

《快速成型与快速制模综合实验》实验讲义

实验 1 产品的三维造型与反求 (4 学时)

一、实验理论

1. 传统的设计过程(正向工程), 是根据产品的功能和用途首先进行概念设计, 然后通过 C A D 输出产品的设计图纸, 经审查无误后, 编制 N C 代码并输入 C N C 加工设备进行产品加工或者通过快速成型机制作样品。图示如下:

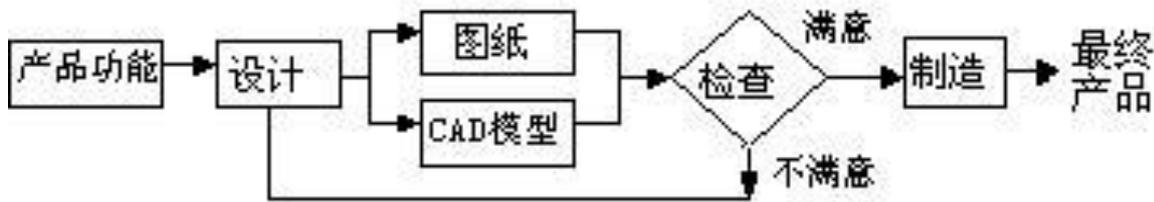


图 1 正向工程

2. 反求工程是从一已经存在的零件或产品模型入手, 首先对其进行数字化测量, 得到它的轮廓坐标值, 然后通过三维 C A D 曲面重构得到其三维 C A D 模型并输出图纸, 经审查合格后由 C N C 加工设备或快速成型机进行加工。图示如下:

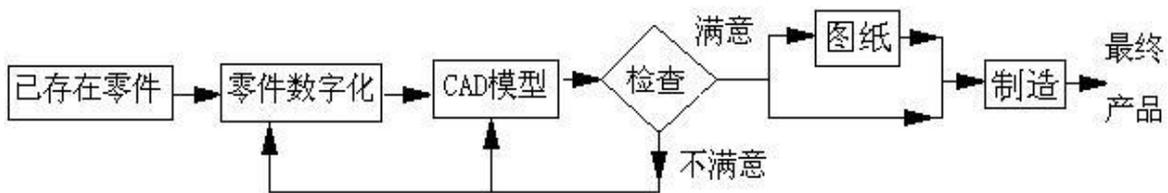


图 2 反求工程

3. 反求工程的应用

(1) 在没有原始设计 CAD 模型和没有设计图纸的情况下, 在对事物进行测量的基础上重构其 CAD 模型或进一步生成零件的设计图纸, 并以此为依据生成数控加工的 NC 代码或应用快速原型技术, 加工复制出一个相同的零件: 图 3 为逆向复制 1954 款 Silver-Arrow 赛车过程:

- ①原型车经过 14 小时三维扫描
- ②扫描后得到由 9800 万点构成的点云
- ③利用点云数据由 CAD 软件进行处理

④80 小时工作时间的创建 CAD 模型

⑤逆向复制出的仿制品实车。

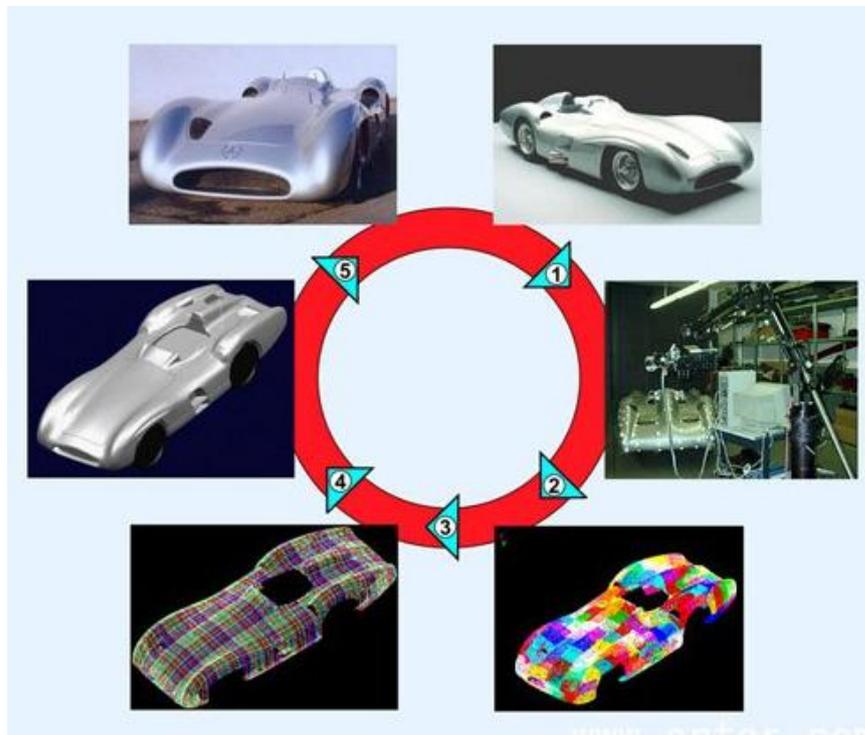


图 3 赛车反求过程

图 4 为丰田花冠和国内某自主品牌汽车（仿制）



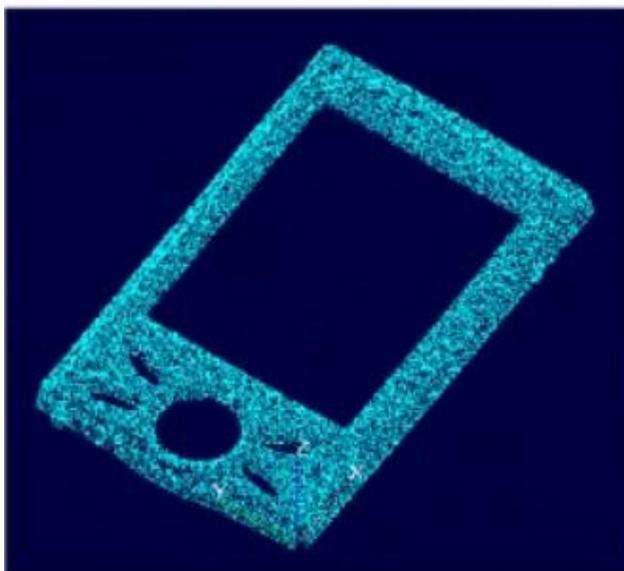
图 4 小车外形反求

(2) 在新产品的开发中，当设计需要通过外观美学评估才能定型的工件模型时，通常先制造出该产品的油泥模型或木质模型，然后对这个油泥模型或木质模型应用反求工程获取该产品的 CAD 模型。



