

毕业设计题目：激光3D打印机

毕业生姓名：

专业：

学号：

指导教师：

所属系(部)：

二〇 年 月

I

前言

3,打印是快速成型技术的一种，它是一种以数字模型文件为基础，运用粉末状金属

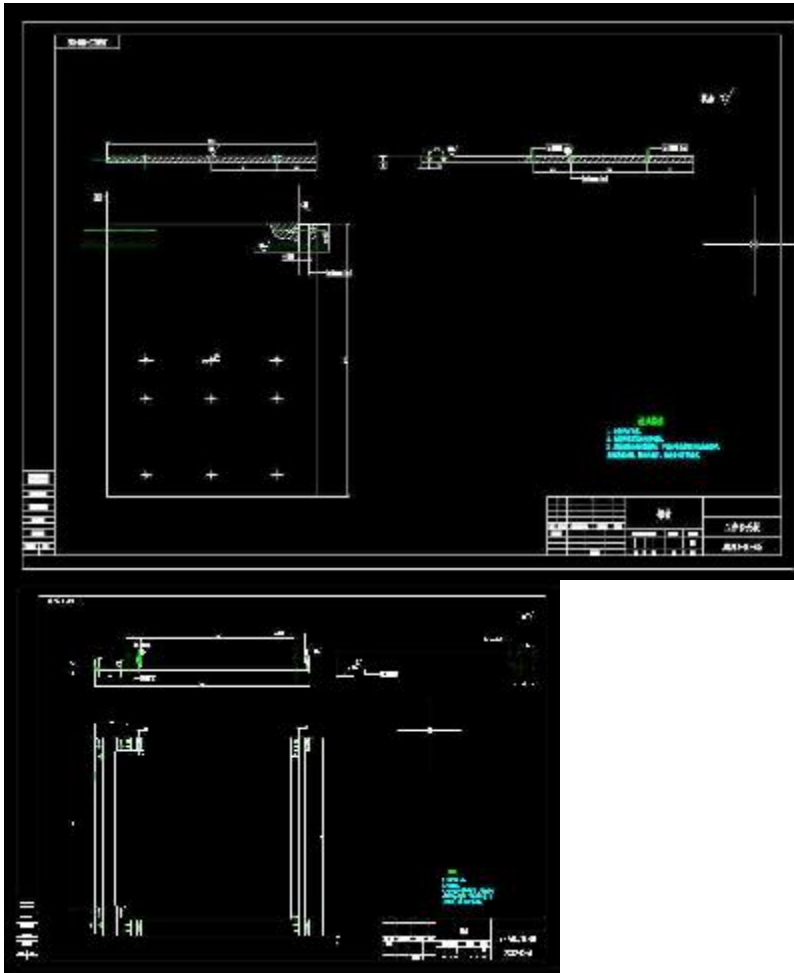
或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术，3,打印通常采用数字技术材料打印机来实现。3D打印技术主要包括立体光刻造型技术、熔融沉积成型技术、选择性激光烧结等，这些技术使得打印出的产品在精度及质量等方面有大幅

的提升，可以说3,打印为产品成型提供了整体解决方案。3,打印技术就是以逐层堆积材料的方式，获得立体的实物。首先，通过扫描仪或电脑制图软件获得需要打印物体的三维数据，然后将数据导入，，

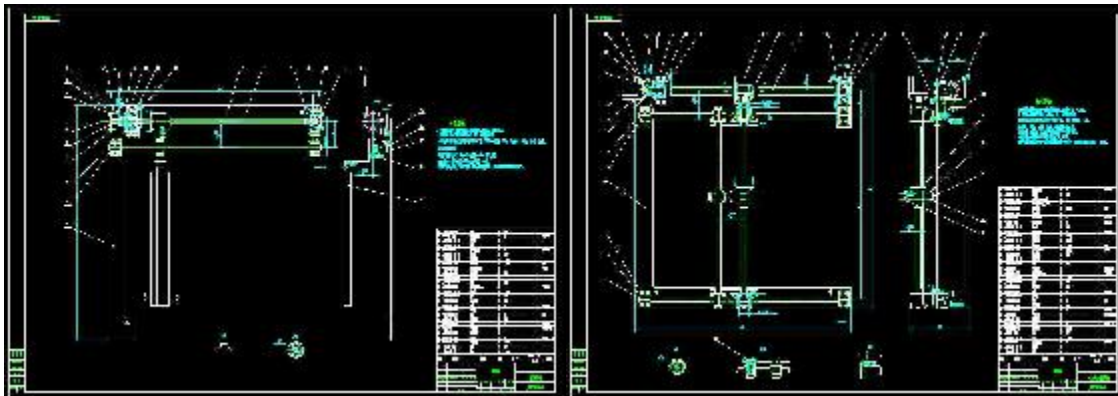
打印机，用专用软件进行分层处理，每一层形成二维图形数据，然后专用软件根据每一层的二维图形数据进行线扫描或点打印路径规划和自动编程，形成打印机识别数控,码程序，然后打印机启动这些程序，进行逐点逐线逐面打印直到完成实物的成型。基本思路就是先将虚拟数据离散化处理，然后将离散数据用打印机变成实体。

全套设计加 11970985或197216396

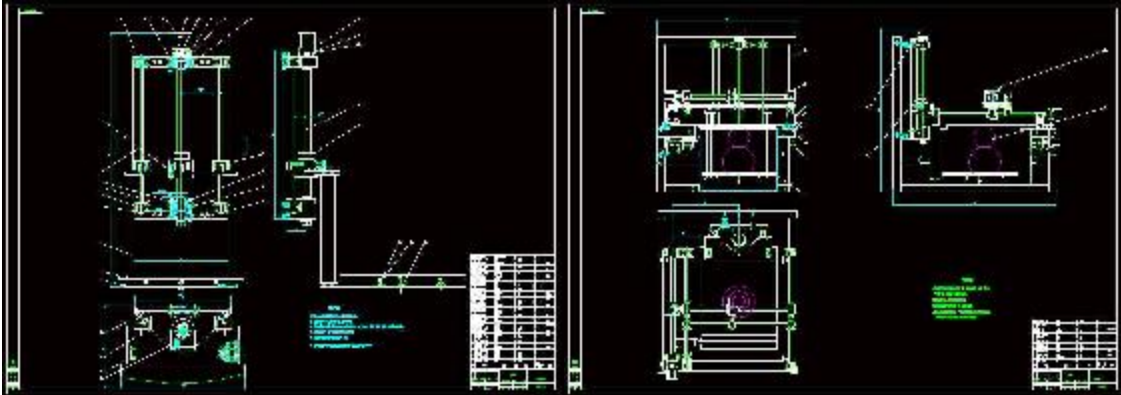
I



II



III



IV

V

摘要

自20世纪80

年代中期以来，光固化快速成型技术的发展与应用越来越广

泛和深入，光固化成型机的需求也越来越大。由此，本论文针对激光3D立体光固化成型机的机械结构进行了设计，包括:1、X-Y扫描机构;2、Z轴升降机构;3、刮刀机构，并且对其中的部分结构进行了改进。X-Y方向的平面扫描运动和

刮刀的水平运动由原来的精密同步带传动改成精密滚珠丝杠传动，使其在行程

较长时不出现抖动，有利于保证扫描精度，运动稳定。采用直线步进电机直接

连接滚珠丝杠，响应更加快速准确，同时因无中间部件，使机械结构简单化,精度较高。

通过对立体激光固化造型机机械结构的设计，使得其运动和传动更加合理和平稳，进而使其在生产过程中能够更好的进行生产。

关键词:立体激光固化;扫描机构;快速成型;传动;结构设计

VI

ABSTRACT

This article specifically for three-dimensional modeling of light-cured structural design of mechanical systems. X-Y scanning normally used to screw drive. Through the motor rotation, with another even reached the screw shaft, through to the X and Y to the two motors of rotation to achieve XY to scan; Z to the table, also by the screw and a rail. Z to the table by the extension units, columns, screw composition, its transmission is through the same motor rotation axis is to pass even reached the screw by screw to achieve the rotation of the table move up or down.

