

一种基于活塞连续工作原理的 3D 食品打印笔

A 3D-print pen based on principles of Piston's continuous working

王金磊^{1,2} 王晓军^{1,3} 任衍涛^{1,2}

WANG Jin-lei^{1,2} WANG Xiao-jun^{1,3} REN Yan-tao^{1,2}

(1. 浙江大学宁波理工学院机电与能源工程学院, 浙江 宁波 315100; 2. 太原科技大学机械工程学院, 山西 太原 030024; 3. 浙江省零件轧制成形技术重点实验室, 浙江 宁波 315100)

(1. College of Mechanical and Energy Engineering, Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo, Zhejiang 315100, China; 2. College of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan, Shanxi 030024, China; 3. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Part Rolling Technology, Ningbo, Zhejiang 315100, China)

摘要:介绍一种基于活塞连续工作原理的 3D 打印笔的结构特点以及主要工作原理,并建立系统的数学模型。与以往的 3D 打印笔相比,其打印材料由 ABS 等塑性材料变成如液态巧克力等液态材料,使得打印材料范围得到扩展,并且设计合理,使用方便,有助于其它 3D 打印笔的研发与设计。

关键词:3D 打印笔;食品浆液;双工作模式;微流量

Abstract: Introduced the structural characteristics of a 3D-print pen based on the principles of Piston's continuous working, and then established the mathematical model of the system. Compared with the other 3D-print pen, its print materials changed into liquid material, such as liquid chocolate, from ABS plastic. The 3D-print pen had the advantages of reasonable design, convenient operation, and extended print material range. These were benefit for development and design of the other 3D-print pen.

Keywords: 3D-print pen; food slurry; double operation mode; micro flow

3D 打印技术的不断发展和成熟,使得对 3D 打印笔的研究走向公众视野。2013 年世界首支 3D 打印笔 3Doodler 诞生,它采用熔融沉积制造工艺技术,使用 ABS 塑料作为打印耗材。目前在食品方面的设计应用、双工作模式的机构以及用液态材料作为打印耗材的 3D 打印笔的研究在国内外仍处于空白。现有的 3D 打印笔用线状塑料作为打印耗材,可用原料单一,应用范围受限,而本试验依托目前的 3D 打印笔技术,设计出可以填补此空白的双工作模式的 3D 打印笔,运用在食品打印方面^[1,2],从而成为一个新的研究方向。它可采用具有常温固态、中低温加热后可融化成黏度适中浆液特性

的食物材料为原料,如生日蛋糕的巧克力、奶油、奶酪等。

3D 打印笔的供料由活塞缸支持,一般的活塞缸存在供料不连续的缺陷,通过设计双工作模式的液压结构,配以微型电磁换向阀和控制程序,可实现打印耗材的连续供应^[3]。除了设计合理、体积小、使用方便外,此款 3D 打印笔还可以采用手持方式打印,可以夹持固定在 3D 打印机上,作为 3D 打印机的喷头使用,扩展了 3D 打印笔的应用条件环境,并在设计研究的基础上运用修正节点容腔法对其进行初步建模分析。

1 3D 打印笔的整体结构

3D 打印笔受体积小等尺寸限制,笔壳内部均采用微型零部件构造,主要采用液压系统,笔壳外面有控制工作的显示屏以及供料箱。打印笔工作时,活塞缸内充满液体,其它零部件的重量不及活塞缸,同时考虑到 3D 打印笔的整体结构尺寸以及工作时底部充满液体的情况,笔的整体重心应布置在活塞推杆所在中心线的下半部分,这样笔下面重力集中使得笔工作时比较平稳。

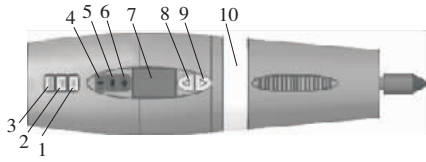
本款 3D 打印笔的打印笔头采用可拆卸式,这样有利于产品设计造型,增加设计打印效果并且有助于提高打印效率,拆装简单方便,笔头形状不一,能够满足各种形状的打印需要,在式样各异的可换笔头与笔壳连接时,中间装有密封片,以防泄漏。由于此款 3D 打印笔用的中低温加热后熔融状态的食品浆液,打印材料温度相对于目前的 3D 打印笔工作温度低,比如黑巧克力的熔融温度在 45~50 °C,并且笔头直接与恒温输料管连接,因此打印笔笔头的温度与打印材料温度一样,材料喷出后在空气中凝固较快。工作温度较低以及食品浆液是恒温输送,这样系统产生的热量很少,只在打印笔的笔壳上加工出少量散热孔就可以确保打印笔能够正常散热。同时打印笔筒外部有安装固定卡槽结构,手持使用时有双瓣可取卡环装在卡槽里。卡槽结构是为了方便在 3D 打印机上进行固定,作为 3D 打印机打印喷头使用。3D 打印笔的外观结构设计见图 1,工作原理图见图 2。