图 4 小车油泥模型

(3) 在批量生产中，每个产品的外形都有细微的差异，通过反求工程建



三维测量点云数据



CAD三维设计原始数据

立的 CAD 模型，可以作为工业检测的重要依据：

图 5 产品工业检测

(4) 艺术品、考古文物等的修复和复制：



图 6 艺术及考古作品复制

4. 反求工程的关键技术

(1) 实物原型的数字化技术（三维表面数据采集技术），数据采集的方法有如图 7 所示的多种方法（红色是本实验所采用的方法）：

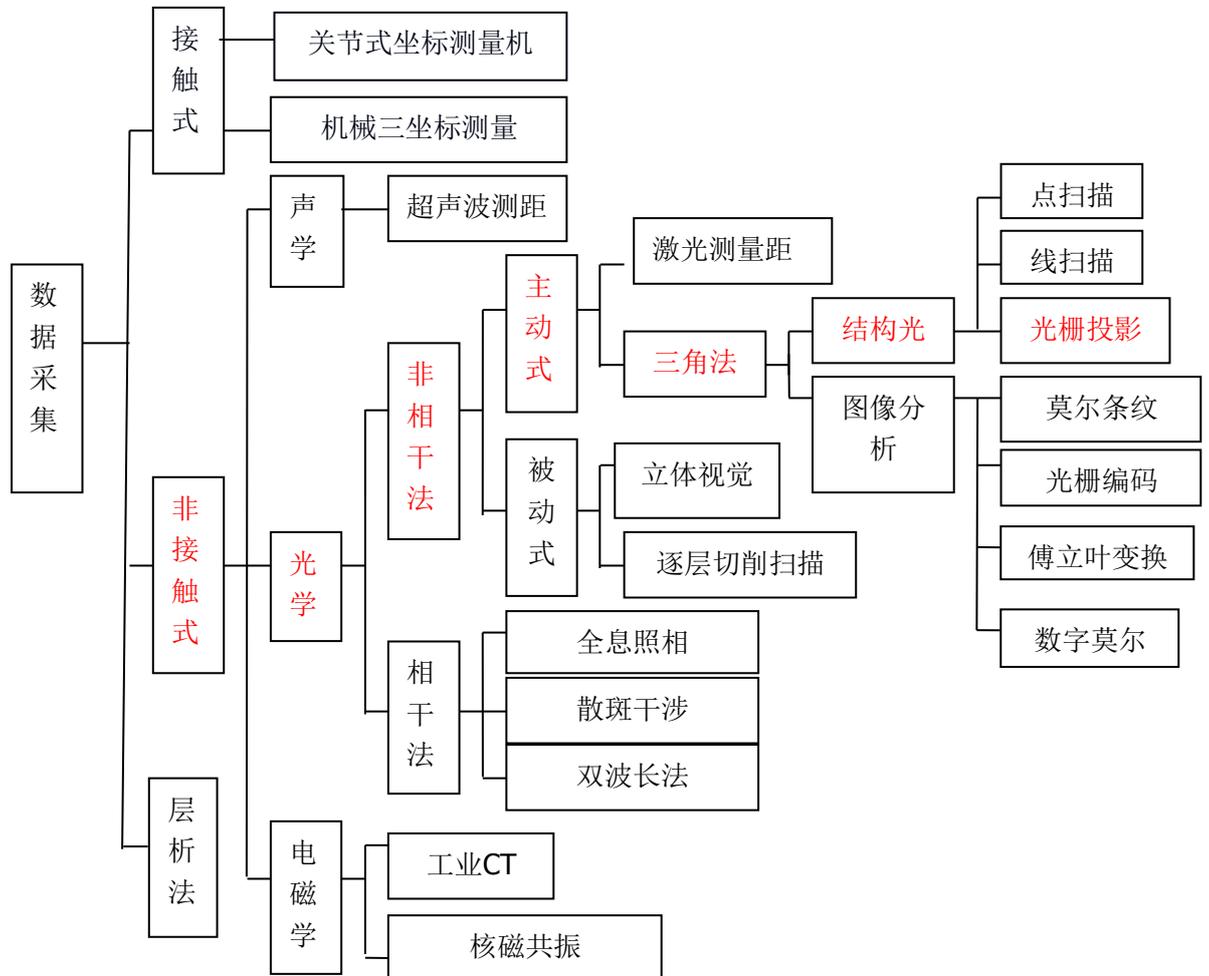


图 7 实物原型数字化方法

数据采集原理：

如图 8 所示，测量时光栅投影装置投影特定编码的光栅条纹到待测物体上，一个摄像头同步采集相应图像，然后通过计算机对图像进行解码和相位计算，并利用匹配技术、三角形测量原理，解算出摄像机与投影仪公共视区内像素点的三维坐标，通过三维扫描仪软件界面可以实时观测相机图像以及生成的三维点云数据。

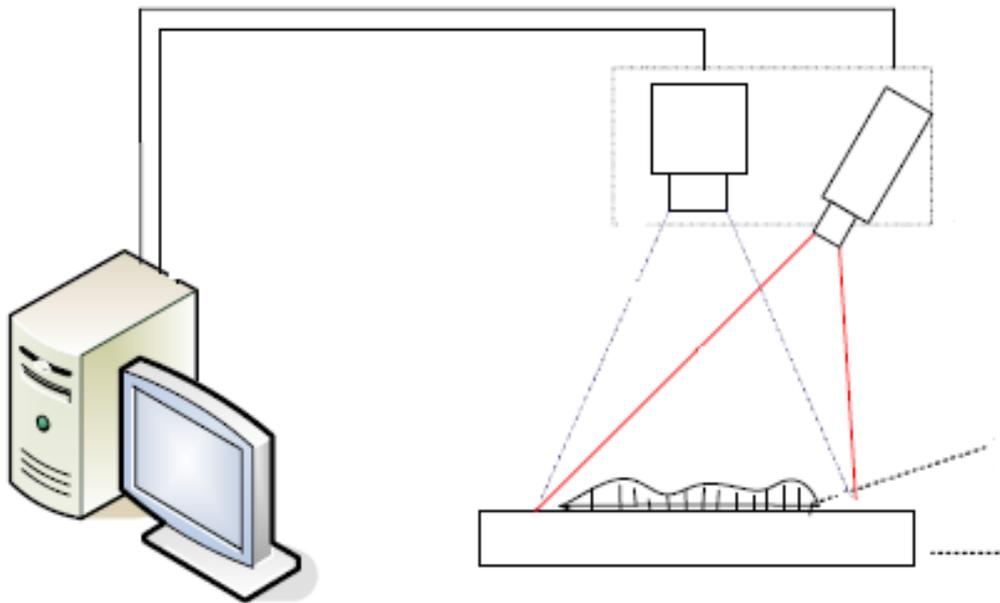


图 8 数据采集原理

(2) 数据点云的预处理技术

接触式测量要对数据点云进行半径补偿；去除误差点；对点云数据进行精简；

(3) 三维重构基本方法

对于复杂曲面产品来说，其实体模型可由曲面模型经过一定的计算演变而来，因此曲面重构是复杂产品逆向工程的关键；

(4) 曲线曲面光顺技术

(5) 逆向工程的误差分析与品质分析

二、实验目的及内容

1. 实验目的

(1) 了解反求技术的基本流程.

(2) 通过完成一个产品的三维表面数据的测量和反求产品的三维模型，了解三维表面轮廓数据测量的方法以及反求设计流程.

(3) 了解基于 CAD 系统直接建模和利用相关设备进行反求建模的特点和应用场合。

2. 实验内容

(1) 运用面结构光三维测量系统对零件进行测量，并用 Geomagic 软件对其进行拼合。

(2) 以反求技术得到的零件三维点云数据为基础，在 UG 中对其进行后续的三维造型。

三、实验仪器、设备

1. 仪器设备

面结构光三维测量系统；安装了 UG、Geomagic 等软件的电脑若干台。

2. 点云数据

用三维测量系统采集得到的点云原始数据文件。塑料件/锻造件/铸造件样品若干及其二维图纸。

四、实验方法和步骤

本实验分为两部分：

第一部分： 运用面结构光三维测量系统对零件进行测量，并用 Geomagic 软件对其进行拼合。

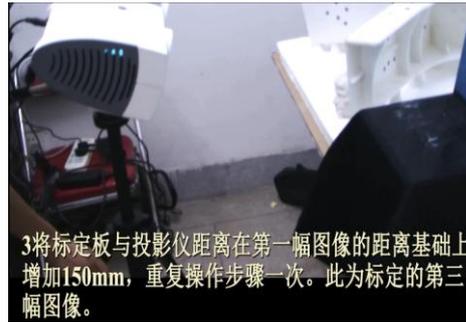
第二部分： 由零件的点云文件，用 UG 的建模模块反求来构建零件的三维模型。

第一部分实验方法和步骤

1. 将装有 PowerScanner 软件的电脑与面结构光系统的设备安装连接好。
2. 打开 PowerScanner 软件，对光学测量系统进行标定（标定方法见下图）。



