

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.01.014

通用挤出型食品3D打印机的设计

吴捍疆, 张丰收

(河南科技大学机电工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘要:为了解决当下专用食品3D打印机可打印食材种类单一的问题,课题组设计了一款可打印巧克力和面点类的通用挤出型食品3D打印机。通过SolidWorks软件设计了笛卡尔坐标系形式的机械结构,并对其滚珠丝杠螺母传动机构进行了分析计算,详细介绍了其选型过程。通过气压供料、活塞挤出的方式,实现了打印喷头的连续供料功能。针对巧克力类熔融挤出低温冷却及面点类常温挤出加热熟化的食材成型特性,设计了可实现制冷和加热切换的恒温打印平台温控系统,实现了食品3D打印成型的通用性。研究结果表明该型食品3D打印机能以连续性供料的方式打印巧克力及面点类食品,顺应了多功能发展的理念。所设计的食品3D打印机可以完成一机多用的个性化食品打印,具有一定的实用价值。

关键词:3D打印机;食品打印;笛卡尔坐标系;SolidWorks软件

中图分类号:TS203;TH39 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2020)01-0075-04

Design of General Extruded Food 3D Printer

WU Hanjiang, ZHANG Fengshou

(School of Mechanical Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

Abstract: In order to solve the shortcomings of the single type of printed food materials of the current special food 3D printer, a general extrusion food 3D printer that can print chocolate and pastry was designed. The mechanical structure of Cartesian coordinate system was designed by SolidWorks software. The transmission mechanism of ball screw and nut was analyzed and calculated, and the selection process was introduced in detail. By means of pneumatic feeding and piston extrusion, the continuous feeding function of print nozzle was realized. The thermostatic printing platform temperature control system with refrigeration and heating switching functions was introduced to realize the generality of food 3D printing and moulding according to the characteristics of low temperature cooling in chocolate melt extrusion and heating ripening in pastry extrusion at room temperature. The results show that this type of food 3D printer can print chocolate and pastry food in a continuous way, which conforms to the concept of multi-functional development. The designed 3D food printer can accomplish multi-purpose personalized food printing, which has a certain practical value.

Keywords: 3D printer; food printing; Cartesian coordinate system; SolidWorks

3D打印成型技术既不同于车铣刨磨等传统减材加工方法,也不同于锻造、压制等近净成型制造方法,而是以快速成型、增材制造为特征的新兴技术。作为先进制造技术的重要组成部分,3D打印在机械制造、生物医药和航空航天等工业制造领域应用广泛。随着社会发展,3D打印伴随着个性化生产理念走进了人们生活,食品3D打印机应运而生。相比捏塑成型、模具成型和雕刻成型等食品传统造型方法,3D食品打印技

术可通过设定颜色、物料、造型和营养搭配等进行个性化食品加工,不仅满足消费者的各种需求^[1],还具有造型种类多、成本低、工时短及资源利用率高等诸多特点。

由于食物原料种类繁多,特性各异,如今市面上主要分为巧克力和面点2种不同类型的专用打印机,限制了食品打印的种类。课题组根据市场需求,设计了一款通用挤出型3D食品打印机,可以打印巧克力、奶油、糕点和煎饼等食品,实现了多功能食品打印的目标。

收稿日期:2019-05-22;修回日期:2019-09-18

基金项目:河南省科技攻关项目(162102210049)。

第一作者简介:吴捍疆(1992),男,河南平顶山人,硕士研究生,主要研究方向为智能控制与制造。E-mail:764649866@qq.com

1 3D 食品打印机结构设计

3D 食品打印机主要由打印机架、恒温打印平台、3D 进给系统、供料挤出系统和控制系统等部分组成。其原理主要分为模型构建、模型切片、分层打印、叠加成型 4 个部分。作为食品 3D 打印机最主要的宏观结构,3D 进给系统主要由机架和运动坐标轴所构成。现如今 3D 食品打印机应用较广的进给坐标系主要有笛卡尔坐标、三角坐标、极坐标和平面关节坐标 4 种形式^[2]。本次设计以控制精度为主要考虑因素,因而采用了笛卡尔坐标形式^[3]的矩形管方形框架结构。该坐标系以 X, Y, Z 三轴空间相互垂直为主要特征,打印喷头完成 Z 轴方向的运动,打印平台完成 $X-Y$ 轴平面内的运动。进给系统有 4 个步进电机, X 轴和 Y 轴步进电机和滚珠丝杠通过联轴器相连接,套在滚珠丝杠上的丝杠螺母通过丝杠螺母座和打印平台上运动托板相连接,使丝杠的旋转运动变为打印平台的直线进给运动;同理, Z 轴步进电机、滚珠丝杠和丝杠螺母等部件组合使打印喷头在 Z 轴方向进行直线运动。打印平台和打印喷头的运动范围由行程开关来限制。3D 打印机结构如图 1 所示。