Through the three-dimensional modeling of light-cured in the design and mechanical systems, making their campaigns and drive more reasonable and stable, then in the production process so that it can better carry out production.

Key word: SLA;Scanning agencies;Rapid Prototyping;Transmission;Structure design

VII

目 录

第1章 绪 论 - 4 -

1.1快速原型技术简介
..... -
4 -

1.1.1几种典型的快速成型技术
..... - 4 -

1.1.2各种成型方法简介及对比	- 5 -
1.2快速成型精度概述	- 6 -
1、CAD模型的前处理造成的误差	- 6 -
2、成型系统的工作误差	- 7 -
3、成型过程中材料状态引起的翘曲变形	- 7 -
4、成型之后环境度化引起的误差	- 8 -
5、工件后处理造成误差	- 8 -
1.3立体光固造型SLA技术原理	- 8 -
1.4 立体光固造型SLA国内外现有技术水平	- 9 -
1.5立体光固造型SLA应用领域	- 9 -
1.6 本次设计的主要工作	- 10 -

1.6.1 主要设计工作
.....- 10 -

1.6.2 设计参数
.....-
10 -

1.6.3 设计思路及主要问题
.....- 10 -

第2章 XY方向设计计算
..... - 12 -

2.1设计任务
.....
..... - 12 -

2.1.1 设计参数
.....-
12 -

2.1.2 方案的分析、比较、论证
.....- 12 -

2.2
脉冲当量和传动比的确定.....
..... - 13 -

2.2.1 脉冲当量的确定
.....- 13 -

2.2.2 传动比的确定
.....- 13 -

2.2.3 确定步进电机步距角	- 13 -	2.3
.....		
丝杠的选型及计算.....		
.....	- 14 -	
2.3.1 计算丝杠受力	- 14 -	
.....		
2.3.2 滚珠丝杠螺母副的选型和校核	- 14 -	
.....		
2.4		
导轨的选型及计算.....		
.....	- 18 -	
2.4.1 初选导轨型号	- 18 -	
.....		
- 1 -		
2.4.2 计算滚动导轨副的距离额定寿命	- 18 -	
.....		
2.5		
步进电机的选择.....		
.....	- 19 -	
2.5.1 传动系统等效转动惯量计算	- 20 -	
.....		
2.5.2 所需转动力矩计算	- 21 -	2.6
.....		
本章小结.....		
.....	- 23 -	

第3章 Z方向设计计算	- 25 -
3.1	
Z方向工作台设计	- 25 -
3.1.1设计任务	- 25 -
3.1.2 设计参数	- 25 -
3.1.3 方案的分析、比较、论证	- 25 -
3.2	
脉冲当量和传动比的确定	- 26 -
3.2.1 脉冲当量的确定	- 26 -
3.2.2 传动比的确定	- 26 -
3.2.3 确定步进电机步距角	- 26 - 3.3
丝杠的选型及计算	- 27 -
3.3.1 计算丝杠受力	- 27 -

3.3.2 滚珠丝杠螺母副的选型和校核	- 27 -
3.4	
步进电机的选择	- 30 -
3.4.1 传动系统等效转动惯量计算	- 31 -
3.4.2 所需转动力矩计算	- 31 -
3.5本章小结	- 34 -
第4章 刮刀系统设计	- 35
- 4.1	
刮板的选择	- 35 -
4.2	
刮板的材料和移动速度对涂层质量的影响	- 36 -
4.3	
本章小结	- 37 -
结 论	
	- 38 -

附录

.....
..... - 39 -

外文

.....
..... - 39 -

中文翻译

.....
..... - 54 -

- 2 -

致 谢

.....
..... - 65 -

参考文献

.....
..... - 66 -

- 3 -

第1章 绪 论

本文主要针对立体激光固化造型机机械结构设计。按照国家和行业相关标准，机械传动部分参照了《机电一体化系统设计手册》。在设计过程中，力求使立体激光固化造型机的传动及零部件结构简单、运动稳定、而且成本低廉、质量

可靠、可批量生产，并且促进立体激光固化造型机的普及与发展，同时为国内同类机器的设计提供一定的参考。

1.1 快速原型技术简介

快速原型制造技术(Rapid Prototype Manufacturing) ,简称 RPM ,是先进制造技术的重要分支.它是80年代后期起源于美国 ,后很快发展到欧洲和日本 ,可以说是近 20 年来制造技术最重大进展之一.它建立在CAD/ CAM 技术、计算机控制技术、数控技术、检测技术和材料科学的基础之上 ,将计算机辅助设计 CAD与各种自由造型(Free Form Manufacturing)技术直接结合起来 ,能以最快的速度将设计思想物化为具有一定结构功能的产品原型或直接制造零件 ,从而使产品设计开发可能进行快速评价、测试、改进 ,以完成设计制造过程 ,适应市场需求.

1.1.1 几种典型的快速成型技术

1、 立体光固造型 SLA

Stero Lightgraphy

Apparatus 又称激光立体造型、激光立体光刻或立体印刷装置.

2、 叠层实体制造LOM

叠层实体制造Laminated Object Manufacturing

的成形材料是热敏感类箔材(如纸等) ,激光器的作用变是切割.成形开始时 ,激光器先按最底层的 CAD 三维实体模型的切片平面几何信息数据 ,对于铺在工作台上的箔材作轮廓切割 ,之后 ,工作台下 ,重新送入一层(铺在底层之上)材料 ,并用加热辊滚压 ,与底层粘牢 ,激降一层高度

激光器按对应数据作轮廓切割 ,如此反复直至整个三维零件制作完成.LOM 制作的零件不收缩、不变形 ,精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$,切片厚度 0.05,0.50mm。

3、 选择性激光烧结 SLS

选择性激光烧结 Selected Laser Sintering的生产过程与 SLA 类似,用 CO₂ 红外激光对金属粉末或塑料粉末一层层地扫描加热使其达到烧结温度,最后烧结出由金属或塑料制成的立体结构.

4、 融积成型技术 FDM

融积成型技术(Fused Deposition Modeling)的制造过程是,首先通过系统随机的

- 4 -

Quick slice 和 SupportWorks软件将 CAD 模型分为一层层极薄的截面,生成控制 FDM 喷嘴移动轨迹的几何信息.运作时,FDM加热头把热塑材料(如聚脂塑料、ABS塑料、蜡等)加工到临界状态,在微型机控制下,喷嘴沿着 CAD 确定的平面几何信息数据运动并同时挤出半流动的材料,沉积固化成精确的实际零件薄层,通过垂直升降系统降下新形成层并同样固化之,且与已固化层牢固地连接在一起.如此反复,由下而上形成一个三维实体.FDM 的制作精度目前可达 $\pm 0.127\text{mm}$,连续堆积范围 $0.0254, 0.508\text{mm}$,它允许材料以不同的颜色出现.

