

项目编号: IAP7172

上海交通大学

“上海交通大学大学生创新实践计划” 项目研究论文

论文题目: 选择性激光烧结铺粉装置的设计与制造
项目负责人: 梁凌钺

学院(系): 密西根学院

指导教师: 齐欢 学院(系): 密西根学院

参与学生: 梁凌钺 刘瑀璋 沈骏杰

项目执行时间: 2014年9月至2015年11月

选择性激光烧结铺粉装置的设计与制造

项目参与学生所在学院：密西根学院 项目参与学生姓名：梁凌钒 刘瑀璋 沈骏杰
指导教师姓名所在学院：密西根学院 指导教师姓名：齐欢

摘要

选择性激光烧结技术作为新型的快速成型技术之一，以其本自由制造，材料选择范围广等特点在小产量制造中有着突出表现。本项目目标在于实现水平方向的铺粉运动和竖直方向的供粉运动，并同时利用单片机控制二者，并为今后激光装置的搭建以及整体打印过程的实现提供稳定的平台。特别是在竖直方向，由于直接影响打印精度，本课题将着重于竖直方向运动精度的控制。项目成员首先选择适合的结构、装置，搭建平台，并开发控制程序用于调试，完成运动。

关键词：选择性激光烧结，运动，控制

ABSTRACT

As one of the new rapid prototyping method, selective laser sintering (SLS) has great performance in light production, due to its characteristics such as free production, wide range of material, etc. This project aims to realize the horizontal motion of spreading metal powder and the vertical motion of supplying metal powder, and control both of the motions simultaneously using a single-chip computer, in the objective of providing stable platform for future construction of the laser part and realization of printing process. Since the accuracy in vertical direction has a direct influence on the printing accuracy, this project will focus on controlling the accuracy of vertical motion. Project members first chose proper structure and devices to assemble the platform and then developed the program to realize the motion.

KEY WORDS: Selective Laser Sintering, Movement, Control

1. 绪论

制造工业是一个国家实力的体现。在科技进步的今天，尽管传统的制造工艺（车、铣、铸造、锻造等）仍发挥着支柱作用，但对于一些存在特殊需要的产品，传统的制造工艺便无法达到要求。于是，一批新型的制造工艺，特别是快速成型技术（Rapid Prototyping）逐渐兴起。尽管目前并不能像传统制造工艺一样应用于大规模生产，但对于小产量、高要求的产品来说，快速成型技术是解决问题的最好办法。在快速成型技术中，选择性激光烧结（Selective Laser Sintering）以其加工高度复杂的结构，高生产效率著称。相比于传统加工工艺，选择性激光烧结具有制造工艺简单，柔性度高，材料选择范围广，材料价格便宜，成本低，材料利用率高，成型速度快等特点，并主要应用于铸造业。

1.1 选择性激光烧结的发展历史

选择性激光烧结技术诞生于德克萨斯大学奥斯汀分校。1981年，读大一的卡尔·戴卡德接触到当时还非常罕见的3D CAD工业设计。他认为，从CAD文件直接生产模具来取代手工，可能会有广阔的市场。1984年，戴卡德发现用激光、电子束一类的高能射线烧结粉末成型的可行性。助理教授乔·毕曼博士也发现了这其中蕴含的商业价值，接收戴卡德为研究生并共同开展SLS技术研究。1986年，戴卡德完成初步的实验原型机，证明了SLS 3D打印技术制造模具的可能。1990年，DTM推出了第一台商业化的SLS 3D打印机——125s。在2001年，DTM被卖给3D Systems，成为SLA技术的拥有者。德国EOS公司在这一领域也做了很多研究工作，并开发了相应的系列成

型设备。

在国内，很多单位进行了 SLS 的相关研究工作，如华中科技大学，南京航空航天大学，西北农业大学等，并取得了重大的研究成果。

1.2 选择性激光烧结技术的原理

选择性激光烧结技术是一种利用激光束烧结粉末材料分层加工制造技术，利用激光有选择地分层烧结固体粉末，并使烧结成型地固化层层层叠加生成所需要形状地零件。其整个工艺过程 CAD 模型地建立及数据处理、铺粉、烧结以及后处理等。

首先，通过 CAD(Computer Aided Design)软件给出零件的构造。零件的三维描述被转化为一整套切片，每个切片描述确定高度的零件横截面。整个工艺装置由粉末缸和成型缸组成。工作室粉末缸（送粉活塞）上升，由铺粉辊将粉末在成型缸活塞（工作活塞）上均予铺上一层，计算机根据圆形的切片模型控制激光束的二维扫描轨迹，有选择的烧结固体粉末材料以形成零件的一个层面。粉末完成一层后，工作活塞下降一个层厚，铺粉系统铺上新粉，控制激光束再次扫描烧结新层。如此循环往复，层层叠加，直到三维零件成型。在造型过程中，未经烧结的粉末对模型的空腔和悬臂部分起着支撑作用。

最后，将未烧结的粉末回收到粉末缸中，并取出成型件。对于金属粉末激光烧结，在烧结之前，整个工作台被加热至一定温度，可减少成型中的热变形，并利于层与层之间的结合。

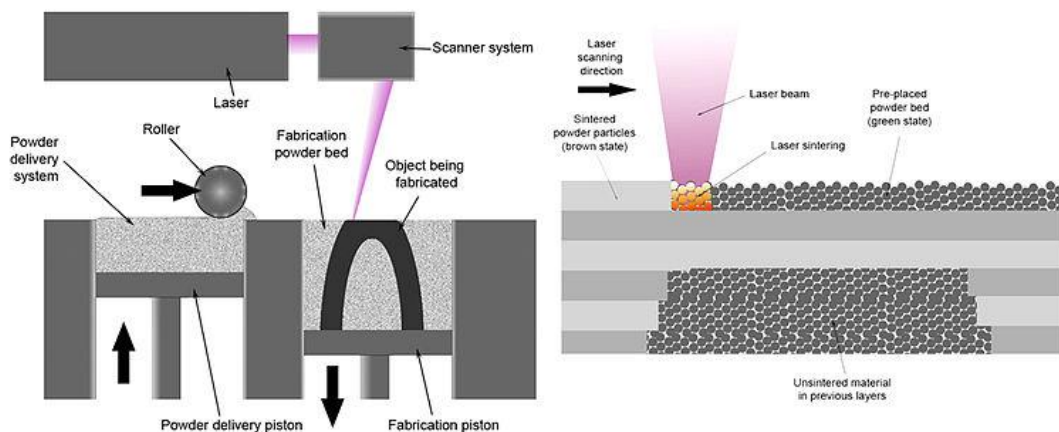


图 1 选择性激光烧结技术原理 [1]

