

FDM 型 3D 打印机喷嘴清理系统设计

毋源¹ 张毅² 王小博³ 郑泽华⁴ 李星真⁵

(西京学院 陕西省西安市 710123)

摘要: 针对 FDM 设备喷嘴传统清理方法的清理效率低, 损伤喷嘴和安全隐患高等问题, 根据喷嘴的结构特点, 基于 FDM 工艺用材料的物理特性, 利用化学溶剂和超声波清理技术原理, 设计了一种喷嘴清理系统。该系统包括喷嘴装夹装置、清理液循环装置、热干燥装置、废气净化装置和控制装置。模块化设计的喷嘴装夹装置, 可以提高喷嘴的装载效率和清理效率; 清理液循环装置在控制模块的协调下使得清理工艺过程自动化, 有效地降低了清理过程的安全隐患; 热干燥装置主要用于加快喷嘴的干燥速度, 废气净化装置用于吸收清理过程中挥发的化学品, 减少对工作环境的污染。

关键词: FDM; 3D 打印; 喷嘴清理; 超声波清理技术

0. 引言

熔融沉积成型 (Fused Deposition Modeling, 简称 FDM) 设备喷嘴, 在打印工作时, 一部分熔融后的线材会沾附在喷嘴的外表面形成积料, 严重时会造成喷嘴堵塞; 加工完成后, 喷嘴流道内的残留余料冷却凝固, 也会造成喷头堵塞^[0]。

喷头堵塞后的清理问题, 现在常采用机械清理法、热烧法和化学浸泡法来解决。

机械清理, 是将喷嘴加热, 使喷嘴内的堵塞积料达到熔融态, 再采用略小于喷嘴口径的针状物, 如钻头、针灸针、吉他弦等将堵料推出⁰, 如图 1 (a)。热烧法清理是将喷嘴置于高温的环境中, 利用热能改变堵料的物理状态和性质, 使喷嘴内积料高温氧化或燃烧变质, 以实现喷嘴清理的方法, 如图 1 (b) 喷嘴内的积料在高温火焰下燃烧。化学清理是利用化学试剂可以溶解堵料的原理, 来实现喷嘴清理的方法^[0], 如图 1 (c)。但是这些方法存在着清理效率低, 易损伤喷嘴, 降低打印精度, 易对环境造成污染等缺点。



(a) 机械清理 (b) 热烧法清理 (c) 化学清理

图 1 传统的喷嘴清理方法

为了解决现有技术的缺点, 研发了一种具有环保特色的 3D 打印机喷嘴智能清理系统, 该系统具有以下特点: (1) 利用清理液和超声波, 在密闭的浸泡室和储压室中, 可以实现高效、批量地清理被堵塞的喷嘴; (2) 通过压力检测判断喷嘴清理状态, 可以实现封闭式的清理; (3) 模块化设计, 清理流程自动化控制, 减少人力成本; (4) 设计有废弃净化装置, 可以净化清理过程中产生的有害气体, 保护工作环, 实现绿色清理。

1. 系统结构与功能

FDM 型 3D 打印机喷嘴清理系统主要包括, 喷嘴装夹装置、清理液循环装置、热干燥装置和废气净化装置, 其中清理液循环装置包括清理槽、循环管道、载液箱以及执行机构, 喷嘴清理系统框架结构如图 2 所示。

根据喷嘴的结构特点, 喷嘴装夹装置采用阵列式多工位的螺纹装夹方式。该装夹装置具有装夹方便、耗时短、可批量装夹的特点, 可以实现一次性装夹 40 多只喷嘴。清理液循环装置负责清理过程中对清理液和漂洗液的供给和回收, 该装置可以使清理液循环使用, 提高了资源的利用率。喷嘴清理干净后, 会由热干燥装置对喷嘴进行干燥处理。而整个清理过程中产生的挥发性化学气体都会由废气净化装置吸收。

