

三轴数控机床激光切割造物项目作品创作方案

项目作品案例名称：三轴数控机床

作品案例类别：智能装置类

作者：陈德新

单位：哈尔滨市师范附属小学校

指导：龙丽嫦

单位：广州市电化教育馆

涉及学科或专业领域：立体几何、机械制图，数控编程，数控加工工艺，数控机床系统，计算机辅助编程，电工电子技术基础。

一、项目作品概述

想利用激光切割制作一个低成本的数控机床。原有工业级别的数控机床整体为全金属结构，成本自然会很高，价格过万元，并不适合普及教育教学使用。为了降低成本，不减少数控机床基本使用功能，还能完成日常教学使用，价格还能得到广大师生认可。真对问题调查多款工业级别数控机床的一个共同点，主体框架是非常厚重的铸铁结构，制作成本占一半左右，将铸铁框架修改为木质结构，成本可以降低很多。制作数控机床价格就降下来了。本创作方案作为创客开源文化“技术方案”分享，能够促进数控机床教学，加快师生掌握数控领域知识，降低学习数控门槛，提高数控机床的生产与发展。设计一台三轴数控机床，可以实现“木工雕刻”，考虑作品开发迭代性，本次提交是一代产品，二代产品可以实现偏心刀剪纸功能，三代可以实现单头 3D 打印功能。二代三代功能资料在梳理阶段。

设计创意：用多层实木板代替铸铁材料，用激光切割技术代替铸造工艺，底座采用板材开孔穿过结构，利用铆钉固定安装结构，机床有多个通用配件组

成，通用配件之间连接，需要制作连接零件，可以使用激光切割技术完成制作。用激光切割技术加工 610mm 长的板材，切割出来的配件精度是非常精确的，配件组装能够紧密配合。双 Y 轴驱动电机安装板采用激光切割的板材加持同步带，激光切割板材高精度保证了传动轮、惰轮安装孔的同心精确度。X 轴驱动电机安装，利用激光切割多块板材叠加方式加持传动同步带，多块板材叠加方式使用，充分体现了激光切割配件实用价值，虽然是木板结构确可以承受 X 轴向往复运行负荷。激光切割技术解决设计个性化配件加工问题，更大的优点是用激光切割板材制作教具的成本远低于铸铁制造成本。

作品功能： 预计“写字机器人”，“木工雕刻机”，“3D 打印机”

机床箱体材料为木质，考虑机床负载能力，试机时首先考虑写字功能，因为写字“反作用力”比“雕刻阻力”小，所以预设“写字功能”可以实现。木工雕刻功能的实现，需要考虑用刀具切削木材受到的阻力，阻力的大小受切削的速度影响，在木材雕刻时一定要考虑不能损坏机床结构，多方面考虑问题得出，雕刻木材刀具“进给速度”一定要从低速开始试机，通过经验确定设置速度为“5mm/秒”逐渐加速。 确定木材雕刻同样是可以实现。

三轴数控机床总览图

红色成品 自主设计 自主激光切割设计 自主电路设计 机床通讯电路

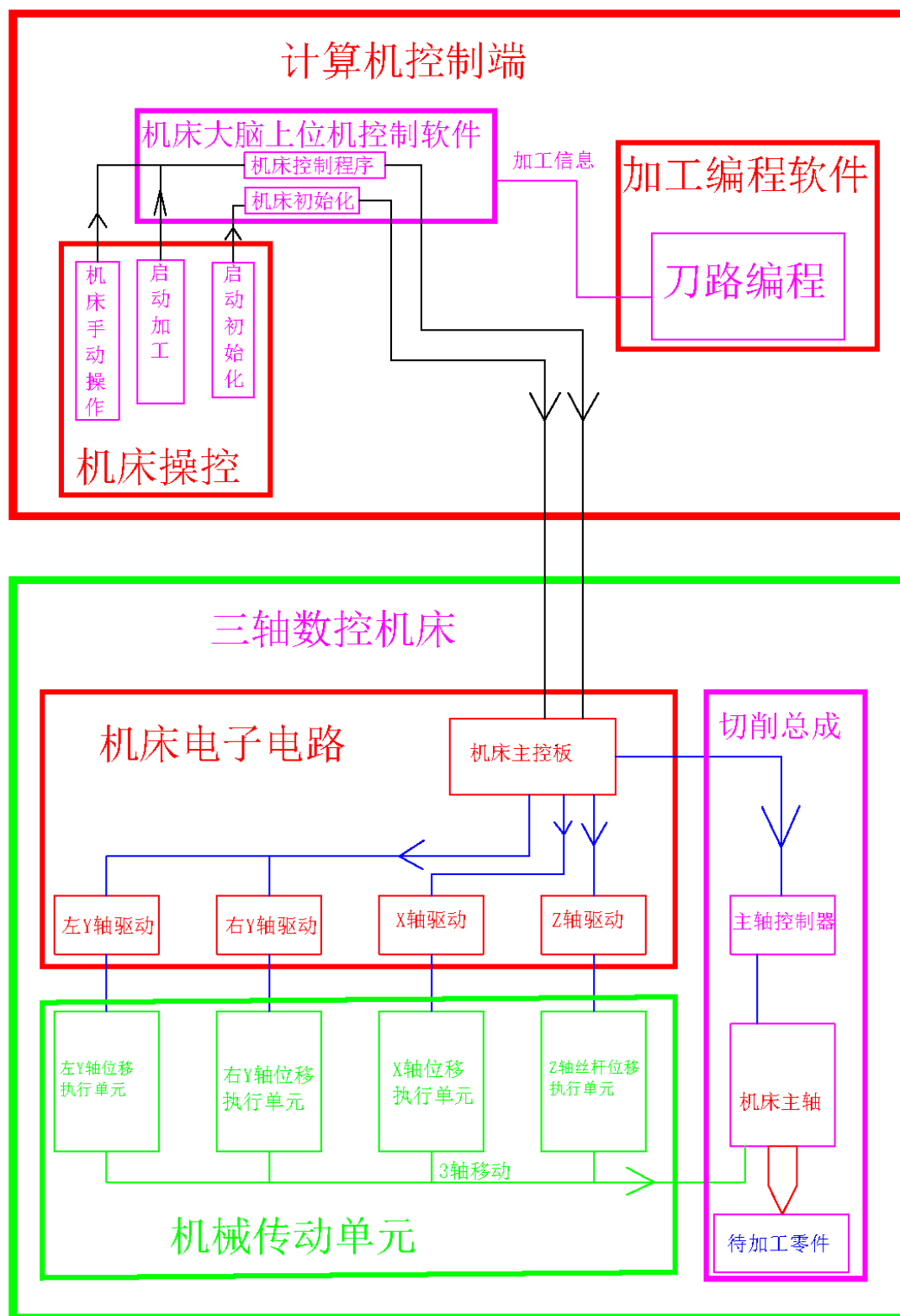


图 1

计算机控制端成品件采用现有办公 PC 机，自主设计了机床控制软件，数控机床初始化、手动、对刀、加工程序。用刀路编程软件设计数字加工作品，并将刀路加工数据进行编程。

三轴数控机床购买成品件，电路部分有 ARDUINO 主板、扩展板、驱动 A4988，机械机构件有步进电机、直线导轨滑块、滚珠丝杆套装、雕刻主轴马达、马达夹具，自主设计了底座木质板材 6 块，Y 轴连接木质板材 12 块，X 轴连接木质木材 10 块。自主设计了 XYZ 轴机械传动单元、切削总成机械机构、机床的电路。