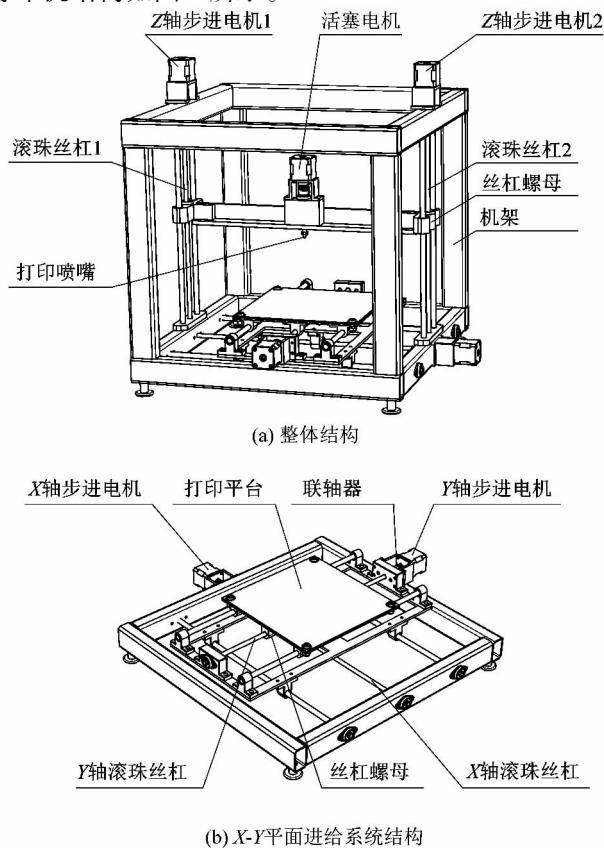


图 1 3D 食品打印机

Figure 1 Structure of 3D food printer

2 打印平台传动零部件选型计算

滚珠丝杠螺母传动机构主要由滚珠丝杠、丝杠螺母、联轴器和步进电机等组成,它的作用是将电机的旋转运动转化为丝杠螺母直线运动^[4]。其传动机构选型主要包括:精度等级、丝杠外径、导程、螺母型号、轴向间隙、安装支撑方法和步进电机选型等内容^[5]。

打印平台滚珠丝杠螺母传动原理如图 2 所示。

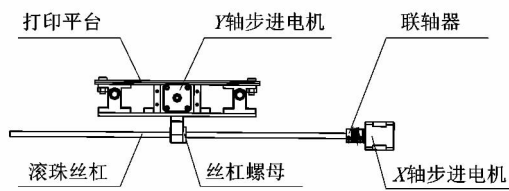


图 2 打印平台滚珠丝杠螺母传动原理

Figure 2 Printing platform ball screw nut drive principle

2.1 滚珠丝杠及丝杠螺母选型

滚珠丝杠选型的主要参数有:导程精度、轴向间隙、丝杠外径和导程等。

本次设计 X 轴和 Y 轴滚珠丝杠的工作行程都为 250 mm,单向定位精度为 ± 0.1 mm,进给速度为 100 mm/s,并采用一端固定一端支撑的安装方法。

为了得到要求的定位精度,通过计算得出:

$$\frac{\pm 0.1}{250} = \frac{\pm 0.12}{300}$$

可知导程精度需要达到 ± 0.12 mm/300 mm 以上,通过查阅日本 THK 公司产品精度资料,选择该公司 C8 精度等级、丝杠外径 16 mm 价格低廉的轧制滚珠丝杠,其导程误差为 ± 0.1 mm/300 mm,最大轴向间隙 0.1 mm。

丝杠导程 P_1 、步进电机转速 N_1 和机构进给速度 V_1 之间关系为:

$$P_1 \geq \frac{V_1 \times 10^3 \times 60}{N_1}$$

通过计算得知:需选用导程大于 6 mm 的滚珠丝杠。适当增大丝杠导程可提高机构进给速度,但导程过大则会引发精度和刚度降低、对步进电机要求提高等一系列问题,因此本次设计将丝杠导程定为 8 mm。由于已经选好了滚珠丝杠的外径,因此只需选择与其匹配的 T8 法兰型丝杠螺母。