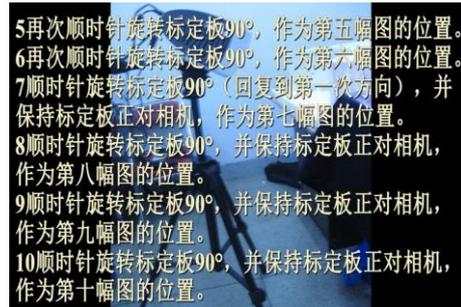
2将标定板与投影仪的距离在第一幅图像的距离基础上减少150mm,重复前面的操作步骤一次。此为标定的第二幅图像。



3将标定板与投影仪距离在第一幅图像的距离基础上增加150mm,重复操作步骤一次。此为标定的第三幅图像。



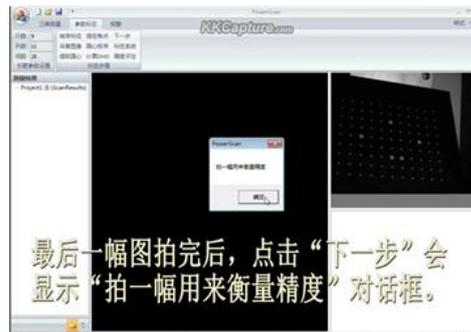
4将标定板还原至第一幅图像的位置,并且顺时针(根据右手定则法矢指向标定板向里)旋转标定板90°。此为第四幅的位置。



5再次顺时针旋转标定板90°,作为第五幅图的位置。
6再次顺时针旋转标定板90°,作为第六幅图的位置。
7顺时针旋转标定板90°(恢复到第一次方向),并保持标定板正对相机,作为第七幅图的位置。
8顺时针旋转标定板90°,并保持标定板正对相机,作为第八幅图的位置。
9顺时针旋转标定板90°,并保持标定板正对相机,作为第九幅图的位置。
10顺时针旋转标定板90°,并保持标定板正对相机,作为第十幅图的位置。



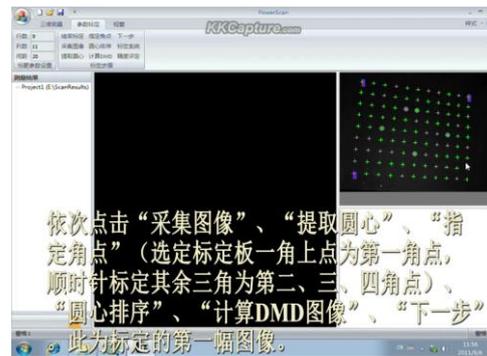
11顺时针旋转标定板90°(恢复到第一次方向),并保持标定板上下斜对投影仪,作为第十一幅图的位置。
12顺时针旋转标定板180°,并保持标定板上下斜对投影仪,作为第十二幅图的位置。



最后一幅图拍完后,点击“下一步”会显示“拍一幅用来衡量精度”对话框。

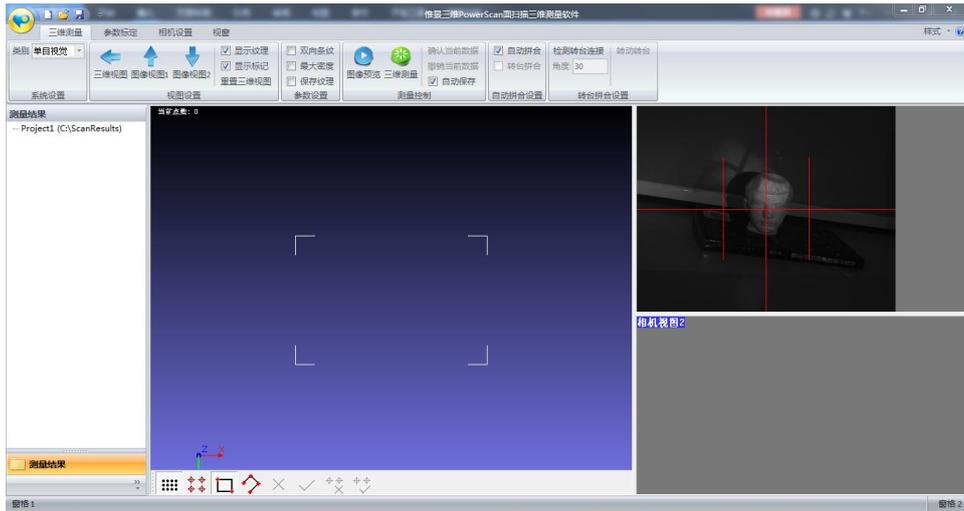


固定相机焦距、光圈和投影仪焦距。调整标定板和投影仪位置,保持投影仪距标定板在1.1米—1.4米之间,并且标定板正对投影仪。

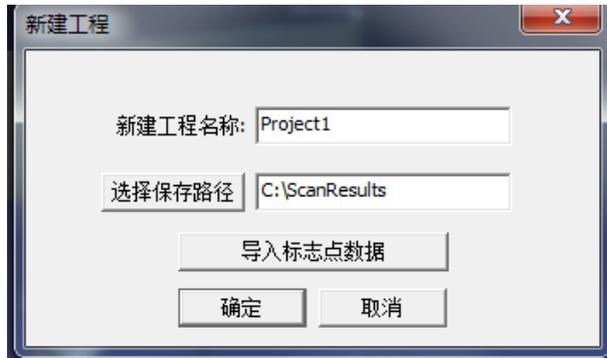


依次点击“采集图像”、“提取圆心”、“指定角点”(选定标定板一角上点为第一角点,顺时针标定其余三角为第二、三、四角点)、“圆心排序”、“计算DMD图像”、“下一步”
此为标定的第一幅图像。

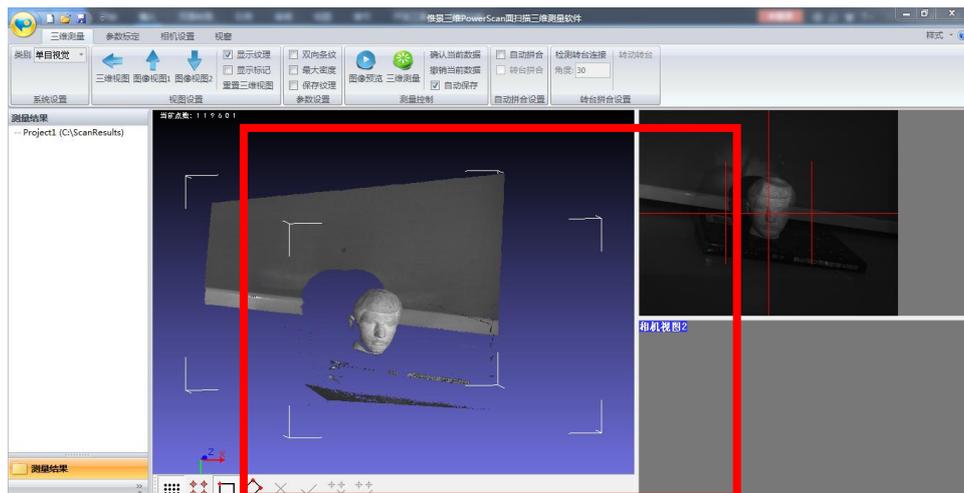
3. 标定完成后,点击菜单栏“三维测量”下面的“图像预览”按钮,即可以在屏幕上看见被测物体的预览图像,根据预览,将被测物体置于中心位置。



