

基于 3D 打印技术的个性化冰激凌成型机设计

Design of personalized ice cream machine based on 3D printing

洪 健 王栋彦 李 飞 秦国选

HONG Jian WANG Dong-yan LI Fei QIN Guo-xuan

(天津工业大学机械工程学院, 天津 300387)

(College of Mechanical Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

摘要:为满足冰激凌消费者的个性化需求,基于快速成型技术设计了一台冰激凌成型机,主要包括传动机构和机械结构、控制系统。传动机构由 Z 轴传动机构和 Core XY 二轴联动机构组成;机械结构包括使原料均匀混合的搅拌机构、实现原料逐层堆积固化成型的工作台,以及可实现 XOY 平面移动的挤出机构;控制系统包括机构运动控制和温度控制。该机器结构简单,操作方便,造价低,能实现任意复杂结构的个性化冰激凌的成型。

关键词: 3D 打印;快速成型技术;冰激凌

Abstract: In order to meet the personalized needs of the individual's desiring of ice cream, an ice cream machine was designed based on the rapid prototyping technology. This machine included transmission, mechanical structures and control system. A Z-axis drive module and a Core XY two-axis one were adopted by the transmission module. Moreover, the mechanical structure was constructed by a stirring module to mix the raw material uniformly, combining a platform to enable raw material to stack layer by layer and an extrusion mechanism; moving in XOY plane. The control system composed of a mechanism motion and a temperature control. It was found that this machine was easy to operate and cost lower, and realized arbitrarily the complex structures of personalized ice cream molding.

Keywords: 3D printing; rapid prototyping technology; ice cream

3D 打印(3D printing),通常称为快速成型(RP),起源于 20 世纪 80 年代,它是以数字模型文件为基础,采用粉末状金属、塑料等可黏合材料或者光敏树脂等,通过逐层叠加的方式制造任意复杂形状物体的技术^[1-4]。3D 打印技术使产品的个性化设计与生产成为可能。

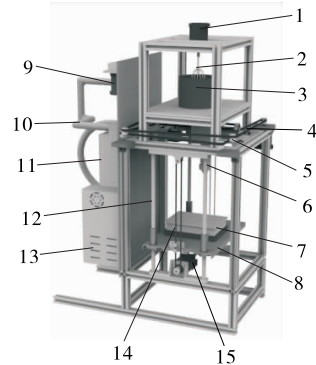
随着 3D 打印技术的快速发展,以及人们对 3D 打印技

术应用领域的不断拓展,3D 打印技术已在食品行业呈现全新的应用,基于 3D 打印技术的 3D 食品打印机可“打印”出各种各样有创意的食品,如饼干、面包、巧克力、披萨、汉堡和糕点等^[5]。消费者可根据自身条件、喜好甚至不同的使用情景自行设计产品并加工,实现产品的量身定做。

作为一种降温消暑食品,冰激凌不仅是一种消费文化的载体,也是一种生活符号的文化表达^[6]。近年来结构新颖、口味多样、富含文化内涵的高端冰淇淋市场需求越来越多,成为消费者追求个性与品位的表现形式。现有系统多采用模具加工不同结构的冰激凌,需加工其相应的模具^[7],不能适应消费者对个性化产品的实时需求。目前国内外对 3D 打印冰激凌机的研究应用还处于初级阶段,仅在一些冰激凌展会上有展出,将 3D 打印技术引入冰激凌成型的研究文献暂无。本研究基于 3D 打印技术设计了一台冰激凌成型机,打印结构迥异的冰激凌,以满足人们对冰激凌的个性化需求。

1 冰激凌 3D 打印机成型原理

图 1 为冰激凌成型机结构示意图,整体为框式结构,其外支撑架由 20 mm×20 mm 铝型材搭建,尺寸为 440 mm×



- 1. 搅拌电机 2. 搅拌器 3. 搅拌桶 4. XY 轴同步带 5. 同步轮
- 6. 挤出头 7. 工作台 8. 工作台支撑板 9. 蠕动泵 10. 导管
- 11. 风扇 12. 光轴 13. 电源 14. Z 轴同步带 15. 双轴电机

图 1 冰激凌 3D 打印机结构示意图

Figure 1 Whole assembly drawing

基金项目:天津工业大学大学生创新创业训练计划项目(编号:201510058014)