基金项目:宁波市科技局工业择优重大项目(编号:2012B10044)

作者简介:王金磊(1988—),男,浙江大学宁波理工学院在读硕士研究生。E-mail:1003668382@qq.com

通讯作者:王晓军

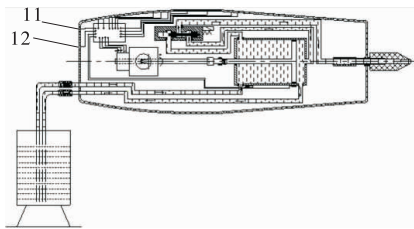
收稿日期:2014—11—28



- 1. 工作键 2. 停止键 3. 自动工作键 4. 减速键 5. 暂停键
- 6. 加速键 7. 显示屏 8. 电机正转键 9. 电机反转键 10. 卡环

图1 3D打印笔外观图

Figure 1 Appearance shape



- 11. 电源接口 12. 计算机数据接口

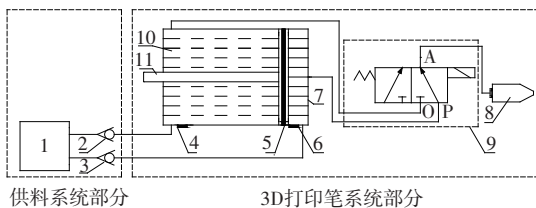
图2 3D打印笔工作原理图

Figure 2 The system diagram of 3D-print pen

2 打印笔内部液压结构设计

此结构主要由活塞缸7、活塞推杆11、微型单向阀2和3、两位三通微型电磁换向阀9组成(见图3)。微型单向阀在3D打印笔外部,3D打印笔工作时,接上微型单向阀,这种设计可有效减少打印笔本身的体积,并在一定程度上降低内部系统的复杂性。

活塞推杆与万向节、联轴器、微型减速装置、微型电机联接,活塞缸端部有传感器,通过检测活塞推杆的运动位置控制电机正反转,实现活塞推杆往复运动,活塞左右两腔因容积变化进行吸排打印材料,打印笔的外部连接上单向阀来控制材料流动方向。通常活塞换向时,会有一个断流点,采用该结构工作,在活塞缸底部以及端面一侧设置出料口,并与微型电磁换向阀联接,通过控制活塞推杆进行换向运动时,微型电磁换向阀同时作用,始终保持一个出料口的材料经过电磁换向阀之后可以通过恒温送料管从笔头喷出,不断循环,从而实现整个系统的连续供料。由于打印材料的温度是处于中低温的,温度下降容易凝固造成打印过程不能正常进行,因此作为3D打印笔重要工作部件的活塞缸需要有较好的保温性能,即活塞缸内的温度与打印材料的温度保持一致,防止打印材料温度下降较快,这样活塞缸内部的摩擦阻力也会降低,打印材料本身对系统也有一定的润滑作用,并且



- 1. 恒温供料箱 2,3. 微型单向阀 4,6. 传感器 5. 磁感应线圈
- 7. 活塞缸 8. 3D打印笔喷嘴 9. 两位三通微型电磁换向阀
- 10. 打印食品材料 11. 活塞推杆

图3 3D打印笔工作结构简图

Figure 3 The hydraulic structure diagram of 3D-print pen

活塞缸采用质量较轻的材料从而降低打印笔本身的重量,使得此款3D打印笔使用更加方便灵活。

图3中的活塞推杆是由微型直线电机驱动的,在电机的驱动下进行往复直线运动。当微型直线电机正转时,活塞推杆向液压缸底部运动,微型电磁换向阀处于右位,端口P与端口A接通,打印材料从端口P进,从端口A出,然后经恒温送料管从笔头喷出,而此时端口O处于关闭状态。当微型直线电机反转时,活塞推杆做回程运动,微型电磁换向阀处于左位,端口O与端口A接通,打印材料从端口O进,从端口A出,然后经恒温送料管从笔头喷出,此时端口P处于关闭状态^[4-9]。