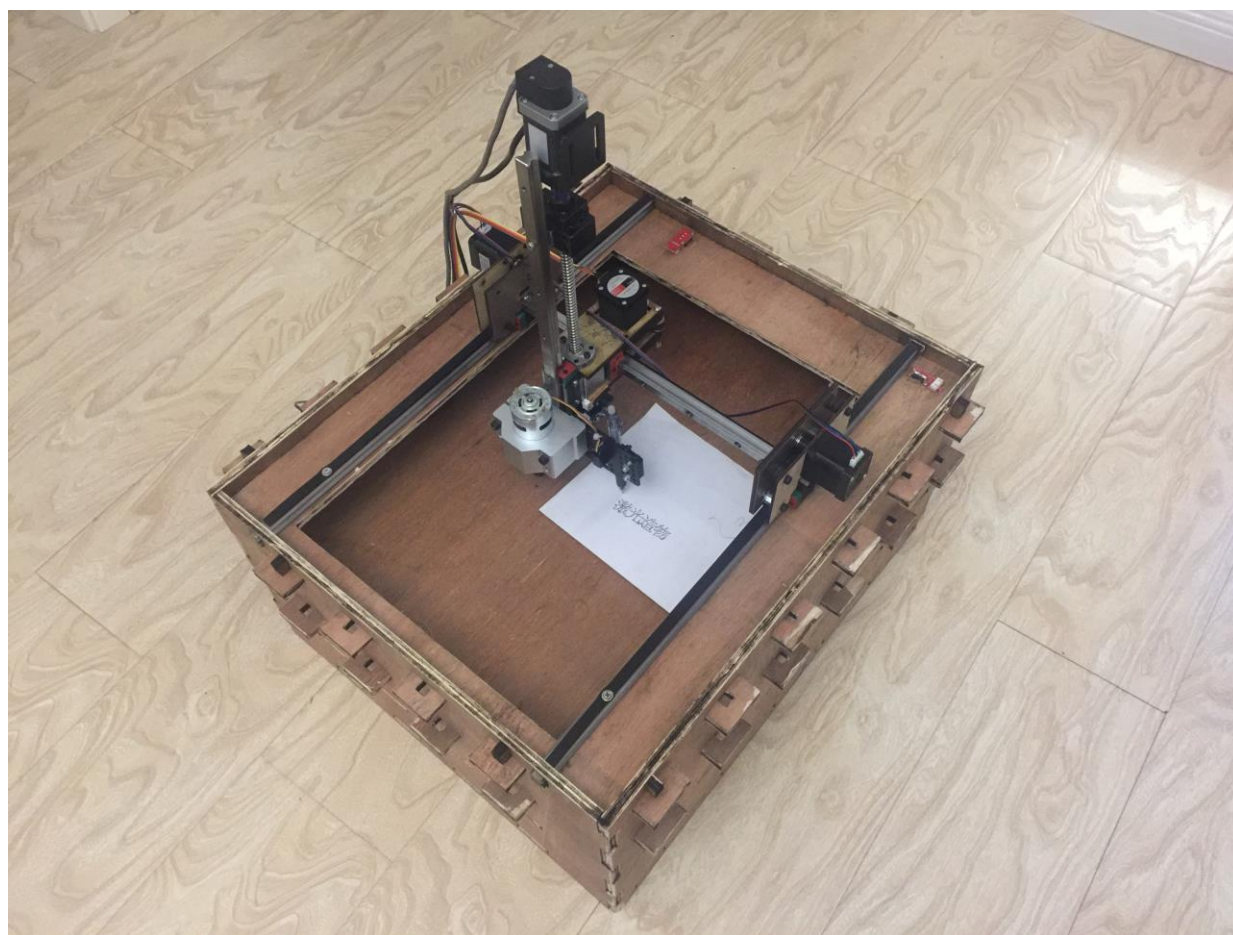


图 2-作品照片

二、项目作品创作过程

(一).用激光切割技术制造这个机床的流程

- 1.模拟设计阶段
- 2.实物加工、安装阶段
- 3.上位机控制软件编程阶段。

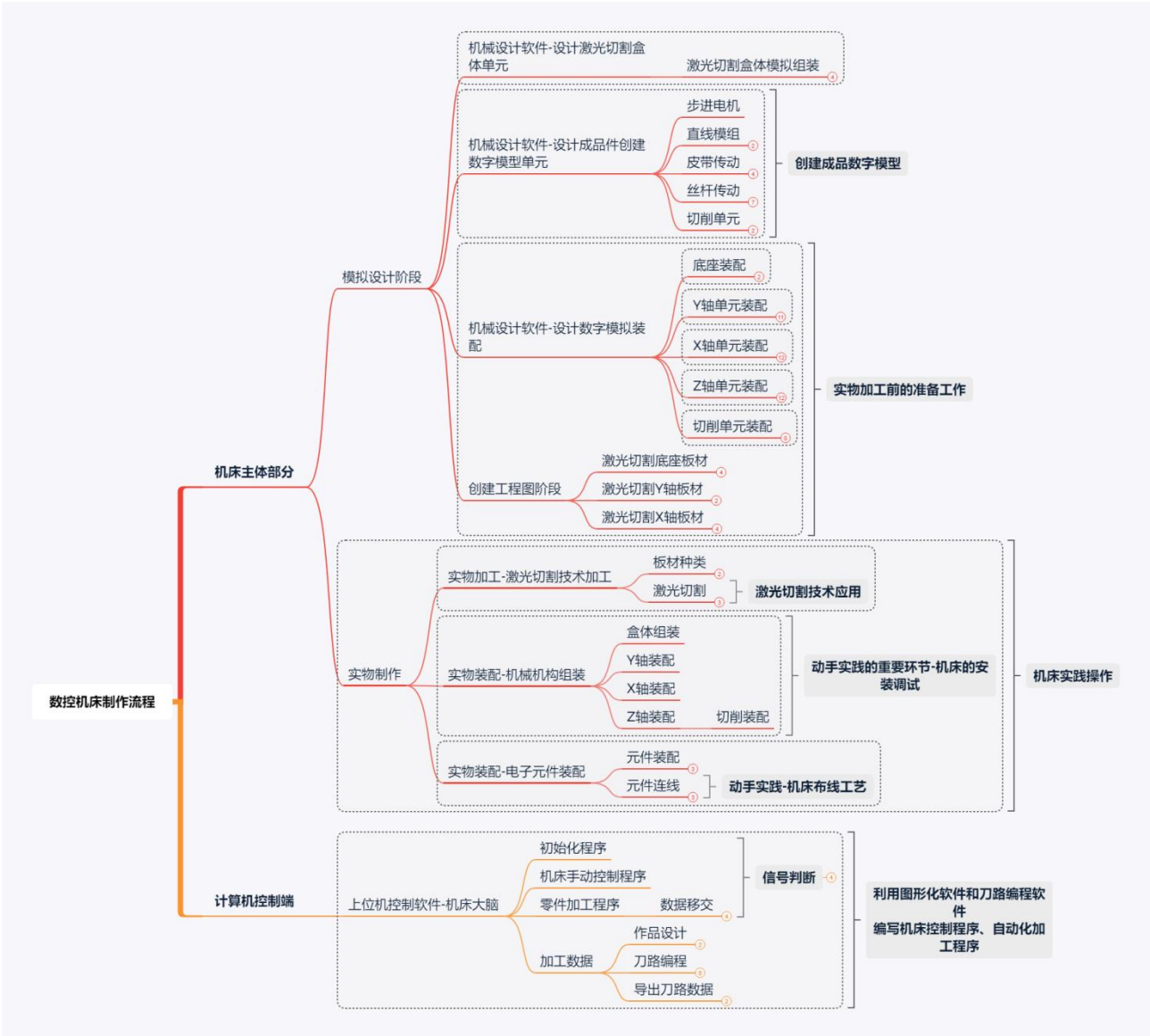


图 3

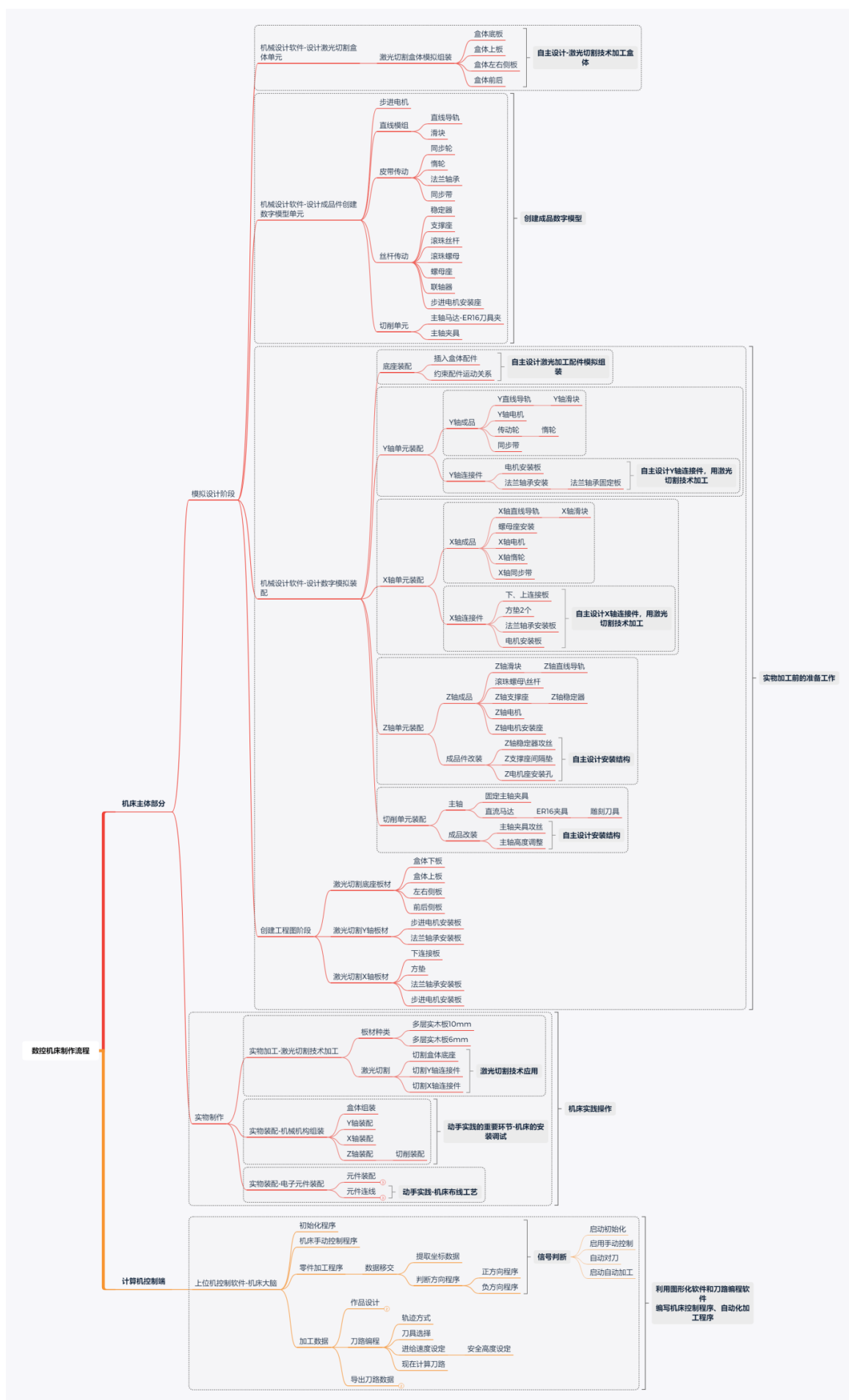


图 4

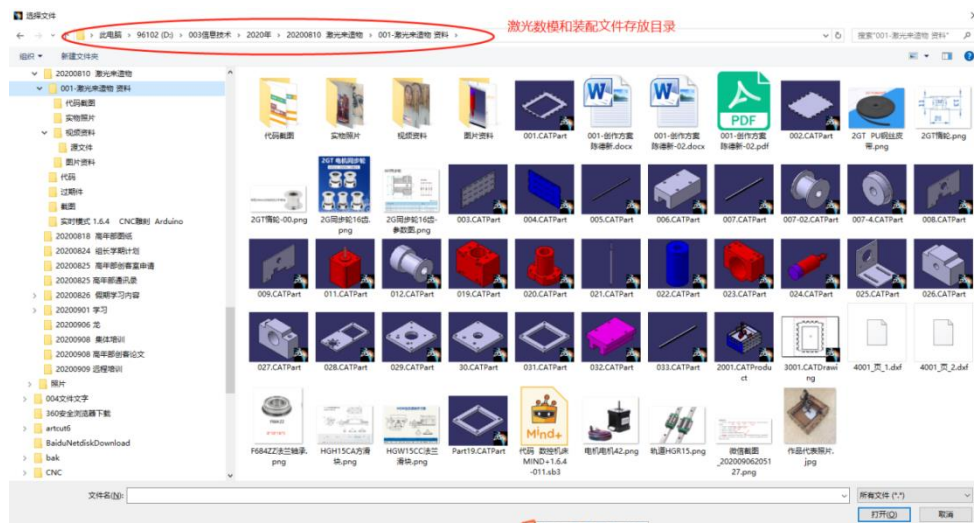


图 5 附件解压后存放位置

1. 模拟设计阶段/设计激光切割盒体

盒体底板：首先确定数控机床的工作行程。根据行程来设计机械结构。

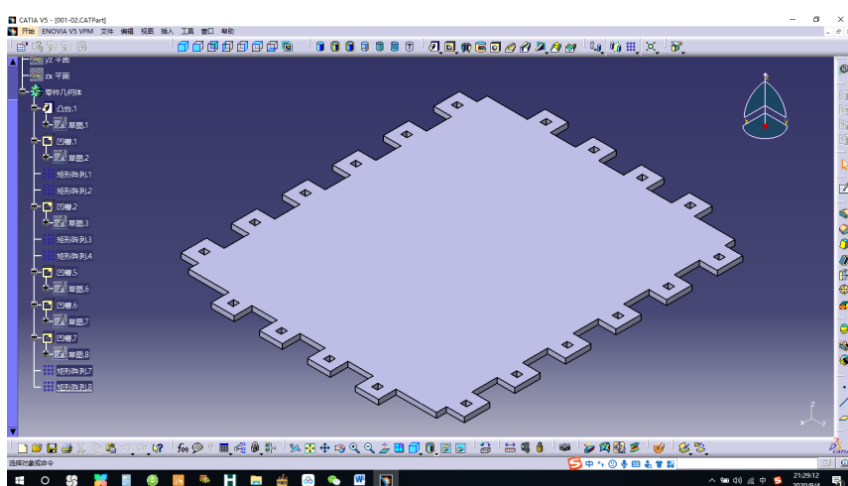


图 6

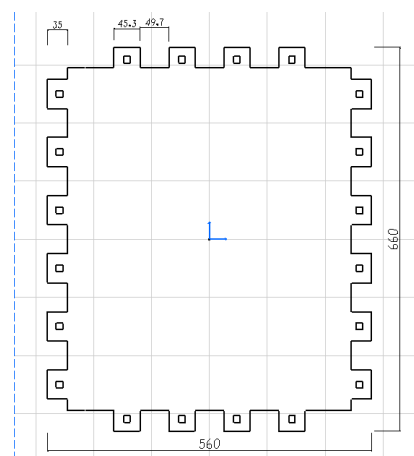


图 7

意图：设计用于固定加工件台面。

盒体上板：

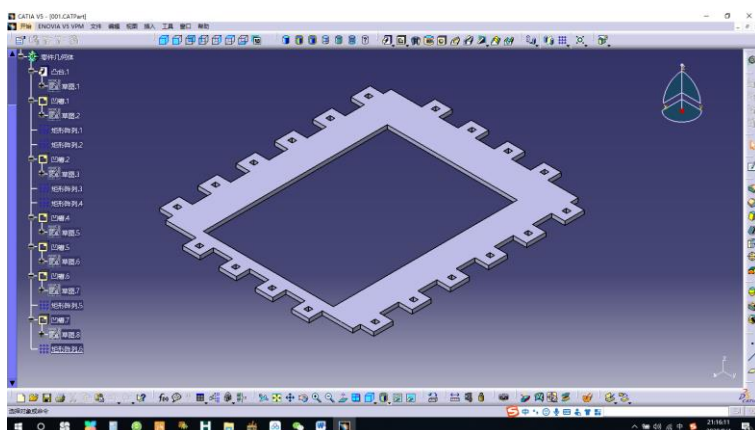


图 8 幅面定位板-确定 X 轴和 Y 轴的行程

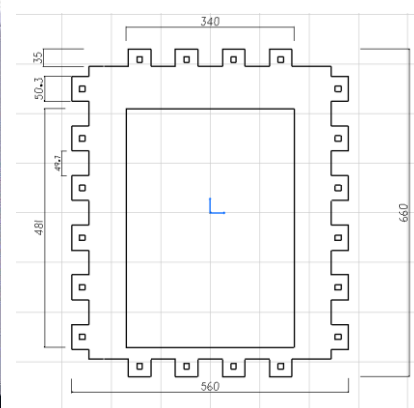


图 9 幅面定位板工程矢量图

意图：考虑工件的厚度，将台面设计为不同的定位。如写字和 pcb 安装在第三层，3D 打印装

在第一层。左右和前后板设计了不同高度的安装孔。
盒体左右侧板：

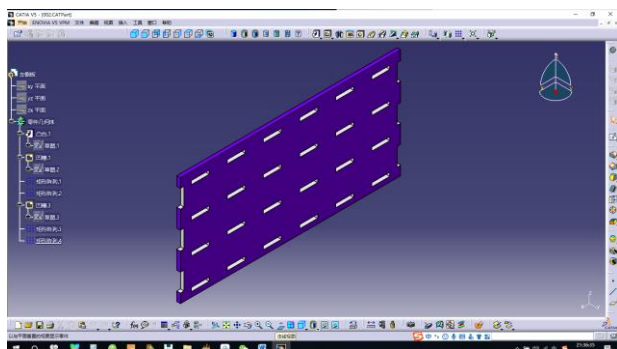


图 10 左右立板

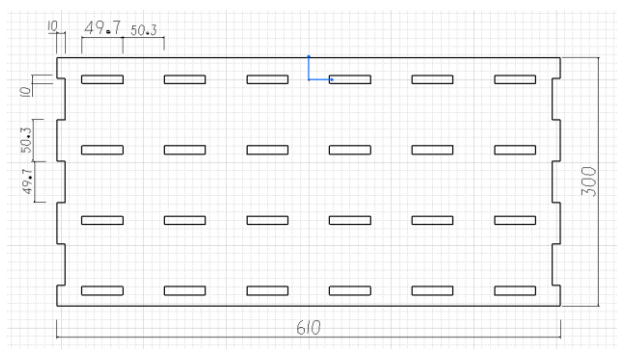


图 11 工程矢量图

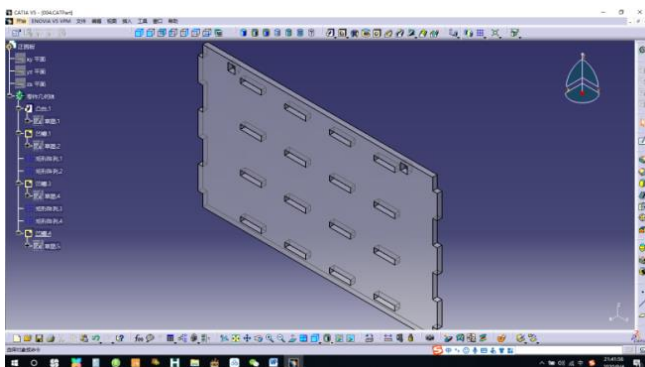


图 12 前后立板

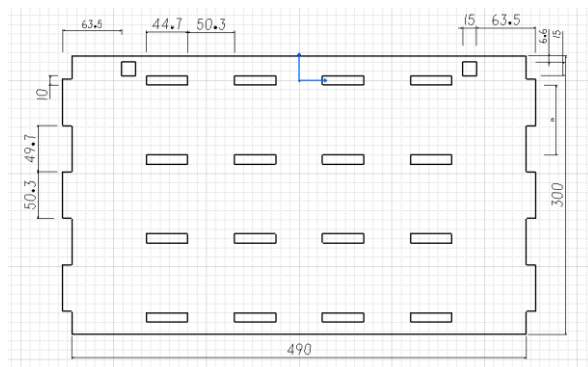


图 13 前后立板工程矢量图

2. 激光切割盒体模拟组装

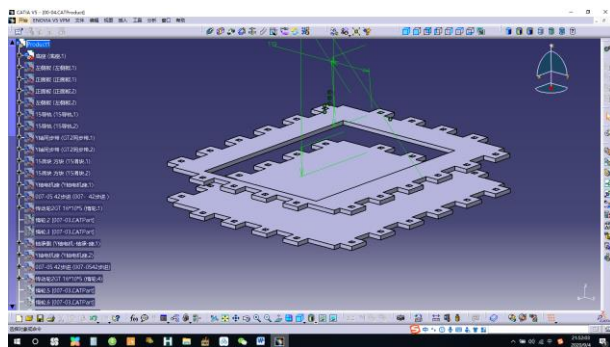


图 14 上下板

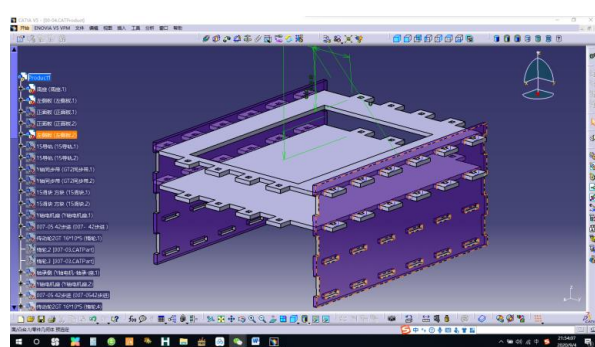


图 15 安装侧板

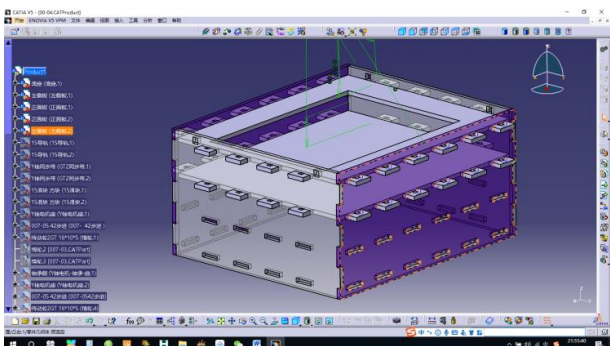


图 16 阶段装配图

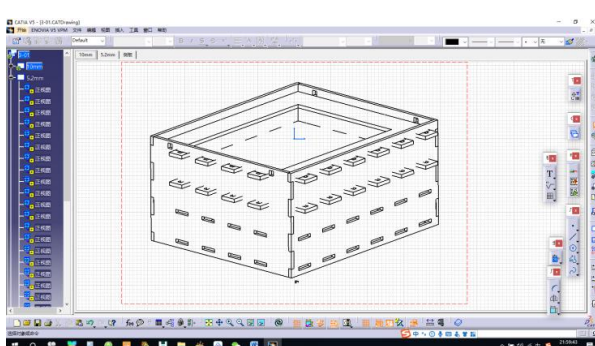


图 17 装配等轴视图

注：以上为 10mm 多层实木板材，工件平台可以承受 70 公斤，实测过。

意图：考虑各轴运行稳定和精度，采用工业级直线导轨滑块，需要行程大小。可以向网络商家定制，无加价。

3. 模拟设计阶段/成品件创建数字模型

步进电机：

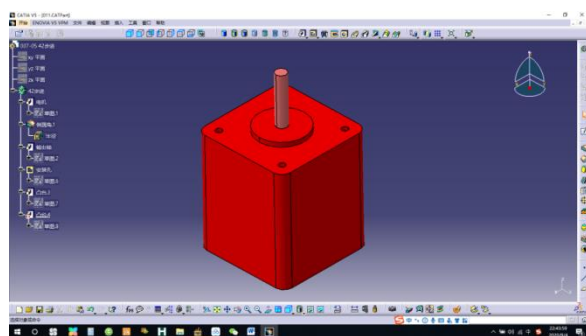


图 18 通用件 42 步进电机长度 47mm

直线模组/导轨：

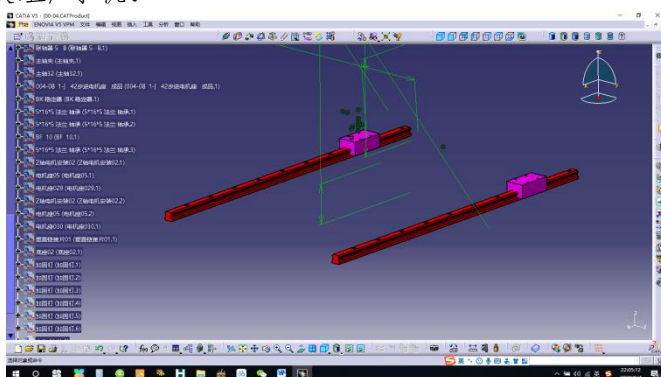


图 19 直线导轨滑块通用件（型号：导轨 HGR15）