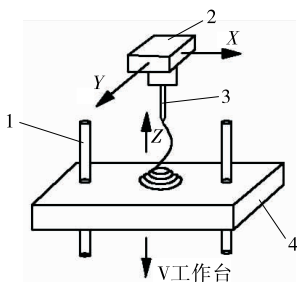
作者简介:洪健(1993—),男,天津工业大学在读本科生。

E-mail:1565715885@qq.com

收稿日期:2016-07-12

280 mm×740 mm,利于各机构的分布且能保证足够的工作空间。冰激凌成型机机械结构包括搅拌机构、挤出机构、工作台及制冷系统三部分。搅拌机构在框架顶端,挤出机构自上而下输送并挤出冰激凌原料。各运动机构通过T型螺母定位安装。成型工作台位于框式结构的中央,由4根光轴导向,保证其上下运动的平稳性,双同步带驱动使其所受动力均衡。制冷系统的导热散热件安装在框架外侧,把热量导至工作空间外,使框架内冰激凌成型空间能保持一个相对稳定的低温环境,利于冰激凌成型。

该机器成型原理见图2,采用X、Y两轴联动,Z轴单独运动的方式作为传动机构的设计方案,冰激凌挤出头在XOY平面内运动,成型工作台在Z轴方向逐层向下运动,实现冰激凌的逐层堆积成型。



1. 光轴 2. 滑块 3. 挤出头 4. 工作台

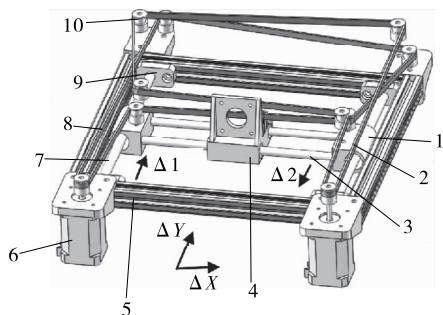
图2 工作原理示意图

Figure 2 Schematic diagram

2 冰激凌成型机传动系统设计

2.1 XOY平面挤出头二轴联动方案

XOY平面内挤出头运动方案基于Core XY定位原理^[8]设计实现,如图3所示,挤出头在X、Y方向运动分别由两根光轴导向。Y方向导向光轴7通过固定块9固定在机架上,滑块1内装有直线轴承,带动挤出头在光轴上沿Y方向移动。同时X方向导向光轴3也固定在滑块1上,挤出头滑块4通过直线轴承固定在X轴导向光轴。各运动件上均设计有连接同步带的同步带卡,同步带2和同步带8把所有运动件和42步进电机6按一定顺序相连。两条同步带看上去是相交的,其实是在两个平面上,构造出Core XY形式的传动



1. Y轴滑块 2. 同步带2 3. X向导向光轴 4. 挤出头滑块 5. 铝材
6. 步进电机 7. Y向导向光轴 8. 同步带1 9. 固定块 10. 同步轮

图3 Core XY二轴联动运动示意图

Figure 3 Core XY schematic two-axis motion

方案。此定位方式能有效地缩小定位误差,使得滑块的移动更加精确而稳定。

当同步带2和同步带8在步进电机的驱动下分别沿图中 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 箭头所指方向发生方向相反、数值相等的位移,则挤出头朝着Y方向运动,同步带1和同步带2沿 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 箭头所指方向发生方向相同等值运动,则挤出头将会朝着X方向水平运动。若 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 大小不相同,则挤出头将会实现XY轴联动。其中, $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 与挤出头的位移量 ΔX 、 ΔY 的数学关系为^[9]:

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

$$\Delta Y = \frac{1}{2(\Delta 1 - \Delta 2)}, \quad (2)$$

$$\Delta 1 = \Delta X + \Delta Y, \quad (3)$$

$$\Delta 2 = \Delta X - \Delta Y, \quad (4)$$

式中:

ΔX ——挤出头沿X轴位移量,mm;

ΔY ——挤出头沿Y轴位移量,mm;

$\Delta 1$ ——同步带沿 $\Delta 1$ 箭头所指方向的位移量,mm;