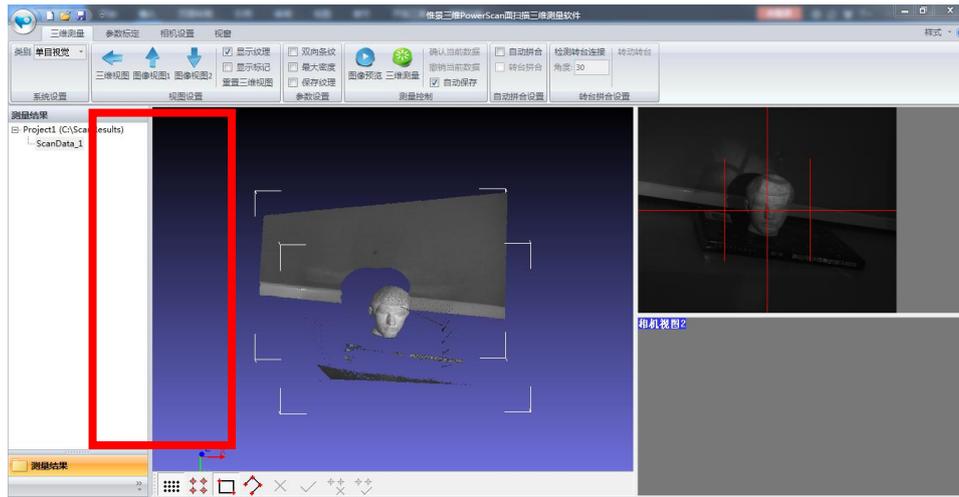
4. 点击“新建工程”，输入新建工程名称路径。测量所有的文件将保存在此路径。



5. 点击“三维测量”，开始进行数据采集，此时软件中的主视图框中会显示出测量的图像。



6. 点击确认当前数据，即可在左侧的“测量结果”工具条中显示出相应的结果名称、路径，并将测量数据存入设置好的本地路径文件夹中。

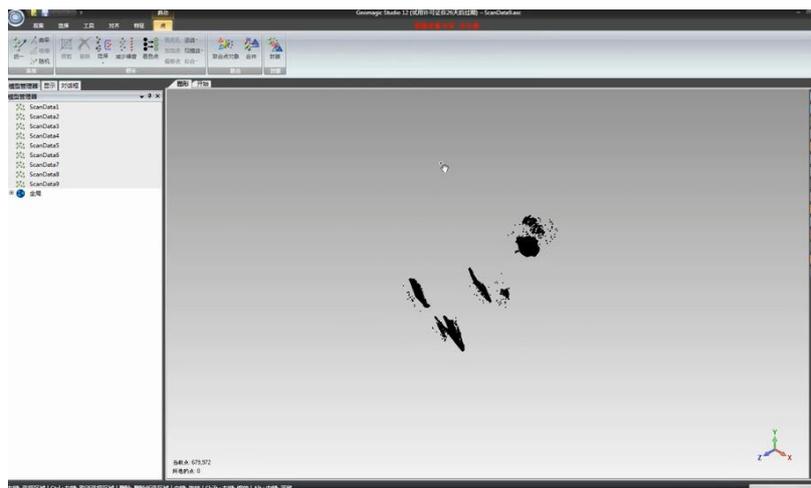


7. 沿着固定方向（顺时针或逆时针）将零件旋转一个角度（一般是 45 度），重复以上步骤，直到旋转到与第一次被测物体的位置重合，测量得到零件完整的三维点云数据。

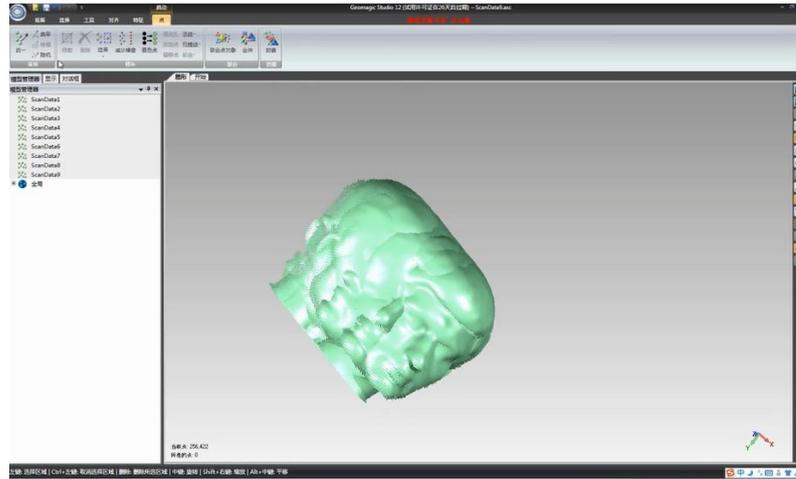
注意：测量零件模型时，每一幅图只能测量到零件正对着扫描仪的部分，要想采集到完整的 360 度的模型点云数据，一般每次旋转 45 度，测量 8 幅图，第 9 幅图与第一幅图重合（提高精度），并保证每幅图测量的零件正对面有重叠部分（便于拼合）。

9. 将实验数据导入到 Geomagic 软件中进行数据处理。

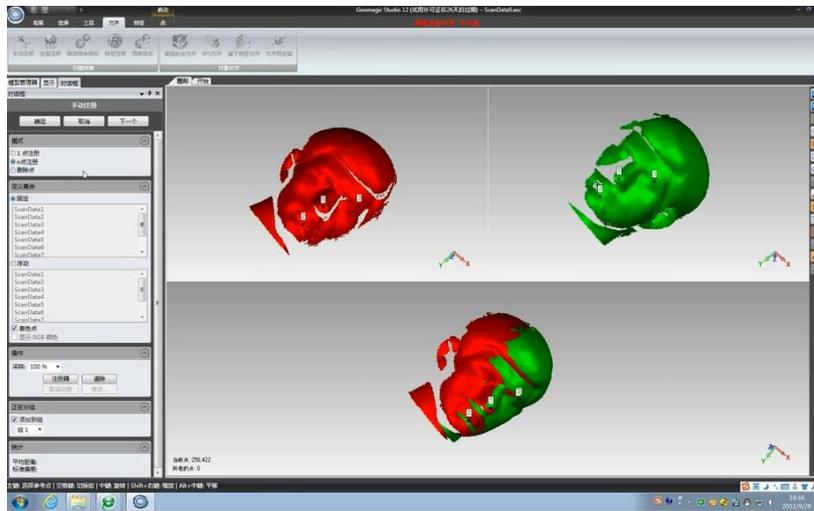
(1) 打开软件，点击“导入”按钮，将测量得到的点云数据（9 个文件）导入。



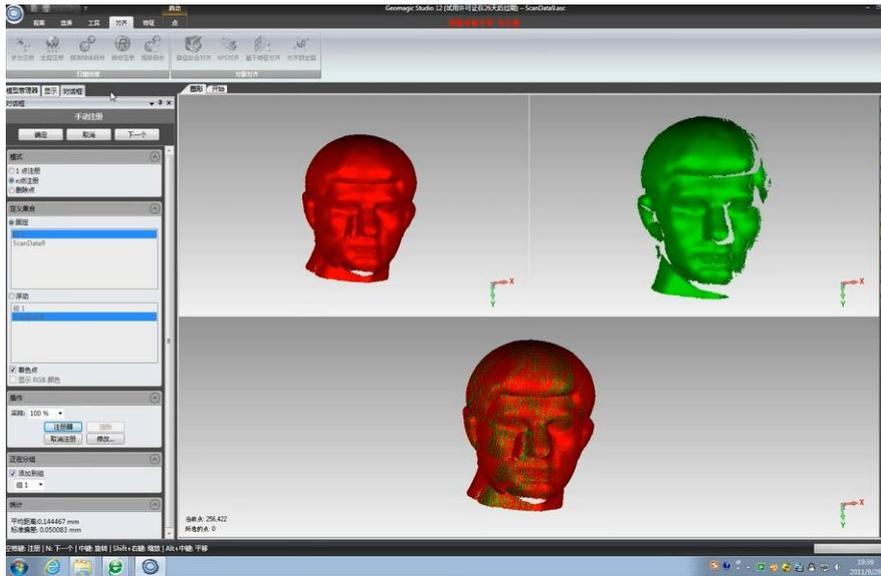
(2) 对点云数据进行预先处理，通过“着色”按钮将所有点着色，通过“选择”按钮选中体外孤点与非连接点，将误差较大的点删除。