1.3 选择性激光烧结技术的特点

选择性激光烧结技术的特点归纳起来主要有以下几点：

① 过程与零件复杂程度无关，是真正的自由制造，这是传统的方法无法比拟的。选择性激光烧结与其他快速成型技术不同，不需要预先制作支架，未烧结的松散粉末做了自然支架。选择性激光烧结可以成型几乎任何形状的零件，对具有内部复杂结构的零件特别有效。

② 产品的单价几乎与批量无关，特别适合于新产品的开发或单件、小批量生产。

1.4 选题意义

选择性激光烧结装置主要由激光烧结和供粉铺粉两部分构成。供粉铺粉过程涉及水平方向及竖直方向的运动控制。本课题希望从本科生的角度出发，利用机械装置，实现水平方向的铺粉运动和竖直方向的供粉运动，并同时利用单片机控制二者，并为今后激光装置的搭建以及整体打印过程的实现提供稳定的平台。特别是在竖直方向，由于直接影响打印精度，本课题将着重于竖直方向运动精度的控制。

2. 研究内容

2.1 结构设计 (CAD)

我们设计的选择性激光烧结铺粉装置共分为两大部分,其中一部分由工作缸和移动工作台组成,另一部分由撒粉、铺粉以及回收粉装置组成,如图2所示。

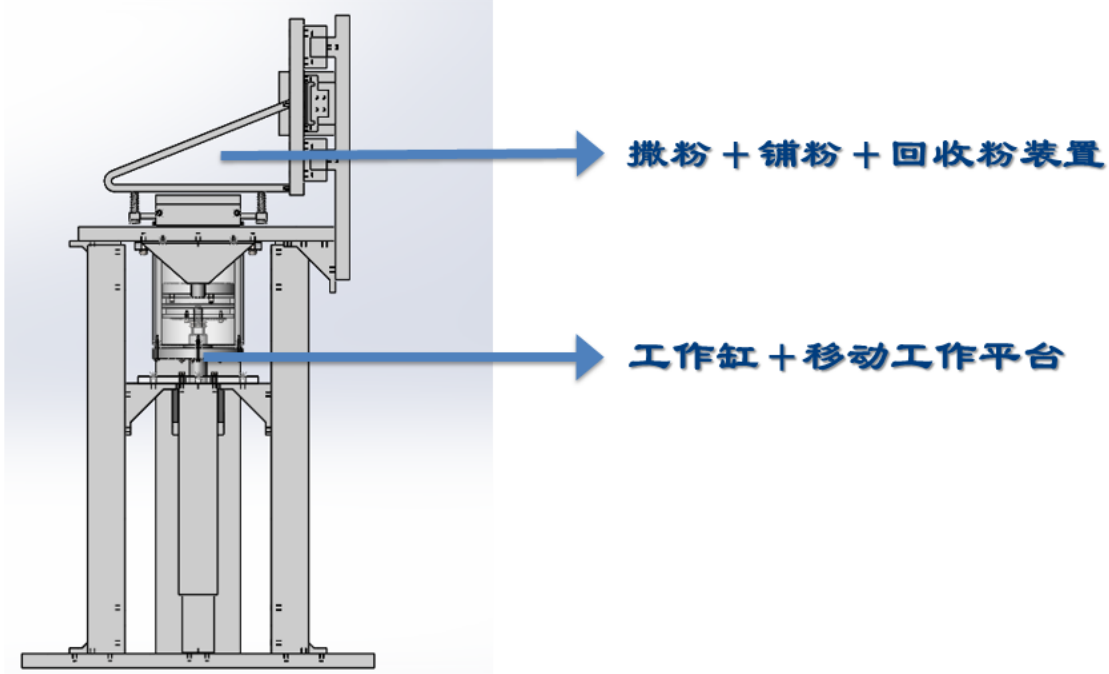


图 2 选择性激光烧结铺粉装置组成

2.1.1 工作台

图3所示为我们设计的工作台,主要用途作为铺粉装置工作平台,其长44厘米,宽36厘米,厚2厘米,中孔直径10.4厘米,用以约束移动工作台。

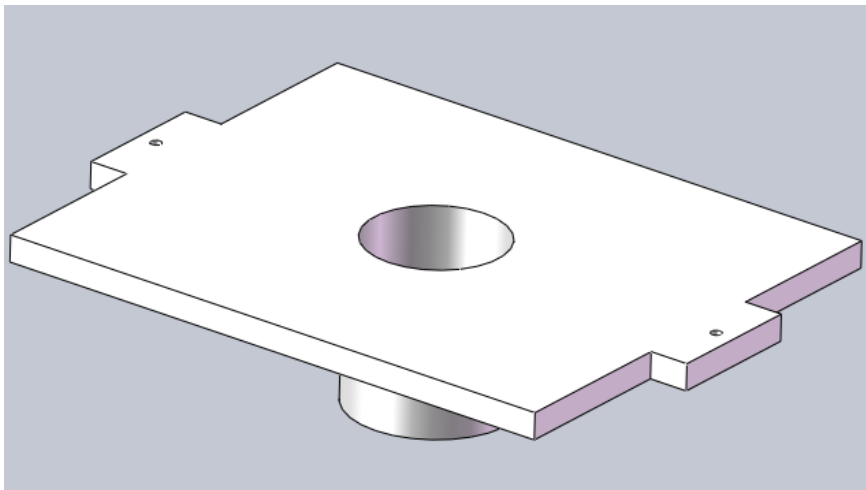


图 3 工作台

2.1.2 移动工作平台

图4所示为我们设计的移动工作平台,其外直径为10.2厘米,内直径为9.1厘米,侧面凹槽用以固定蕾丝圈,起到密封防止金属粉泄露的作用。移动工作平台下端与电缸固定,能在竖直