3 液压系统方向控制原理

液压系统动力源由微型电机提供,电机由电路板控制,电路板与传感器联接,通过活塞推杆上的线圈感应传感器,控制电机正反转。电机输出轴与联轴器、微型减速装置以及小推力轴承联接,电机的正反转运动和微型减速装置的减速作用带动小推力轴承上的联轴器旋转并一同做直线运动,以实现活塞缸的推动杆不做旋转运动而进行往复直线运动^[10]。电机正转时,活塞在外力的作用下压缩液压缸,向液压缸的底部运动,打印材料经过输料管从笔头喷出,进行打印,活塞推杆底端有磁感应线圈5,当活塞推杆运动到液压缸底传感器6位置时,电信号传递给控制系统,控制系统将信号传递给电机,电机开始反转,活塞推杆开始做回程运动,打印材料再次经过输料管从笔头喷出,当活塞推杆底端运动到液压缸顶部传感器4位置时,电信号再次传递给控制系统,控制系统反应后再次将信号传递给电机,电机开始正转,如此往复,实现笔头的送料持续不间断,直至打印工作结束。

4 活塞式液压缸建模

数学模型的建立对研究的顺利进行是非常重要的,以微型直线电机正转为例分析建模。活塞式液压缸的工作原理(见图4),口1由于微型单向阀的作用,材料不能在如图4所示的活塞推杆运动情况下回到原料箱。

考虑到液压系统的数学建模常用节点容积法,此设计在该方法基础上进行建模分析。由于设计主要考虑流量以及活塞力的问题,因此只需要建立活塞推杆运动方程即可,得出驱动3D打印笔内部液压系统活塞推杆运动所需的作用力^[11,12]:

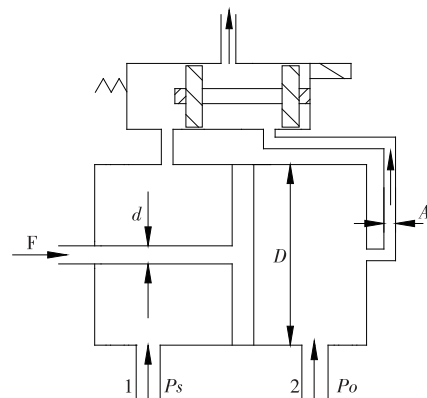


图4 活塞缸的工作原理图

Figure 4 The principle diagram of piston cylinder

$$F = m \ddot{X} - mg - P_s A_s + P_0 A_0 + \beta_c \dot{X} + A\tau \quad (1)$$

式中:

- F ——活塞推杆作用力, N;
- m ——液压缸活塞的等效质量, kg;
- X ——活塞推杆的运动距离, mm;
- P_s, P_0 ——分别为液压缸有杆腔和无杆腔的压力, Pa;
- A_s, A_0 ——分别为液压缸有杆腔和无杆腔的有效受力面积, mm^2 ;
- β_c ——活塞的粘性阻尼系数, $\text{N} \cdot \text{S}/\text{m}$;
- A ——液态食品打印材料截面积, mm^2 ;
- τ ——流动食品打印材料内部的内摩擦应力, Pa。

根据设计可知,打印笔头的喷出流量与笔头截面积、电机转换成的推动活塞推杆运动的直线速度和活塞面积有关,这几个参数之间存在着一定的关系,由于技术的限制,目前无法准确确定几个参数之间的关系。在研究这几个参数的同时,温度也是一个至关重要的研究参数,打印材料内部的摩擦力随着打印材料温度的变化而变化,驱动活塞推杆运动的作用力大小同时改变,打印流量也会受到相关影响。作为液压系统动力源的微型直线电机,只要输出力大于作用力 F ,克服打印笔正常工作时如摩擦阻力等力的影响,电机的功率便能满足要求,使得打印笔可以正常稳定的工作。