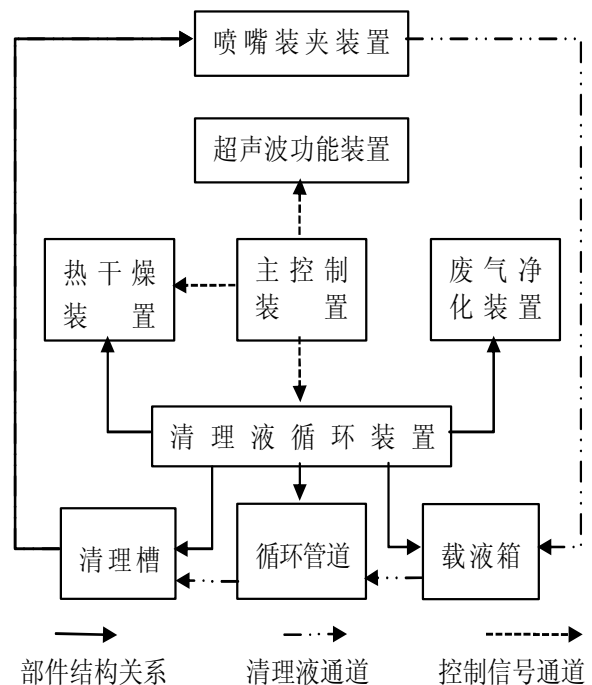


图 2 喷嘴清理系统框图

2. 关键结构部件设计

2.1 喷嘴装夹装置

喷嘴装夹装置，承载着清理工作中喷嘴的装夹方式和装载数量，作为独立单元的模块化设计，可以有效简化喷嘴清理系统结构，提高喷嘴装载效率，其基本结构如图3所示。

喷嘴安装盘主要作用是分解清理槽对喷嘴的安装功能。喷嘴固定在喷嘴安装盘上，其根据喷嘴的结构特点以及批量装载要求，设计为圆形回转盘类结构。喷嘴安装盘上设有密封圈槽，通过紧固件（固定卡扣、回转扣、斜面楔和紧固手柄）与密封圈的配合下，紧密的固定在安装底板上，安装方式简单，可操作性强。采用这种独立单元的分体设计，既能满足对喷嘴的批量安装，提高喷嘴的装载效率，还可以有效减少清理槽的工艺难度和加工成本。

清理过程会使用化学溶剂做清理液，因此要求喷嘴安装盘的使用材料具有不与清理液发生物理、化学反应的特点。聚丙烯（Polypropylene，简称pp）塑料，有良好的耐油性和耐弱酸碱的能力，同时具有良好的机械性能和耐热性能，综合性能好，成本低廉^[6]。因此选用此材料作为喷嘴安装盘的加工材料。

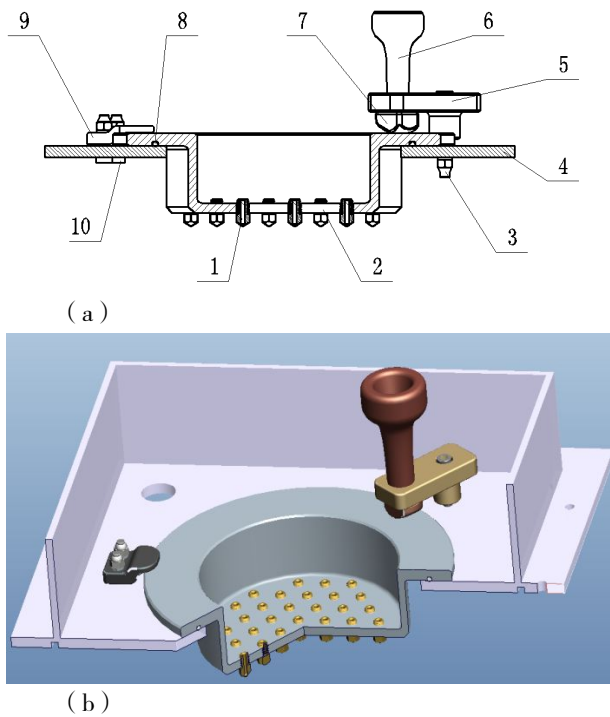


图3 喷嘴装夹装置结构示意图(a)及3D装配图(b)
 1-喷嘴；2-喷嘴安装盘；3-固定螺钉；4-清理槽（上）底板；5-回转销；
 6-紧固手柄；7-斜面楔；8-密封槽 A；9-固定卡扣；10-紧固螺母；

2.2 清理液循环装置

清理液循环装置是喷嘴清理系统中的重要部件，是

喷嘴清理过程的主要作业空间，同时需要协调热干燥装置和废气净化装置的结构安排，以确保整个清理过程安全、有序的进行。清理液循环装置主要包括清理槽组件、循环管道和载液箱三大结构部件。喷嘴清理系统工作时，清理液在泵机等执行器的配合下，由载液箱流经清理液循环管道到达清理槽内，待清理结束，清理液回收至载液箱。