方向运动。

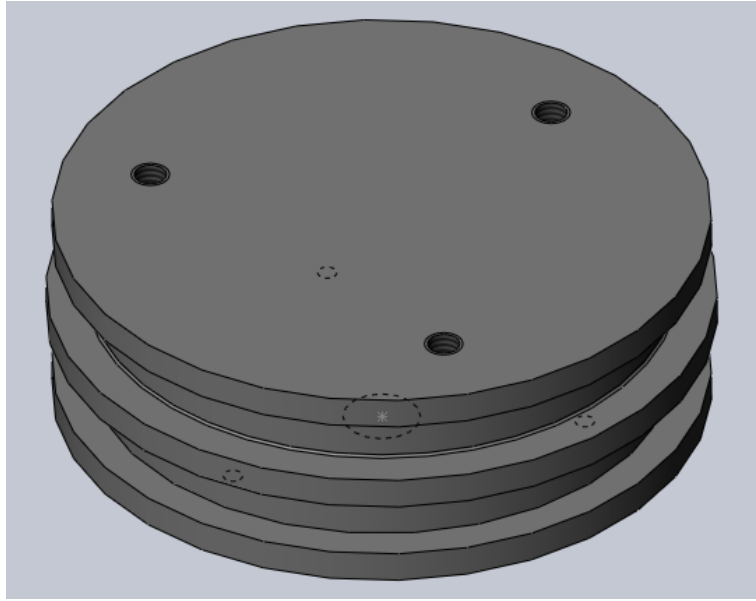


图 4 移动工作平台

2.1.3 铺粉装置

图 5 所示为我们设计的铺粉装置，由 3 部分组成，分别为刮板、滚筒、直角架以及储粉装置。刮板如图 6 所示，其长为 12 厘米，宽为 3 厘米，下侧开口 45 度，用以初步刮平金属粉。滚筒如图 7 所示，其直径为 2 厘米，长度为 11 厘米，两侧突出圆柱直径为 0.6 厘米，长度为 3 厘米，其作用为压平金属粉。直角架尺寸如图 8 所示，其用以直角连接滑轨和滚筒。储粉装置如图 9 所示，其用以临时储存金属粉。