$\Delta 2$ ——同步带沿 $\Delta 2$ 箭头所指方向的位移量,mm。

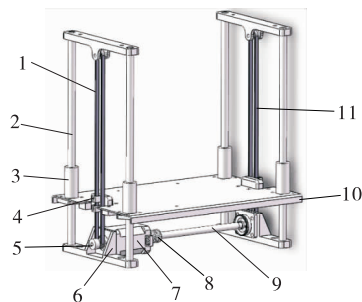
2.2 Z轴传动方案

Z轴传动机构设置目的是驱动工作台层层向下运动,实现冰激凌的逐层堆积。工作台重量大小,是其稳定性设计的重要因素。该设备要求较高的打印速度,而精度要求不严格,所以采用双同步带驱动方式,如图4所示,同步带1和同步带11承载工作台10的重量,使用双轴42步进电机7作为驱动。步进电机通过电机座6安装在机架上,一端装有同步轮5,与一条同步带1相连,另一端通过联轴器8与传动轴9相连。传动轴上装有同步轮,与另一条同步带11相连。两条同步带分别固定于工作台10两端。工作台上装有直线轴承3,通过4根光轴导向。该结构中工作台两端同时受力,利于工作台平稳运动,且工作台尺寸不受限,能获得较大的工作空间。

3 冰激凌成型机结构设计

3.1 搅拌机构

冰激凌由乳脂肪、非脂乳固体、甜味剂固形物、稳定剂、

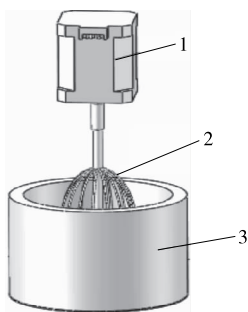


1. 同步带1 2. 光轴 3. 直线轴承 4. 同步带卡 5. 同步轮 6. 电机座 7. 双轴42步进电机 8. 联轴器 9. 传动轴 10. 工作台 11. 同步带2

图4 Z轴传动方案示意图

Figure 4 Z axis drive scheme schematic

乳化剂、总固体、等成分组成,可通过控制稳定剂的配比使其黏度为 120~140 mPa·s^[10]。为了使含有多成分配料的冰激凌原料保持良好的流动性,需要一个搅拌机构对冰激凌进行搅拌,使其各成分均匀混合。如图 5 所示,搅拌机构能储存一定的原料,由步进电机驱动搅拌器旋转运动。



1. 电机 2. 搅拌器 3. 搅拌桶

图 5 搅拌机构示意图

Figure 5 Stirring mechanism schematic

3.2 挤出机构

挤出机构的功能是把液态冰激凌挤出成细流,然后层层叠加固成型。本机构基于柱塞式挤出成型原理,采用蠕动泵实现使料源源不断地供给。蠕动泵具有可空转、可防止回流、双向同等流量输送能力等功能,利于挤出头平稳地输送料流。

挤出头设计的合理性直接决定料流是否能顺畅挤出,对于冰激凌食物,挤出头的挤出精度要求为±1 mm,主要实现外观形状的复杂性。由于冰激凌成分和配料的流动性差,原料的顺畅挤出成为挤出头设计的关键。为了提高冰激凌成型精度,要求挤出的料流直径不能太大,即挤出头的孔径不能太大。如图 6 所示,挤出头的内孔呈锥形,料流在向前推进的过程中液体压力逐渐增大。冰激凌具有一定黏度,内孔锥度过大,使料流与孔内壁的摩擦力增大,冰激凌挤出困难。为了得到挤出效果最佳的内孔尺寸,设定了 3 组试验,利用 3D 打印机加工出锥度为 1:6 小端直径为 0.4 mm、锥度为 1:8 小端直径为 0.6 mm、锥度为 1:10 小端直径为 0.8 mm 的挤出头进行对比试验,最后得出挤出效果最佳的内孔尺寸为锥度为 1:8 小端直径为 0.6 mm。使挤出头具有良好增压效果的同时,料流能顺畅挤出,并具有一定的成型精度。

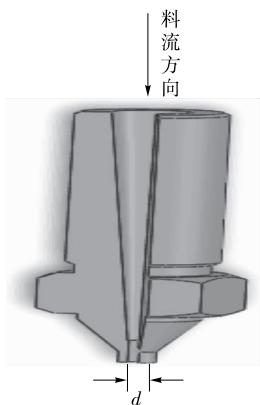


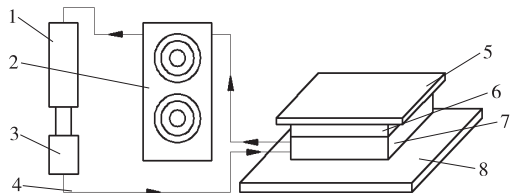
图 6 挤出头示意图

Figure 6 Extrusion head schematic

3.3 工作台及制冷系统

成型工作台为冰激凌打印提供载物平台,设置制冷机构,使冰激凌由液态凝固成固态。如图 7 所示,其主要结构包括散热块、制冷块、支撑板及水冷块。在满足工作台刚度、强度要求的同时,为使工作台的重量减轻,支撑板采用 1.5 mm 厚的铝合金板材,进行折弯加工。