2.2.1 清理槽组件

清理槽组件是喷嘴清理过程中最主要的工作场所，承担着清理液盛放和喷嘴安装固定以及清理和检测的任务。因此，清理槽的设计采用上下两部分的分体式清理槽，如图4所示。

下半部分主要负责盛放清理液，连接循环管道和超声波振子的安装，上半部分主要负责喷嘴装夹和其他辅助功能零部件的安装，上下两部分，通过紧固螺钉连接，连接面上设有密封条安装槽，确保连接密封。清理槽的外形尺寸，按照一次可装载42只喷嘴（螺纹规格M6×1）的喷嘴安装盘确定其长度和宽度的，高度按照槽内安装零件的最大尺寸确定。整体占用空间为310×300×376mm，储液槽内部的有效工作容积为725920mm³。

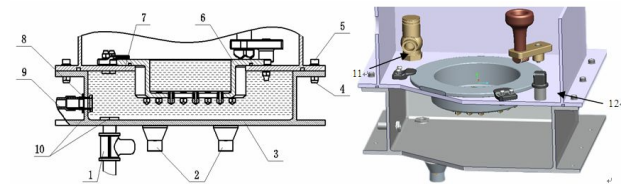


图4 清理槽组件示意图及3D装配图
 1-电磁阀；2-超声波振子；3-清理槽（下）；4-防松螺母；5-紧固螺钉；
 6-喷嘴安装盘；7-清理槽（上）；8-管道接头螺母；9-管道；
 10-管道接头；11-溢流阀；12-压力传感器；

图4 清理槽组件示意图及3D装配图

清理槽（上）的底板安装有溢流阀和压力传感器。喷嘴清理工作中，在泵机的作用下，清理液通过溢流阀注入到清理槽（上）中，到指定液面位置后泵机停止，通过溢流阀保持清理槽（下）内具有一定初始压力 P_0 ，清理槽密封良好，在喷嘴内积料被清理干净前，初始压力值不会降低。压力传感器用于检测槽内压力值 P_n ，随着喷嘴内的积料逐渐被清理干净，压力传感器的检测值会逐渐变小，当一定时间段内压力检测值不再发生变化时，则代表喷嘴内的堵料被清理干净，压力传感器将信号反馈给主控制器，开始下一步清理作业。

由于将主要功能部件集中安排在清理槽（上）内，清理槽（下）就主要负责连接清理液和漂洗液的循环管道，和超声波振子的安装。如此安排，分体式的清理槽，既保证了喷嘴清理系统的可靠性，还可以简化清理槽的

功能集成,降低工艺制造难度,提高生产速度。

2.2.2 泵机与循环管道参数的确定

清理液循环系统中最关键的部件就是汲取清理液的泵机和循环管道。喷嘴清理系统的清理效率除了喷嘴装夹装置,还体现在这两者的设计参数上。

按照泵的选型流程,确定了泵的类型为离心泵,根据扬程估算公式:

$$H = K(H_p + H_x) \quad (1)$$

求得设计扬程为 0.564m。式中 K 为管路损失系数 (K=1.1~1.5), H_p 为排水高度, H_x 为吸水高度,总的提升高度为 0.47m。根据设计需要,容积为 7.256L 的清理槽,流量最大值为每秒 0.121 升 (0.121L/s),最小值为 0.0605L/s。按照轴功率计算公式:

$$P_a = \frac{QH\rho}{102 \cdot \eta} \quad (2)$$

计算求得泵的轴功率为 19.8w。其中,流量 Q 取 0.121L/s,扬程 H 取值 0.564m,液体介质密度 ρ 参考清理液密度 1.48g/cm³,工作效率 η 取值 50%。依据该计算结果选出型号为 MD6R-12,由上海永帆机电设备有限公司生产的化工用小功率微型泵,相关信息如下表:

表 1 泵机参数

工作电压	额定流量	额定扬程	温度范围	泵体材料	泵机功率
12V	8L/min	1m	0~80℃	pp 塑料	30W

依据前文的流量可以求得管道的直径,从而选择合适的管道类型。通过管径计算公式:

$$d' = \sqrt{\frac{Q_n}{900 \pi V'}} \quad (3)$$

求得管道直径 d' 为 0.0099m,根据标准管径尺寸可

取 $d' = 10\text{mm}$ 。式中 Q_n 为泵的额定流量 (0.48m³/h), V' 是经济流速 ($V' = 1.5 \sim 2.2\text{m/s}$)。为避免所使用的化学试剂对管路管道造成腐蚀,保障清理系统的可靠性,选择安装便捷的不锈钢波纹管。