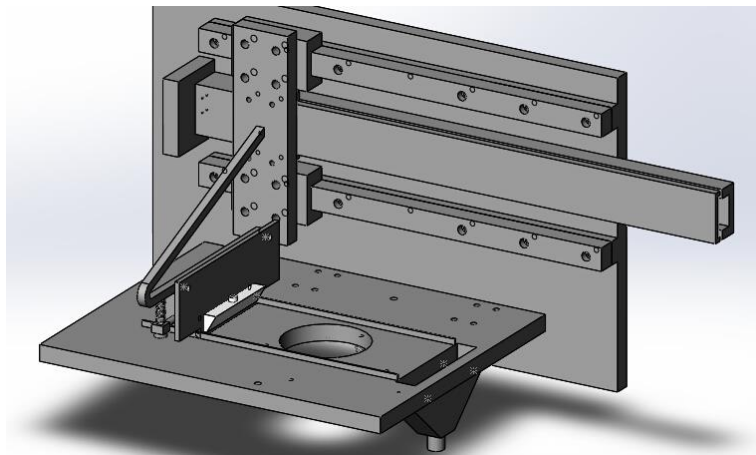


图 5 铺粉装置

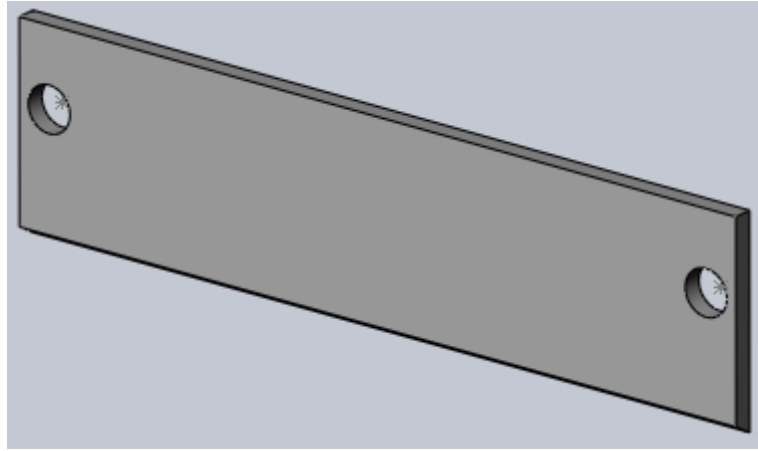


图 6 刮板

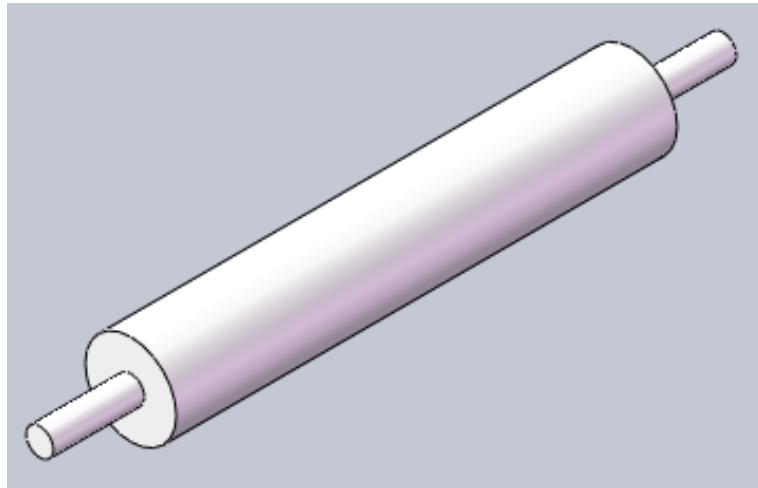


图 7 滚筒

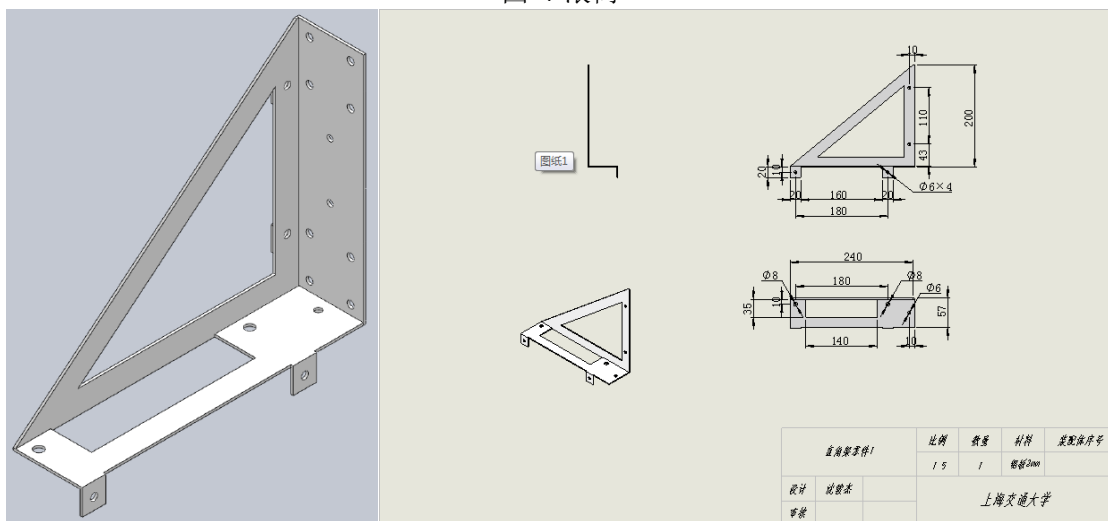


图 8 直角架

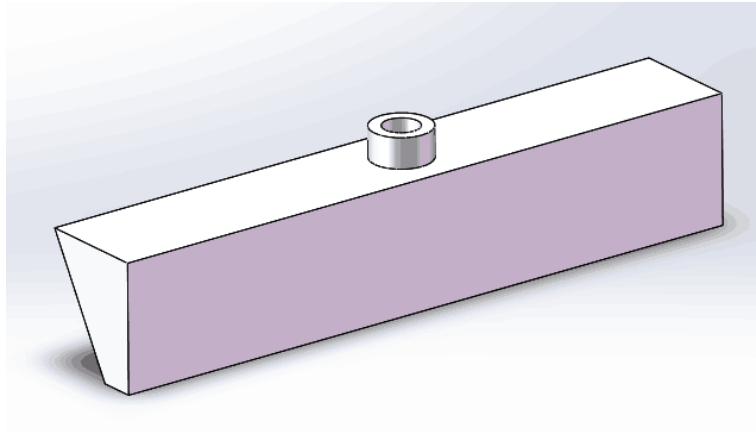


图 9 储粉装置

2.1.4 其他

基于以上部分结构的设计，以及之后各硬件的选型，包括导轨滑块、滚珠丝杠、电缸、步进电机、限位开关等等，各个子结构之间我们通过 3030 铝型材实现整体装配。

2.2 硬件选型及各部件介绍

根据以上结构设计，我们进行各部件加工以及硬件选型，整体装配体如图 10 所示。



图 10 选择性激光烧结铺粉装置装配体

2.2.1 工作台

根据工作台设计尺寸，我们在校外进行零件加工，材料定为铝合金，表面粗糙度 3.2，表面处理为阳极氧化。工作台完成品如图 11 所示。

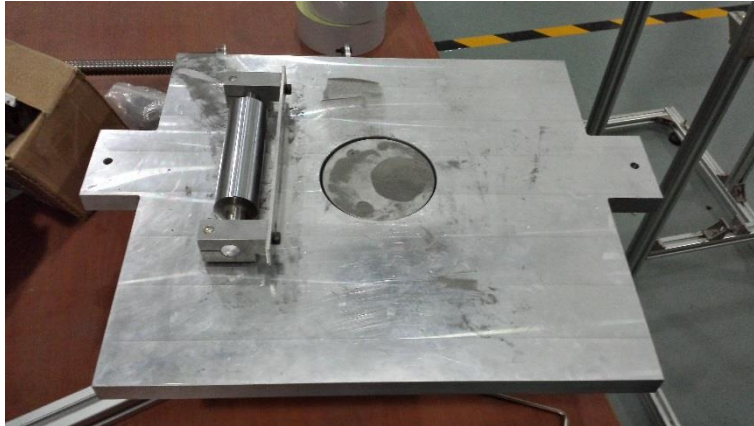


图 11 工作台

2.2.2 移动工作平台

根据移动工作平台设计尺寸,我们在校外进行零件加工,材料定为铝合金,表面粗糙度 3.2,表面技术处理为阳极氧化。移动工作平台完成品如图 12 所示。

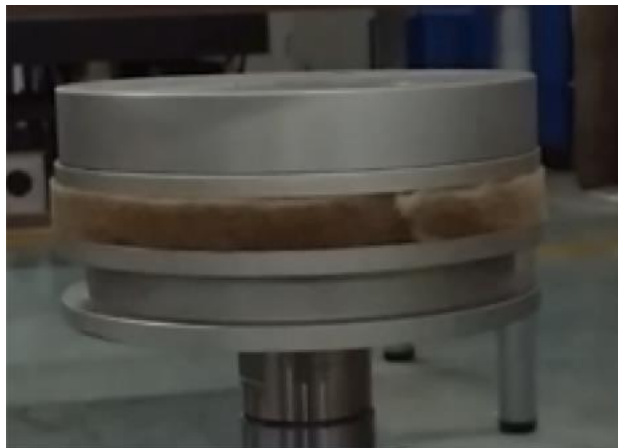


图 12 移动工作平台

2.2.3 铺粉装置

根据铺粉装置设计尺寸,我们在校外进行零件加工,刮板材料定为不锈钢,表面粗糙度 3.2,表面技术处理为阳极氧化。滚筒材料定为不锈钢,表面粗糙度 3.2,表面技术处理为阳极氧化。直角架材料定为不锈钢,表面粗糙度 5,表面技术处理为阳极氧化。储粉装置材料定位亚克力板,厚度为 2 毫米,先由激光切割机切割各零部件后再用胶水拼装。铺粉装置完成品如图 13 所示。