5、 其它快速原型制造技术

直接制模铸造 DSPC (Direct Shell Production Casting)来源于三维印刷(3D Printing)快速成型技术.其加工过程是先把 CAD 设计好的零件模型装入模壳设计装置,利用微型机绘制浇注模壳,产生一个达到规定厚度,需要配有模芯的模壳组件的电子模型,然后将其输至模壳制造装置,由电子模型制成固体的三维陶瓷模壳.取走模壳处疏松的陶瓷粉,露出完成的模壳,采用熔模铸造的一般方法对模壳最后加工

,完成整个加工过程.此系统能检测自己的印刷缺陷 ,不需要图纸 ,就可完成全部加工.

光屏蔽(即 SGC—Solid - Ground Curing)由以色列 Cubital 公司开发,该工艺可以在同一时间固化整个一层的液体光聚合物. SGC工艺使用丙烯酸盐类光聚合物材料 ,其制作精度可达整体尺寸的 0.1 %,切片厚度约为 0.1,0.15mm ,Cubital 公司开发的 Solider5600 型产品制作的_{最大工作尺寸}为 508 ×508 ×356mm ,所用紫外光灯功率为 2kW ,每一层循环约化 90s.

MRM(Mitsubishi Chemical Rapid Moulding)
日本三菱化学最近推出的三菱化学快速制模系统,可将原型直接转换成模具 ,采用称作 “金属补强树脂制模(Metal Resin Moulding)复合料” ,制模成本降低为传统制模的 1/2 ,制模时间缩短了 1/2,1/3. 奥斯丁的德克萨斯大学正在研究的高温选择激光烧结(HTSLS) ,在取消聚合物粘结剂方面进行了尝试.结果表明 ,可利用 Cu - Sn 或青铜—镍粉两相粉末 ,采用激光局部熔化低熔点粉末来制造模具

1.1.2 各种成型方法简介及对比

表1.1 几种典型成型工艺的比较

成型工艺	原型精度	表面质量	复杂程度	零件大小	材料价格	利用率	常用材料	制造成本	生产效率	生产费用	设备
SLA	较高	优	中等	中小件	较贵	很高	树脂	较高	高	较贵	
LOM	较高	较差	简单	中小件	便宜	较差	塑料	低	高	便宜	
SLS	较低	中等	复杂	中小件	较贵	很高	石蜡	较低	中等	较贵	
HDM	较低	较差	中等	中小件	较贵	很高	金属	较低	较低	便宜	

1.2 快速成型精度概述

研究成型机的成型精度，提高成型精度，对于RP技术的推广和应用有很重要的影响。制件误差的产生原因见图1-1所示：

光固化成型由三个环节组成：前处理、快速成型加工和后处理。

这三个部分彼此相连，共同完成光固化快速成型过程。每一环节中存在的误差都会影响到最终成型零件的精度。快速成型的精度为机械精度和制件精度。

目前影响快速成型最终精度的主要原因由于下几个方面：

1、CAD模型的前处理造成的误差

目前，对于绝大多数快速成型系统而言，必须对工件的三维CAD模型进行

STL格式化和切片等处理，以便得到一系列的截面轮廓。在对三维CAD模型分层切片前，需作实体模型的近似处理，即用三角面片近似逼近处理表面，其输出的数据为STL文件格式，这种格式非常简单，便于后续的分层处理。STL格式中每个三角面片只用四个数据项表示，即三个顶点坐标和一个法向矢量，而整个CAD模型就是这样一组矢量的集合，STL公式化用许多小三角面去逼近模型的表面，由于以下原因，它会导致误差：

A：

从本质上看，三角面的组合，不可能完全表达实际表面，所以，误差无法避免；

B：

STL公式化时，数据的冗余量太大，致使所需计算机的存储量过大，从而难于选取更小、更多的小三角面，造近似结果与实际表面有更大的误差；

C：另外，在进行ST

L格式转换时，有时会产生一些局部缺陷，例如，在表面曲率变化较大的分界处，可能出现锯齿状小凹坑，从而造成误差。

CAD模型面误差 数据处理误差

分成切片产生误差

方向运动误差Z

机器误差 XY扫描误差

图层误差 制

件 成型过程误差 光斑变化误差 液位波动引起误差

误

多光谱造成误差 差

参数补偿误差 驱 固化成型误差

动器 树脂收缩引起工件变形

后处理误差 残留液态树脂不均

匀收缩引起工件变形

图1.1 制件误差产生原因

2、成型系统的工作误差

CPS250成型机成型系统的工作误差按照组成可分为托板升降误差、X-Y扫描误差和树脂涂层误差。托板升降误差指的是托板的运动精度，它直接影响层厚的精度；X-Y扫描误差指的是X-Y平面扫描系统沿X，Y方向的运动精度，它影响成型零件的尺寸精度和表面光洁度。

3、成型过程中材料状态引起的翘曲变形

在光固化过程中，树脂由液态变为固态，此时单体分子发生聚合反应，分子之间距离改变，相应地造成体积收缩。在这个过程中，伴有加热作用，这些因素会引起制件每层截面的尺寸变化，再加上相邻层间不规则约束，以由收缩而产生的应力会造成零件在加工过程中的变形。如加工一悬臂零件（在悬臂部分不加支撑），可以很明显地

看到由于树脂收缩而造成的变形。

4、成型之后环境度化引起的误差

从成型系统上取下已成型的工件之后，由于温度、湿度等环境状况的变化，工件会继续蠕变并导致误差。成型过程中残留在工件内的残余应力也可能由于时效的作用而部分消失而导致误差。

5、工件后处理造成误差

通常，成型后的工件需进行打磨、抛光和表面涂镀等后处理。如果后处理不当，对形状尺寸控制不严格，也可能导致误差。后处理过程产生的误差可分为三种：一是支撑去除时对表面质量的影响。要求支撑的设计必须合理，不多不少。另外一种是在残留液态树脂的固化引起工件的变形。因此在扫描成型时尽可能使残留树脂为零；成型过程中工件内部的残余应力引起的蠕变也是影响精度的因素之一。设法减小成型过程中的残余应力有利于提高零件的成型精度。

1.3 立体光固造型SLA技术原理

Stereo Lightgraphy

Apparatus又称激光立体造型、激光立体光刻或立体印刷装置。它是基于液态光敏树脂的光聚合原理工作的。这种液态材料在一定波长($\lambda = 325 \text{ nm}$)和功率($P = 30 \text{ mW}$)的紫外光的照射下能迅速发生光聚合反应，相对分子质量急剧增大，材料也就从液态转变成固态。SLA的原理是由CAD系统对准备制造的零件进行

再由专门的计算机切片软件CAD系统的三维造型切割成若干薄三维实体造型设计，

层平面数据模型，但对表面形状变化大和精度要求高的部分应切得薄些，其他一般部位切得厚些。随后CAM软件再根据各薄层平面的X - Y运动指令，在结合提升机构沿Z坐标方向的间歇下降运动