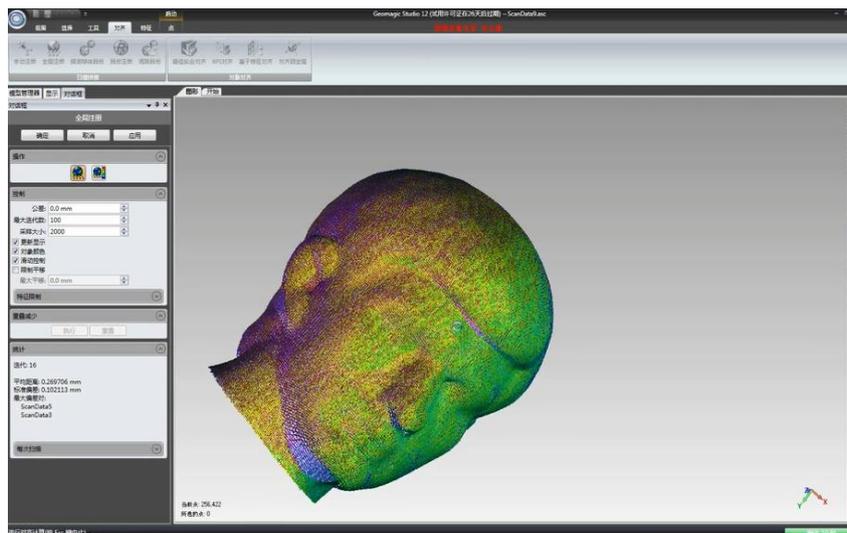
(3) 点击“对齐”菜单下的“手动注册”按钮，进入手动拼合按钮界面，选定特征点，软件通过将两幅图中同一特征点重合的方式将其拼合。



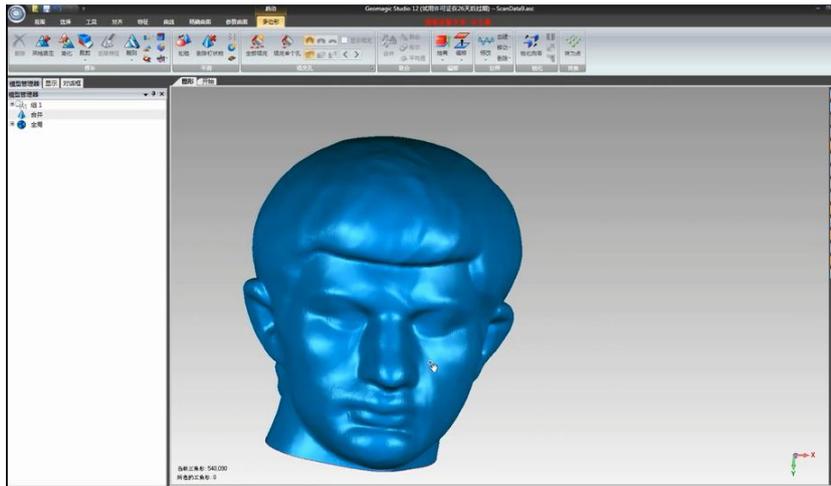
(4) 重复上述操作，将九幅图依次拼合，形成一个完整的点云数据模型。



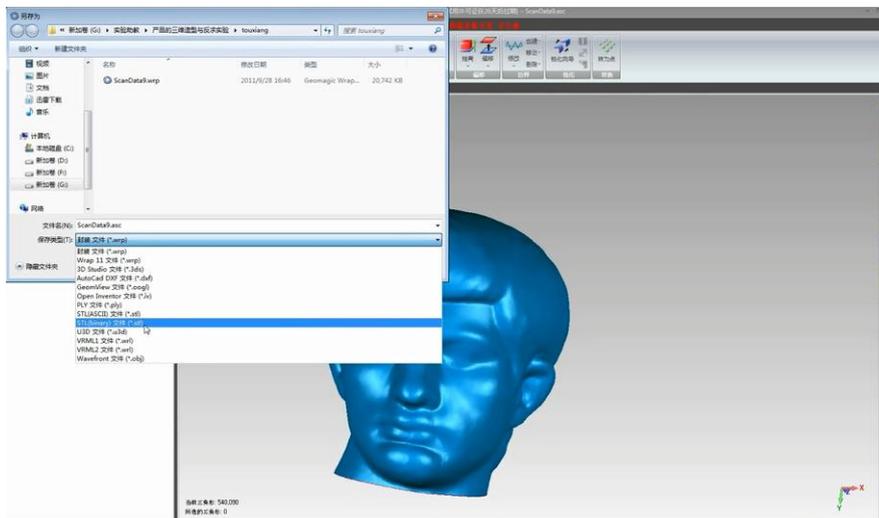
(5) 点击“确定”按钮，回到“对齐”界面，点击“全局注册”按钮，软件自动通过曲线曲面的识别技术，优化对齐，光顺曲面。



(6) 点击“点”菜单下的“合并”按钮，用三角形面片将点云合并成面片模型。进入面片处理界面，通过“填充”、“删除丁状物”“砂纸打磨”等按钮将面片模型表面进行优化，得到完整且美观的模型。



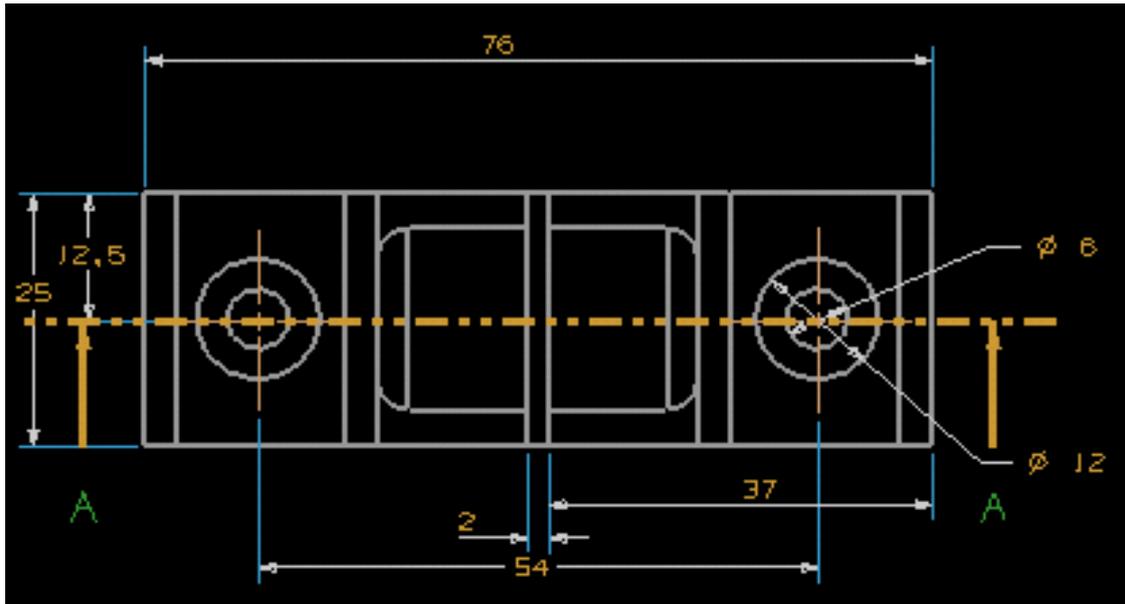
(7) 点击“另存为”按钮，将模型输出为指定格式（例如.stl 等），即可用于快速成型与快速制模等。