2.2 步进电机选型

造型参数计算公式为:

$$J_1 = m_1 \cdot \left(\frac{P_1}{2\pi} \right)^2;$$

$$J_2 = \frac{1}{8} \cdot m_2 \cdot d^2;$$

$$J_3 = J_1 + J_2;$$

$$N_1 = \frac{V_1}{P_1};$$

$$T_3 = \mu \cdot m_1 \cdot g \cdot \frac{P_1}{2\pi\eta};$$

$$T_4 = m_1 \cdot a \cdot \frac{P_1}{2\pi\eta};$$

$$T_5 = J_2 \cdot \frac{2\pi \cdot N_1}{60 \cdot t \cdot \eta};$$

$$T_6 = T_3 + T_4 + T_5。$$

式中: J_1 为物料折算到电机轴上的转动惯量; J_2 为丝杠转动惯量; J_3 为折算到电机轴上的总负载惯量; m_1 为物料质量; m_2 为丝杠质量; T_3 为克服摩擦力所需转矩; T_4 为物料加速时所需转矩; T_5 为丝杠加速时所需转矩; T_6 为步进电机驱动负载所需转矩; a 为物料加速度; t 为加速时间; d 为丝杠直径; μ 为摩擦因数; η 为机械效率。

步进电机的选型主要依靠惯量、转速和转矩这3个主要参数。通过参数计算,得到步进电机驱动负载所需转矩 T_6 约为 $1.05 \text{ N} \cdot \text{m}$,故本次设计选用 57 系列步进电机,转矩为 $1.2 \text{ N} \cdot \text{m}$,在空载时电机转速 1000 r/min ,带负载下加速后稳定在 200 r/min 。

2.3 联轴器选型

通用型 3D 食品打印机有如下打印特性:常变动负载、每天运转时间不超过 8 h 、每小时启停不超过 10 次。基于供应商产品工况系数表,可得出相关修正系数:负载系数 $K_1 = 1.7$,运转时间系数 $K_2 = 1.0$,启动、停止频繁度系数 $K_3 = 1.0$ 。

$$T_1 \geq T_2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3。 \quad (1)$$

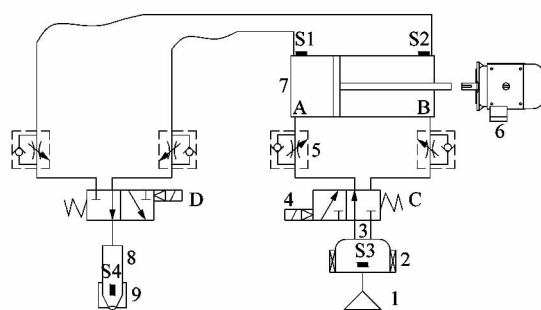
式中: T_1 为联轴器扭矩; T_2 为步进电机扭矩。

由于步进电机已经选好,其传动力矩 T_2 已知为 $1.2 \text{ N} \cdot \text{m}$,再通过公式(1)计算可确定联轴器扭矩。

滚珠丝杠和步进电机轴端在进行联接过程中,易出现径向、角向和轴向等安装偏差。若偏差大于容许值则可能会出现联轴器损坏或引起振动等问题,因此,当安装完成后要进行调试,保证安装满足精度要求。由于螺丝固定式联轴器具有易于固定和拆卸,不会损坏轴心等特点,本次设计选用螺丝固定式联轴器。

3 连续供料挤出系统设计

连续供料挤出式打印喷头气动系统如图 3 所示。



1—微型气泵;2—加热元件;3—料罐;4—先导式二位三通电磁阀;5—单向节流阀;6—活塞电机;7—活塞缸;8—挤出式打印喷嘴;9—加热元件。

图 3 连续供料挤出式打印喷头气动系统

Figure 3 Pneumatic system of continuous feeding extrusion printing nozzle

不同类别食材由于特性有别其成型原理也略有不同。糕点、煎饼等是先通过常温挤出成型后经加热熟化的材料;而巧克力、奶油类材料则是先经加热熔融挤出后通过低温冷却成型的^[6]。为了达到 3D 食品打印通用的目的,本次设计特意在料罐和打印喷头处分别添加了由加热元件和温度传感器组成的多段温度控制系统。当打印巧克力、奶油等材料时,启用温控系统,先在料罐处进行低温加热以保持其熔融可流动状态,在打印喷头处进行相对高温加热以利于其熔融挤出,因而避免了因持续高温加热而导致的材料风味变质问题。