图 13 铺粉装置完成品

2.2.4 导轨滑块选型

导轨滑块选型如图 14 所示，品牌都为宽宇，型号为 HGH 30HA，购置数目各为 2。其中导轨长 30 厘米，固定螺丝为 M8*25。滑块为滚珠方滑块，固定螺丝为 M6*10。

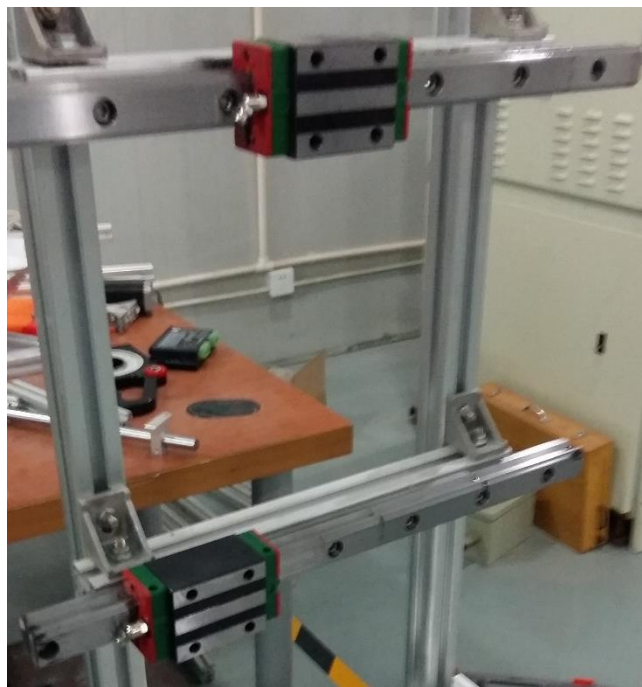


图 14 导轨滑块

2.2.5 电缸选型

电缸选型如图 15 所示，品牌为昆山能驰，型号为 KXT-50E-150-S:

- a) 滑台本体为 35mm;
- b) 滚珠丝杆导轨为 2mm;
- c) 滚珠丝杆为右旋，推杆为直出型;
- d) 有效行程为 200mm;
- e) 标准品为 C 级（普通级精度）;
- f) 伺服系统（伺服马达）;
- g) 伺服马达带制动器（带刹车伺服电机）;
- h) EE-SX671 感应器（极限开关）标准感应器配备 3 只.



图 15 电缸

2.2.6 丝杠电机选型

86 两相四线步进电机选型如图 16 所示，型号为 Longs 458A，定位力矩 $5.5\text{N}\cdot\text{m}$ 。丝杠型号为 SFU2005-3，长度为 1 米。

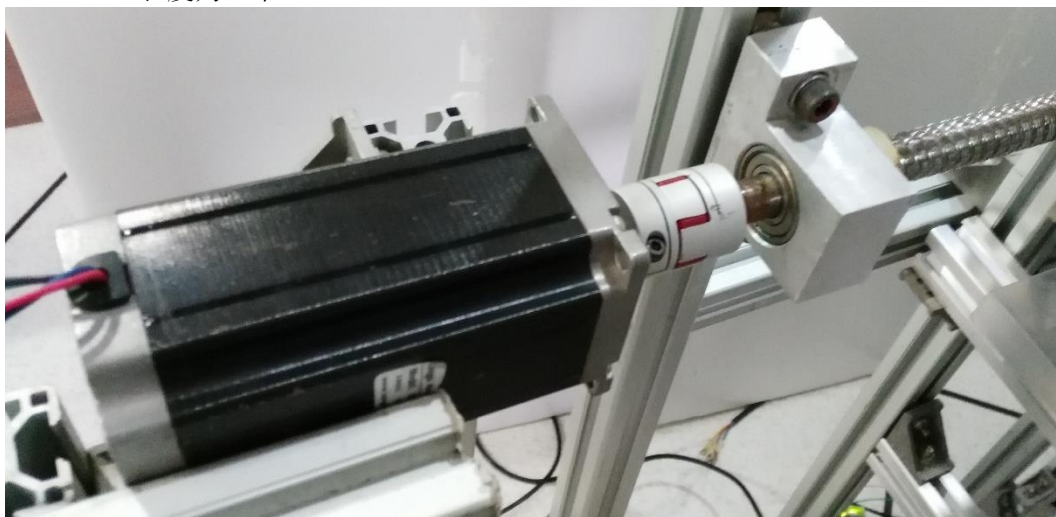


图 16 步进电机

2.2.7 限位开关选型

限位开关选型如图 17 所示，型号为 LXJM1-8101，重量约 150g，机械寿命 10^7 次，电气寿命 5×10^6 次，用以限制滚筒移动范围。



图 17 限位开关

2.3 运动机理介绍

根据选择性激光烧结成形原理，我们设计的铺粉装置运动一个来回，将金属粉压平，等待该轮激光烧结完成之后，电缸带动移动工作平台向下移动 30 微米（移动距离取决于金属粉颗粒大小以及烧结质量要求），供粉装置将下一轮所需的金属粉均匀撒在移动工作平台上已有的上一轮烧结完成的金属粉之上，铺粉装置继续开始运动一个来回，以此往复上述步骤，直至激光烧结最终成形。

2.4 软件、电路设计

2.4.1 电路控制

本系统运用了一个 PIC32 单片机作为控制处理器，结合 DM542A 步进电机控制板，两个德力西限位开关，和 ACSD608 伺服电机控制板一起控制一个伺服电机和步进电机。其中伺服电机又驱动电缸实现高精度控制。他们的控制线路如图 18 所示。