,形成整个零件的数控加工指令.指令输入SLA系统中
,首先是工作台下降至液体容器的液面之下 ,对应于 CAD
模型最下一层切片的厚度处 ,根据该切片的 X- Y平面几何数据
,紫外光照射可固化的液态树脂(如环氧树脂 ,乙烯酸树脂或丙烯酸树脂)
,在紫外光的作用下 ,因光聚合作用 ,第一层被固化在工作台上.然后
,升降工作台下降至第二层切片厚度
,激光器按照该层切片的平面几何数据扫描液面
,使新一层液态树脂固化并紧紧粘长在前一层已固化的树脂上。如此反复
“生长” ,直至形成整个三维实体零件.如图所示:

- 8 -

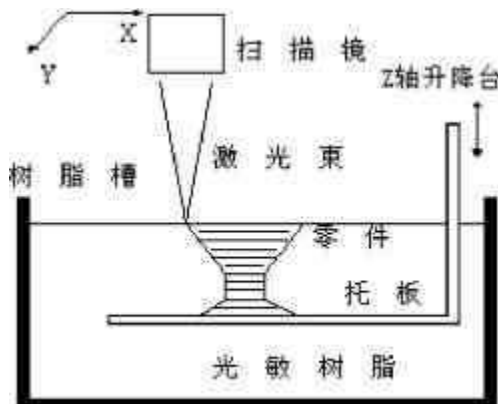


图1.2 立体光固造型SLA技术原理图

1.4 立体光固造型SLA国内外现有技术水平

立体光固造型

SLA方法是目前世界上研究最深入、技术最成熟、应用最广泛的一种快速成型方法。

目前 ,研究SLA方法的有 3D System 公司、EOS 公司、F&S 公司、CMET 公司、D - MEC 公司、Teijin Seiki 公司、Mitsui Zosen公司、西安交通大学等.美国 3D System公司的 SLA 技术在国际市场上占的比例最大 ,其设备自 1988 年推出 SLA - 250 机型以后 ,又于1997 年推出 SLA - 250HR,SLA - 3500 ,SLA -

5000三种机型,在技术上有了长足进步.其中,SLA-3500和SLA-5000使用半导体激励的固体激光器,扫描速度分别达到2.54 m/s和5m/s,成型层厚最小可达0.05 mm.此外,还采用了一种称之为Zephyr recoating system的新技术,该技术是在每一成型层上,用一种真空吸附式刮板在该层上涂一层0.05,0.1 mm的待固化树脂,使成型时间平均缩短了20%.该公司于1999年推出的SLA-7000机型与SLA-5000机型相比成型体积虽然大致相同,但其扫描速度却达9.52m/s,平均成型速度提高了4倍,成型层厚最小可达0.025 mm,精度提高了1倍。

国内对SLA技术的研究始于90年代初,一些高校在其成型理论、控制技术、

取得了显著成果.目前西安交通大学开发成型材料等多方面都进行了大量的研究工作,

的LPS-600A型快速成型系统,已有商品化产品.

国内外研究者在SLA技术的成形机理、控制制件变形、提高制件精度等方面进行了大量研究。

1.5 立体光固造型SLA应用领域

美国克莱斯勒公司(Chrysler)就用SLA工艺制成了车体模型,将其放在高速风洞中进行空气动力学试验分析;此外美国Dayton大学还利用SLA工艺研制了一种桌面成型系统专门用于人体软组织器官模型的建造。

- 9 -

1.6 本次设计的主要工作

1.6.1 主要设计工作

- 1、固化用激光扫描装置设计;
- 2、浸于树脂液体中的升降托盘设计;
- 3、刮刀机构设计;
- 4、整机总装配图设计;

1.6.2 设计参数

- 1、成型空间:400*400*300mm
- 2、激光头最大运行速度:80mm/s;
- 3、激光头定位精度:0.005mm
- 4、上拖板、激光聚焦系统以及直线导轨轴等的总重量:约10kg
- 5、最大成型件重量:约为10kg
- 6、固化深度/托盘的层间下降距离:0.1mm
- 7、Z向定位精度:0.01mm

1.6.3 设计思路及主要问题

——Y扫描系统，

Z方向工作台升降系采用分块设计的思路，机械结构主要分X系统，刮刀机构等三部分。

1、X-Y扫描系统的机械结构

成型机的扫描系统采用高精度的X-Y
动工作台，它带动光纤和聚焦镜完成零件的二维扫描成型。其结构为步进电机带动滚珠丝杠驱动扫描头作X-Y平面运动，扫描范围为400x400mm，重复定位精度0.

005mm。为减轻质量，提高响应速度，选用铝材进行设计，并选取大扭矩输出的高频响应电机。

扫描系统结构由计算机、X-

Y扫描头、聚焦镜头、直线圆柱滚动导轨、滚珠丝杠、步进电机等组成。

由于混合式步进电机具有体积小、力矩大、低频特性好、运行噪音小、失电自锁等优点，X，

Y方向都采用了这种电机。为减少X方向负载的质量，连接板及电机座采用铝材。

2、Z轴升降系统

Z轴升降系统完成零件支撑及在Z轴方向运动的功能，它带动托板上下移动。每固化一层，托板要下降1个层厚。它是实现零件堆积的主要过程，必须保证其定位精度。定位精度的好坏直接影响成型零件的尺寸精度、表面光洁度以及层与层之间的粘接性能。采用步进电机驱动，精密滚珠丝杠传动及精密导轨导向结构。驱动电机采用

- 10 -

混合式步进电机，配合细分驱动电路，与滚珠丝杠直接联接实现高分辨率驱动，省去了中间齿轮级传动，既减小了尺寸又减小了传动误差。

成形零件时，托板经常做下降、提升运动，为了减少运动时与托板对液面的搅动，并且便于成型后的零件从托板上取下，需将托板加工成筛网状，网孔大小、孔距设计要合理，既能使零件的基础与其能牢固粘结，又要使托板升降运动时最小限度地阻碍液体流动。此外，考虑到树脂有一定的酸性作用，所以浸泡在树脂内的材料全部选用铝合金或不锈钢材料，一方面防腐；另一方面防止普通钢和铸铁对树脂的致凝作用。由于在正常工作在状态下，吊梁悬臂较长，为避免托板Z方向上下运动时造成吊梁扭曲变形，吊梁采用 2m 不锈钢板做成中空行管结构的形状。

3、刮平系统

由于树脂的粘性及固化树脂的表面张力作用，如仅仅依赖树脂的流动而达到液面平整的话，就会需要很长的时间，特别是在固化面积较大的零件时。刮平运动可以使液面尽快流平，提高涂层效率。

刮平过程包括两个步骤:第一步托板下降较大的深度并稍作停顿，这一过程是为了克服液态树脂与固化层面的表面张力，使树脂充分覆盖已固化的一层，然后上升至比上一层低一个层厚的位置。第二步刮板按设定次数作刮平运动，其作用是把涂敷在零件表面的多余树脂刮掉。刮平后，树脂液面并不是完全平整，仍存在着一些波动，尚需等待一定的时间才能平整。等待时间的长短要根据树脂的流动性、零件尺寸的大小而定。