打印喷头系统主要由喷嘴、活塞缸、电磁换向阀、步进电机、料罐、加热元件和温度传感器等组成。考虑到物料从喷头挤出时受传热性和挤出流动性等因素影响,宜选用锥形金属喷嘴。目前挤出式食品 3D 打印机按原理主要分为气压挤出、螺杆挤出和活塞挤出 3 种方式^[7]。气压挤出稳定性不高,其响应性易随物料黏度和气体压缩滞后特性影响。螺杆挤出由于摩擦升温的作用易导致物料黏度发生改变且难于清洗。相较于前 2 种方式,活塞挤出只有难于连续供料这一处短板,是一种较为理想的挤出方式。本次设计将气压和活塞 2 种挤出方式相结合实现了连续供料的功能,即通过微型气泵将物料导入气缸 2 腔,并采用联轴器将电机和活塞杆相连以实现直线进给运动。工作时,气泵电机和活塞电机同时启停。活塞电机正转带动活塞向左运动,此时物料在气泵作用下通过电磁阀 C 进入气缸 A 腔后经电磁阀 D 从打印喷头挤出;当活塞到达行程开关 S1 位置时,活塞电机反转带动活塞向右运动,同时电磁阀 C 和 D 动作,在相同流程下物料进入

气缸B腔后经打印喷头挤出;当活塞到达行程开关S2位置时电机再次正转向左运动,同时电磁阀C和D动作,如此循环往复,实现了气压供料、活塞连续挤出的打印方式。

4 恒温打印平台设计

巧克力、奶油等属于高黏性流体材料,从喷头挤出到达打印平台的第1层材料只有通过快速凝固才能保持后续打印层甚至是成品质量的可靠性。为了达到这个效果,需要对打印平台进行制冷作用。浙江大学朱伟杰^[7]基于帕尔贴效应通过半导体制冷技术制成了小型制冷系统,该系统达到了对打印平台的局部制冷效果^[8]。而有关打印蛋糕、饼干和煎饼等面点类食品,其原料糊状面粉属于黏弹性流体材料,打印成型后需经后续的熟化阶段才能够食用。南京农业大学顾存昕等^[9]通过均布电热管构成的传统热辐射系统对打印平台进行恒温加热,也达到了很好的熟化作用。

为了能够使打印平台达到快速均匀的传热效果,本通用型3D食品打印平台采用双层金属板叠加复合结构,与食品端接触的一侧使用食品级不锈钢平板,与传热端接触的一侧采用导热效果更好的铜金属板。并在打印平台下装温度传感器,结合使用上述制冷和加热2套系统,通过对比设定温度和当前温度,以控制打印平台表面温度保持在一定范围。根据打印食品的分类进行打印平台恒温系统的切换以完成打印。

5 结论

课题组设计了一款通用挤出型食品3D打印机,通过SolidWorks软件完成了机身的结构设计,并对整体结构中占关键地位的打印平台滚珠丝杠传动系统进行了计算选型设计。通过一套气动系统,实现了打印喷头的连续供料。根据巧克力和面点类食品的成型特

点,通过打印平台制冷或加热双温系统的切换控制,实现了食品3D打印机的一机多用,克服了当下专用型食品3D打印机只能打印一类食品的短板。食品3D打印机不仅可以个性化改变食品打印造型,还可以通过自由混合多种营养素完成打印食料的配制,以达到均衡营养的目的。通用型食品3D打印机又顺应了多功能的发展理念,在日常生活中的实用价值十分明显。虽然通用挤出型食品3D打印机可以实现巧克力和面点类食品的通用型打印,但是其打印精度有待进一步探索提高,未来可通过控制喷嘴大小、打印高度、挤出速度、3D进给速度、调温(加热或冷却)速率等单一变量进行实验研究来得到最佳参数范围,以提高打印精度。

参考文献:

- [1] 许卢伟,郑俊泰,黄伟迪,等.基于激光雕刻控制系统的食品打印机[J].机电工程技术,2017,46(2):65.
- [2] 刘倩楠,张春江,张良,等.食品3D打印技术的发展现状[J].农业工程学报,2018,34(16):266.
- [3] 宋琦,刘鹏,陈雪,等.巧克力3D打印机的机械结构设计[J].吉林化工学院学报,2018,35(3):24.
- [4] 马元.滚珠丝杠副传动刚度保持系统关键元件的特性研究[D].南昌:华东交通大学,2012:17-21.
- [5] 李绍炎.自动机与自动线[M].北京:清华大学出版社,2007:311.
- [6] 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):56.
- [7] 朱伟杰.高粘度材料三维打印机开发及食品药品打印研究[D].杭州:浙江大学,2015:31-34.
- [8] 靳一帆,万熠,张冰,等.FDM 3D打印机半导体制冷温控设计及其冷却实验研究[J].机电工程,2016,33(2):165-168.
- [9] 顾存昕,卢伟,胡海阳,等.即熟型3D食品打印机的设计[J].测控技术,2018,37(7):157-162.