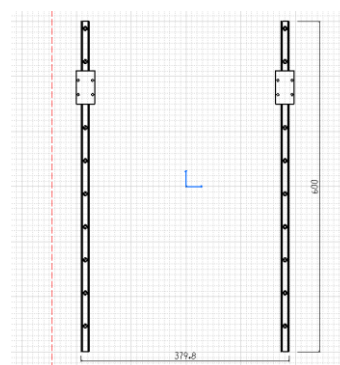


图 20

直线模组/滑块：

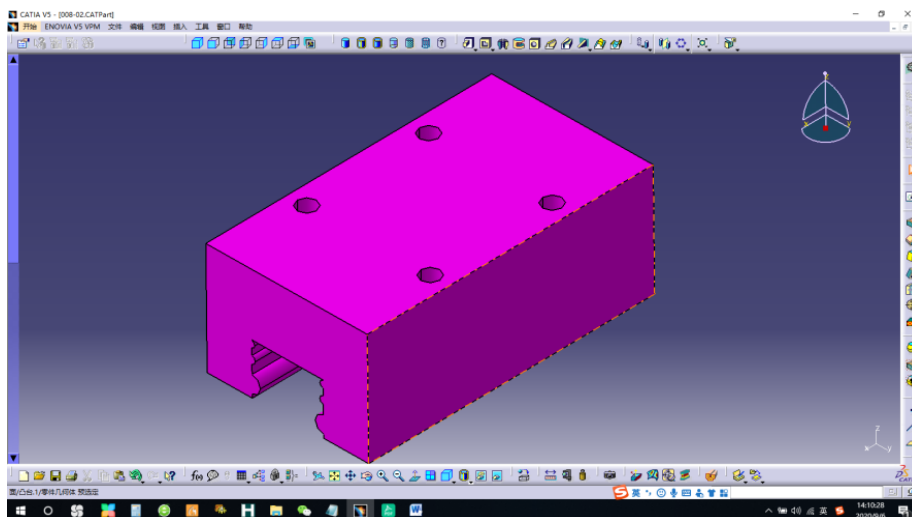


图 21 方滑块 HGH15CA

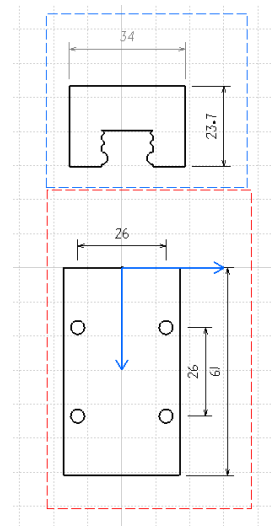


图 22

皮带传动/同步轮：

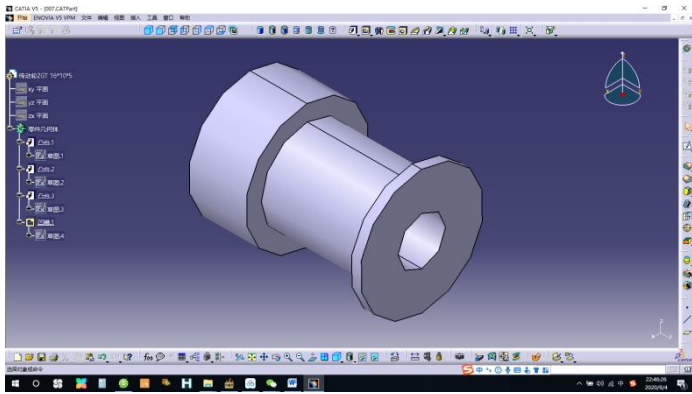


图 23 同步轮 2GT-16 齿带宽 10mm

皮带传动/惰轮：

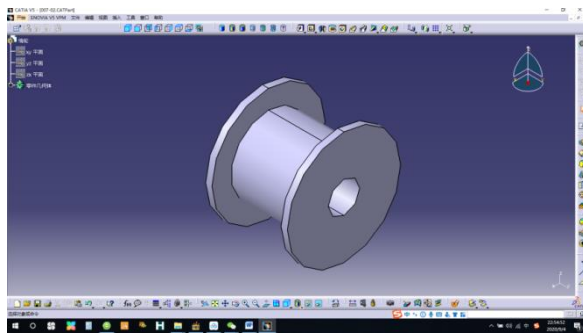


图 25 成品件惰轮 内径 5mm

皮带传动/法兰轴承：

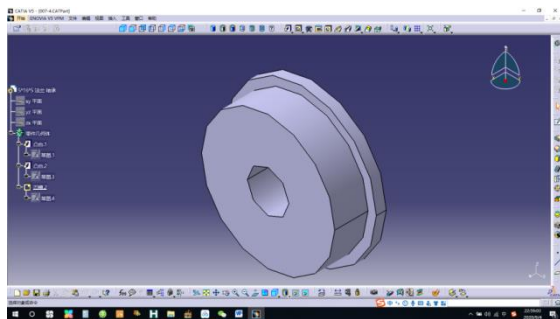


图 27 法兰轴承 F625ZZ

皮带传动/同步带：

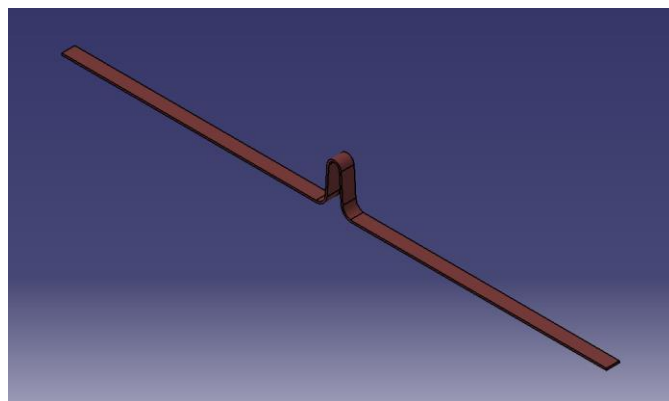


图 29 同步带 2GT 宽 10mm

丝杆传动/稳定器：

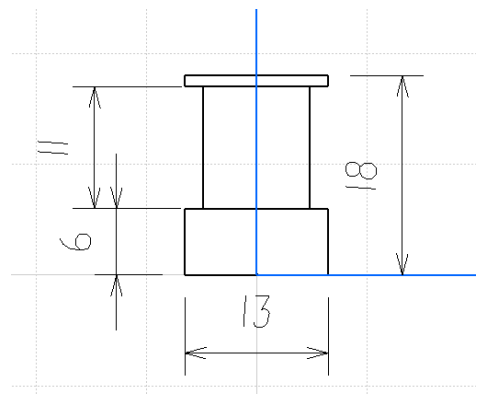


图 24

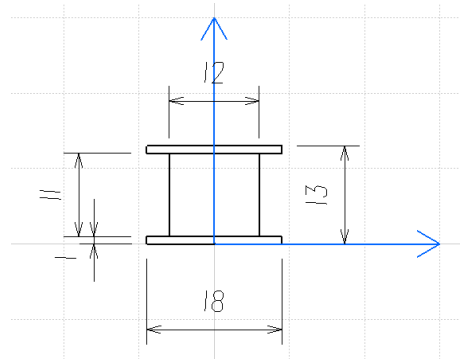


图 26

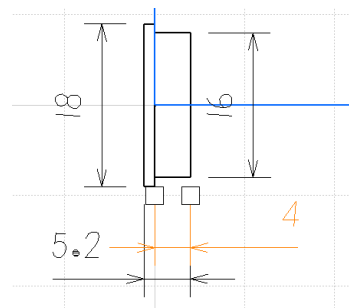


图 28

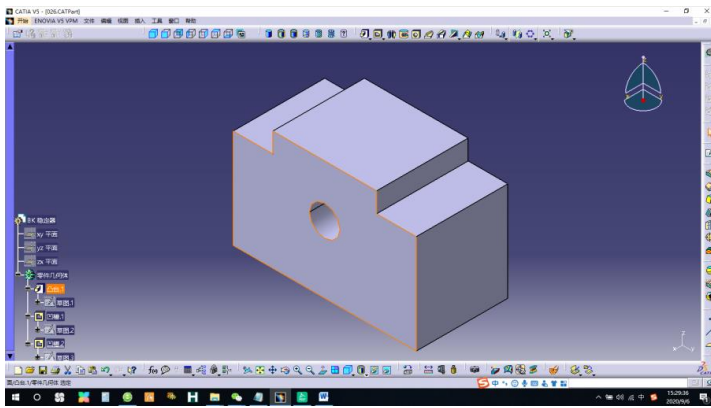


图 30 稳定器 BK10

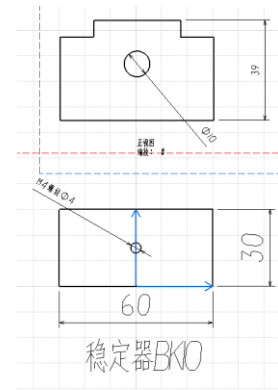


图 31

丝杆传动/支撑座：

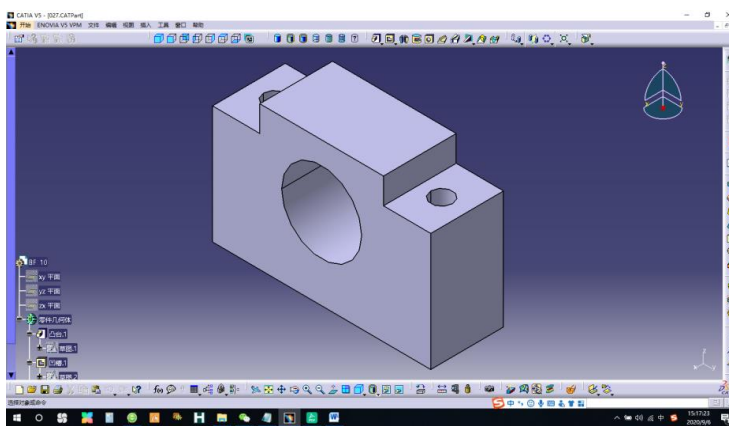


图 32 轴承座 BF10

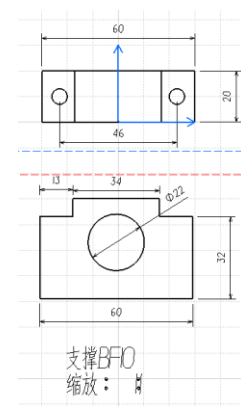


图 33

丝杆传动/滚珠丝杆：表示轮廓



图 34



图 35

丝杆传动/滚珠螺母：



图 36

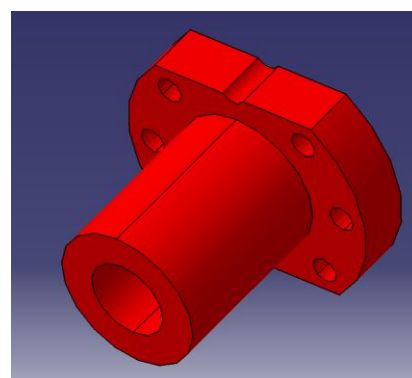


图 37

丝杆传动/螺母座：



图 38

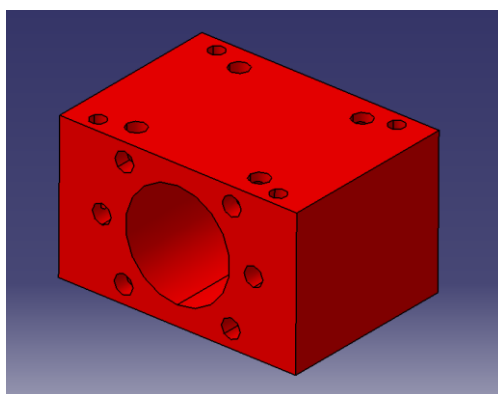


图 39

丝杆传动/联轴器：

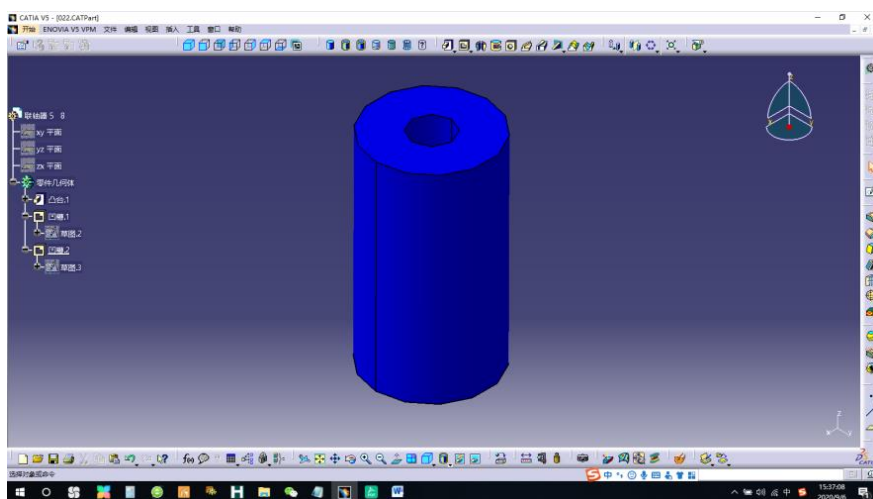


图-40 联轴器 14*8*5

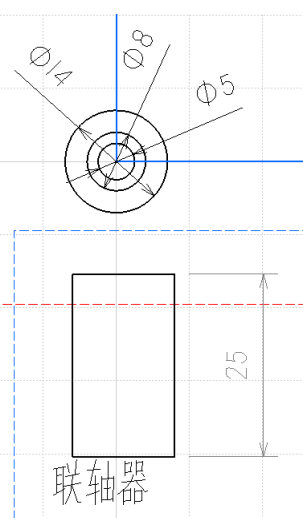


图 41

丝杆传动/步进电机安装座：

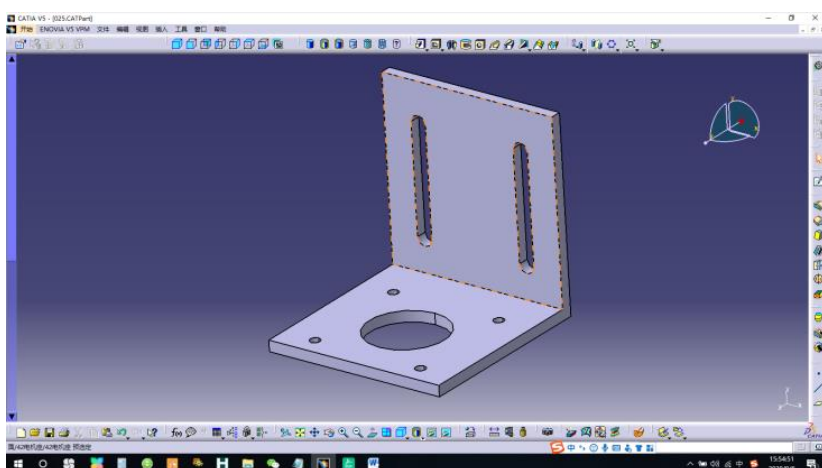


图-42 步进电机安装座

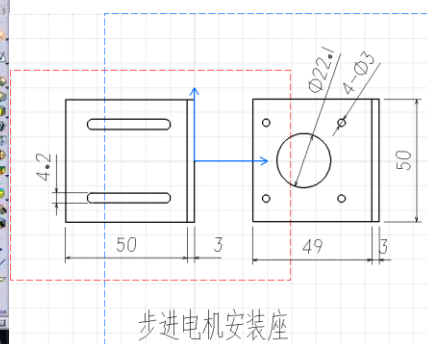


图 43

切削单元/ 主轴马达-ER16 刀具夹：

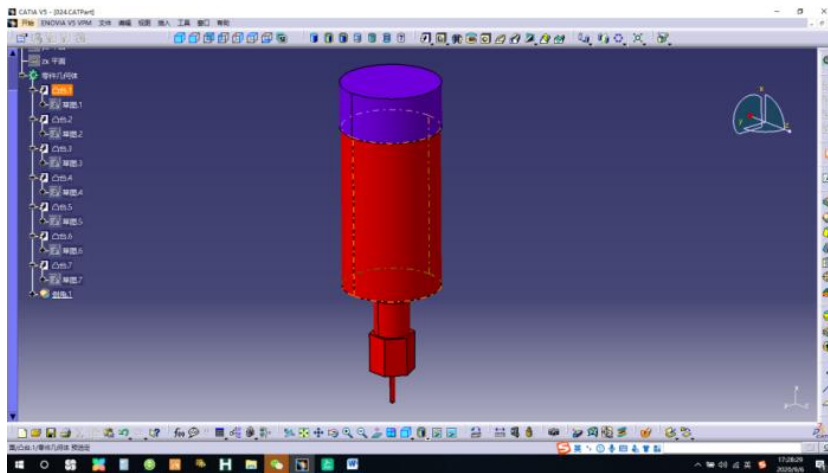


图-44 雕刻主轴

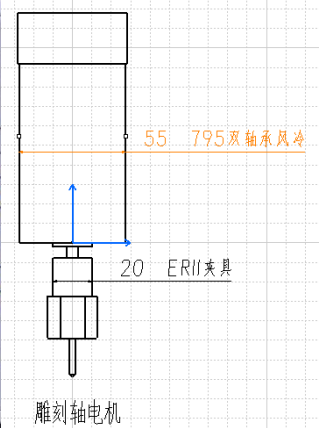


图 45

切削单元/ 主轴夹具:

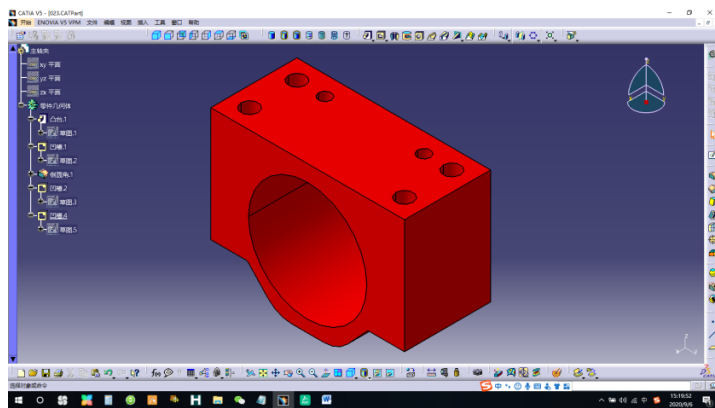


图-46 雕刻轴安装座

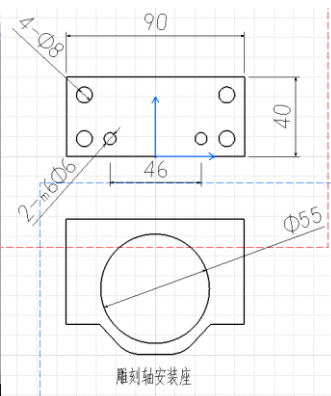


图 47

模拟设计阶段/机械设计软件-设计数字模拟装配

4. 底座装配

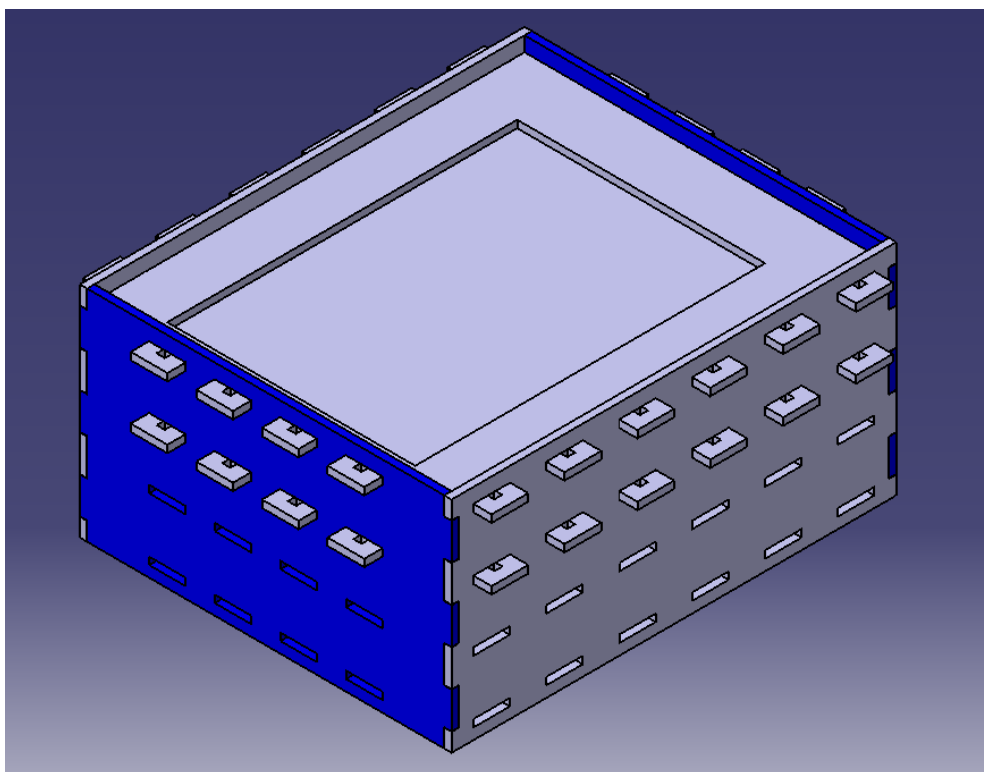


图-48 阶段组装图

Y 轴单元装配/直线导轨、滑块：

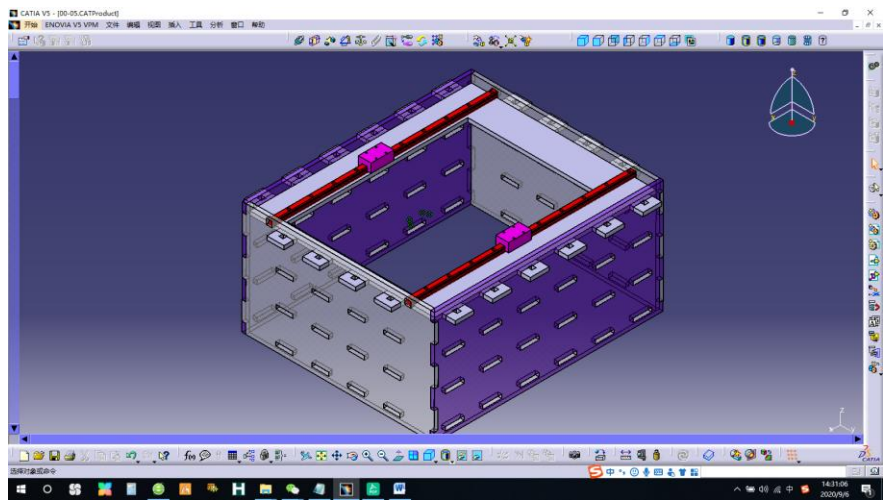


图 49

Y 轴单元装配/电机安装板：

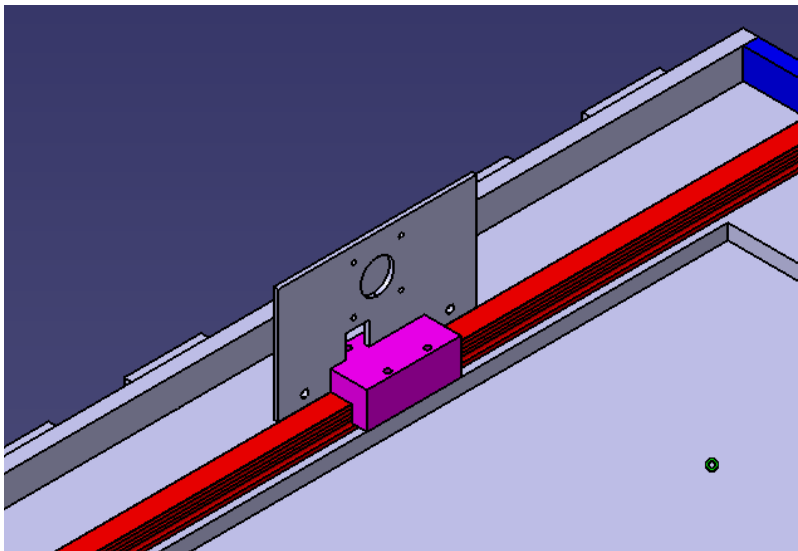


图 50

Y 轴单元装配/Y 轴电机

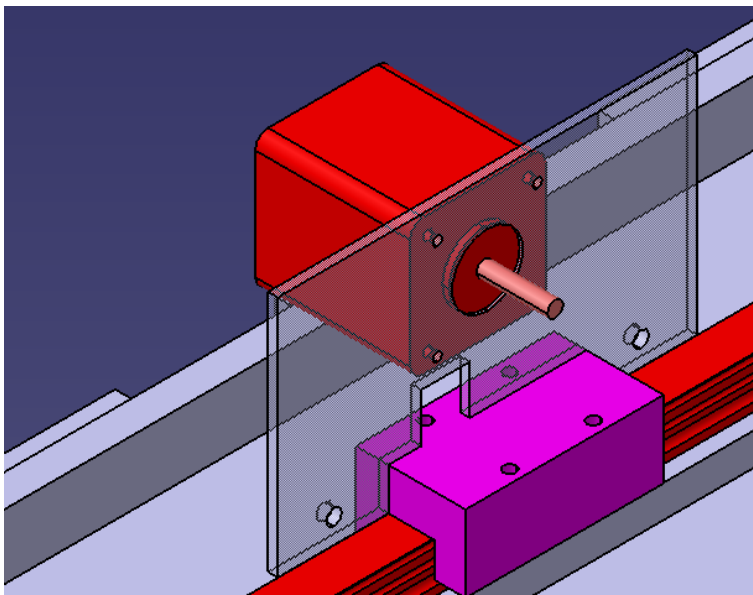


图 51

Y 轴单元装配/传动轮、惰轮

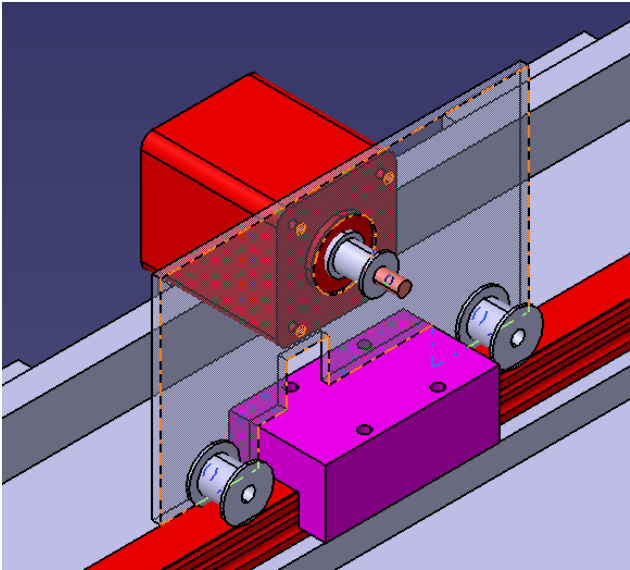


图 52

Y 轴单元装配/Y 轴同步带、法兰轴承：

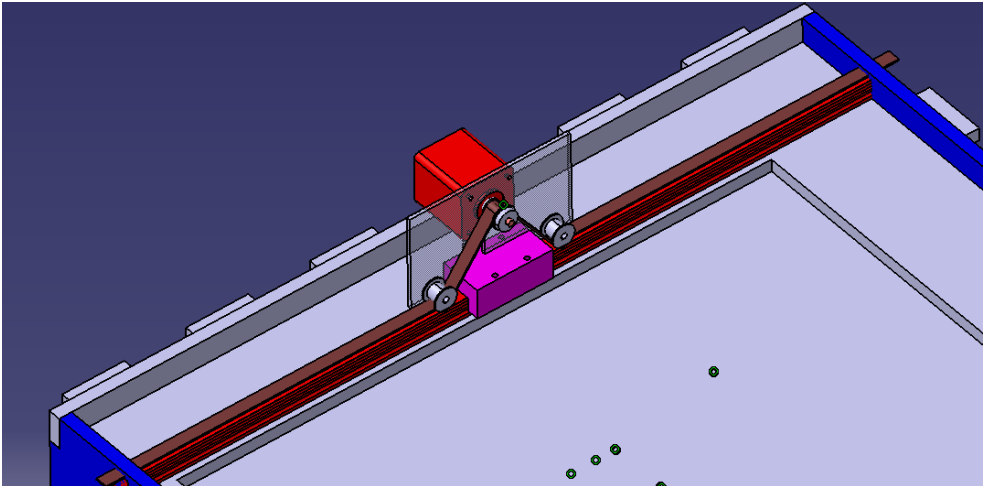


图 53

Y 轴单元装配/法兰轴承固定板

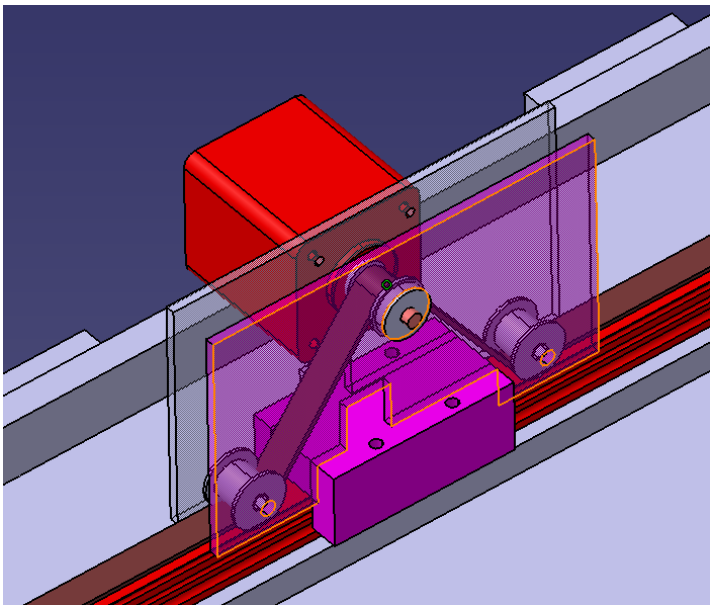


图 54

注：左右结构相同

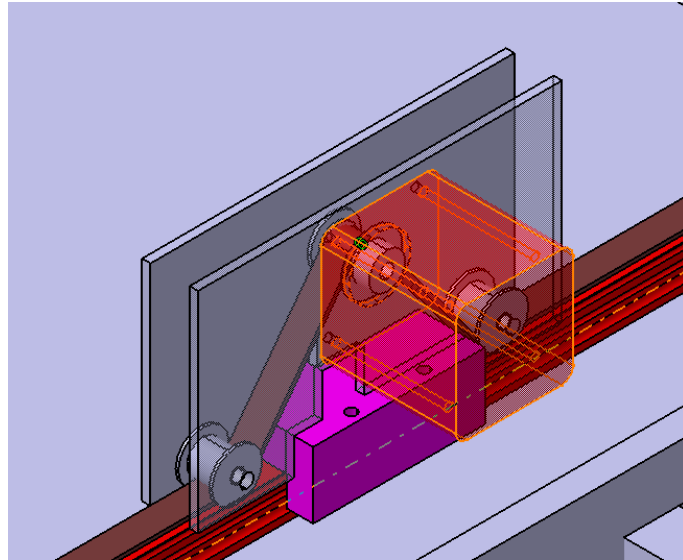


图 55

X 轴单元装配/直线导轨、滑块

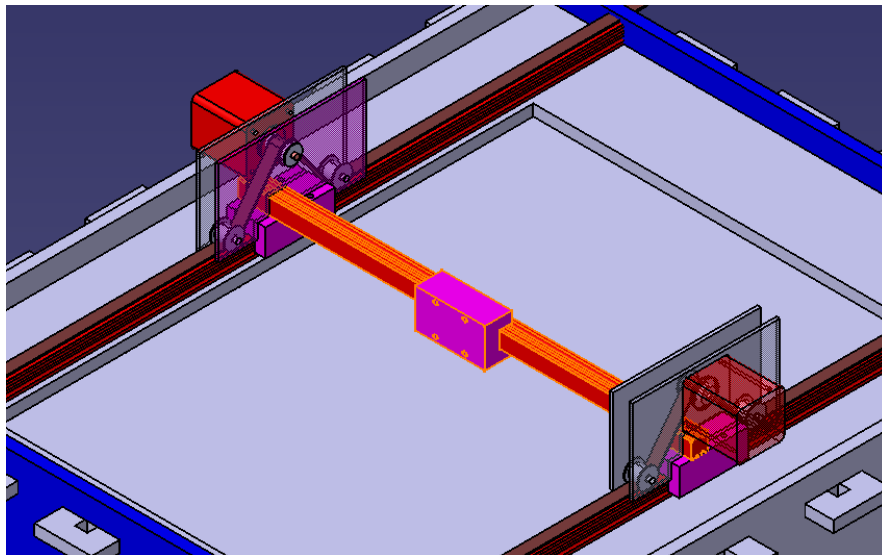


图 56

X 轴单元装配/螺母座：

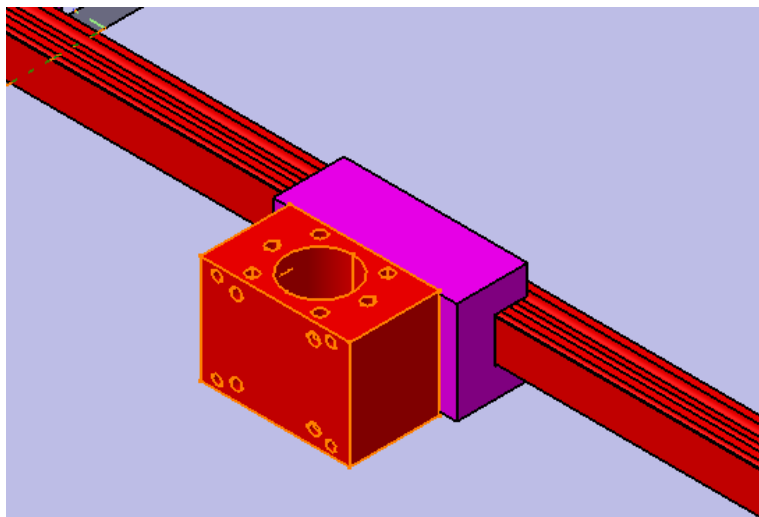


图 57

X 轴单元装配/下连接板:

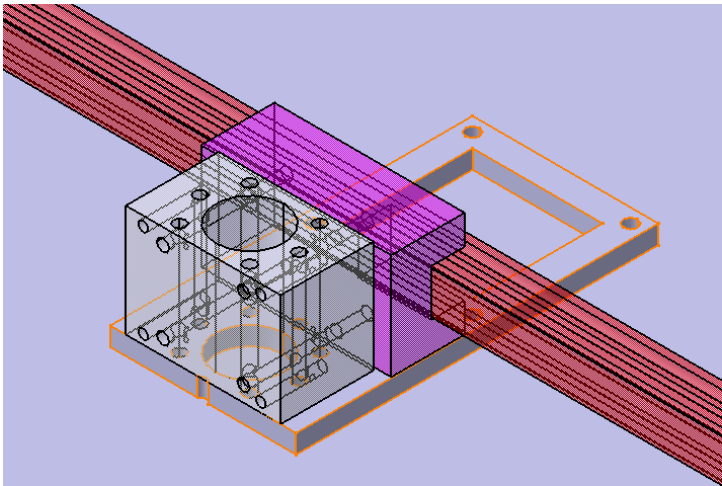


图 58

X 轴单元装配/方垫:

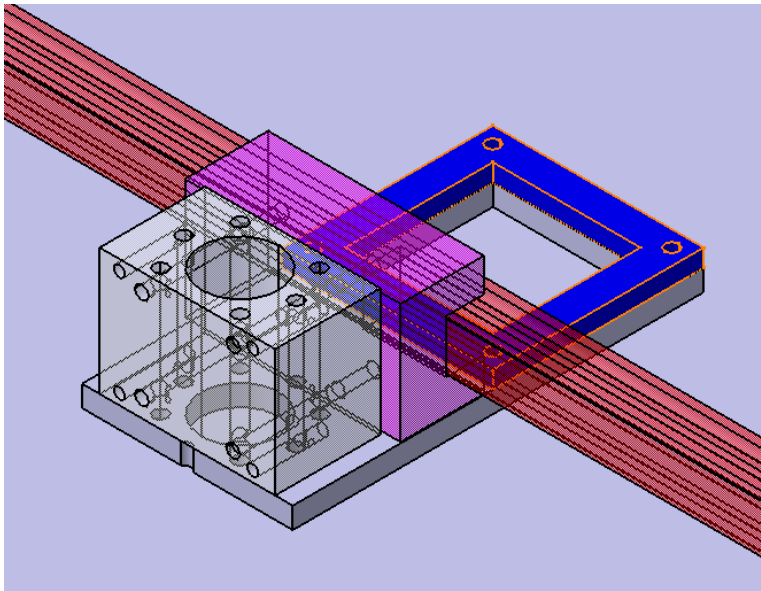


图 59

X 轴单元装配/X 轴法兰轴承安装板:

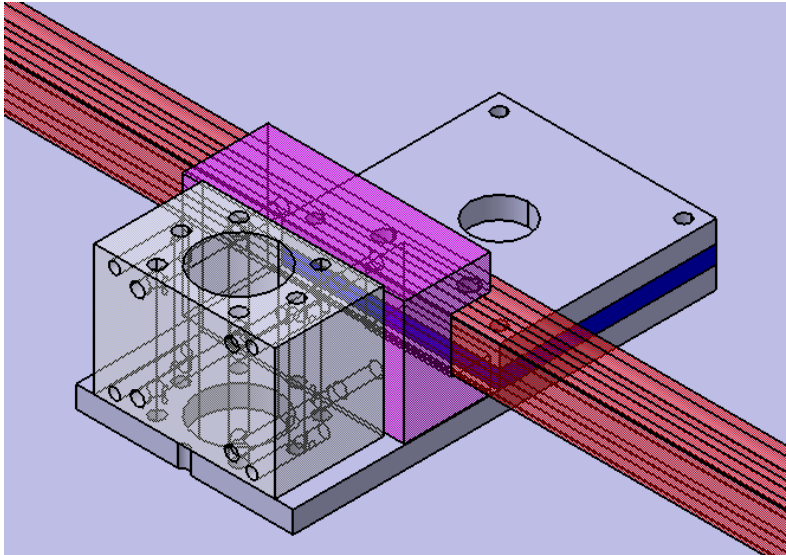


图 60

X 轴单元装配/法兰轴承、传动轮、惰轮、同步带

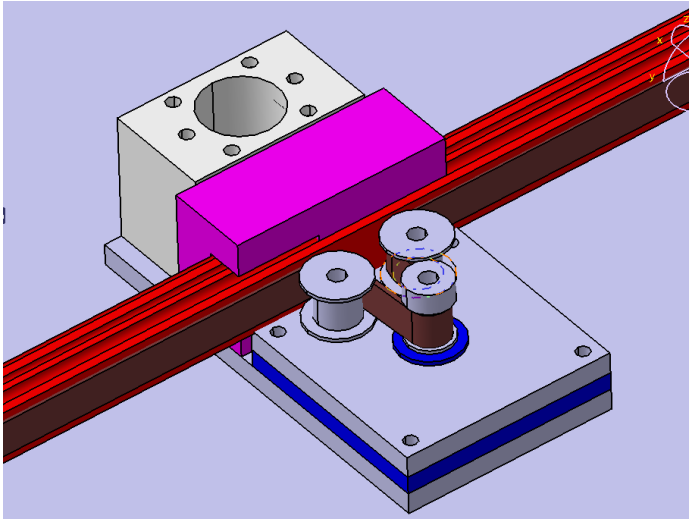


图 61

X 轴单元装配/X 轴电机安装板：

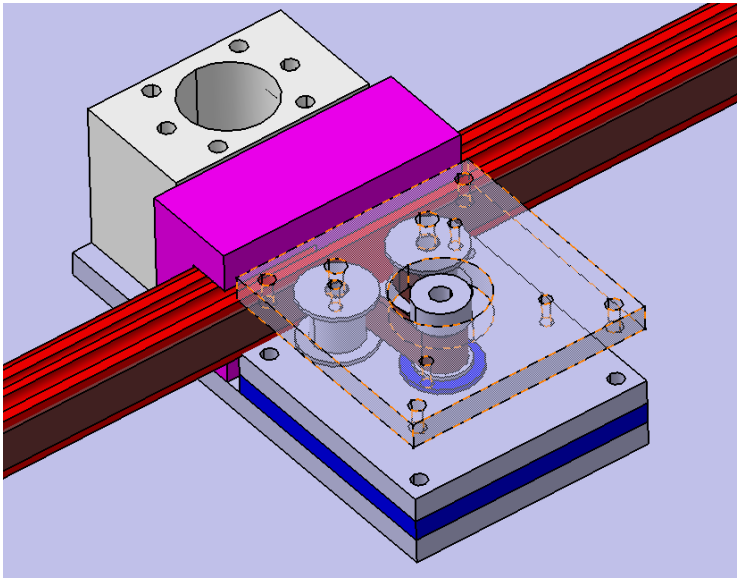


图 62

X 轴单元装配/方垫：

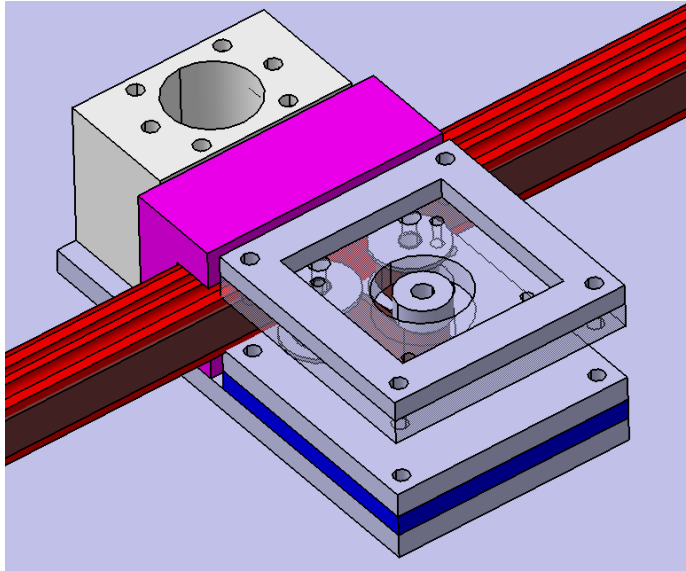


图 63

X 轴单元装配/X 轴步进电机:

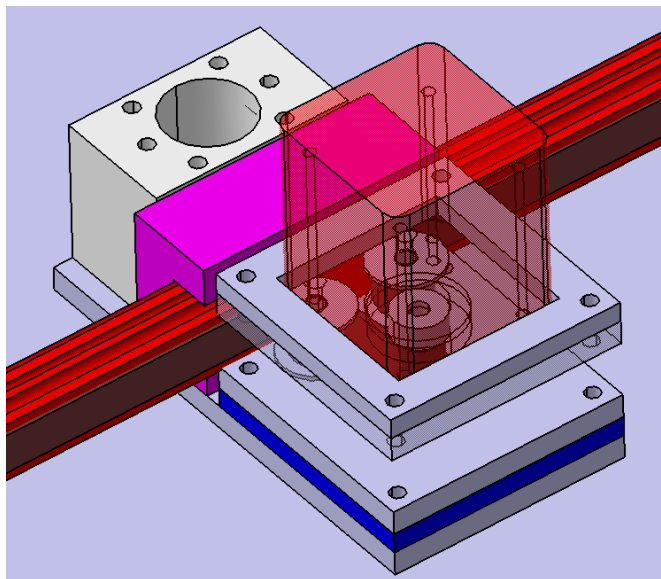


图 64

X 轴单元装配/上连接板:

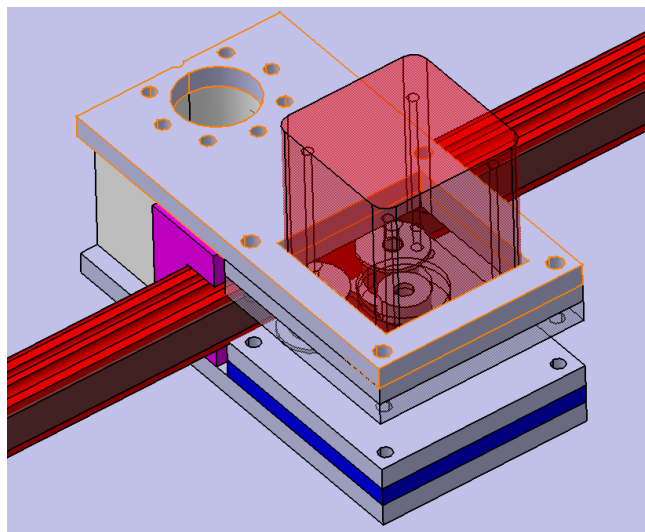


图 65

Z 轴单元装配/直线导轨、滑块:

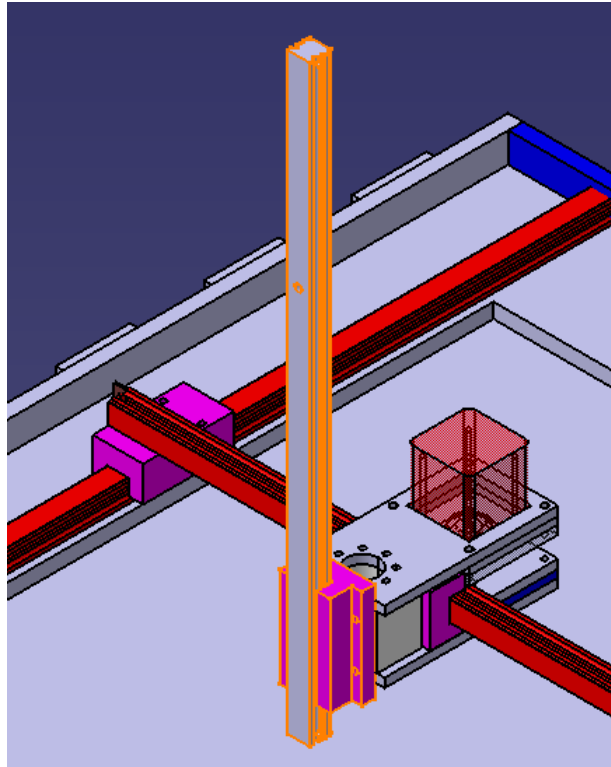


图 66

Z 轴单元装配/滚珠螺母、丝杆:

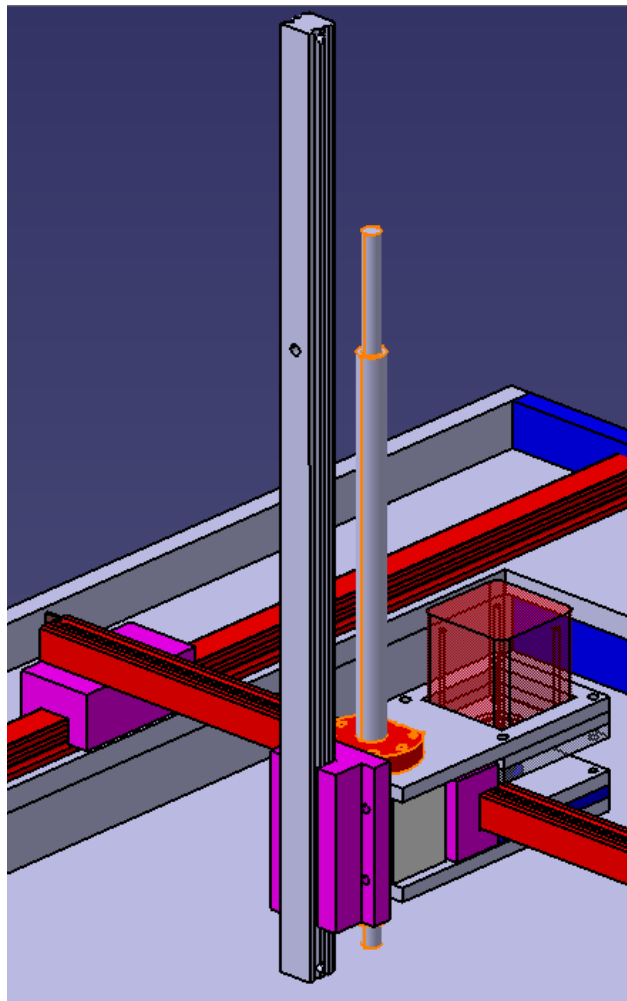


图 67

Z 轴单元装配/支撑座、稳定器:

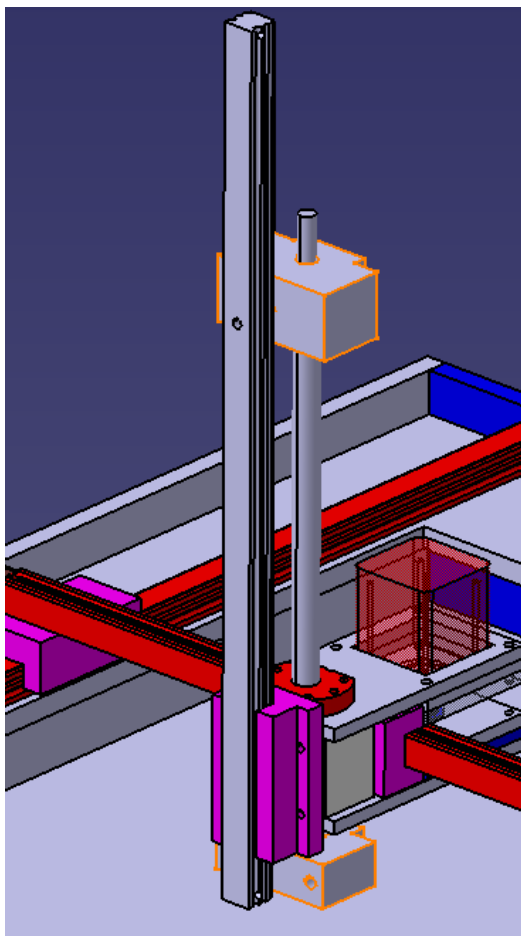


图 68

Z 轴单元装配/步进电机安装座、联轴器、步进电机:

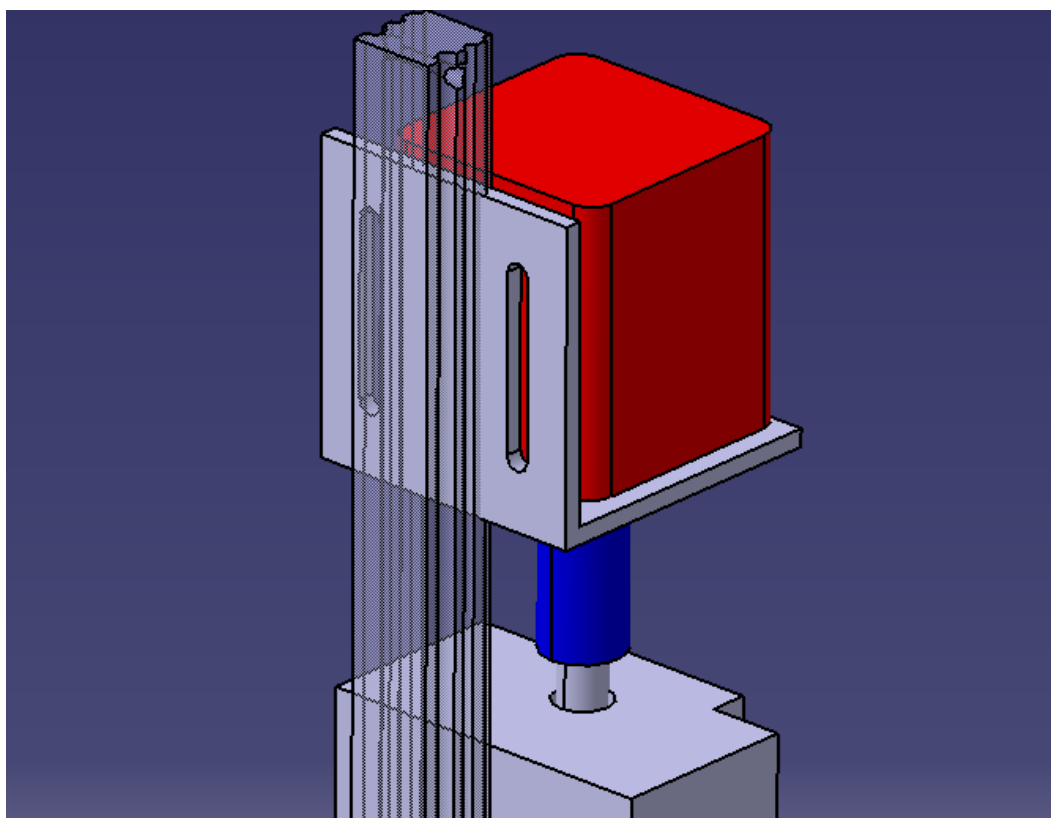


图 69

切削单元装配/固定主轴夹具：

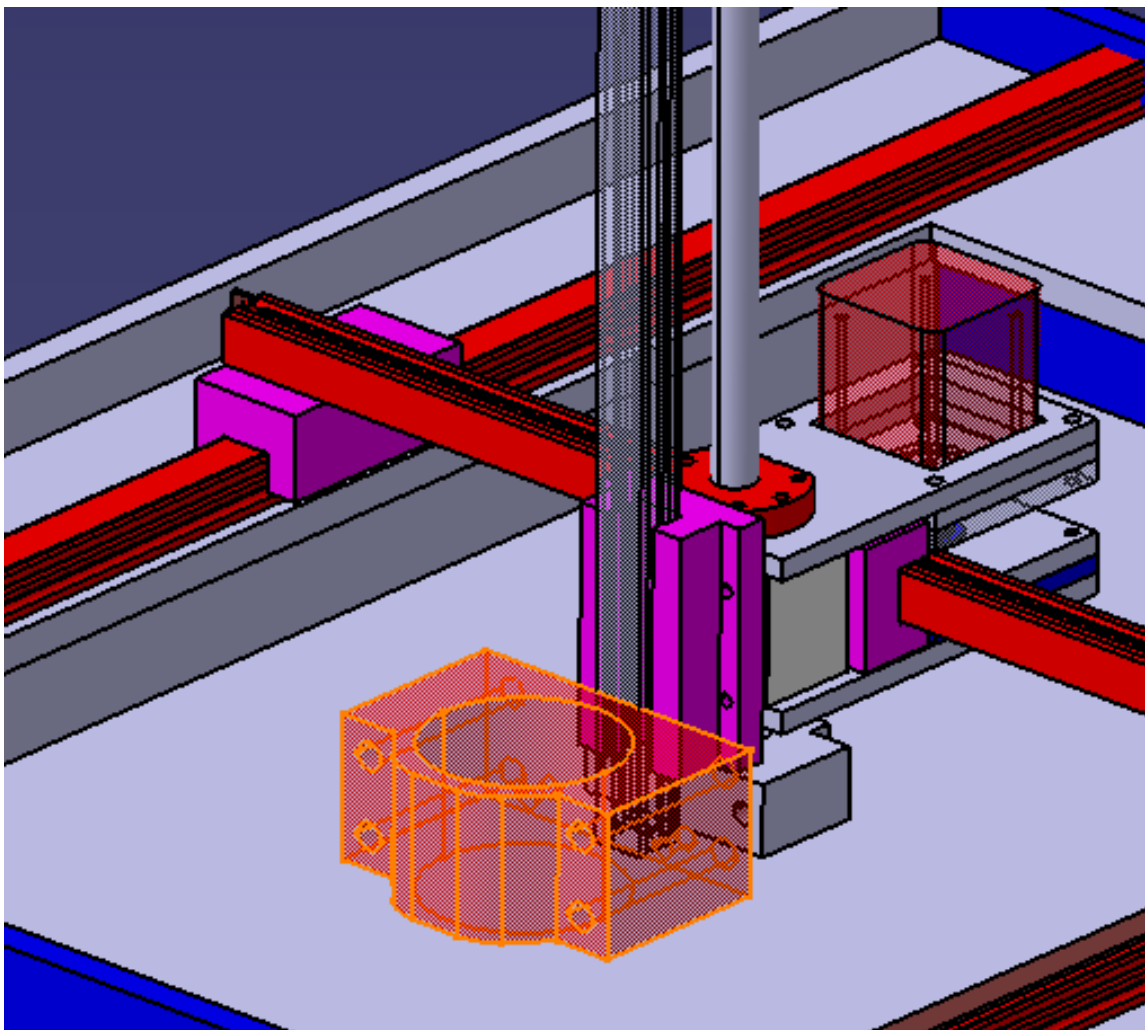


图 70

切削单元装配/直流马达、ER16 夹具、雕刻刀具：

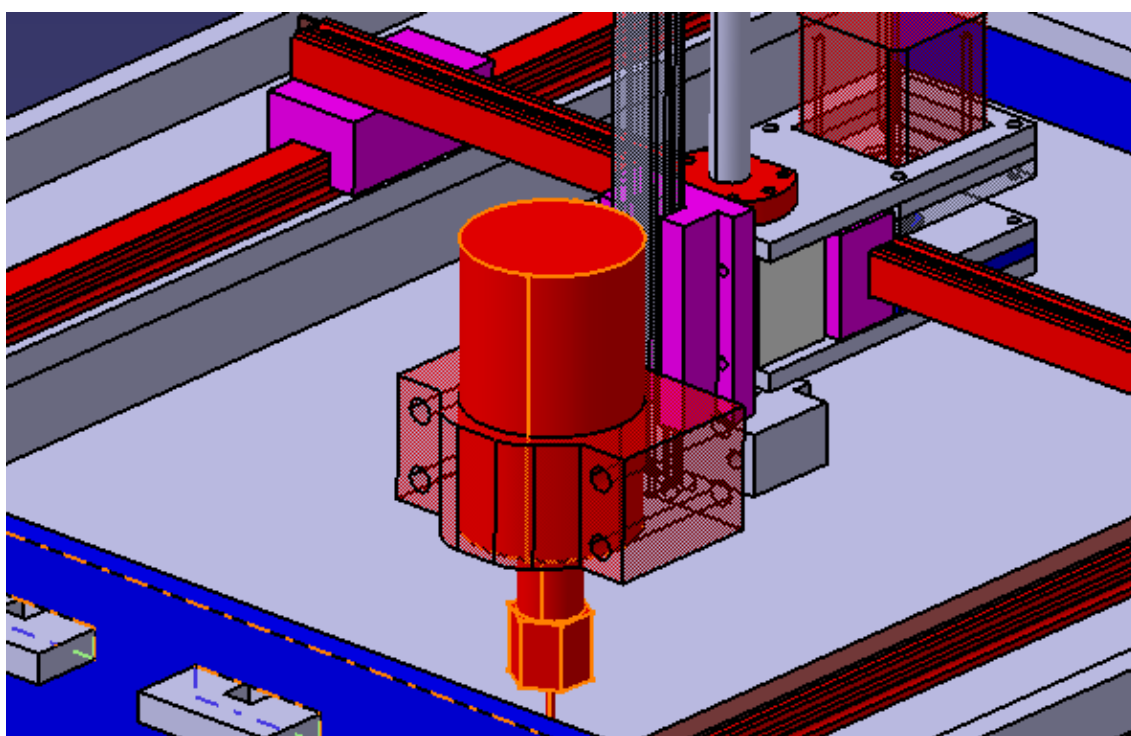


图 71

创建工程图阶段/激光切割底座板材/箱体下板:

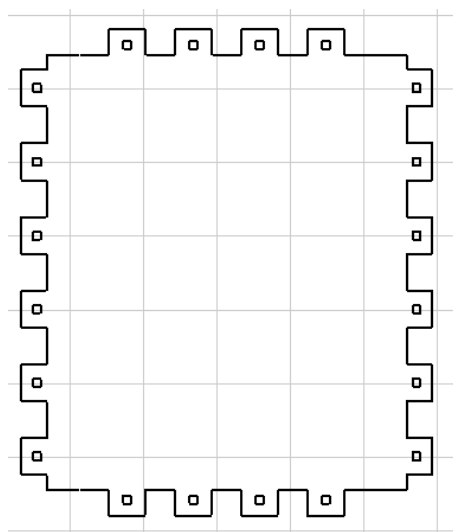


图 72

创建工程图阶段/激光切割底座板材/ 箱体上板:

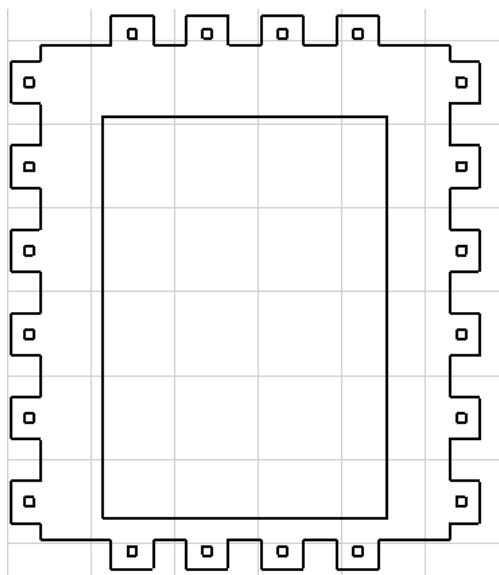


图 73

创建工程图阶段/激光切割底座板材/左右侧板 :

