术发展和传播的枷锁。FDM 技术与糖画工艺相结合的原理: 利用 Solidworks 正向或扫描技术逆向建立糖画的三维数字化模型, 并进行三维切片后导入糖画打印机, 然后热熔喷嘴将半流动的热熔蔗糖按照三维切片截面轮廓路径挤压喷涂在工作台上凝固成型, 逐层沉积、凝固后形成整个 3D 立体糖画^[2]。在糖画文创产业中引入 FDM 技术, 可以“打印”出各种各样且具有创意的糖画食品, 可以提高工作效率、改善卫生条件, 加工复杂糖画模型以满足大众化、个性化的美味、精美的糖画需求。

1 3D 糖画打印机工作原理及机械结构

1.1 工作原理及总体结构

3D 糖画打印机结构见图 1, 主要包括加热系统、给料搅拌装置、运动系统、控制系统、工作台及支撑部件等组成。搅拌系统安装在框架侧面顶端的料斗内部, 料斗夹层及打印喷头内安装加热丝和加热棒以熔化蔗糖并保持蔗糖为熔融状态; 送料装置采用螺旋式挤出打印, 挤压步进电机通过联轴器带动螺旋杆旋转, 将熔融状态的蔗糖从料筒中挤压到打印喷嘴, 以实现精确送料。运动系统由 XYZ 轴的步进电机、同步带、同步轮、光杆、限位开关及框架等部件组成, 并完成预定切片轮廓轨迹运动, 对于糖画打印机实现 X 和 Y 轴联动即可打印出普通的糖画作品, 再通过 Z 轴方向的移动即可打印三维立体的糖画作品, 突破传统二维糖画模式^[3-4]。

1.2 给料搅拌机构设计

糖画给料搅拌机构主要完成糖画原料加热熬制过程的搅拌工作和糖画打印过程中的精确给料工作^[5]。如图 2 所示, 给料搅拌机构由 42 步进电机、料斗、料筒、搅拌杆和螺旋给料杆组成。由 42 步进电机通过 PLC 的正反转提供搅拌

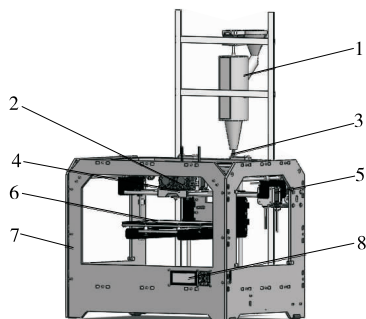
基金项目:西京学院科研基金项目(编号: XJ170101, XJ170129); 陕西省自然科学基金面上项目(编号: 2016JM5091)

作者简介:杨剑威, 男, 西京学院工程师, 硕士。

通信作者:胡亚南(1986—), 男, 西京学院讲师, 硕士。

E-mail: 2664961273@qq.com

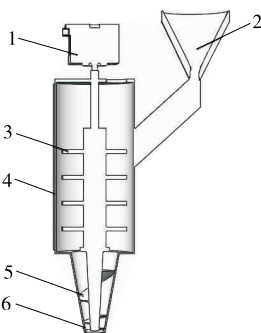
收稿日期:2017—06—26



1. 给料搅拌装置 2. 喷头 3. 热流道管 4. X轴步进电机 5. Y轴步进电机 6. 工作台 7. 框架 8. 触摸屏

图1 3D糖画打印机结构示意图

Figure 1 Structure diagram of Sugar painting 3D printing machine



1. 给料搅拌电机 2. 料斗 3. 搅拌杆 4. 料筒 5. 螺旋给料杆 6. 热流道管口

图2 给料搅拌装置结构简图

Figure 2 Structure diagram of feeding and agitating device

和给料动力,搅拌杆和螺旋给料杆焊接在一起可以节省步进电机的使用数量。当步进电机反转时,联轴器带动搅拌杆和螺旋给料杆进行反向旋转,螺旋杆不产生向下挤压力,装置仅完成搅拌工作;当搅拌电机正转时,联轴器带动搅拌杆和螺旋给料杆进行正向旋转,螺旋杆产生向下挤压力,使熔融状态的蔗糖由喷嘴挤出。料筒内壁和外壁间安装有加热丝和温度传感器实现温度控制,完成糖画的熬制工作,然后由螺旋给料杆经热流道管将熔融状态的糖输送至喷嘴进行3D糖画打印。

1.3 3D糖画打印机XY运动系统

3D糖画打印机XOY平面内运动方案基于Core XY定位原理。如图3所示:糖画打印机XY平面内运动由2台42步电机协调配合进行驱动同步带运动,打印喷头由同步带1和同步带2共同驱动,同步轮与同步带的齿轮咬合传动方式具有较高的稳定性和打印精度^[6]。