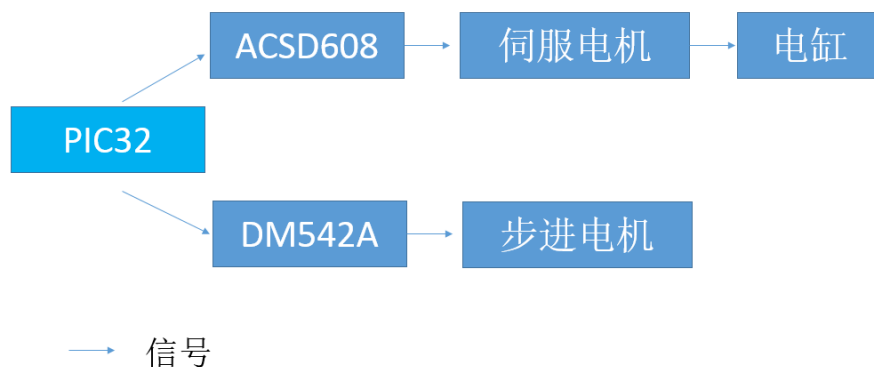


图 18 控制线路

2.4.1.1 PIC32 单片机

PIC32 单片机(MCU)系列,以小至 5mm x 5mm 的封装提供 61 DMIPS 性能,适合空间受限和成本敏感的设计。PIC32 “MX1”和“MX2”MCU 是体积最小且成本最低的 PIC32 单片机,也是第一款具有专用音频和电容式传感外设的 PIC32 MCU。PIC32 MX1 和 MX2 MCU 的额定工作温度可高达 105°C,配备最大 128 KB 闪存和 32 KB RAM、两个 I2S 音频处理接口、一个增加 mTouch™ 电容式触摸按钮或先进传感器的集成硬件外设,以及一个用于图形显示或连接外部存储器的 8 位并行主端口(PMP)。此外,新器件还具有一个 13 通道、1 Msps 的片上 10 位模数转换器(ADC)以及串行通信外设;PIC32 MX2 MCU 还增加了 USB OTG 功能。这些 MCU 采用 28 至 44 引脚封装,尺寸小至 5mm x 5mm,引脚间距为 0.5mm。Microchip 的外设引脚选择功能可进一步简化设计工作,允许开发人员“重映射”芯片中大多数的数字功能引脚,使修改布局和设计变得更加简单。PIC32 MX1 和 MX2 器件兼容 Microchip 的 16 位 PIC24F 产品线,可以实现轻松迁移,并得到针对 Microchip 所有 8 位、16 位和 32 位 MCU 的统一开发环境 MPLAB® X IDE 支持。PIC32 单片机,具有带 5 级流水线的 MIPS32® M4K™ 32 位内核,工作电压范围为 2.3V 至 3.6V,提供各种通用和专用的外设,包括以太网, CAN, USB 主/设备/OTG, 闪存 32KB 到 512KB, 板载 RAM 从 8KB 到 128KB。PIC32 单片机的外观如图 19 所示。



图 19 PIC32 单片机

2.4.1.2 DM542A 步进电机控制板

DM542A 型步进电机驱动器,具有比较低的电机发热、运行噪声和更高的平稳性,以及较低的成本,主要驱动 42、57 型两相混合式步进电机。其微步细分数有 15 种,最大步数为 25000Pulse/rev;其工作峰值电流范围为 1A—4.2A,输出电流共有 8 档,电流的分辨率约为 0.45A;具有自动半流,过压和过流保护等功能。本驱动器为直流供电,建议工作电压范围为 24VDC—36VDC,电压不超过 50VDC,不低于 20VDC。DM542A 的特点有:1. 智能电流控制,提高动态 Q 值,使电机发热大为降低。2. 抗共振技术,轻松突破中速共振区,中高速特性良好。3. 改进型 PWM 控制算法使电机及驱动器发热量更小。4. 全流切换到半流无明显的噪音与振动。5. 可驱动 4,6,8 线两相步进电机 6. 光隔离差分信号输入 7. 脉冲响应频率最高可达 200KHz 8. 电流设定方便 9. 具有过压、欠压、短路等保护功能。DM542A 的外观如图 20 所示。



图 20 DM542A 步进电机驱动器

2.4.1.3 ACSD608 伺服电机控制板

ACSD608 伺服电机控制板有以下特点：1. 采用 32 位高速 DSP 芯片。FOC 场定向矢量控制，支持位置/速度闭环。2. 支持指令脉冲+方向或正交脉冲信号。3. 16 位电子齿轮功能，1~65535 / 1~65535。4. 供电电压+20V~50V。支持 50~500W 交流伺服电机。5. 支持串口（modbus 协议 RTU 模式）控制方式。串口（TTL 电平）控制方式，可以设定驱动器地址，简化控制系统。也可以直接通过 PC 机控制，并提供 PC 机测试软件。6. 具有欠压，过压，堵转，过热保护。ACSD608 伺服电机控制板的外观如图 21 所示。