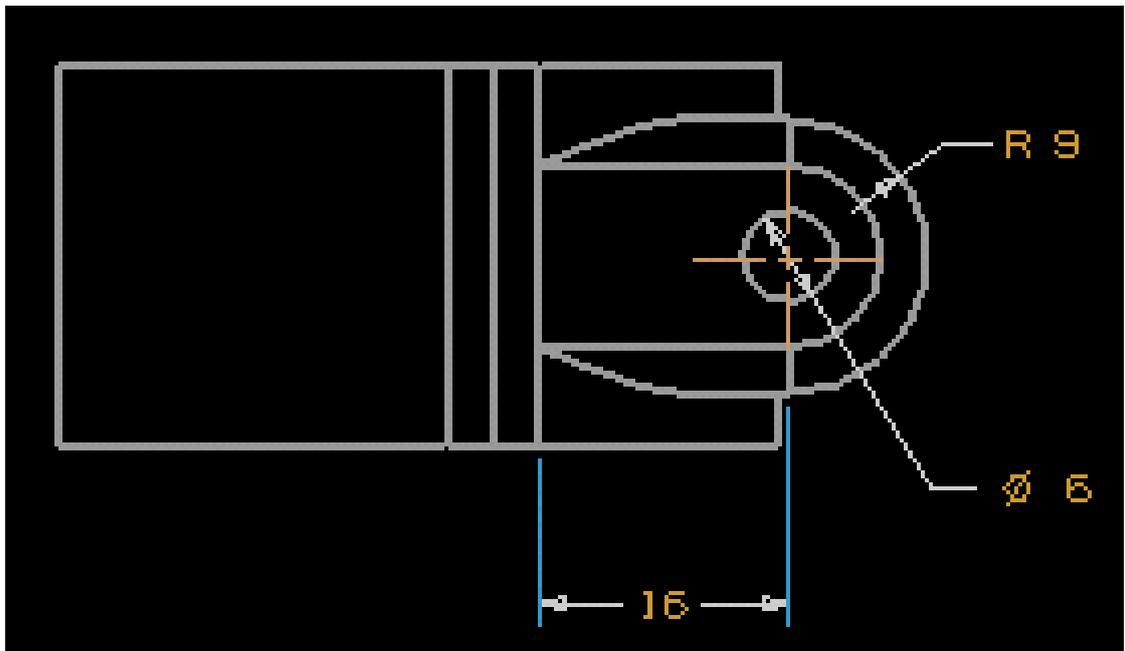
第二部分实验方法和步骤

(一) 直接建模

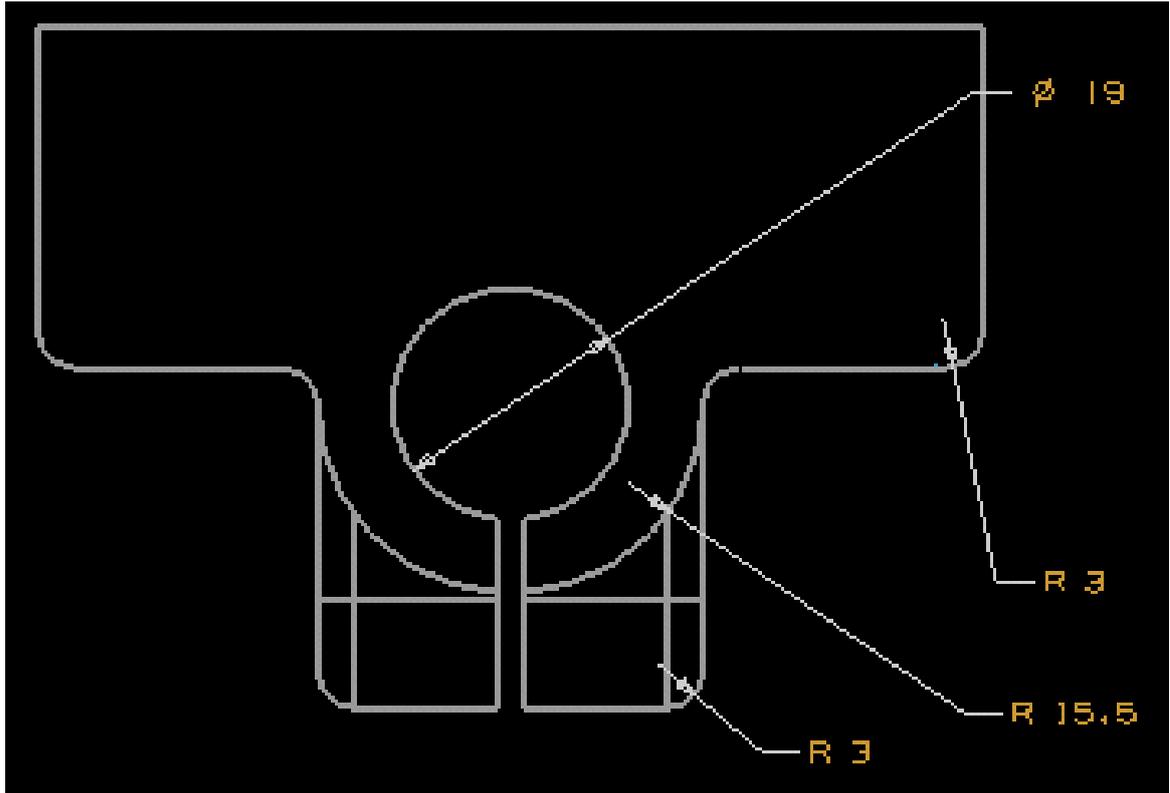
选择一个样件，读懂其二维图纸，用UG的造型模块（Modeling）完成其三维建模，注意理解和应用参数化设计技术。二维图纸如图 1-1



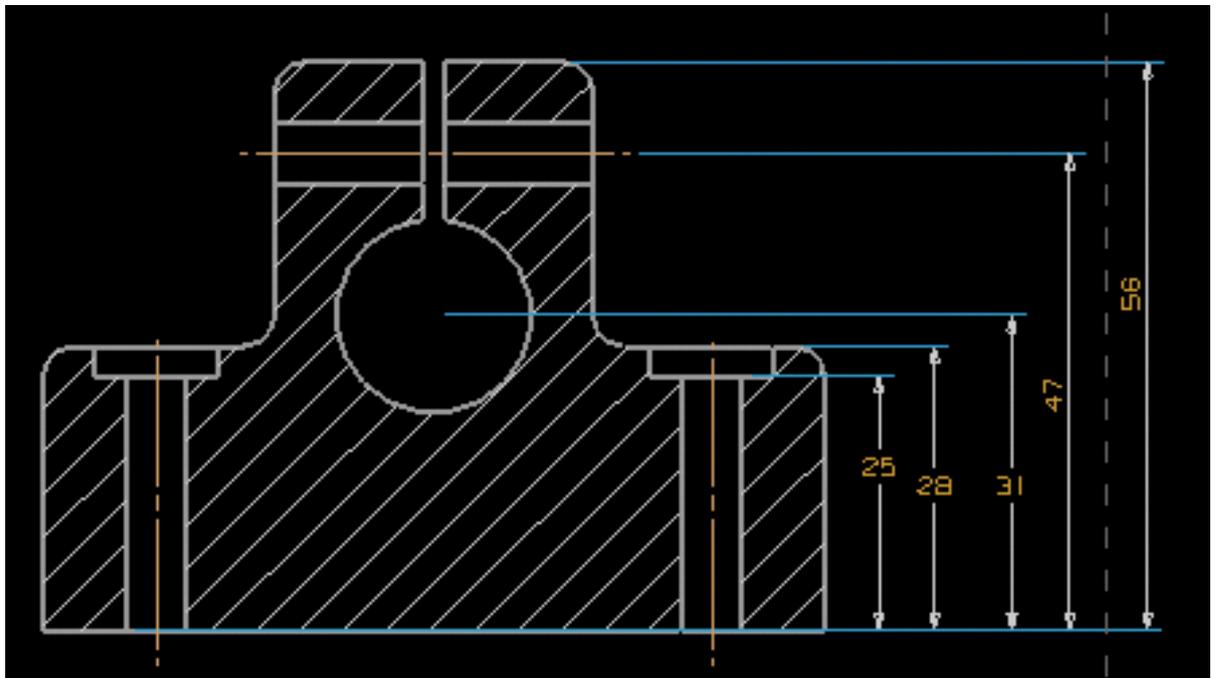
A 俯视图



B 左视图



C 主视图



D 剖视图

图 1-1

从上图中可知其整体形状是由长方体和圆柱体做布尔运算得出的，然后在局部范围做圆角即可得到上述二维图所表达三维图。具体制图过程如下：

1) 进入 UG 的 Modeling 环境，先使用 FormFeature 中的长方体和圆柱体做出该零件的初始造型。以最大的长方体的一个顶点作为整个三维图的原点：