- 11 -

第2章 XY方向设计计算

成型机的扫描系统采用高精度的X-Y工作台，它带动光纤和聚焦镜完成零件的二维扫描成型。其结构为步进电机带动滚珠丝杠驱动扫描头作X-Y平面运动，扫描范围为400x400mm，重复定位精度0.005mm。为减轻质量，提高响应速度，选用铝材进行设计，并选取大扭矩输出的高频响应电机。

扫描系统结构由计算机、X-Y扫描头、聚焦镜头、直线滚动导轨、滚珠丝杠、步进电机等组成。由于混合式步进电机具有体积小、力矩大、低频特性好、运行噪音小、失电自锁等优点，X, Y方向都采用了这种电机。

2.1 设计任务

机械结构装配图，A1图纸一张。要求重要剖面表达完整，向视表达完整，视图适合标准。

2.1.1 设计参数

3110, mm分辨率

t_p 由静止到最大快进速度过度时间 17ms,19ms

工作台行程 x向 400mm

y向 400mm

最大快进速度 x向和y向 80mm/s

,0.005mm定位精度

2.1.2 方案的分析、比较、论证

西安交通大学开发的cps250成型机XY扫描系统，其扫描范围为250mm x250mm，运动方式采用步进电机驱动高精同步带的方式，其传动较为平稳，传动件质量比较小，运动特性好。但工作行程较短，本设计扫描范围400mmX400mm,行程较长，若采用步进电机驱动高精同步带的传动方式，会出现抖动现象，对扫描的精度不利。故本次设计采用步进电机驱动滚珠丝杠的传动方式，中间没有其他部件降低传动精度损失，使运动较为平稳。

1、XY方向扫描进给系统的总体方案设计考虑以下几点:

A(工作台应具有沿纵向和横向往复运动、暂停等功能，因此数控控制系统采用连

- 12 -

续控制系统。

B(在保证一定加工性能的前提下，结构应简单，以求降低成本。因此进给伺服系统采用步进电机开环控制系统。

C(

纵向和横向进给是两套独立的传动链，它们各自由各自的步进电动机、波纹管、丝杠螺母副组成。

D(

为了保证进给伺服系统的传动精度和平稳性，选用摩擦小、传动效率高的滚珠丝杠螺母副，并应有预紧装置，以提高传动刚度和消除间隙。

E(为减少导轨的摩擦阻力，选用滚动直线导轨。

2、进给伺服系统总体方案方框图如下页图2.1所示:

X向 功驱

率 动步 进 放 电 机 器 大 波 纹 管 微

Y向 机 功驱 率动步 进 放 电 机 器 大 波 纹 管

图2.1 进给伺服系统总体方案方框图

2.2 脉冲当量和传动比的确定

2.2.1 脉冲当量的确定

δ 为系统分辨率。本设计中， $\delta = 0.0110 \text{ mm}$ 。

2.2.2 传动比的确定

当 $i=1$ 时，可使步进电机直接与丝杠联接，有利于简化结构，提高精度。因此本

设计中取 $i=1$ 。

2.2.3 确定步进电机步距角

- 13 -

根据公式

$$\delta = \frac{L_b}{i \cdot 360} \quad (2.1)$$

其中 i 为传动比，

δ 为电机步距角，

L_0 为滚珠丝杠导程，

ρ 为脉冲当量。

因为 $L_0 = 4\text{mm}$ ， $\rho = 0.001\text{mm}$ ，现取 $L_0 = 4\text{mm}$ ，可得 $\rho = 0.001$ 。由于其步距角很小，所以将采用有细分电路的驱动结构。

2.3 丝杠的选型及计算

2.3.1 计算丝杠受力

由于工作台质量较小，且只承担传动作用，不承受任何切削力，故本设计中只考虑导轨摩擦力和系统加减速时的惯性力。

1、导轨摩擦力的计算

根据摩擦力计算公式：

$$f = mg\mu \quad (2.2)$$

m_x X向：工作拖板质量 = 10kg 采用滚动导轨， $\mu = 0.005$

$$f_x = m_x g \mu = 10 \times 9.8 \times 0.005 = 0.49\text{N} \quad x_x$$

m_y Y向：取激光头及移动部件质量为 = 3kg $\mu = 0.005$

$$f_y = m_y g \mu = 3 \times 9.8 \times 0.005 = 0.147\text{N} \quad y_y$$

2、工作台惯性力的计算

取平均加速时间 $t = 18\text{ms}$ ，由于系统最大移动速度 = 80，经计算得，系统 $\max s$

$$a = \frac{v}{t} = \frac{80}{0.018} = 4444.44\text{m/s}^2$$

$$F_x = m_x a = 10 \times 4.4 = 44\text{N} \quad x_1$$

$$maF = 3 \times 4.4 = 13.2 \text{ N} \quad y_2$$

2.3.2 滚珠丝杠螺母副的选型和校核

由于转速较大，滚珠丝杠螺母副初步选型的主要依据其使用寿命选择丝杠的基本

- 14 -

尺寸并较核其承载能力是否超过额定动载荷。

1、最大工作载荷的计算

本设计中，工作台最大载荷应该是导轨摩擦力与加减速惯性力的总和

所以，

$$F_{440.4944.49, \dots, FfN_{x1x} \text{X向:}$$

$$F_{13.20.14713.347, \dots, FfN_{y2y} \text{Y向:}$$

C2、最大动载荷的计算和主要尺寸的初选

C滚珠丝杠最大动载荷可用下式计算：

$$K_h C_{,,} F (2.3) K f_{, n}$$

式中:F — 滚珠丝杠副的轴向负荷(N)

$f_{,}$ -- 影响滚珠丝杠副寿命的综合系数;

$$f_{tt} f_{hh} f_{aa} f_{ww} f_{kk} = 0.95, 1.0, 1.0, 0.33 \text{ thakf}_{,,}, 0.285, f_{1.1w}$$

f_{tt} 为温度系数 工作温度小于125，=0.95 f_{hh} 为硬度系数

硬度大于58HRC，=1.0 f_{aa} 为精度系数 精度等级取三级，=1.0

f_{ww} 为负荷性质系数 无冲击平稳运转，=1.1 f_{kk} 为可靠性系数

可靠度98%，=0.33 C_a --滚珠丝杠副的额定动负荷(N)

C -- 滚珠丝杠副的计算动负荷(N)

L_{hh} -- 各类机械所用的滚珠丝杠的推荐寿命,取15000h

K_{hh} -- 寿命系数, $K_{hh} = 500$

K_n -- 转速系数, $K_n = 0.3$

经计算得:

X向 $C = 1613\text{N}$ Y向 $C = 483.9\text{N}$ 查《机电一体化系统设计手册》P770,
本设计选内循环浮动返回器双螺母垫片预

紧滚珠丝杠副FFZ1604,其参数如下:

- 15 -

公称直径 d , 16mm

基本导程, 4mm

滚珠直径, D_2 , 丝杠螺旋升角, α : 3.39°

额定动载荷, C_0

额定静载荷 C_1

选取丝杠精度等级为1级。

3、传动效率计算

滚珠丝杠螺母副的传动效率为

$\eta = \frac{\tan(\alpha - \phi)}{\tan(\alpha + \phi)}$

式中: α 为丝杠螺旋升角,

ϕ 为摩擦角, 滚珠丝杠副的滚动摩擦系数, 0.003, 0.005,

,10其摩擦角约等于。

,, $tg\alpha = 3:39$, 所以, $\mu = 0.96$, $tg(\phi) = tg(3:39 + 10)$

4、定位精度验算

滚珠丝杠副的轴向刚度会影响进给系统的定位精度和运动平稳性。由于轴向刚度不足引起的轴向变形量一般不应大于机床定位精度的一半。滚珠丝杠副的轴向变形包括丝杠的拉压变形、丝杠与螺母之间滚道的接触变形、丝杠的扭转变形引起的纵向变形以及螺母座的变形和滚珠丝杠轴承的轴向接触变形。滚珠丝杠的扭转变形较小，对纵向变形的影响更小，可忽略不计。螺母座只要设计合理，其变形量也可忽略不计，只要滚珠丝杠支承的刚度设计得好，轴承的轴向接触变形在此也可以不予考虑。

,1A(丝杠的拉压变形量

滚珠丝杠应计算满载时拉压变形量，其计算公式为

$$FL_m, \dots (2.5) \pm EA$$

,1式中:为在工作载荷作用下丝杠总长度上拉伸或压缩变形量(mm);

F_m 为丝杠的工作载荷(N);

L 为滚珠丝杠在支承间的受力长度(mm);

E 为材料弹性模量，对钢 $E, 20.6 \times 10^4 \text{MPa}$;

A 为滚珠丝杠按内径确定的截面积(mm^2); “+”号用于拉伸，“-”号用于压

- 16 -

缩。

根据滚珠直径 $D, 2\text{mm}$ ， w

$RD\text{mm}, \dots, 0.520.5221.04$ 螺纹滚道曲率半径 w

滚珠直径 $D_{mm_w,2}$

偏心距 $e_{RD_{mm,11},11},0.707(/2)0.707(1.042/2)0.028_w$

螺杆小径 $d_{221620.02821.0413.98,11,11,11,11,11},deR_{mm_1m}$

,3.14₂₂₂ 滚珠丝杆按内径确定的截面积,11,11,Ad13.98153.42 mm_144

其中, d 为丝杠公称直径。为丝杠底径。 $d_{d_{m1}}$

取X向进给的丝杠长度L,550mm, Y向进给的丝杠长度L,550mm。

44.49550, 所以, X向:,11,11,0.75 $m_{14}20.610153.42,11,11,$

13.347550, Y向:,11,11,0.22 $m_{14}20.610153.42,11,11,$

,₂B(丝杠与螺母间的接触变形量

该变形量与滚珠列、圈数有关,即与滚珠总数量有关,与滚珠丝杠长度无关。其

计算公式:

$$F_m (2.6) , , c K_c$$

式中: 为滚珠丝杠的工作载荷(N); F_m

为丝杠副的接触刚度,查表取 = 580N/,m。 $K K_c c$

44.49,,,,0.08m所以, X向: $c_x 580$

13.347,,,,0.02m Y向: $c_y 580$

,11,11,12丝杠的总的变形量应小于允许的变形量。一般不应大于机床进给系统

规定的定位精度值的一半。

....., 0.75, 0.080.83 m 因为, X向: 12

....., 0.220.020.24 m Y向: 12

, m 取丝杠精度等级为1级, 其有效工作行程内的误差为6, 加上丝杠副的总变形

, m, m 量 0.83、0.24, 可以满足机床的定位精度 0.01/400 的要求。

5、压杆稳定性验算

滚珠丝杠通常属于受轴向力的细长杆, 若轴向工作载荷过大, 将使丝杠失去稳定

F 而产生纵向弯曲, 即失稳。失稳时的临界载荷为 κ

- 17 -

$2 f E J_1 (2.7) , F K_{12} L_0$

$4 d, 42$ 式中: J 为丝杠轴最小截面惯性矩, 对丝杠圆截面, (d 为丝杠底 J, () $m_2 64$

径,); $d d D, 1.2 20 w$

L 为丝杠最大工作长度(m);

$11 E$ 为材料的拉、压弹性模量, 对钢 $E, 2.1 \times 10^4 \text{ Pa}$;

为丝杠支承方式系数。本设计中, 丝杠为长丝杠, 故支承方式选用一端轴向固 f_1

定一端游动, 即, 2; f_1

为安全系数, 取 $= 1/3 K K_{11}$

$44, d 3.140.0136, , 942. J m, , 1.710() 6464$

$2119, 23.142.1101.7101, , , , F$ 所以: $, , , 14666.2 \kappa 2 0.43$

临界载荷远大于丝杠工作载荷($= 44.49\text{N}$,
 $= 13.347\text{N}$), 因此滚珠丝 $FFFF_{mmymxk}$

杠不会失稳。

2.4 导轨的选型及计算 2.4.1 初选导轨型号

导轨为直线滚动导轨, 根据纵向最大动载荷 $C = 1613\text{N}$, 横向最大动载荷 C

483.9N , 通过查《机电一体化系统设计手册》表2.9-38
P893, 初选3条导轨的型号

都为GTB16。其参数如下:

$,,, 16650\text{mm/mm}$,

2.4.2 计算滚动导轨副的距离额定寿命

滚动导轨副的距离额定寿命可用下列公式计算:

滚动体为球时

$$L = \frac{C}{F} \cdot \frac{1}{f_T} \cdot \frac{1}{f_C} \cdot \frac{1}{f_V} \cdot 50L, \quad (2.8) \quad ,, Ff_{w,,}$$

L 式中:为滚动导轨副的距离额定寿命(km);

- 18 -

C_{aa} 为额定载荷(N), 从《机电一体化设计手册》表2-10查得, 8820N ;

f_T 为温度系数, 当工作温度不超过 100°C 时, 1 ;

f_C 为接触系数, 每根导轨条上装二个滑块时, 0.81 ;

f_V , $15 v_{w\min}$ 为载荷/速度系数, 无外部冲击或振动的低速运转场合时, 1.2

。

F为每个滑块的工作载荷(N)。

$F_{x,1}, F_{x,2}, F_{x,3}, F_{x,4} / 444.49 / 411.12 \text{ mX向:}$

$F_{y,1}, F_{y,2}, F_{y,3}, F_{y,4} / 13.347 \text{ mY向:}$

所以, X向:

$L_{x,1}, L_{x,2}, L_{x,3}, L_{x,4} \geq 88201.010.81, 507.710 \text{ km}, 11.121.2,$

Y向:

$L_{y,1}, L_{y,2}, L_{y,3}, L_{y,4} \geq 88201.010.81, 507.610 \text{ km}, 13.3471.2,$

L 均大于滚动导轨的期望寿命, 满足设计要求, 初选的滚动导轨副可采用。

2.5 步进电机的选择

步进电机是一种将电脉冲转化为角位移的执行机构。当步进驱动器接收到一个脉冲信号, 它就驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度(称为“步距角”), 它的旋转是以固定的角度一步一步运行的。可以通过控制脉冲个数来控制角位移量, 从而达到准确定位的目的;同时可以通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度, 从而达到调速的目的。步进电机可以作为一种控制用的特种电机, 利用其没有积累误差(精度为100%)的特点, 广泛应用于各种开环控制。