2.3 辅助功能装置

喷嘴在漂洗之后会残留部分漂洗液,为使喷嘴达到较好的清洁效果就需要对喷嘴进行干燥处理,这一步是喷嘴清理过程的关键,将直接形象喷嘴的清理效果和效率。因此,选择合适的干燥方式,设计合理的干燥系统,对喷嘴清理系统至关重要。

本系统采用的具体干燥方法原理如图 5 所示,风机上带有加热装置,风机将热风通过进风口输送进清理槽,在槽内形成一定速度的高温气流,使喷嘴上残留的液态水在高温下蒸发为水蒸气,水蒸气在气流的作用下从出气口流出,完成喷嘴的干燥工作。

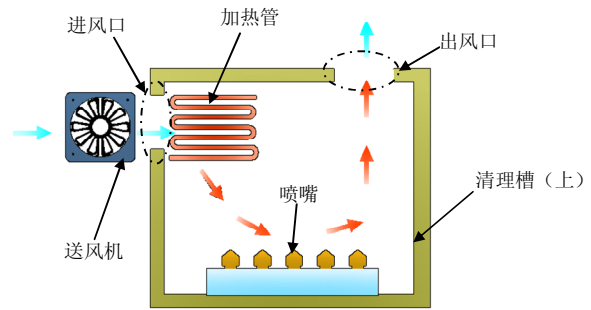


图 5 热干燥装置原理

喷嘴清理所使用的化学试剂均有一定挥发性。为进一步降低化学品的危害性,避免工作环境受到污染,保障操作工人的身心健康,设计气体净化装置,其原理如图 6 所示。

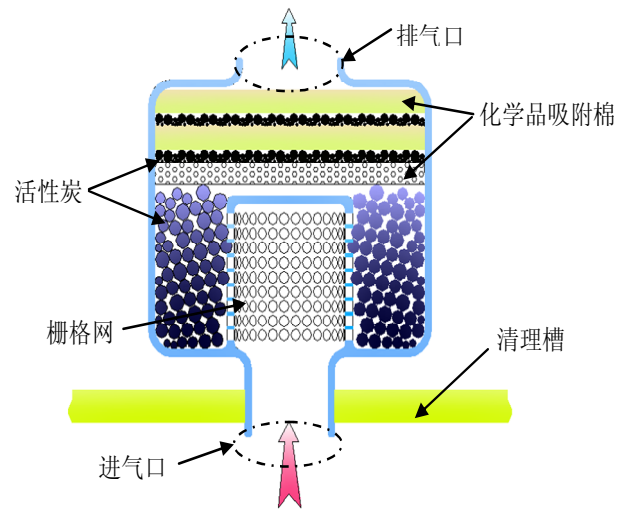


图 6 废气净化装置原理

喷嘴干燥过程中产生的含有清理液蒸汽的混合废气,经过进气口流入该装置,经过多层的活性炭和化学品吸附棉吸附过滤,再经排气口排出,可使最终排放的气体绿色、环保、无危害。其中活性炭主要吸附排放气体中的残余气味,化学品吸附棉主要吸附残余的清理液蒸汽。该装置可以有效减少有害气体的排放,降低环境污染,使工作环境和操作工人得到安全的保障

2.4 控制系统

控制系统主要是对喷嘴清理工艺过程中的工序进行先后逻辑控制,各种传感器以及热干燥装置的功能控制。逻辑与可编程控制技术具有使用方便,功能强大,实用性强,广泛地应用在工业自动化设备领域,因此可采用该控制技术作为喷嘴清理的控制系统。

除装载和拆卸喷嘴外,控制系统将会依次完成喷嘴浸泡、超声清理、漂洗、烘干的整个过程。控制系统基本要求如下:工作方式有手动和自动两种;清理、漂洗、烘干功能可单独设定和调整工艺参数。根据控制需要,系统的 I/O 资源分配见表 2。