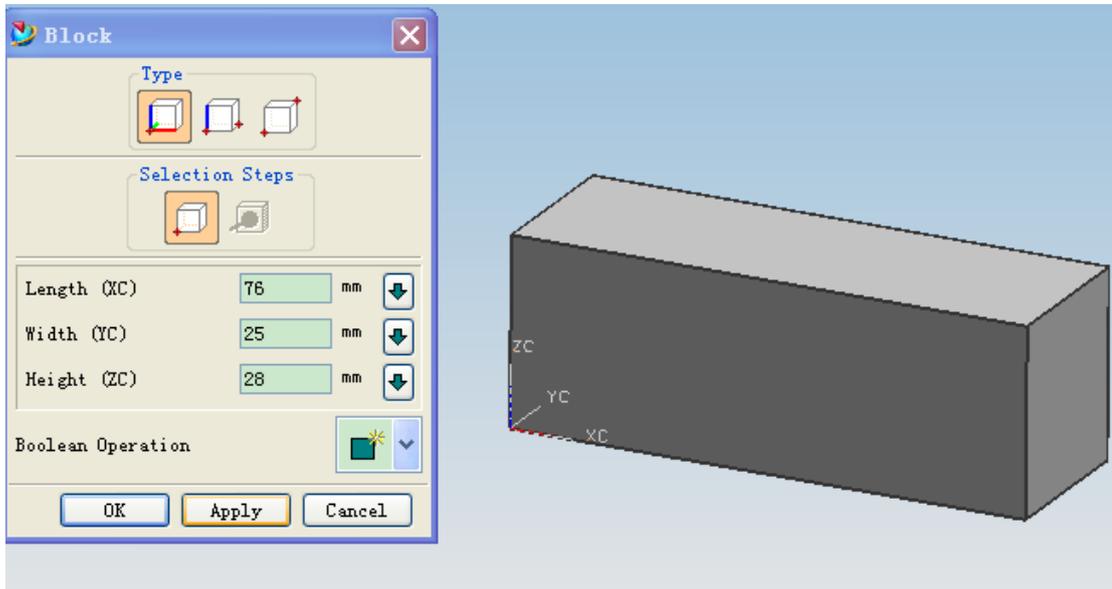


图 1-2

2) 下面做出其中几个柱体，关键是找准定位点，有孔的地方可以先做个园柱将其减掉即可成孔，如下图 1-3。

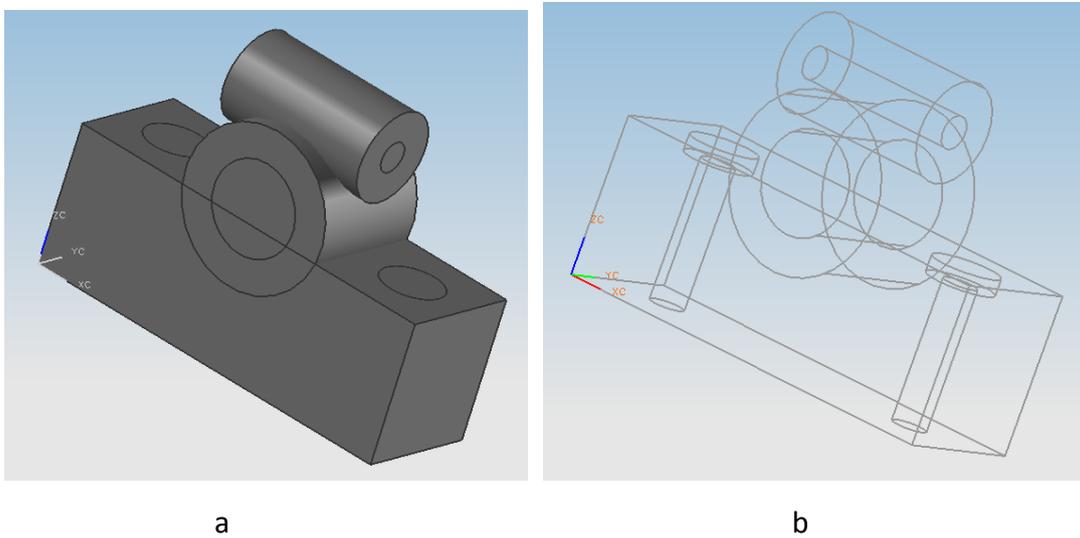


图 1-3

3) 图中最上面园柱下面为一长方体，先找准其定位点，如下图 1-4 所示，

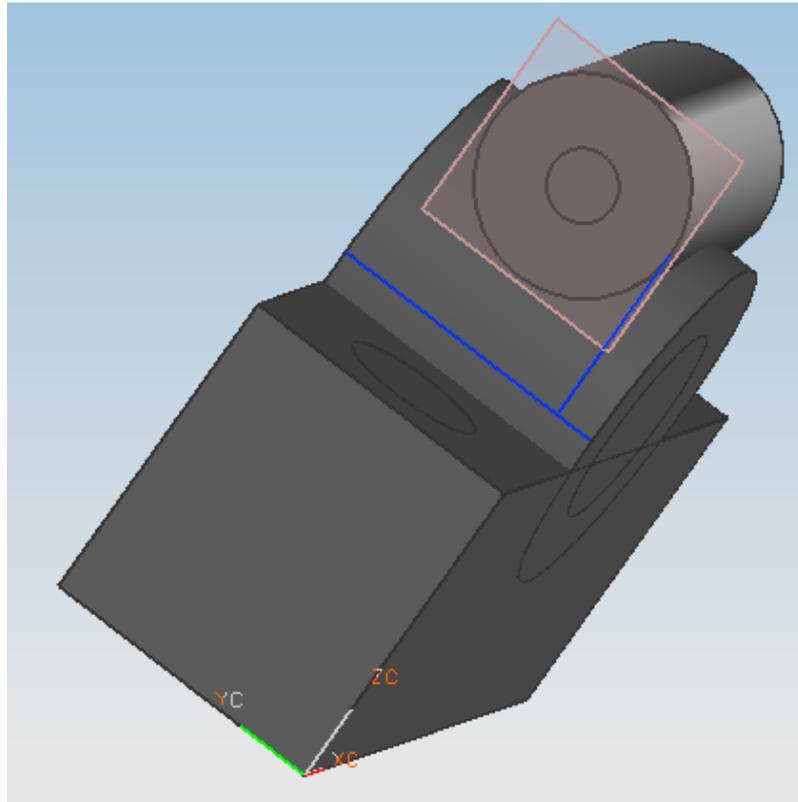
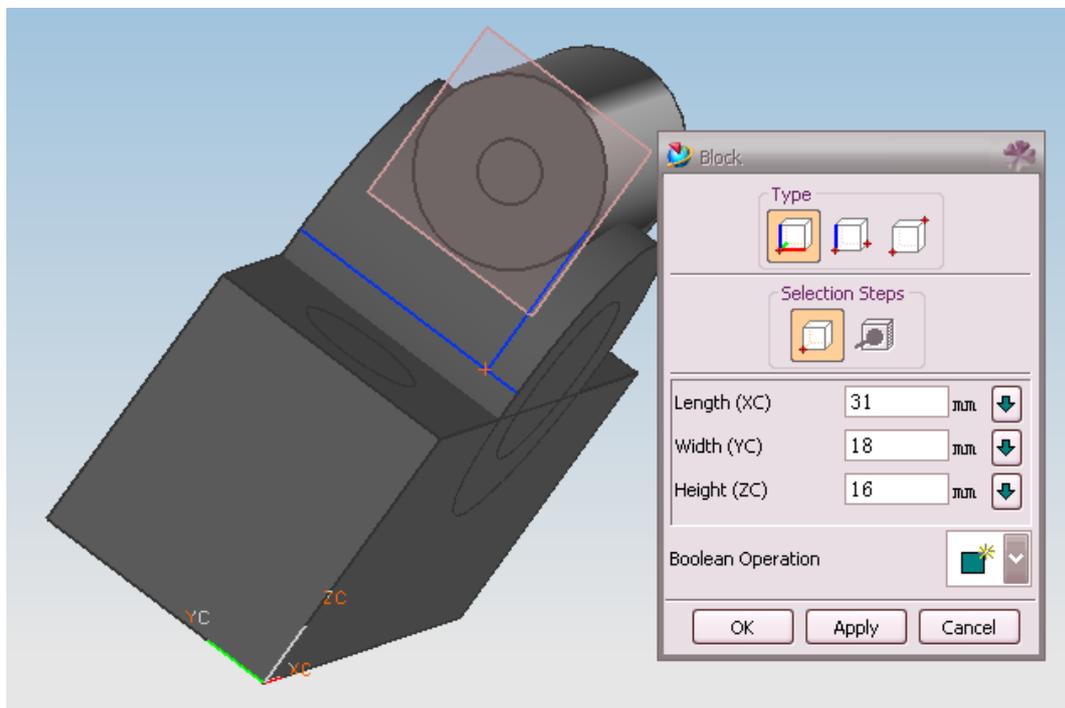