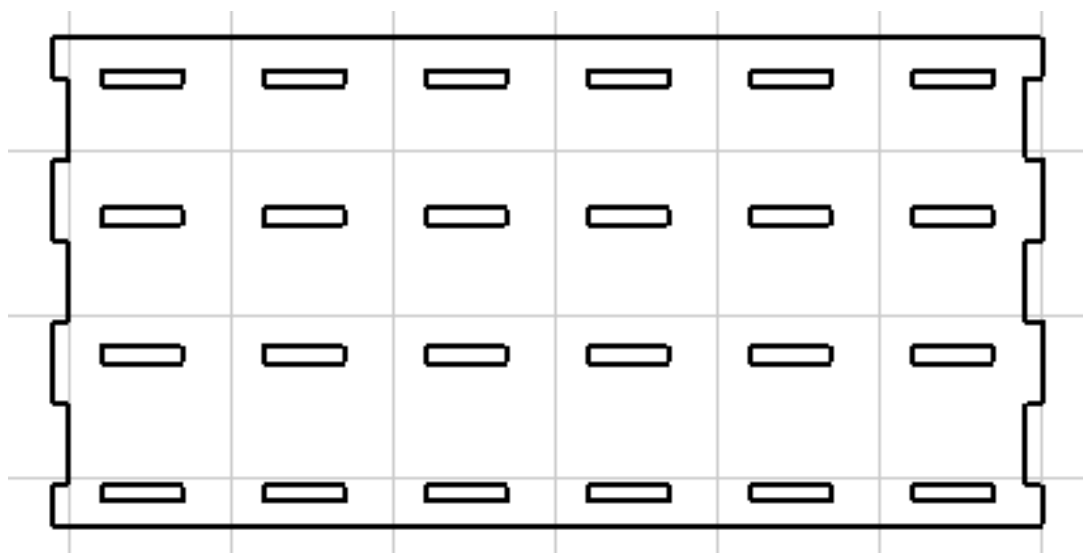


图 74

创建工程图阶段/激光切割底座板材/前后侧板：

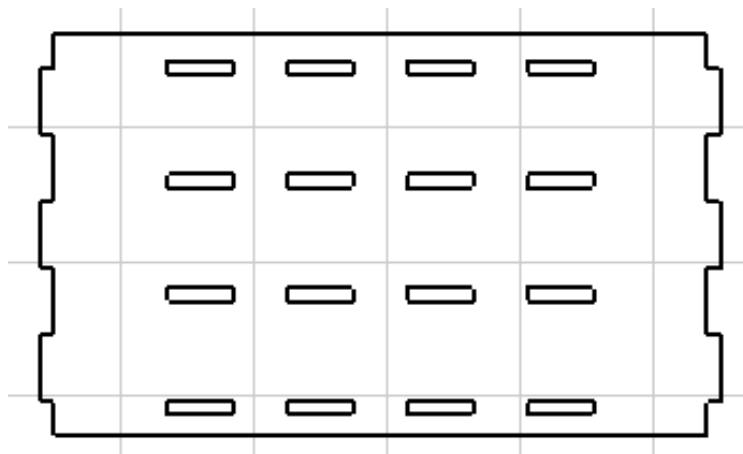


图 75

创建工程图阶段/激光切割 Y 轴板材/步进电机安装板、法兰轴承安装板：

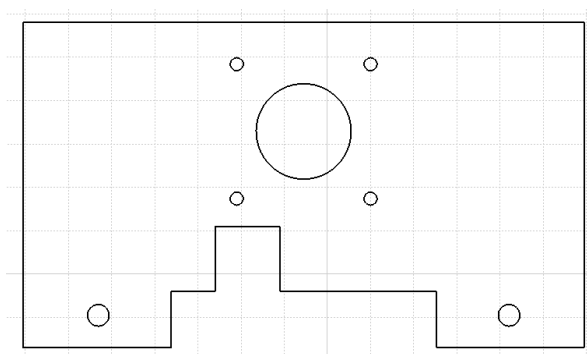


图 76

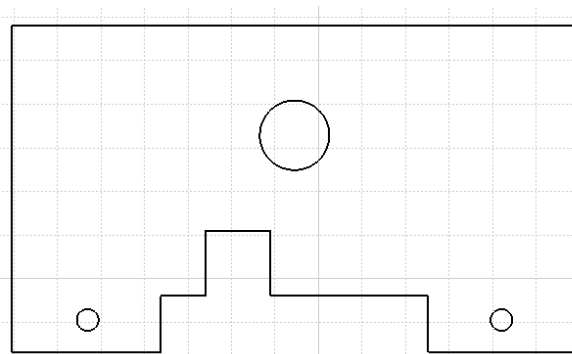


图 77

创建工程图阶段/激光切割 X 轴板材/下连接板、方垫：

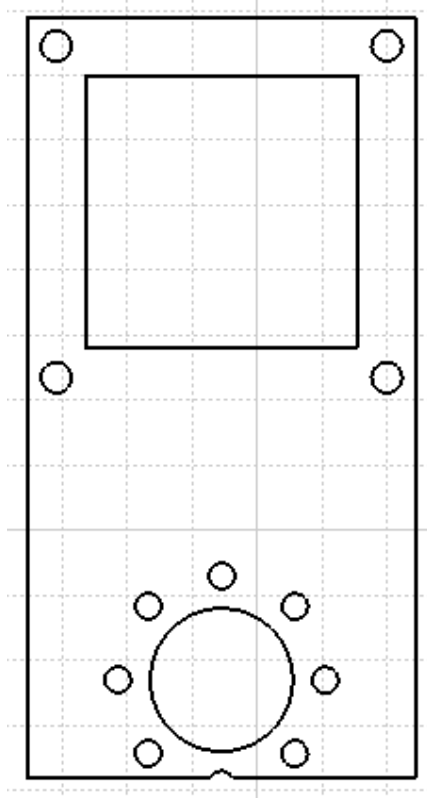


图 78

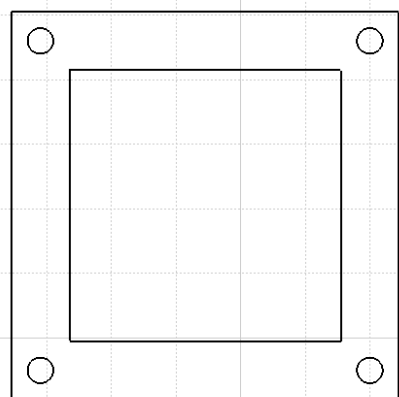


图 79

创建工程图阶段/激光切割 X 轴板材/法兰轴承安装板、步进电机安装板：

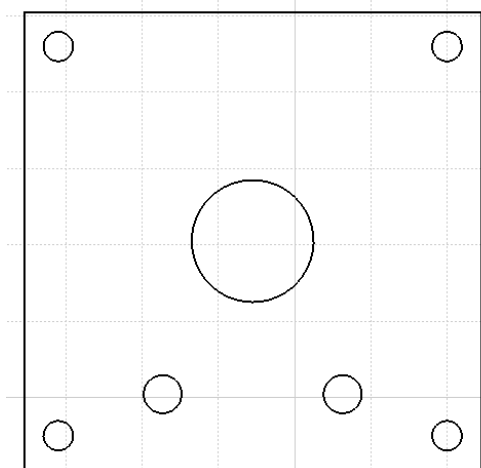


图 80

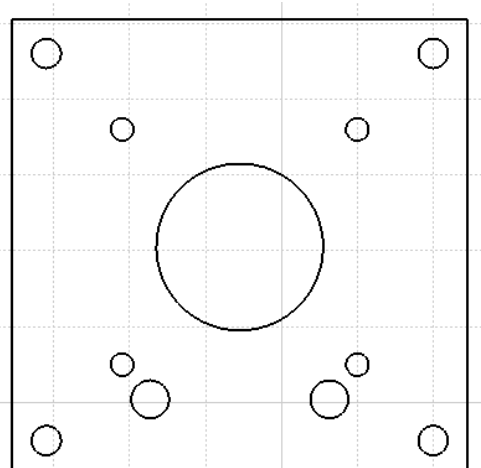


图 81

模拟设计阶段工作全部完成，为实物加工提供工程图纸。利用工程图进行激光切割木质板材。模拟设计阶段是重要的理论实施阶段，是降低开发成本主要手段，实物加工完成后的二次修改会增加研发成本，很有可能个别连接直接报废，实物加工前要严格审核图纸。

实物加工-激光切割技术加工/底座：

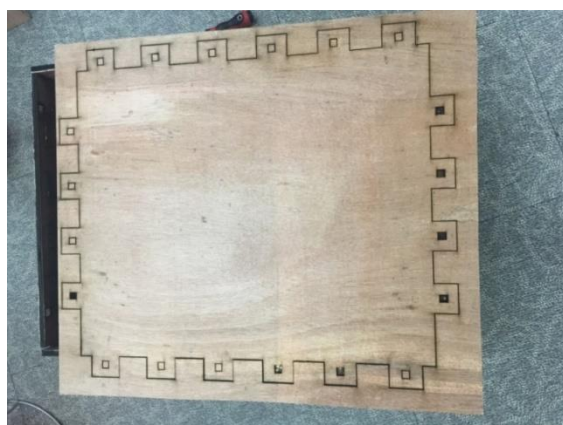


图 82 切割工具固定板

实物加工-激光切割技术加工/左右侧板：



图 83

实物加工-激光切割技术加工/前后侧板:

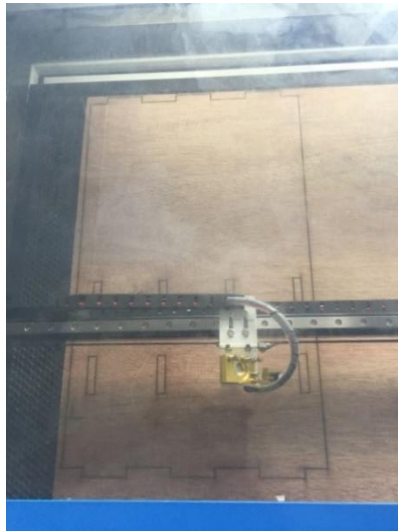


图 84

实物加工-激光切割技术加工/Y 轴连接件:

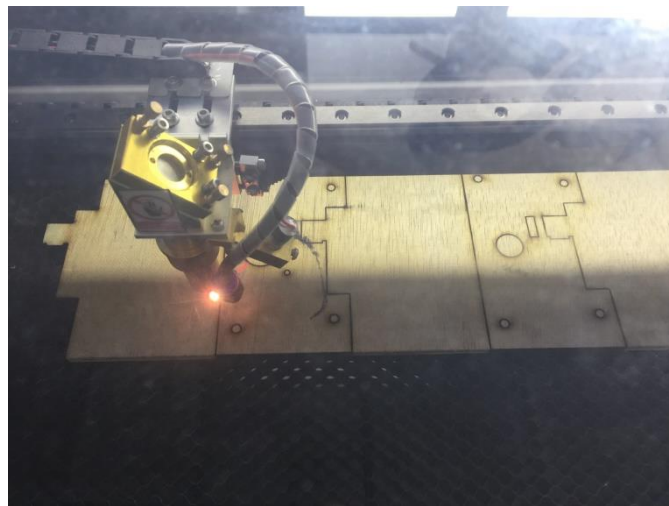


图 85

实物加工-激光切割技术加工/X 轴连接件:

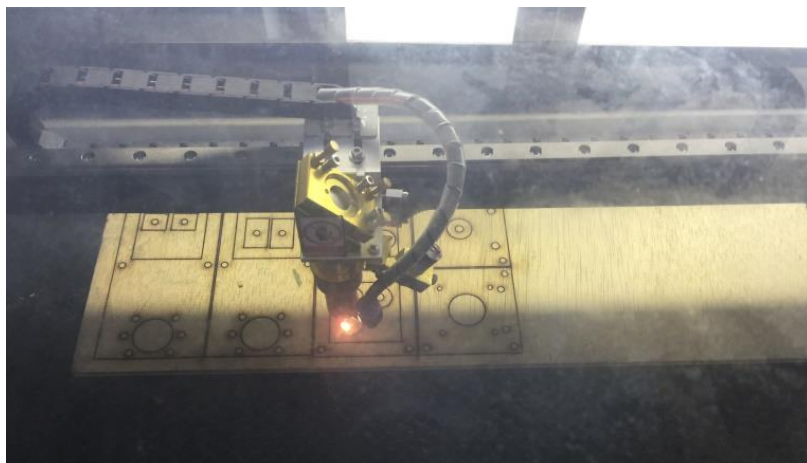


图 86

实物装配-机械机构组装/箱体组装

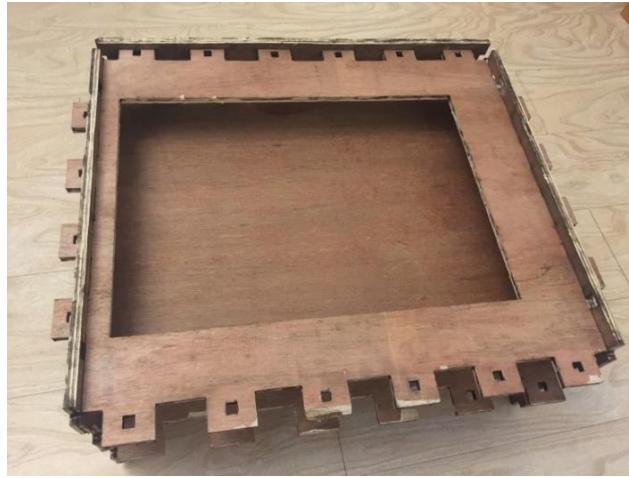


图 87

实物装配-机械机构组装/Y 轴装配

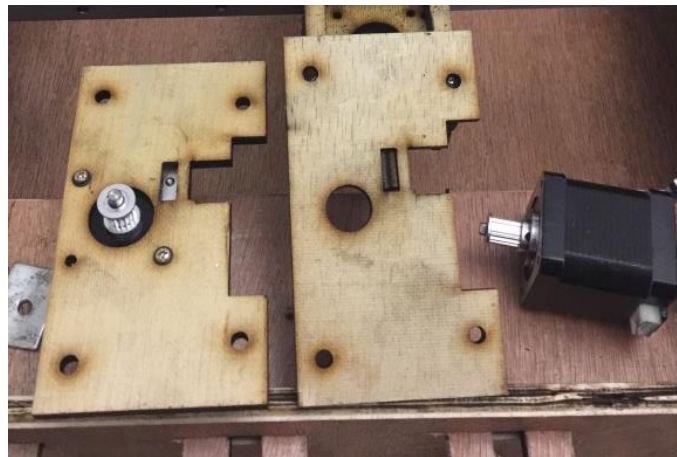


图 88

实物装配-机械机构组装/X 轴装配

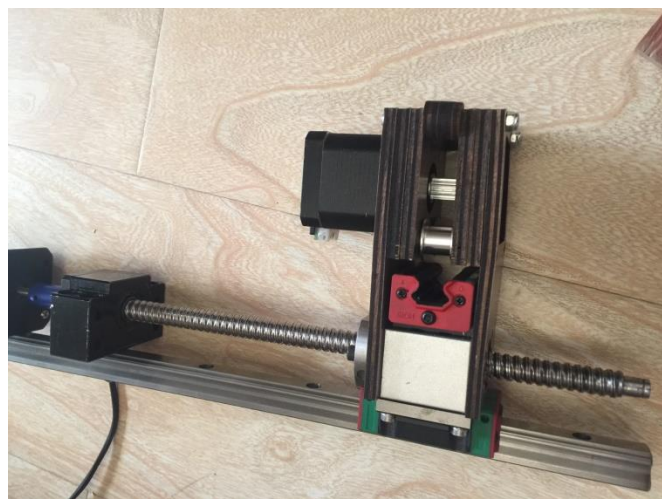


图 89

实物装配-机械机构组装/Z 轴装配、切削装配：



图 90

注：有完整实物安装视频见附件

实物装配-电子元件装配/元件安装：

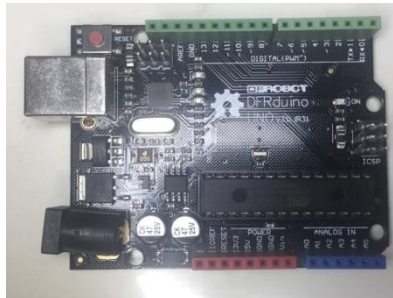


图 91 ARDUINO

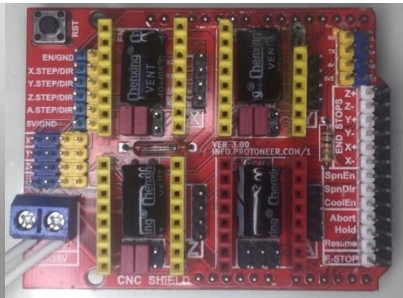


图 92 ARDUINO-扩展板



图 93 驱动器

实物装配-电子元件装配/元件连线：



图 94

计算机控制端

DF 开源硬件 ARDUINO-UNO 对应扩展板驱动控制管脚：

EN	8	//步进电机使能端，低电平有效
X_DIR	5	//X 轴 步进电机方向控制
Y_DIR	6	//y 轴 步进电机方向控制
Z_DIR	7	//z 轴 步进电机方向控制
X_STP	2	//x 轴 步进控制
Y_STP	3	//y 轴 步进控制
Z_STP	4	//z 轴 步进控制

上位机控制软件-机床大脑/初始化程序：



图 95

上位机控制软件-机床大脑/手动程序：



图 96 X+代码



图 97 X- 代码



图 98 Y+代码



图 99 Y-代码



图 100 Z+代码



图 101 Z-代码

上位机控制软件-机床大脑/ 零件加工程序/提取坐标数据:



上位机控制软件-机床大脑/ 零件加工程序/判断方向程序 :