5 3D 打印笔使用环境

本试验介绍的 3D 打印笔与普通的 3D 打印笔在使用方面有一定的相似点,但是也有其独特之处。3D 打印笔是基于 3D 打印,打开开关之后,手持笔筒(图 5),打印笔开始工作,从笔头喷出的材料量由流速控制开关控制,材料喷出后在空气中迅速冷却,最后固化成稳定的状态。

此款 3D 打印笔独特之处在于,它既可以手持进行打印,也可以在笔筒上安装可拆卸式卡环,将其固定在 3D 打印机上作为打印机喷头使用(图 6),不影响打印质量。

手持式工作时,接上“电源接口”,插上电源,将笔外送料管管口放入恒温供料箱中,此款 3D 打印笔的所有送料管均为恒温管,打印材料在管内输送过程中热量损失可以忽略不计。按下“on”键开始工作,同时“ \leq 、 \geq ”键控制微型直线电机



图 5 手持工作模式

Figure 5 The handheld working mode of 3D-print pen

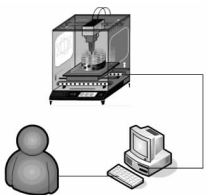


图 6 作为 3D 打印机喷头使用

Figure 6 Applied to 3D printer as its head

开始工作时的正反转,以此控制活塞推杆做进给和回程运动,随着笔内系统运行,打印材料从笔头喷出,如果需要加快、暂停、减慢打印,可以按下“+、||、-”按键进行选择。打印结束之后,按下“off”键打印笔停止工作。

与 3D 打印机联用时,电源开关设置有自动(auto)模式,笔壳上设计有嵌合结构,可将本设计的 3D 打印笔安装在 3D 打印机上作为喷头使用。同时笔壳顶部设置有数据接口,可用数据线将计算机与 3D 打印笔连接,计算机控制 3D 打印笔中微型直线电机启停、转向和转速,从而自动控制打印的开始、停止和流量。

打印工作结束之后,需要对 3D 打印笔进行清洁处理,这对打印笔能否再次正常工作至关重要。清洁时,将接在打印笔外面的送料管插入清水槽中,打开打印笔工作开关,清水通过送料管进入 3D 打印笔内,将残留在打印笔内的打印材料冲洗后通过笔头喷出,从而实现打印笔的清洗工作。

6 结论

采用活塞连续工作原理设计出来的 3D 打印笔,通过液压系统、电磁系统、微型直线电机合理控制,可实现稳定连续供应打印材料,解决了目前市场上 3D 打印笔无法打印液体材料的问题,同时它又设计简约精致,轻量化,打印过程稳定,特别是根据使用习惯而采用人体工程学设计,这都使得这种类型食品领域应用的 3D 打印笔得到很大的发展。然而由于微型电磁换向阀等微型部件尺寸小,需要特别制造,成本比较高,同时机械微型化目前还存在难以解决的科学难题,因此本设计仍处于试验阶段,但也为后续对此领域的研究打下了一定的基础。

参考文献

- 1 姜斐祚,魏新龙,姜效臣. 3D 打印笔:中国,201310266463[P]. 2013—10—09.
- 2 荷兰发明 3D 食品“打印机”据预存造型喷射食材[J]. 食品与机械,2012,28(6):102.
- 3 胡亮,易秀明,徐国荣,等. 双缸往复式活塞泵设计及试验研究[J]. 机床与液压,2013,41(16):85~88.
- 4 韩桂华. 液压系统设计技巧与禁忌[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
- 5 江晓明,董世钢. 液压与气压传动[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2013.
- 6 查鑫宇,毕新胜,王玉刚,等. 复合式液压缸的设计与研究[J]. 液压与气动,2013(12):68~71.
- 7 陈振堂,李昕涛. 空心液压缸同步系统的设计建模及仿真[J]. 液压气动与密封,2013(12):68~69.
- 8 白晓丽,伍毅. 面向制造和装配的食品机械设计[J]. 食品与机械,2012,28(1):146~147.
- 9 上官红喜. 液压驱动面条挤压机的设计[J]. 食品与机械,2014,30(1):123~126.
- 10 成大先. 机械设计手册. 单行本. 减(变)速器·电机与电器[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- 11 杨建国,张兆营,鞠晓丽,等. 工程流体力学[M]. 北京:北京大学出版社,2010.
- 12 高钦和,马长林. 液压系统动态特性建模仿真技术及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2013.