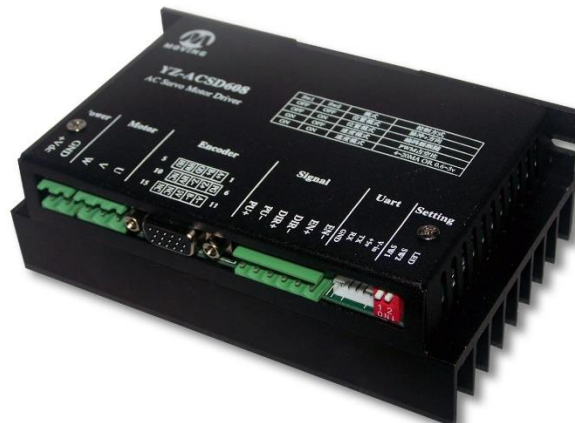


图 21 DM542A 步进电机驱动器

2.4.1.4 德力西限位开关

德力西限位开关可以在扑粉系统到达工作平面的两端的时候探测到，然后返回信号，其实物外观如图 22 所示。



图 22 德力西限位开关

2.4.2 程序控制

利用 C 语言在 MPLAB 环境下我们编写了控制整个装置的程序，整个程序的运行流程请见下面的流程图。代码请见附录 1。

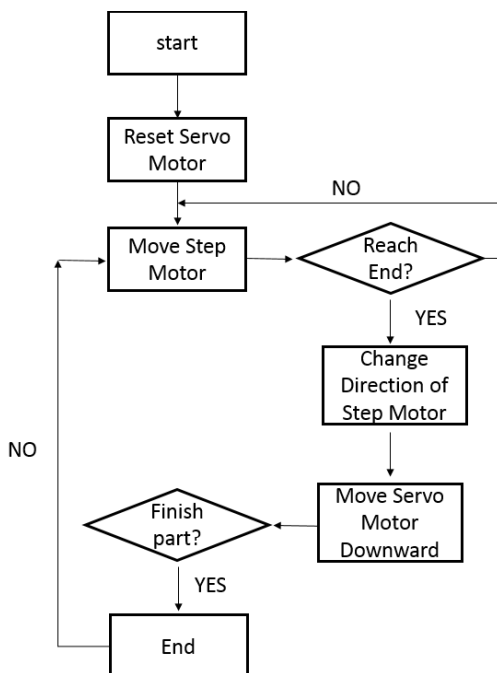


图 23 控制系统代码图

3. 研究成果

3.1 整体装置的搭建

我们选择、购买了符合我们要求的部件，搭建了铺粉装置的平台，我们的部件清单如下表所示。

表格 1 部件清单

部件	型号	部件	型号
伺服电机	翼志 57JSF1430P	步进电机	Longs 458A
电缸	昆山能驰 KXT-50E-150-S	步进电机控制板	DM542A
部件	型号	部件	型号
伺服电机控制板	东川 ACSD608	处理器	PIC32

我们以铝型材为架构材料，用角码固定，搭建了我们的铺粉装置，如图 24、25 所示。



图 24 铺粉装置

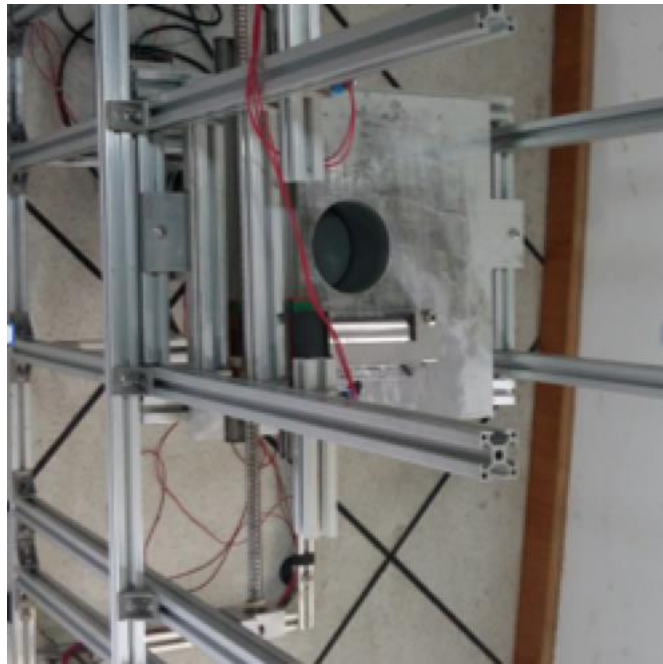


图 25 铺粉装置

3.2 运动精度

本装置所要保证的主要精度是电缸的运动精度，也就是垂直方向的运动精度。我们用在 10, 15, 25, 50 的脉冲数上各验证了五组数据，从而来验证电缸上下运动的精度，并拟合直线，验证电缸运动的准确性和一致性：

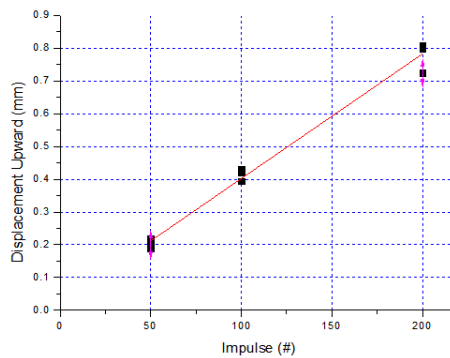


图 26 向上运动精度测试

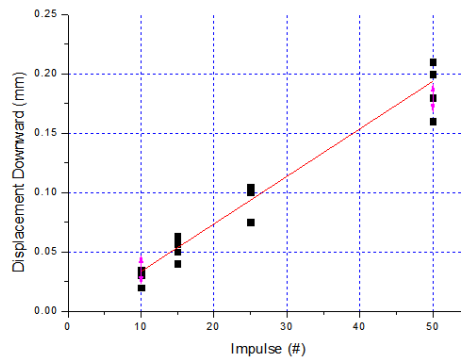


图 27 向下运动精度测试

我们可以看到向上和向下的运动的标准差都不超过 0.02mm，所以电缸的运动有高度的一致性，可以保证装置在垂直方向上的精确定位。

3.3 扑粉效果

为了验证装置的扑粉效果，我们对于装置的扑粉功能进行了验证，我们经过 10 次运行装置之后，该装置都可以把金属粉末铺平。实验流程如下

1. 撒粉装置加入 100 克金属粉。
2. 启动扑粉装置。
3. 计时。
4. 检查扑粉装置的扑粉结果。

扑粉效果请见图 28, 29。



图 28 铺粉前

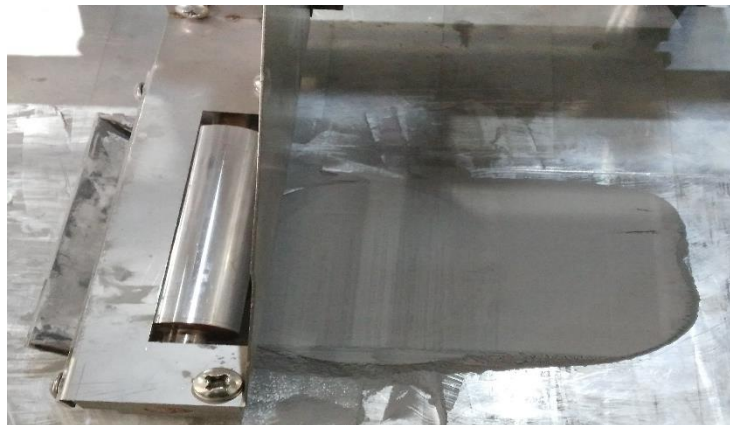


图 29 铺粉后

10 次实验铺一次粉的时间如下：

表格 2 铺粉时间

次数	1	2	3	4	5
扑粉时间[s]	10.2	10.3	10.2	10.4	10.1
次数	6	7	8	9	10
扑粉时间[s]	10.2	10.3	10.4	10.1	10.2