同步带1和同步带2在42步电机的驱动下沿着 ΔA 、 ΔB 方向进行,若 ΔA 、 ΔB 进行等数值反方向位移时,打印喷头沿Y轴方向运动;若 ΔA 、 ΔB 进行等数值同方向位移时,打印喷头沿X轴方向运动;若 ΔA 、 ΔB 进行不等值运动时,打印喷头进行XY轴联动^[7]。Core XY定位原理中, ΔA 、 ΔB 与打印喷头的位移量 ΔX 、 ΔY 的数学关系为:

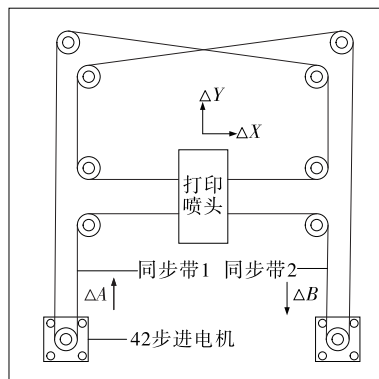


图3 Core XY轴联动运动示意图

Figure 3 Core XY linkage motion schematic

$$\Delta X = \frac{\Delta A + \Delta B}{2}, \quad (1)$$

$$\Delta Y = \frac{\Delta A - \Delta B}{2}, \quad (2)$$

$$\Delta A = \Delta X + \Delta Y, \quad (3)$$

$$\Delta B = \Delta X - \Delta Y, \quad (4)$$

式中:

ΔA ——同步带1沿 ΔA 箭头方向的位移量,mm;

ΔB ——同步带2沿 ΔB 箭头方向的位移量,mm;

ΔX ——打印喷头沿X轴方向的位移量,mm;

ΔY ——打印喷头沿Y轴方向的位移量,mm。

2 3D糖画打印机控制系统设计

3D糖画打印机控制系统的设计包括控制点计算、硬件选型、软件设计及程序设计等。整个控制系统中,设备加热系统、温度检测装置、执行机构数量较多且对控制系统性能要求较高。

2.1 系统控制点统计

3D糖画打印机的控制点分布在启停系统、运动系统、加热冷却系统及搅拌系统中,共计21个点,控制点类型分为DI、DO、AI、AO 4种,具体控制信号内容见表1。

2.2 控制系统硬件选型

2.2.1 控制器 根据3D糖画打印机I/O控制点数量、实用性、经济性等方面考虑,选用运行速度高和结构紧凑的西门子S7-1200系列的CPU1214C(6ES7214-1BE30-0XB0)为控制器,其自身集成14DI(数字量输入通道)、10DO(数字量输出通道)、2AI(模拟量输入通道,0~10V)和2PTO(点脉冲输出通道)等^[8]。

2.2.2 控制模块 由于CPU1214C自身集包含14DI和10DO通道,故无需增加数字量模块,模拟量输入输出模块SM1234(6ES7234-4HE30-0XB0)完成模拟量信号的输入输出。3D糖画打印机控制系统接线图见图4。

2.2.3 控制面板 SIEMENS OP73/Micro控制面板可以显示主页面信息(Info Screen),设置打印速度(Print Speed)、工作台温度(Bed)、输料管温度(Flow Channel)、喷头温度(Nozzle)、风扇转速(Fan Speed)等参数,而且可以实现打印机喷头归位(Auto Home)、坐标轴移动(Move Axis)等功能。

2.2.4 检测装置和执行机构 温度传感器选用 NTC 热电阻,检测范围 0~200 ℃,检测精度 0.1 ℃;加热管选用 Cr20Ni80 型号镍铬加热丝;步进电机采用 42 步进电机。

表 1 3D 糖画打印机 I/O 统计表

Table 1 I/O statistical table of Sugar painting 3D printing machine

打印机系统	名称	DI	DO	AI	AO	总数	
启停系统	启动信号	1	0	0	0	1	
	暂停信号	1	0	0	0	1	
	停止信号	1	0	0	0	1	
运动系统	X 轴电机	0	1	0	0	1	
	Y 轴电机	0	1	0	0	1	
	Z 轴电机	0	1	0	0	1	
	X 轴限位	1	0	0	0	1	
	Y 轴限位	1	0	0	0	1	
	Z 轴限位	1	0	0	0	1	
	工作台加热	0	0	0	1	1	
加热冷却系统	料斗加热	0	0	0	1	1	
	喷头加热	0	0	0	1	1	
	工作台温度检测	0	0	1	0	1	
	喷头温度检测	0	0	1	0	1	
	风扇	0	1	0	0	1	
	输料管温度检测	0	0	1	0	1	
	输送管道加热	0	0	0	1	1	
	搅拌系统	搅拌电机启动	1	0	0	0	1
		搅拌电机停止	1	0	0	0	1
		搅拌电机正转	0	1	0	0	1
搅拌电机反转		0	1	0	0	1	
合计		8	6	3	4	21	