图 102

上位机控制软件-机床大脑/ 零件加工程序/正方向程序：



图 103

上位机控制软件-机床大脑/ 零件加工程序/负方向程序：



图 104

加工数据/作品设计：

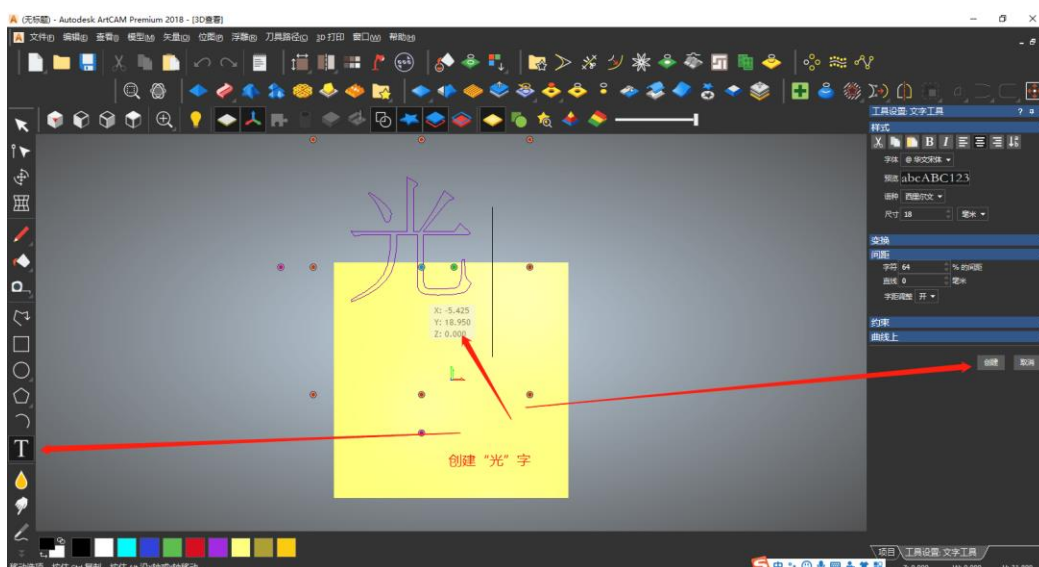


图 105

加工数据/刀路编程/轨迹方式：

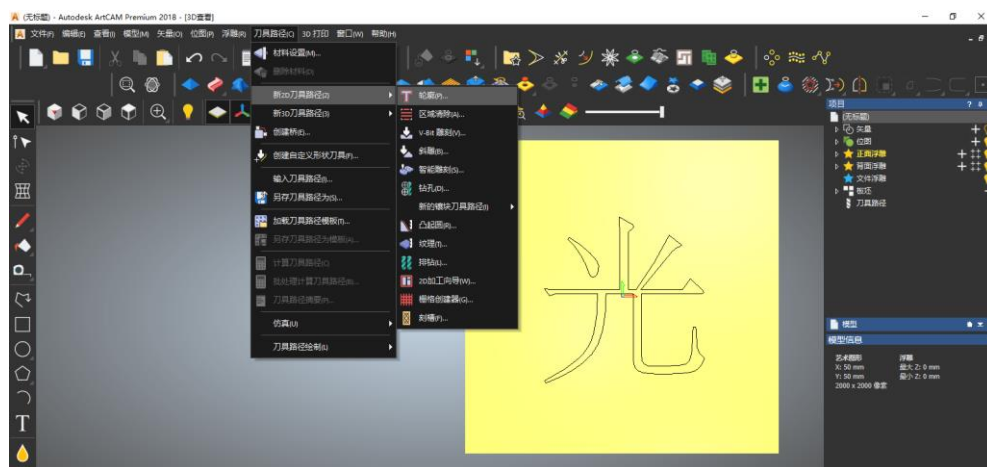


图 106

加工数据/刀路编程/刀具选择：

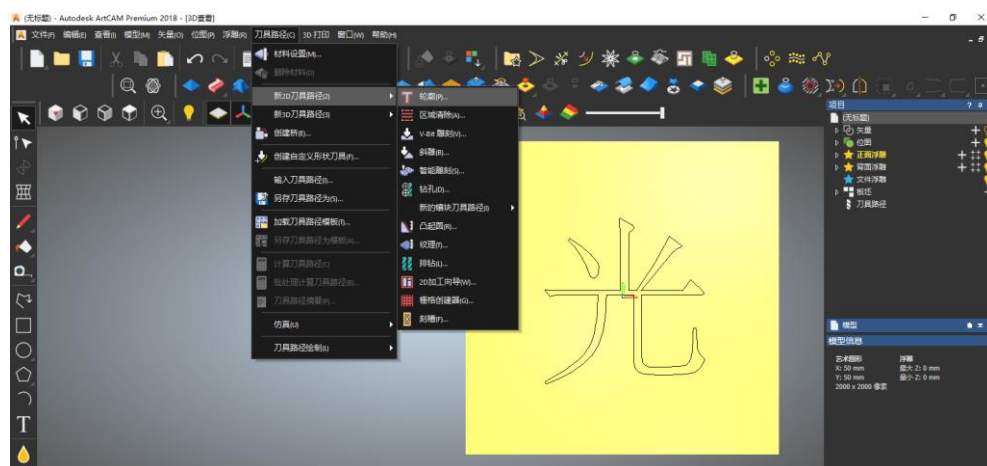


图 107

加工数据/刀路编程/进给速度、安全高度：



图 108



图 109

加工数据/刀路编程/现在计算刀路:

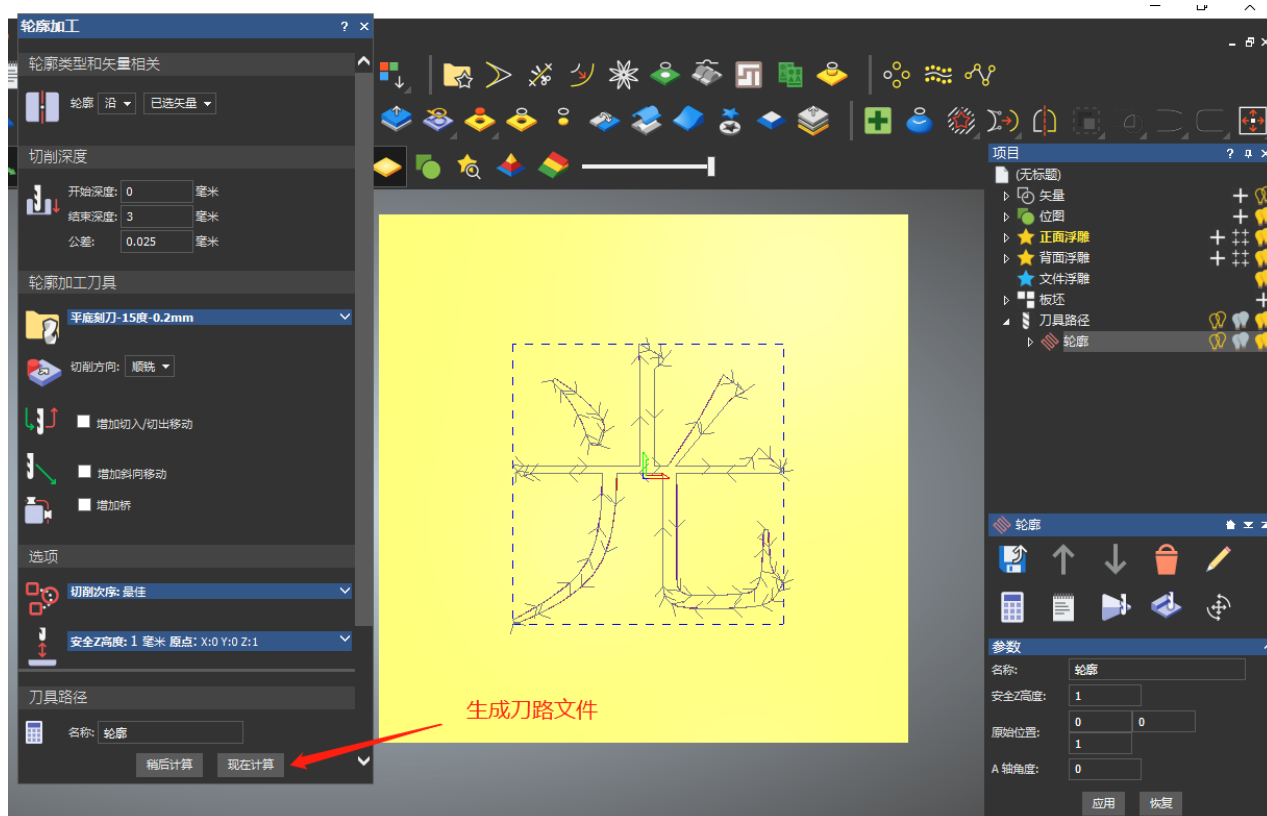


图 110

加工数据/导出刀路数据:

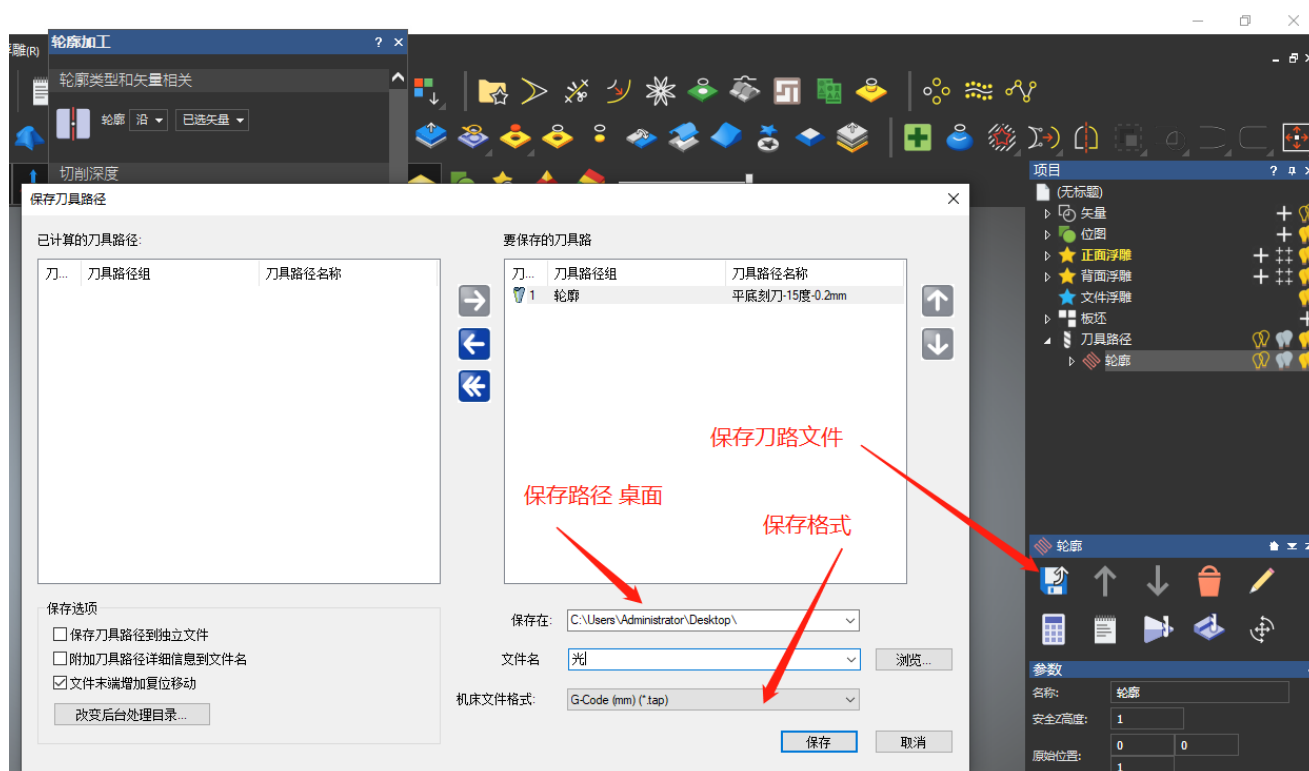


图 111

具体描述作品创作意图的起源、聚焦选题和要表达的想法。可图文并茂地介绍，所插图片下面标注图号与图名。

（二）设计理念

1.模拟设计阶段	降低成本
2.实物加工、安装阶段	学习数控机床结构
3.上位机控制软件编程阶段。	开发上位机控制软件

3.上位机控制软件编程阶段：采用广大师生熟悉的 Mind+编程软件设计、机床初始化、手动控制、零件加工程序，编程上手快，缩短开发周期。

金属与木板的材质属性不同，担心木质的机械结构强度无法保证。考虑机器人写字阻力小，至少是可以写字机器人功能，设定了一级目标“木工雕刻机床”二级目标“木工雕刻机床”。作品的迭代性能考虑可以增加偏心刀剪纸、3D 打印功能。

目前没找到木质框架雕刻机，制作一台低成本木质雕刻机的想法产生了，最初设计的想用木质板材包裹，考虑意义不大，就取消了木质包裹的想法。改为主体结构使用 10mm 的多层实木板，驱动电机的安装采用 3mm 和 6mm 的多层实木板。为保证运行稳定和精度，XYZ 轴的位移采用直线导轨滑块。雕刻机的主控板选用 DF 厂家的 ARDUINO，用扩展板链接步进电机驱动 A4988。使用 CATIA 软件完成激光切割建模，考虑 CATIA 刀路编程比较复杂，改用 Autodesk ArtCAM 进行刀路编程，使用 Mind+软件编写上位机控制软件。用激光切割技术切割木板，手中现有工具手电钻、螺丝刀、电子卡尺、逻辑分析仪、电工万能表。电路搭建采用集成的 3D 打印机扩展板+A4988 步进电机驱动。只需要控制脉冲和方向 6 个 IO 口来完成各轴的运动。程序代码使用 Mind+1.6.4 实时模式，提供源代码文件。搭建和装配过程采用模拟安装演示，有设计安装视频文件。

参考结构:

调研

参考工业级别龙门数控机床结构设计作品。

策划

将铸铁框架配件更换为木质激光切割结构件。各轴稳定采用工业级直线导轨滑块。

手绘设计图

CATIA 软件无纸化设计出战斗机，加上有过之前设计数控机床经验，放弃了手绘图。附件中提供数字模型和激光切割矢量图。

制作材料清单

建材商店购买板材

- 1.使用 10mm 多层实木板 1.65 平方米, 1.2*2.4 米 1 张
- 2.6mm 多层实木 0.5 平方米,
- 3.3mm 多层实木板 0.5 平方米

采购机械成品件

- 5.HGR15 直线导轨 610mm 2 根
- 6.HGR15 直线导轨 400mm 1 根
- 7.HGR15 直线导轨 370mm 1 根
- 8.HGH15CA 方滑块 3 个
- 9.HGW15CC 法兰滑块 1 个
- 10.2GT 传动齿轮 16 齿带宽 10mm 3 个
- 11.2GT 惰轮 20 齿带宽 10mm 6 个
- 12.2GT 同步带宽 10mm 2 米
- 13.42 步进电机 4 个
- 14.1204 螺母座 1 个
- 15.1204 螺母 1 个
- 16.1204 滚珠丝杠 1 个
- 17.BK10 稳定器 1 个
- 18.BF10 轴承座 1 个
- 19.42 电机安装座 1 个
- 20.795 直流雕刻轴 1 个
- 21.主轴 ER11 夹具 1 个
- 22.螺丝配件 1 批

采购成品电子件

- 1.主控板 DF 厂家 ARDUINO 1 个
- 2.ARDUINO-3D 扩展板 1 个
- 3.A4988 步进电机驱动 3 个
- 4.配线 1 批

自主激光切割件

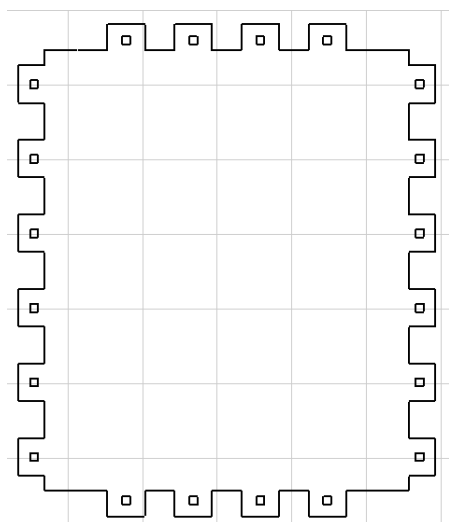


图 113 1 块

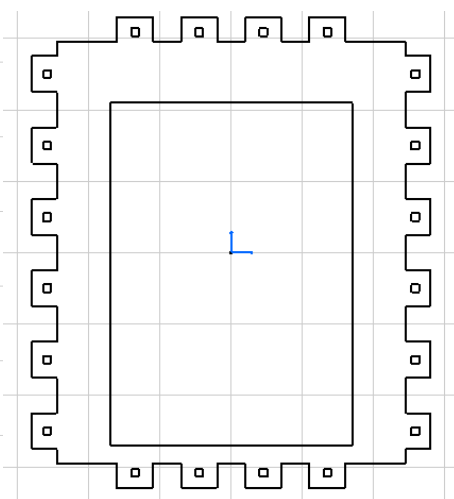


图 114 1 块

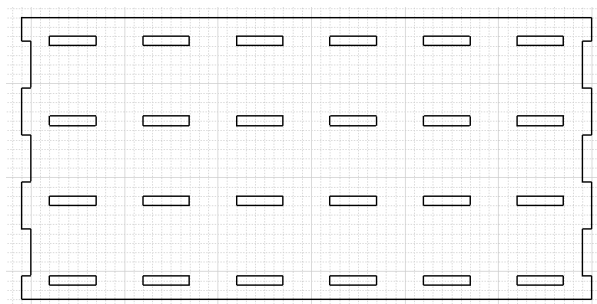


图 115 2 块

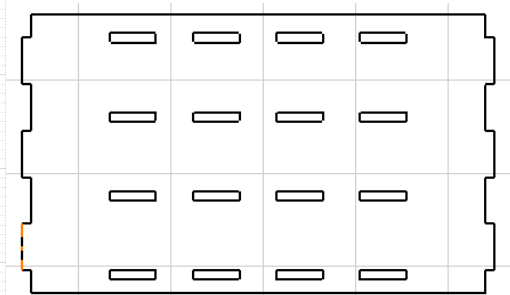


图 116 2 块

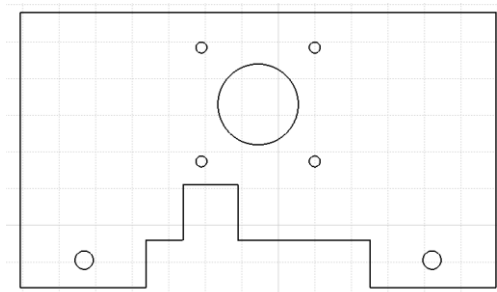


图 117 2 块

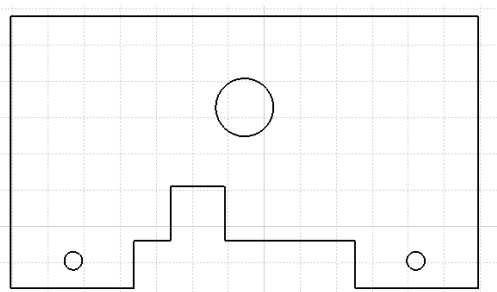


图 118 2 块

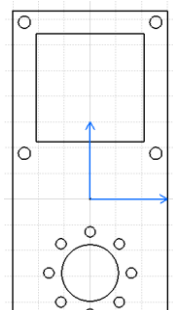


图 119 2 块

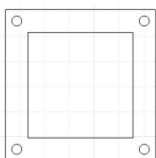


图 120 2 块

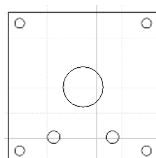


图 121 2 块

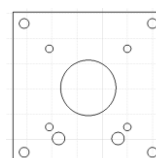


图 122 2 块

采购机械成品件实物图

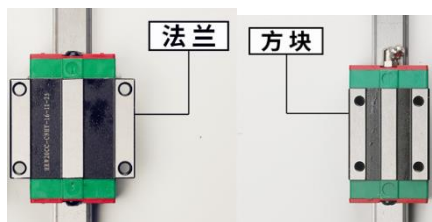


图 123 直线导轨滑块



图 124 步进电机 42 级



图 125 同步轮

带宽10mm20齿内孔5不带齿

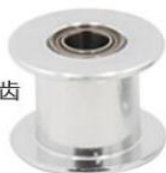


图 126 惰轮



图 127 法兰轴承



图 128 轴承

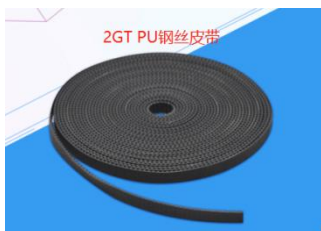


图 129 同步带

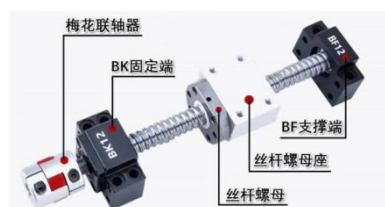


图 130 滚珠丝杆直径 12mm 螺距 4mm



图 131 联轴器

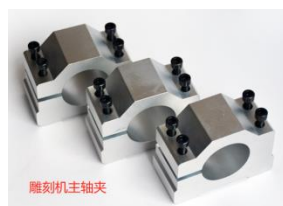


图 132 主轴夹具

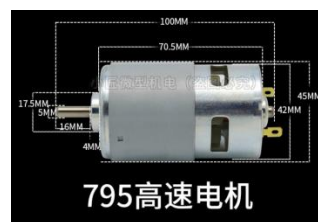


图 133 直流马达 24V 雕刻主轴

商品名称	电机轴夹刀套
商品型号	ER11/16/20型
螺母	ER11A/16A/20A型
杆子外径	16mm/20mm/25mm
轴孔	(-0.02mm)
材质	40铬