十次实验的平均用时为：10.24s，标准差为 0.1s，展示了该装置的高效扑粉效率，和稳定一致的表现。

4. 研究意义

选择性激光烧结铺粉装置的设计与制造项目，包括工作缸系统、铺粉装置（滚筒）、供粉系统、供气系统、系统支架的设计制造以及激光源、扫描系统及对应软件的学习与应用。本项目在该装置原有传统结构的基础上进行改进，并加入反馈机制。本项目是对选择性激光烧结铺粉装置

结构改进与提升的探索，并且会对选择性激光的工艺流程进行设计与创新。整个系统的设计包含机械设计、软件编程、建模、加工工艺、机电以及测控等方面的知识，涉及面较全面。我们通过参与本项目加强了我们的综合能力及创新精神，并激发了我们潜能，使我们能够将课堂内容与科技创新相结合，增强了我们的实践能力。

4. 研究意义

选择性激光烧结以其高精度、高材料利用率以及快速成型等特点，即将成为小批量精密产品制造的主流工艺。

在本项目中我们主要完成了选择性激光烧结铺粉装置的运动部分，即撒粉、铺粉运动的实现。我们项目成员从本科生的角度，借助指导老师的帮助，成功完成了项目并且对这一科技有了更深层次的理解与认知。

在项目过程中，合理分工应该是项目最后能成功完成的最大原因。机械专业的学生负责机械设计，有控制经验的学生负责控制程序设计，保证了项目以比较高的效率进行。

本项目已基本完成最初定下的目标，即实现水平方向的铺粉运动和竖直方向的供粉运动，并同时利用单片机控制二者，并为今后激光装置的搭建以及整体打印过程的实现提供稳定的平台。运动结构与激光结构的组合及最终的打印可作为下一阶段的项目。

参考文献：

[1] Lou, Alex and Grosvenor, Carol "Selective Laser Sintering, birth of an Industry", The University of Texas, 2012.

鸣谢

我们的小组成员作为本科生，知识、经验与能力都十分有限。项目能够顺利完成，需要诚挚感谢指导老师齐欢教授的耐心辅导，经常性的开组会和我们讨论，以及提供场地和工具。

附录 1：系统控制代码

```
#include <p32xxxx.h>

#include <plib.h>

#include "pavebed.h"

short start=0;

char temp=0;

void DELAY_MS(int n)
{
//如想延时 40ms,就调用 DELAY (10),想延时 4s,就调用 DELAY (1000)。

int j;

int k;

for (j=0;j<n;j++)
{
for (k=246;k>0;k--)
{asm("nop");}
}
}

void StepMotor(int pulse_num,int direction)
{
// J10 18---RC1 J10 19 ---RC2

//RC1 is for out_port of paving motor for giving impulse

//RC2 is for the dirction of paving motor

int delay_time=1000;
```

```
TMR2=0;

PORTCbits.RC2=direction;//0 是远离电机

while(pulse_num--)

{

    PORTCbits.RC1=1;

    asm("nop");

    PORTCbits.RC1=0;

    asm("nop");

while(TMR2<delay_time);//通过调节 delay_time 来调节快慢

}

//DELAY_MS(250);

}

void go_one_layer_up(int pulse_num)

{

    //RD3 is out-port for servo J11 18

    //RD4 is reserved for direction of servo; 1 is up J11 15

    TMR2=0;

    PORTDbits.RD4=1;//servo_dir, 1 is up

while(pulse_num--)

{

    PORTDbits.RD3=1;

    asm("nop");

    PORTDbits.RD3=0;
```

```
        asm("nop");

        while(TMR2<10000);

    }

    DELAY_MS(250);

}

void go_one_layer_down(int pulse_num)

{

    //RD3 is out-port for servo

    //RD4 is reserved for direction of servo; 0 is down

    TMR2=0;

    PORTDbits.RD4=0;//servo_dir, 0 is down

    PORTDbits.RD4=0;//servo_dir, 0 is down

    TMR2=0;

    while(pulse_num-->0)

    {

        PORTDbits.RD3=1;

        asm("nop");

        PORTDbits.RD3=0;

        asm("nop");

        while(TMR2<10000);

    }

    // DELAY_MS(500);

}

void whole()

{
```

```
//RC3 is for left touch sensor J10 20

//RC4 is for right touch sensor J10 21

// When the bar is displaced, RC4=1 otherwise RC4=0

int up_impulse=1000, down_impulse=1000;

int StepImpulse=1, TotalImpulse=500, initial_dir=1, i; // 400 个脉冲步进电机一圈

int touch_times=0;

while (1)

{

// go_one_layer_up(up_impulse);

if(PORTCbits.RC3==1&&initial_dir==0)

{

initial_dir=1;

touch_times=touch_times+1;

}

if(PORTCbits.RC4==1&&initial_dir==1)

{initial_dir=0;

touch_times=touch_times+1;

go_one_layer_down(down_impulse);

DELAY_MS(1000);

}

if (touch_times!=0&&touch_times%2==0)

{

go_one_layer_up(up_impulse);

DELAY_MS(500);

}
```

```
    }

for(i=1;i<=TotalImpulse;i++)

    {

        StepMotor(StepImpulse, initial_dir);

    }

// Horizontal movement, direction=0 是远离电机

}

}

void motor_ini()

{

    T2CON=0x8000;

    PR2=0xffff;

    TMR2=0;

}

void UART_ini()

{

    U1AMODE=0x8008;//ON=1, BRGH=1

    U1ABRG=25;//9600

    U1ASTASET=0x1400;//RRXEN, UTXEN, URXISEL=2, UTXISEL=0

    IPC6bits.U1AIP=3;

    IECObits.U1ARXIE=1;

}

void main()

{
```

```
OSCSetsPBDIV (OSC_PB_DIV_4);

TRISDCLR=0x1F;//RD0-RD4

TRISCCLR=0x7;//out:RC1-RC2, in: RC3-RC4, 板上不存在 RC0 端口

TRISECLR=0x01;//RE0=1, 常 1 端口

PORTEbits.RE0=1;

ODCD=0x01;

motor_ini();

UART_ini();

INTCONbits.MVEC=1;

asm("ei");

whole();

/*int up_impulse=2000, down_impulse=250;

while(1)

{go_one_layer_up(up_impulse);

DELAY_MS(1000);}*/

}
```