2.3 3D 糖画打印机主程序流程

3D 糖画打印机的程序按照模块化思路设计,主要分为主程序、子程序、中断程序及报警程序^[9-10]。程序运行时,首先进行系统初始化,然后读取糖画图案信息进行打印轨迹优化并存入到数据库中,操作人员对打印温度、打印速度、搅拌时间等参数进行设置并完成系统调零(可选用自动调零功能)后在控制面板上确认打印命令。PLC 控制器接收到打印命令后,控制加热系统融化蔗糖和搅拌电机反向选择进行原料搅拌,当搅拌时间和各加热装置温度同时达到工艺要求后,搅拌电机正向旋转带动螺旋推料杆挤压熔融糖稀,在 XY 平面内按照切片轮廓轨迹进行糖画打印。当单层轮廓打印完成后进行逻辑判断,若糖画未打印完成工作台下降一层继续逐层打印;若糖画打印完成,打印机 X、Y、Z 轴回零后结束打印工作,即完成精美绝伦的三维糖画艺术品。另外,3D 糖画打印机可以连接智能手机和移动端,可以将消费者的肖像或风景之类的图片进行食品 3D 打印,制作为糖画产品,具有科技感和趣味性。糖画打印机控制流程图见图 5。

3 HMI 界面设计

糖画打印机的 HMI 界面设计采用 SIMATIC WinCC

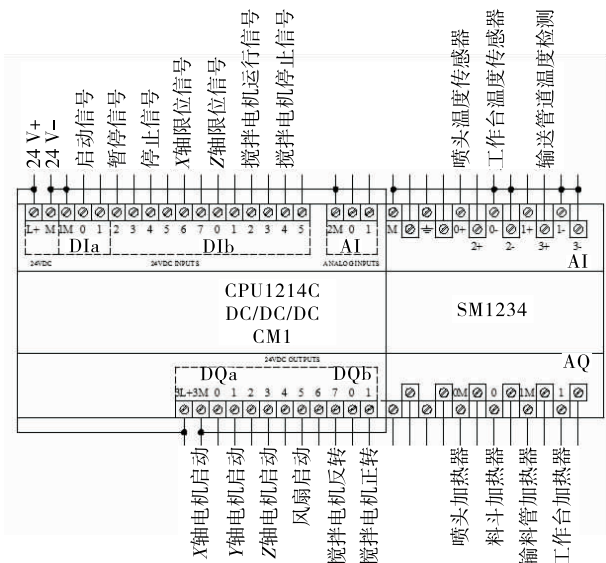


图 4 3D 糖画打印机控制系统接线图

Figure 4 Control system wiring diagram of Sugar painting 3D printing machine

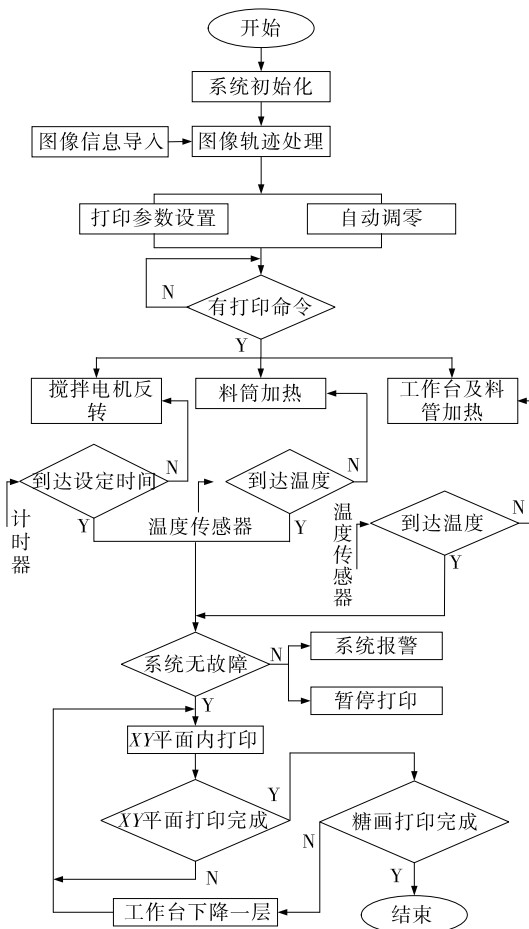


图 5 3D 糖画打印机控制流程图

Figure 5 Control flow chart of Sugar painting 3D printing machine

Flexible 触摸屏编程软件,其功能强大、简单易用、开发效率高,可以灵活地将基本对象、控件、图形、元素拖动到 HMI 界面。3D 糖画打印机的 HMI 界面共有 5 个操作画面,它们分别是主控界面、参数设置画面、辅助功能界面、存储信息界面及生产监测界面。如图 6 所示,在 3D 糖画打印机中运用触摸屏使传统方式变得简单、直观、易懂,操作人员可以在触摸屏上通过“+”和“-”调整打印速度、料筒温度、热流管温度等参数,还可以直观清晰地检测到糖画打印机实际工作过程中主要参数的变化过程。点击下方的界面切换按钮便可进入到相应的界面中,进行参数的设置、调整或监控^[11]。