制冷模块是制冷系统中的核心部分。采用半导体热电偶制冷块,配合散热板、水冷块、储液器,共同实现导热散热的作用。循环导热液体通过软管流动,经风扇、储液器及循环泵流至制冷块,构成循环回路。



1. 储液器 2. 风扇 3. 循环泵 4. 冷却液回路 5. 散热块 6. 制冷块 7. 水冷块 8. 支撑板

图 7 工作台及制冷系统结构示意图

Figure 7 Platform and refrigeration system structure diagram

4 控制系统

机构运动控制和成型温度是系统关键控制因素,总体控制方案见图 8,机构运动控制由主控 CPU 读取运行轨迹指令,控制驱动芯片,驱动步进电机运转,实现挤出头 XOY 平面送进、承料台 Z 向升降。温度控制模块控制冰激凌成型温度在-3~-8℃。

5 结束语

(1) 根据冰激凌成型特点,基于 Core XY 定位原理设计的框架式个性化冰激凌成型机,该设备框架结构牢固紧凑,机械传动稳定准确,传动速度快,可成型冰激凌最大尺寸为 90 mm×60 mm×150 mm。

(2) 通过试验得出,该设备能保证料流顺畅挤出,料流能及时固化成型,并具有一定的成型精度。

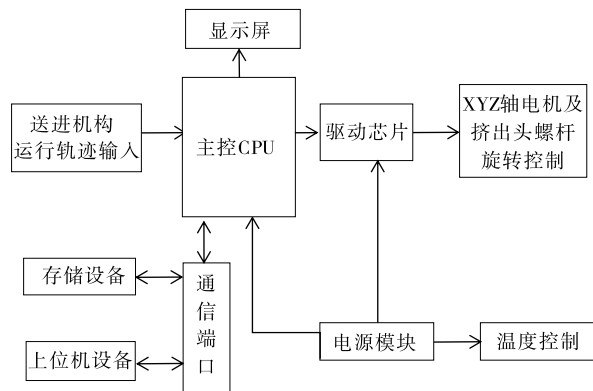


图 8 冰激凌成型机系统控制方案

Figure 8 Control system of ice-cream molding machine

(下转第 192 页)

由表 4 可知,因素影响的主次关系是:酶用量>酶解时间>酶解温度;最优组合是 A₂ B₃ C₂,即糖化酶酶用量 0.15%,酶解温度 55℃和酶解时间 20 min,但是这一组合在上述的 9 组试验中从未出现过。进行 3 次验证实验,甜玉米浆经液化后,再添加 0.15%的糖化酶,在 55℃下糖化 20 min,所得到的甜玉米汁中的可溶性固形物的含量为 3.90%,结果优于已出现的 9 组试验结果,说明本试验优化的条件可靠。

3 结论

通过单因素试验和正交试验筛选出甜玉米浆最佳酶解条件为:中温 α-淀粉酶酶用量 0.35%,在 55℃条件下液化 25 min,再在 55℃下添加 0.15%的糖化酶,糖化 20 min,此条件下制得的甜玉米汁可溶性固形物含量可达 3.90%。该试验方法简单易操作,干扰因素较少,所用设备和试剂简单,重复性较好,可为甜玉米进一步加工提供试验依据。但本研究仅采用可溶性固形物单一指标考察酶解效果,且所用淀粉酶在品种上也较为单一,后续将进一步比较不同种类、品牌的淀粉酶的适用性,为甜玉米深加工提供更可靠更全面的数据结果。

参考文献

[1] 王孝华,曹祖波.我国玉米生产现状及发展策略[J].农业科技通

讯,2015(5):5-6.