表 2 控制系统 I/O 资源分配表

名称	代码	地址	说明
系统启停按钮	QT	I0.0	系统启动/停止运行
高位液面开关	GY	I0.1	检测液面是否到达高位
低位液面开关	DY	I0.2	检测液面是否到达低位
压力控制器	YD	I0.3	槽内压力检测
湿度继电器	SD	I0.5	控制风机是否工作
温度继电器	WD	I0.6	控制电热丝是否工作
清理泵	KM1	Q0.0	清理液的汲取
超声波振子	KM2	Q0.1	超声波清理
电磁阀 1	KM3	Q0.2	清理液排放阀
漂洗泵	KM4	Q0.3	漂洗液的汲取
电磁阀 2	KM5	Q0.4	漂洗液排放阀
风机	KM6	Q0.5	干燥用通风机
电热丝	KM7	Q0.6	干燥用热源

3. 结论

FDM 型 3D 打印机喷嘴清理系统具体结构图如图 7 所示，清理槽组件安装在系统框架上端，载液箱以及其他零部件排布安装在框架内部空间，框架四周装有透明的亚克力板，可以起到保护零部件和提高系统美观的作用。



图 7 FDM 型 3D 打印机喷嘴清理系统

FDM 型 3D 打印机喷嘴清理系统，为解决喷嘴清理的难题而设计，利用化学溶剂和超声波清理方法清理喷嘴，采用逻辑与可编程控制技术，有效解决了传统喷嘴清理方法中的技术缺陷，使喷嘴的清理工作具有高效、简便、环保等特点。

喷嘴装夹装置，解决了传统喷嘴清理方法中清理效率低、装夹不方便等问题。采用“化学溶解+超声波清理”的组合式清理工艺，实现了喷嘴清理批量化，高效率的特点。采用可编程控制技术，在各种传感器的协同作用下，实现了喷嘴清理、漂洗、干燥以及清理液自动回收等功能的自动化，喷嘴清理状态在线检测等功能，使得

喷嘴清理系统功能更加完善。废气净化装置能够对清理过程中产生的有害气体进行吸收过滤，减小排放污染，使喷嘴清理系统具有绿色环保的特点。

该系统，综合的考虑并解决了 FDM 型 3D 打印机喷嘴的清理问题，实现了喷嘴清理技术和设备的创新，提高了喷嘴清理效率。

参考文献:

[1] 黄海,赵天婵.熔融沉积式 3D 打印喷头结构及常见问题[J].造纸装备及材料,2020,49(04):9-11.

[2] Lambos Nikolaos, Vosniakos George-Christopher, Papazetis George. Low-cost automatic identification of nozzle clogging in material extrusion 3D printers[J]. Procedia Manufacturing, 2020, 51.

[3] 杨向东,莫煦健,张鹏飞.FDM 型 3D 打印机典型故障诊断与维修[J].机电工程技术,2017,46(07):102-104+174.

[4] 王静蕴.3D 打印机常见故障分析及维护[J].技术与市场,2019,26(09):84-85.

[5] 3d 打印机喷头堵塞原因及解决办法 - 百度文库 (baidu.com).

<https://wenku.baidu.com/view/ca4dcd1b0a4e767f5acfa1c7aa00b52acfc79c5f.html?fr=income2-doc-search>

[6] 潘祖仁.高分子化学,北京,化学工业出版社:2014.

作者简介: 1 毋源, (1997 年 8 月), 男, 汉族, 陕西西安, 西京学院, 职称学生, 硕士研究生, 机械系统设计与应用。

2 张毅, (1969 年生), 男, 汉族, 陕西西安, 西京学院, 教授, 博士, 主要从事计算机辅助设计、机械系统设计与应用、快速成型制造等研究。

3 王小博 (1977 年生), 女, 汉族, 陕西西安, 西京学院, 副教授, 硕士, 主要从事机械教育管理、经济管理研究。

4 郑泽华, (1997-11-14), 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 浙江嘉兴, 单位: 西京学院机械工程学院, 职称学生, 学历: 研究生在读, 研究方向: 并联机构以及 3D 打印。

5 李星真, (2003 年 4 月), 女, 汉族, 陕西西安, 西京学院, 大学本科, 机械设计制造及其自动化专业。

基金课题 (须有编号): 1 项目: 陕西省研究生教育综合改革研究与实践项目 基金编号: YJSZG2020095, 2.2021 年西京学院《生产与运作管理》课程思政示范课建设项目, (课题编号: SZSFK202102)