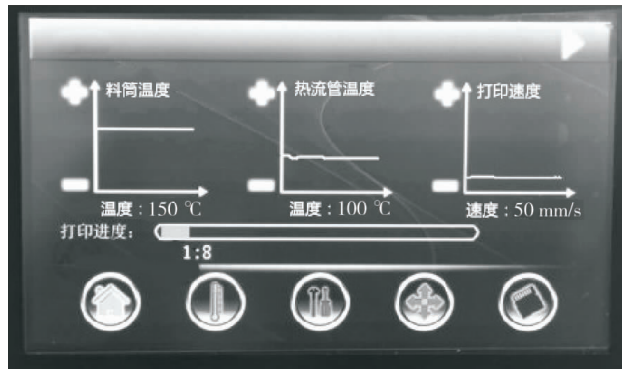


图 6 生产监测界面

Figure 6 Production monitoring interface

4 应用扩展

3D 糖画打印机不仅可以应用于糖画食品领域,而且可以与其它传统文化相结合,衍生应用于更多的产品领域。以陕西地区皮影文化为例,经实地调研发现陕西皮影的衍生文创产品存在种类稀缺、产品单一、缺乏创新、同质化程度高的问题^[12]。本研究将 3D 糖画打印机与皮影元素相结合,其开发基本流程为:符号研究—符号提取—对象采集—对象转换—3D 生成,见图 7。首先对皮影构成元素进行提取,建立起关键要素库,关键要素包括纹饰、脸型、鼻型、眉型、眼型、发型、配饰、色彩等。其次消费者通过移动端的 APP 采集自己人像,并根据喜好对采集的人像进行编辑,生成具有个人特征和传统皮影特征的 3D 浮雕数据。最后将 3D 浮雕数据传输到 3D 糖画打印设备中进行打印,制作出具有观赏性、独特性、文化性、趣味性的文创产品。



图 7 3D 糖画打印机的扩展应用

Figure 7 Extended application of 3D sugar printer

5 结论

本研究依据传统糖画食品制作工艺特征,结合 FDM 技术进行 3D 立体糖画打印机的设计,解决了传统糖画产品样式陈旧、制作效率低的难题,以 SIEMENS CPU1214C 为控制器实现运动系统、温控系统和搅拌给料系统的精确与稳定控制,以 WinCC Flexible 为开发平台实现人机交互功能,满足了消费者个性化需求,促进了传统文化的发展。该设备结构简单、操作方便,能够打印出结构复杂、有“颜”有味的 3D 立体糖画,满足消费者个性化需求且促进糖画文化的传播和发展。另外,对 3D 技术和传统文化的结合应用具有一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] 仓诗建,曹莉蕊,靳桂芳. 糖画艺术在喜庆用品包装中的应用[J]. 中国包装工业, 2014, 23(10): 57-58.
- [2] 李光玲. 食品 3D 打印的发展及挑战[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 231-234.
- [3] 洪健,王栋彦,李飞,等. 基于 3D 打印技术的个性化冰激凌成型机设计[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 101-103.
- [4] 丁易人. 基于挤出成型的食材 3D 打印工艺研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 43-53.
- [5] 姚青华. 3D 打印技术应用在奶酪食品工业中的方案设计[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 98-110.
- [6] ZHANG Xin, PANOTOPOULOU A. Perceptual models of preference in 3D printing direction[J]. ACM Transactions on Graphics, 2015, 34(6): 1-12.
- [7] 陈继民,王文椿,姜繆文,等. 坐标式 FDM 3D 打印机的研制[J]. 北京工业大学学报, 2017, 43(6): 814-818.
- [8] 刘天宇,周惠兴,张鑫,等. 食品及软性材料 3D 打印技术的研究与应用进展[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(5): 55-59.
- [9] LI Xin-guo, ZHENG Zeng-lang. The Application of PLC in the automatic packing machine control system[J]. Advanced Materials Research, 2012(3): 48-50.
- [10] 丰会萍,胡亚南,霍蛟飞,等. 基于 TIA Portal 的多功能茶叶包装机控制系统设计[J]. 食品与机械, 2017, 33(7): 85-88.
- [11] 洪云飞. WinCC flexible 组态软件在砂光机控制系统中的应用[J]. 工业仪表与自动化装置, 2016(1): 94-96.
- [12] 钟贤权. 当代皮影艺术的生存困境与现代创新[J]. 中国文化论坛, 2013(5): 131-135.