- [2] 杨婧曦,于海峰.酶法制备白果甜玉米澄清饮料的研究[J].食品科技,2013(9):76-78.
- [3] 刘晓涛.甜玉米的营养价值及其加工现状的研究[J].技术装备,2009(3):47-48.
- [4] 刘蔚楠,万忠,甘阳英,等.2015年广东甜玉米产业发展形势与对策建议[J].广东农业科学,2016(3):12-16.
- [5] 诚夫.世界饮料发展趋势[J].江西食品工业,2002(3):48.
- [6] 2012年全国饮料总产量为13 024.01万吨[J].饮料工业,2013,16(2):10.
- [7] 2012年1-12月全国饮料分月总产量及与上年同比[J].饮料工业,2013,16(3):50-52.
- [8] 谢红涛,余瑞婷,赵瑞娟,等.果蔬汁加工技术进展[J].农产品加工学刊,2010,1(1):76-80.
- [9] 徐玉娟,肖更生,李升锋,等.甜玉米汁酶解工艺条件的研究[J].广东农业科学,2006(11):48-50.
- [10] 李次力,缪络.酶解甜玉米糖化液开发营养性饮料的研究[J].食品科学,2005,26(5):175-178.
- [11] 邓开野,麦伟浩.甜玉米饮料的加工工艺研究[J].广西轻工业,2009(2):1-2.
- [12] 陶兴无.α-淀粉酶在甜玉米饮料生产中的应用研究[J].湖北工业大学学报,2006,21(2):17-20.
- [13] 罗映英,宋小峰,王凤仙,等.甜玉米饮料的工艺配方优化[J].农产品工程,2015(7):55-57.

(上接第 103 页)

(3) 制冷机构是该机器的重要机构,试验过程中,制冷速率能否紧跟打印速率决定了冰激凌的成型质量。该机器还需要在制冷系统方面进行优化,该系统设计是一种通用设计,可以移植到其他性质类似的流态食品的 3D 打印设备中,推进 3D 打印技术在食品行业的发展。

参考文献

- [1] 朱艳青.3D打印技术发展现状[J].制造技术与机床,2015(12):50-57.
- [2] EVANS B.解析 3D 打印机[M].程晨,译.北京:北京工业出版社,2014:1-3.
- [3] GIBOSN L, ROSEN D W, STUCKER B. Additive manufacturing technologies[M]. Berlin: Springer Science, Business Media, 2010: 2-5.

- [4] 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.
- [5] 陈妮.3D 打印技术在食品行业的研究应用和发展前景[J].农产品加工:学刊,2014(8):57-76.
- [6] 王志宏.冰激凌体验的“立体化”升级[J].销售与市场:管理版,2012(7):92-93.
- [7] 张爽华.基于 Pro/E 的食品加工容器成型模具设计[J].装备制造技术,2010(10):172-174.
- [8] SOLLMANN K S. Dynamic modeling of a two-axis, parallel, h-frame-type xy positioning system[J]. National Geographic, 2012(6):132-156.
- [9] 阴贺生.基于三臂并联结构的桌面 3D 打印机[J].机械,2015,42(2):36-40.
- [10] 刘梅森.4 种稳定剂对软冰淇淋品质协同作用的研究[J].中国乳业工程,2005(12):19-21.

(上接第 187 页)

- [7] 王荣荣,王家东,周丽萍,等.豆腐凝固剂的研究进展[J].畜牧兽医科技信息,2006(1):78-79.
- [8] 赵贵丽,罗爱平,宋志敏,等.乳酸菌在大豆黄浆水中发酵条件的优化[J].食品与机械,2014,30(2):216-218.
- [9] 尹乐斌,张臣飞,孙菁,等.一株产细菌素乳酸菌的分离、鉴定及生物学特性研究[J].食品与机械,2016,32(3):12-15,64.
- [10] 宋俊梅,曲静然,李燕,等.脆豆腐老浆液点浆机理的研究[J].食品科技,2002(4):14-15.
- [11] NAVEED Ahmad, 陈则华,李理,等.乳酸菌发酵制备大豆奶酪豆坯的工艺研究(英文)[J].食品与机械,2008,24(6):121-126.
- [12] 管有根.酸浆水点浆工艺生产塘坞豆制品[J].中国酿造,2007

(5):69-70.

- [13] 管亚军,程永强,穆慧玲,等.乳酸菌发酵豆浆制作豆腐得率的研究[J].食品科技,2009,34(3):36-41.
- [14] 张影,刘志明,刘卫,等.酸浆豆腐的工艺研究[J].农产品加工:学刊,2014(2):21-23.
- [15] 郑明静,周美龄,刘华丰,等.山矾豆腐的加工工艺研究[J].食品研究与开发,2015,36(21):128-132.
- [16] CAI Tiande, CHANG K C. Processing effect on soybean storage proteins and their relationship with tofu quality[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(2):720-727.
- [17] 于寒松,陈今朝,张伟,等.两种工艺生产豆腐的营养成分与品质特性的关系[J].食品科学,2015,36(19):49-54.
- [18] 中华人民共和国卫生部.GB 5009.5—2010 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2010.