现在比较常用的步进电机包括反应式步进电机(VR)、永磁式步进电机(PM)、混合式步进电机(HB)和单相式步进电机等。

永磁式步进电机一般为两相, 转矩和体积较小, 步进角一般为7.5度或15度;

反应式步进电机一般为三相, 可实现大转矩输出, 步进角一般为1.5度, 但噪声和振动都很大。反应式步进电机的转子磁路由软磁材料制成, 定子上有多相励磁绕组, 利用磁导的变化产生转矩。

混合式步进电机是指混合了永磁式和反应式的优点。它又分为两相和五相:两相步进角一般为1.8度而五相步进角一般为0.72度。这种步进电机的应用最为广泛,也是本次细分驱动方案所选用的步进电机。

步进电机的一些特点:

1、一般步进电机的精度为步进角的3-5%,且不累积。

- 19 -

2、步进电机外表允许的最高温度。

步进电机温度过高首先会使电机的磁性材料退磁,从而导致力矩下降乃至于失步,因此电机外表允许的最高温度应取决于不同电机磁性材料的退磁点;一般来讲,磁性材料的退磁点都在摄氏130度以上,有的甚至高达摄氏200度以上,所以步进电机外表温度在摄氏80-90度完全正常。

3、步进电机的力矩会随转速的升高而下降。

当步进电机转动时,电机各相绕组的电感将形成一个反向电动势;频率越高,反向电动势越大。在它的作用下,电机随频率(或速度)的增大而相电流减小,从而导致力矩下降。

4、步进电机低速时可以正常运转,但若高于一定速度就无法启动,并伴有啸叫声。

5、步进电机相对普通电机来说,他可以实现开环控制,即通过驱动器信号输入端输入的脉冲数量和频率实现步进电机的角度和速度控制,无需反馈信号。但是步进电机不适合使用在长时间同方向运转的情况,容易烧坏产品,即使用时通常都是短距离频繁动作较佳。

2.5.1 传动系统等效转动惯量计算

传动系统是转动惯量是一种惯性负载,在电机选用时必须加以考虑。由于传动系统的各传动部件并不都与电机轴同轴线,还存在各传动部件转动惯量向电机轴折算问题。最后,要计算整个传动系统折算到电机轴上的总转动惯量,即传动系统等效转动惯量。本设计需要对丝杠,工作台进行转动惯量的计算。

J_{s1}、滚珠丝杠转动惯量的折算

滚珠丝杠转动惯量:

$$J_{DL} = 7.810 \times 10^{-6} D_m^4 L_0 \quad (2.9)$$

D_m 其中为丝杠公称直径(cm),

L_0 为丝杠有效行程(mm)

$$J_{DL} = 7.810 \times 10^{-6} \times 1.64002 \times 0.04 \times 10^3 = 0.000204 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

J_{G2}、工作台质量的折算

J_G 工作台是移动部件,其移动质量折算到滚珠丝杠轴上的转动惯

可按式(2.10)进行计算:

$$J_G = \frac{1}{2} M L_0^2 \quad (2.10)$$

- 20 -

式中, L_0 为丝杠导程(cm); L_0

M 为工作台质量(kg)。

$$\text{所以, X向: } J_{Gx} = \frac{1}{2} \times 100.04 \times (0.04)^2 = 0.080016 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{Y向: } J_{Gy} = \frac{1}{2} \times 100.04 \times (0.03)^2 = 0.045018 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

J₃、传动系统等效转动惯量计算

2X向: *JJkgcm, , , ,,2.040.042.08,SG*

2Y向: $JJKgcm, , , , 2.040.0122.052, SG$

2.5.2 所需转动力矩计算

步进电机空载启动是指电机在没有外加工作负载下的启动。步进电机所需空载启动力矩可按下式计算:

$$(2.11) \quad M_{am} = M_a + M_f + M_0$$

M_a 式中:为空载启动力矩(N·cm);

M_{amax} 为空载启动时运动部件由静止升速到最大快进速度,折算到电机轴上的加速力矩(N·cm);

M_f 为空载时折算到电机轴上的摩擦力矩(N·cm);

M_0 为由于丝杠预紧,折算到电机轴上的附加摩擦力矩(N·cm)。

M 有关的各项力矩值计算如下:

1、加速力矩

$$M_a = J \cdot \alpha \quad (2.12) \quad \alpha = \frac{v_{max}}{t} \quad t = \frac{60}{v_{max}} \cdot \frac{v_{max}}{n} = \frac{60}{n} \cdot \frac{v_{max}}{v_{max}} = \frac{60}{n}$$

$$M_a = J \cdot \alpha \quad (2.13) \quad \alpha = \frac{v_{max}}{t} \quad t = \frac{60}{n} \cdot \frac{v_{max}}{v_{max}} = \frac{60}{n}$$

J 为传动系统等效转动惯量; α 为电机最大角加速度; v_{max} 为与运动部件最大快进速度对应的电机最大转速; t 为运动部件从静止启动加速到最大快进速度所

需的时间, v_{max} 为运动部件最大快进速度; θ 为初选步进电机的步距角; ρ 为脉冲当量。

$$M_a = J \cdot \alpha \quad \alpha = \frac{v_{max}}{t} \quad t = \frac{60}{n} \cdot \frac{v_{max}}{v_{max}} = \frac{60}{n}$$

X向:

$2, n_{23} \cdot 141200, \dots, \dots, 22_{max}$

$M_{Jmm}, \dots, \dots, 102.0810145.14_{amax}, 60600.018 t, Y$ 向:

$2, n_{23} \cdot 141200, \dots, \dots, 22_{max}$

$M_{Jmm}, \dots, \dots, 102.0510143.18_{amax}, 60600.018 t, 2、空载摩擦力矩$

$GfL_0 (2.14) M, f_{2,,} i$

G 式中:为运动部件的总重量; f 为导轨摩擦系数; f

i 为传动降速比;

为传动系数总效率, 取, 0.8; \dots

为滚珠丝杠的基本导程。 L_0

$\dots, \dots, 109.80.0050.4 M_{mm}, \dots, X$ 向: $0.04 f, \dots, \dots, 23.140.81$

$\dots, \dots, 39.80.0050.4 M_{mm}, \dots, Y$ 向:

$0.01 f, \dots, \dots, 23.140.81$ 3、附加摩擦力矩

$PL_{200} (2.15) M_{,,} 1, \dots, \dots, 002 i_{,,}$

式中:为滚珠丝杠预紧力, $=/3$;

PPF_{00x} 为滚珠丝杠预紧时的传动效率, 现取, 0.9。 $\dots, 00$

$44.490.4, \dots, 2 M_{mm}, \dots, \dots, 10.90.506 X$ 向: $\dots, \dots, 063.140.81, \dots, \dots$

$13.3470.4, \dots, 2 Y$ 向: $M_{cmm}, \dots, \dots, 10.90.152, \dots, \dots, 063.140.81, \dots, \dots$

所以, 步进电机所需空载启动转矩:

