

分类号: TH166;TP391  
论文编号: 2019022365

密级: 公开

贵 州 大 学

2019 届硕士研究生学位论文

# 五轴熔融沉积 3D 打印机及切片算法的研究

学科专业: 机 械 工 程

研究方向: 机械制造及其自动化

导 师: 赵 先 锋

研 究 生: 汤 朋 飞

中国 ■ 贵州 ■ 贵阳

2022 年 6 月



## 硕士学位论文答辩委员会名单

### 五轴熔融沉积 3D 打印机及切片算法的研究

答辩人：汤朋飞

答辩委员会委员：

贵州大学 梅益 教授：\_\_\_\_\_主席\_\_\_\_\_

贵州大学 罗绍华 教授：\_\_\_\_\_委员\_\_\_\_\_

贵州大学 戴厚富 副教授：\_\_\_\_\_委员\_\_\_\_\_

贵州大学 吴兵 正高级实验师：\_\_\_\_\_委员\_\_\_\_\_

贵州华锋电器有限公司 邓国江 研究员：\_\_\_\_\_委员\_\_\_\_\_

答辩秘书：罗宁康+实验师/工学硕士

答辩时间：2022 年 06 月 02 日

答辩地点：机械楼 416



## 摘要

3D 打印技术通过定向层积的方式成型，克服了零件的几何形状限制，而受到了学术界和工业界的广泛关注。熔融层积成型作为主流的 3D 打印技术之一，是一种利用高温将材料熔化，通过挤出机挤出长丝在构建平台上成型的技术。然而在传统的熔融沉积过程中，当涉及到零件悬垂部分时，需要创建额外的支撑结构，用以防止沉积长丝的塌陷或滑落。支撑结构会增加额外的打印时间和材料消耗，以及造成零件的表面质量下降。为了解决无支撑打印问题，本文对五轴 3D 打印机和切片算法进行了研究。

本文提出一种基于点云数据的五轴无支撑打印方法，该方法首先通过邻接体素的凹凸性对模型的多枝进行分割并生成组件，利用骨架去描述组件的拓扑特征，通过骨架与沉积方向的夹角大小对零件的悬垂特征进行分割。对于已经分割完成的悬垂零件，根据分割平面以合适的角度对组件进行切片。提出的打印算法在设计五轴熔融沉积打印机上进行验证，结果表明该方法提高了悬垂结构的打印效率，减少了材料损耗，降低了零件的表面粗糙度。本文的研究工作及创新点如下：

(1) 为验证本文提出的无支撑打印算法，首先对 3D 打印机机械结构与控制系统进行了设计。打印机的机械结构主要进料机构和旋转打印平台组成，进料机构的运动方式采用 core XY 机构来实现。旋转打印平台通过丝杠副实现平台 Z 轴方向上的运动，利用舵机实现绕 X 轴和 Z 轴的转动。将打印机控制系统分为五个模块，分别为控制模块、限位模块、温度模块、步进模块和伺服模块。

(2) 为了优化打印工艺，探究沉积长丝塌陷的临界悬垂角，本文对悬垂结构的表面质量进行了研究。本文使用聚乳酸作为打印材料，聚乳酸是一种粘弹性材料，在热熔状态下的力学行为复杂。为了更快和更有效的对悬垂结构的表面质量进行探究，使用图像处理技术对结构的表面形貌进行了提取，分析了其在不同打印温度、打印速度和悬垂角度下的表面形貌。通过它们对零件表面变形的比较，得出了打印的最佳工艺参数以及沉积长丝塌陷的临界悬垂角。

(3) 为了避免打印模型的转化，提出了一种基于点云数据的五轴无支撑打印方法。该方法首先通过体素的凹凸性将多枝模型分割为不同的组件。接着利用 L1 中值方法对组件提取骨架，通过骨架与沉积方向的夹角大小对模型的悬垂

特征进行分割。分割出悬垂特征后,需要根据悬垂角度范围将分割后的模型分成不同的组,每一组悬垂的模型都会以合适的切片角度进行切片。为了保证不同悬垂构件构建过程中连接的稳定性,这里使用平行于分割平面的切平面对模型进行切片。最后使用 Alpha-Shape 算法提取轮廓,利用轮廓偏置算法对分割后的零件进行路径规划并生成 G 代码。为了解决该无支撑打印算法存在的台阶效应问题,提出了一种自适应切片策略,利用最大径向宽度对模型进行自适应切片。

在所设计的五轴熔融沉积打印机上对本文无支撑打印算法进行了验证。通过实验对无支撑算法和传统三轴切片方法的打印耗材和打印时间进行了统计,并比较了两种方法的零件表面质量。最后开展了自适应算法和普通算法的对比,通过实验证明验证了自适应切片策略可以进一步提升零件的打印质量。

**关键词:** 熔融层积成型;五轴打印;无支撑打印;路径规划;点云数据