● 安装：轴孔径会比实际小0.02mm，通过300° 高频加热，热胀冷缩原理，孔加热会胀开，接着把主轴放进去，锁紧顶丝，冷却后完全固定夹刀套至长杆。



图 134 雕刻刀夹具 ER16 级

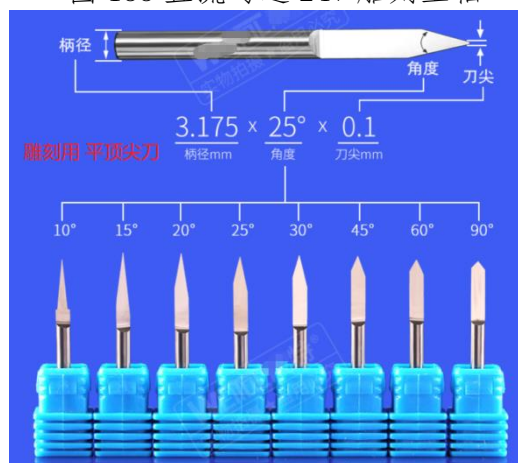


图 135 木工雕刻平顶尖刀

采购成品电子件实物图

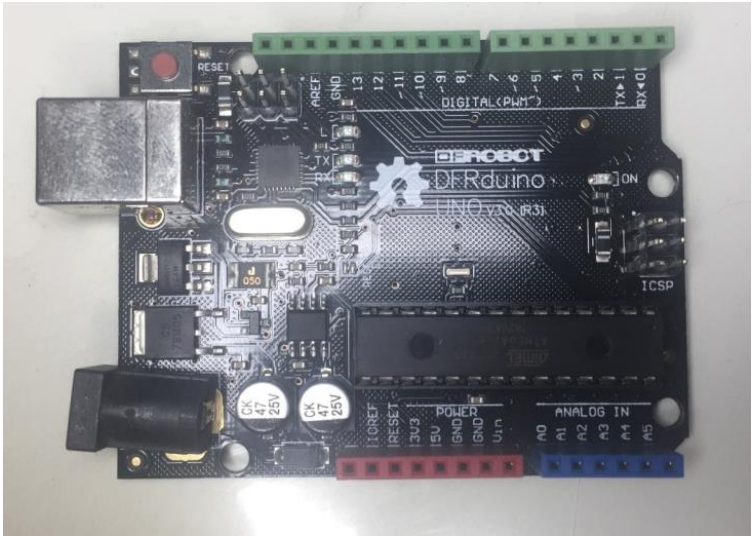


图 136 DF ARDUINO 主控

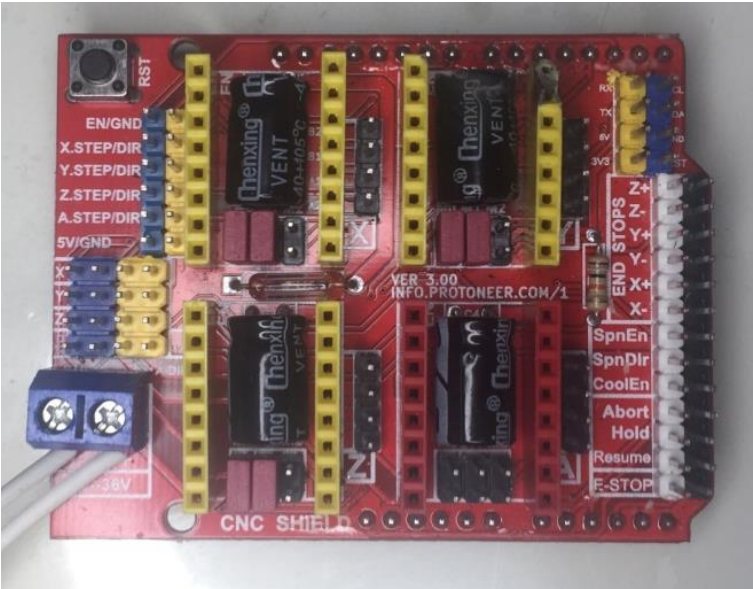


图 137 3D 打印机扩展板

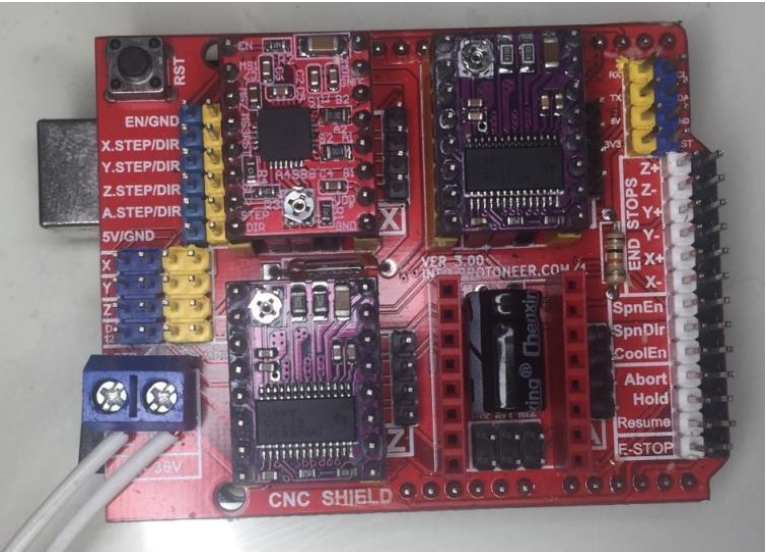


图 138 步进电机驱动

5.软硬件工具清单

建模软件 CATIA

刀路编程软件 Autodesk ArtCAM

上位机控制软件 DF 厂家 Mind+编写代码

手电钻

螺丝刀

扳手

电子卡尺

逻辑分析仪

电工万能表。

电烙铁

热风枪

驱动电源 400W-0-48V 可调

5V10W 电源

6.制作过程

- 1.有模拟设计的视频见附件 视频 4 小时。
- 2.有激光切割的过程视频，也可以通过激光加工中心切割板材。
- 3.有完整安装视频。视频 40 分钟。

三、作品的展示与评价

重要的事说三遍，低成本、低成本、低成本。你想拥有一台低成本的数控机床吗，我来帮你实现。在创作时用数控机床工具制作配件是十分方便。通过制作数控机床，可以掌握开发智能数控产品工艺流程，对今后开发设计产品非常有帮助，本作品考虑到成本选用木质框架，作品的实用价值非常高、一机多用，价位低功能多非常适合创客教学使用，值得拥有。 作品最大的优势通过迭代改进，还可以增加剪纸、3D 功能。不足之处暂时分享雕刻技术，其它功能正在撰写中。

四、总结与反思

参与活动对激光建模水平又一次提高，整理的资料得到龙丽嫦老师的指导，层次更加清晰。非常感谢龙老师的指导，谢谢。能强化学习速度、能与更多的激光切割同行相识，收获知识、相识新朋友。完成一个作品，需要有朋友相助，要发挥团队多角度力量，有考察、有领航、有专研、有创新，参加活动后感受考虑问题要更多视角。注重创作资料的梳理过程。在这次技术案例开源分享过程中，为激光切割技术快速发展、数控机床技术快速发展，我全身心投入，学者加油、教者加油，为掌握核心技术加油。

附件：

创作视频（要求含建模过程视频、搭建和展示视频）

视频见附件

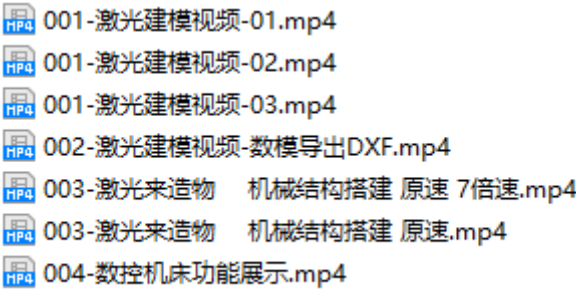


图 139 视频目录

2.实物作品照片（1 张，像素不低于 1024*768）

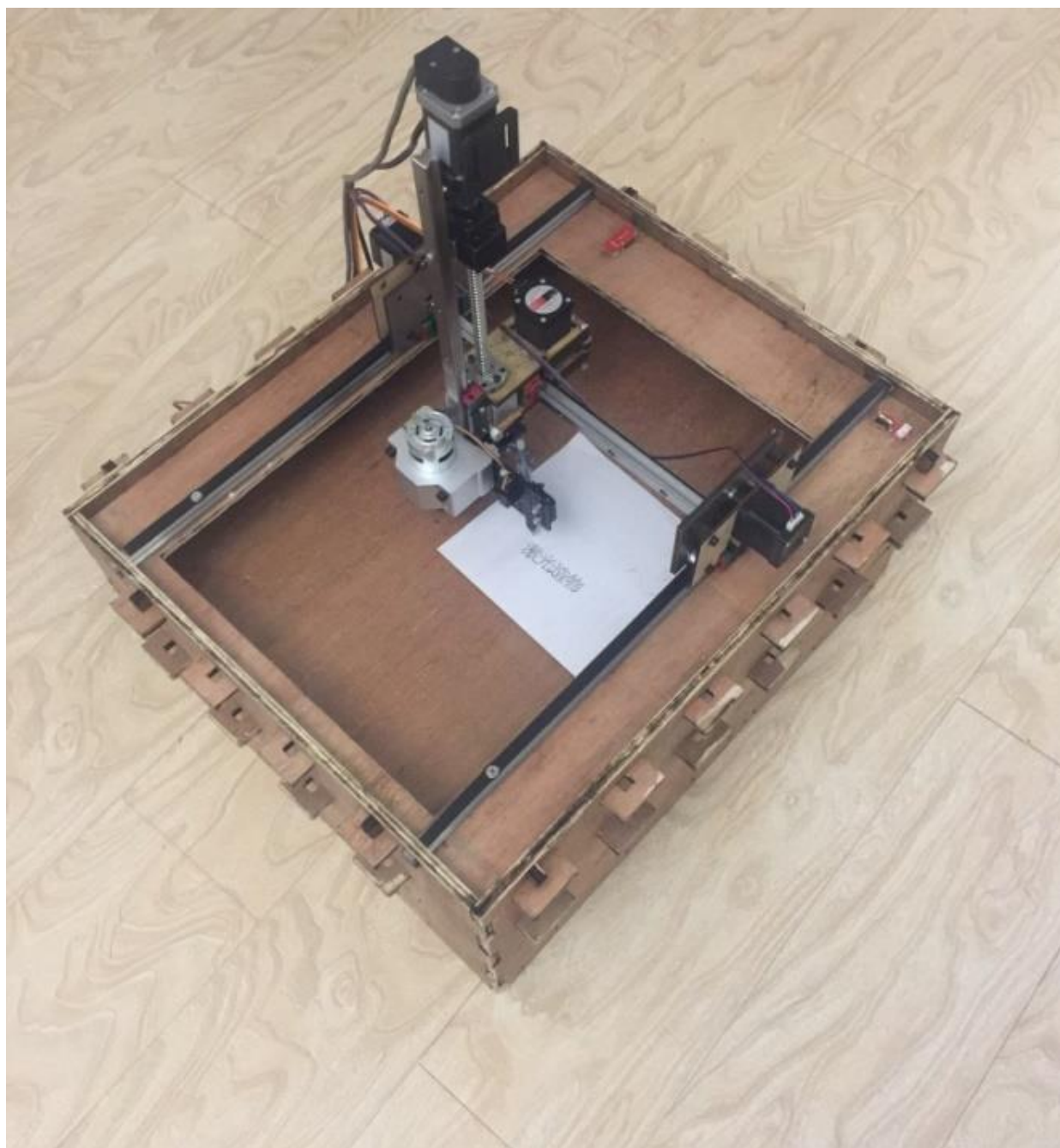


图 140

1. 建模设计图 注：附件有数模和矢量图
有机械结构 3D 数模和用于激光切割的 DXF 格式矢量图。（见附件）

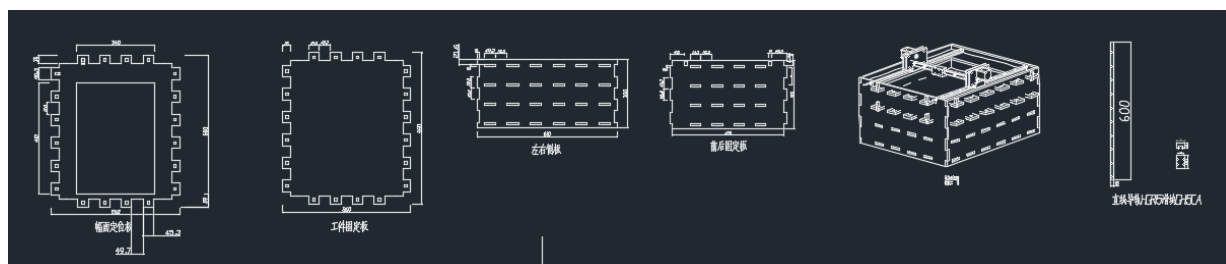


图 141 底座

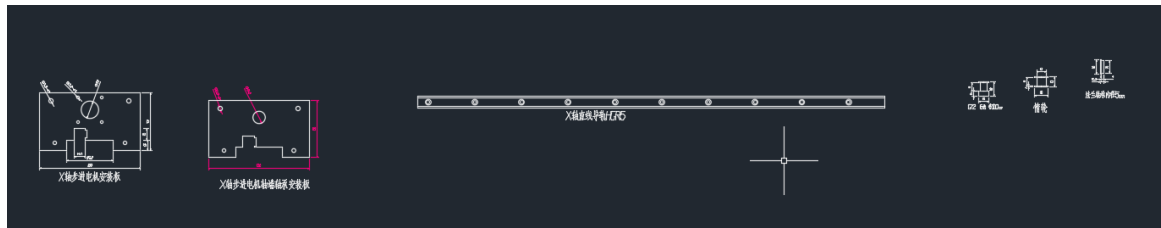


图 142 Y 轴板

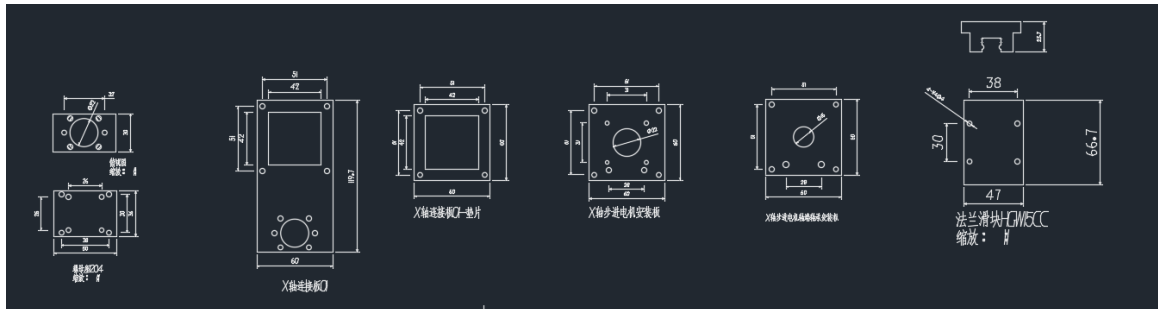


图 143 X 轴安装件

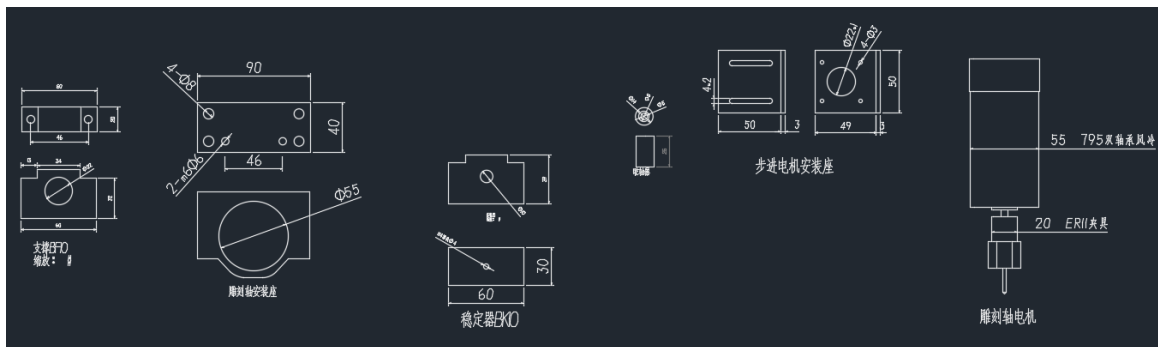


图 144 主轴夹

2. 程序代码文档

代码见附件

作品代码见附件



图 146 X+



图 147 X-



图 148 Y+



图 149 Y-



图 150 Z+



图 151 Z-



图 152 显示比例