$M_{qX} = 145.140.040.506145.686$ X向: $a_{fmax}0$

$M_{qY} = 143.180.010.152143.342$ Y向: $a_{fmax}0$

M_q 步进电机所需空载启动所需转矩 M ，步进电机启动力矩关系如下：

$M_{q0.4}$

$M_{qX} = 0.364 M$ 所以，X向: $= 364.215 q$

$M_{qY} = 0.358 M$ Y向: $= 358.355 q$

- 22 -

为满足最小步距角要求，查表知步进电机最大静转矩与步进电机启动力矩 M_{jmax}

的关系为：

(2.16) M_{qjmax}

查《经济型数控机床系统设计》表7-2 P347得,0.866。所以，

X向: $M_{qX} = 0.42 M_{jmax}$

Y向: $M_{qY} = 0.413 M_{jmax}$

综合考虑，查表选择57BYG096型步进电机，如图2.2、2.3所示：



图2.2 步进电机

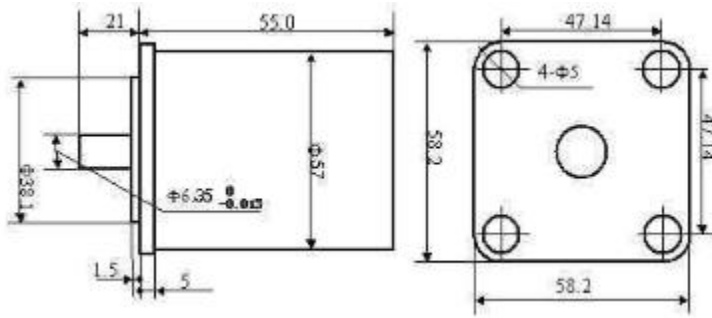


图2.3 步进电机外形尺寸

表2-1 电机参数

电机型号 相数 步距角 最大静转矩 电压 相电流 分配方式 57BYG096 2
0.75(N.m) DC 24V 3 A 1.8 (:)双相四拍

2.6 本章小结

本章是主要针对X-

Y扫描机构的设计，首先要明确设计任务，然后确定脉冲当量

- 23 -

和传动比，丝杠及导轨的选型及相应的计算，最后通过计算确定X-Y方向的驱动电机。

- 24 -

第3章 Z方向设计计算

3.1 Z方向工作台设计

Z轴升降系统完成零件支撑及在Z轴方向运动的功能，它带动托板上下移动。每固化一层，托板要下降1个层厚。它是实现零件堆积的主要过程，必须保证其定位精度。定位精度的好坏直接影响成型零件的尺寸精度、表面光洁度以及层与层之间的粘接性能。采用步进电机驱动，精密滚珠丝杠传动及精密导轨导向结构。驱动电机采用混合式步进电机，配合细分驱动电路，与滚珠丝杠直接联接实现高分辨率驱动，省去了中间齿轮级传动，既减小了尺寸又减小了传动误差。

成形零件时，托板经常作下降、提升运动，为了减少运动时对液面的搅动，并且便于成型后的零件从托板上取下，需将托板加工成筛网状，网孔大小孔距设计要合理，既能使零件的基础与其能牢固粘结，又要使托板升降运动时最小限度地阻碍液体流动，本设计中取孔距5mm，孔径3mm。此外，考虑到树脂有一定的酸性作用，所以浸泡在树脂内的材料全部选用铝合金或不锈钢材料，一方面防腐；另一方面防止普通钢和铸铁对树脂的致凝作用。由于在正常工作在状态下，吊梁悬臂较长，为避免托板Z方向上下运动时造成吊梁扭曲变形，吊梁采用 2mm 不锈钢板做成中空行管结构的形状。 3.1.1设计任务

机械结构装配图，A0图纸一张。要求重要剖面表达完整，向视表达完整，视图适合标准。

3.1.2 设计参数

3110, mm系统分辨率

t_p 由静止到最大快进速度过度时间 11ms,13ms

1工作台行程 300mm

60最大快进速度 m/s

0.01 mm定位精度

3.1.3 方案的分析、比较、论证

1、Z方向扫描进给系统的总体方案设计应考虑因素

A(工作台应具有沿纵向往复运动、暂停等功能，因此数控控制系统采用连续控

制系统。

B(在保证一定加工性能的前提下，结构应简单，以求降低成本。因此进给伺服

系统采用步进电机开环控制系统。

C(为了保证进给伺服系统的传动精度和平稳性，选用摩擦小、传动效率高的滚

珠

丝杠螺母副，并应有预紧装置，以提高传动刚度和消除间隙。

D(为减少导轨的摩擦阻力，选用滚动直线导轨。

2、进给伺服系统总体方案方框图

Z向 功微 驱 步进 率 动 电机 放机 器

大

图3.1 进给伺服系统总体方案方框图

3.2 脉冲当量和传动比的确定 3.2.1 脉冲当量的确定

δ 为脉冲当量， mm 脉冲当量即系统分辨率。本设计中， $\delta = 0.01mm$ ，

当 $i=1$ 时，可使步进电机直接与丝杠联接，有利于简化结构，提高精度。因此本

设计中取 $i=1$ 。

3.2.3 确定步进电机步距角

根据公式

$$\theta = \frac{L}{i} \cdot \frac{2\pi}{360} \cdot \frac{1}{p} \quad (3.1)$$

其中 i 为传动比，

θ 为电机步距角， b

L 为滚珠丝杠导程， 0

p 为脉冲当量。

- 26 -

因为 $i=1$ ， $\theta=0.001\text{mm}$ ，现取 $L=4\text{mm}$ ，可得 $\theta=0.09$ 。由于其步距角很小， $\theta \ll \frac{L}{p}$

所以将采用有细分电路的驱动结构。

3.3 丝杠的选型及计算 3.3.1 计算丝杠受力

由于工作台质量较小，且只承担传动作用，不承受任何切削力，故本设计中只考

虑导轨摩擦力和系统加减速时的惯性力。

1、移动件及最大成型件重量的计算

根据摩擦力计算公式：

$$G = mg \quad (3.2)$$

m_{12} 移动部件质量 = 10kg 最大成型件重量 = 10kg

$$G = 20 \times 9.8 = 196\text{N}$$

2、3.3.1.2 工作台惯性力的计算

$m=$ ，经计算得，系统加取平均加速时间 $t=12\text{ms}$ ，由于系统最大移动速度 $V_{\max} \leq 60$

$m1.4$ 速度 $a = 25$

$= 20 \times 1.4 = 28N$ Fma_1

3.3.2 滚珠丝杠螺母副的选型和校核

由于转速较大，滚珠丝杠螺母副初步选型的主要依据其使用寿命选择丝杠的基本

尺寸并较核其承载能力是否超过额定动载荷。

1、最大工作载荷的计算

本设计中，工作台最大载荷应该是导轨摩擦力与加减速惯性力的总和

所以，

$F19628224, , , , FGN_1$

C2、最大动载荷的计算和主要尺寸的初选

C滚珠丝杠最大动载荷可用下式计算：

$K_h C_{,,} F (3.3) K f_{,n}$

式中：

F — 滚珠丝杠副的轴向负荷(N)

- 27 -

f -影响滚珠丝杠副寿命的综合系数；

$fff0.95, 1.0, 1.0, 0.33$ $thak f_{,,}0.285, f1.1w$

为温度系数 工作温度小于125， =0.95 ff_{tt} 为硬度系数

硬度大于58HRC， =1.0 ff_{hh} 为精度系数 精度等级取三级， =1.0

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/276223112014010141>