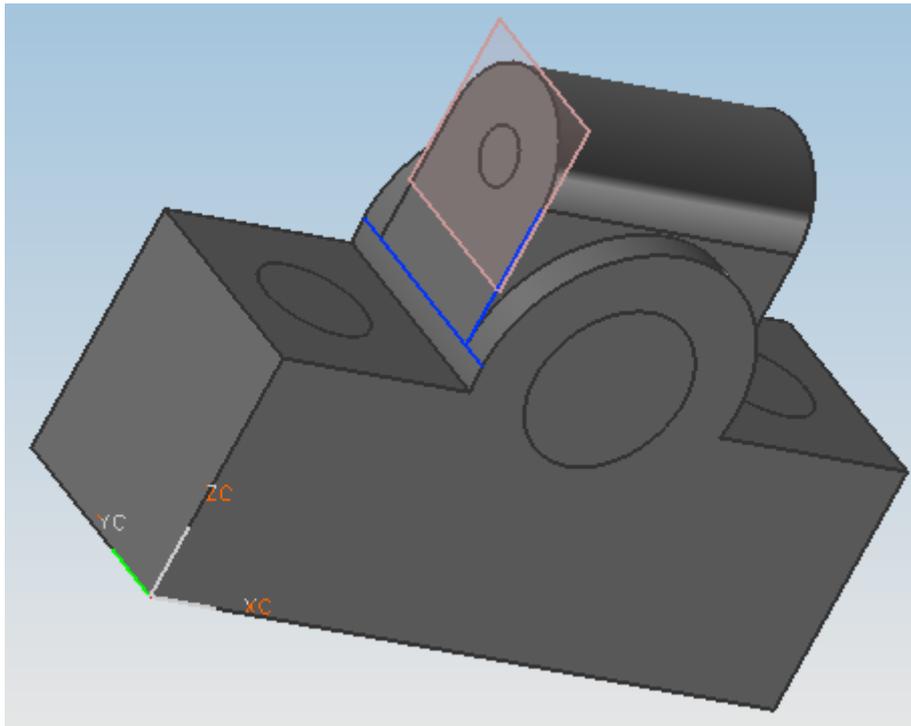


图 1-4

图中两条直线的交点即为此长方体的定位点，输入尺寸就可以得到长方体，之后再
再做布尔和运算，具体如图 1-5 所示：



a



b

图 1-5

4) 做布尔差运算，把不要的圆柱体、长方体减去，做出孔来。如下图 1-6:

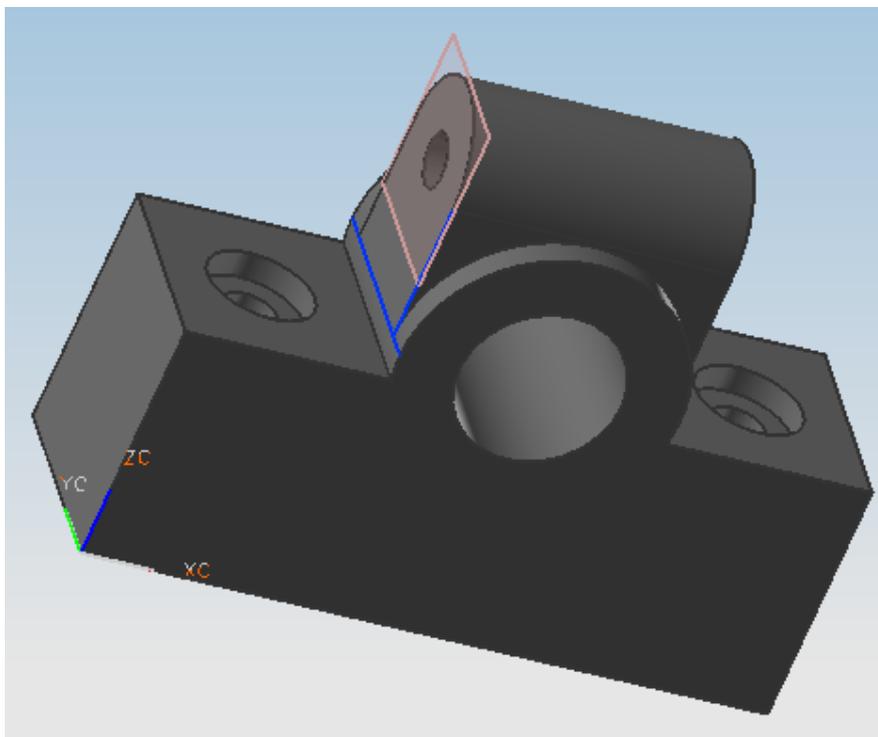
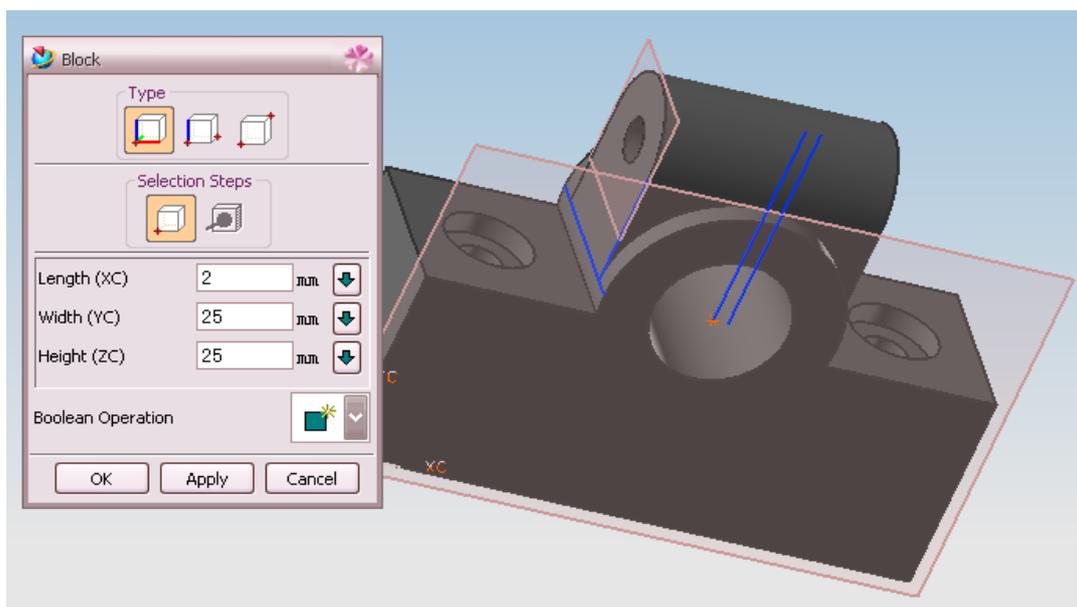


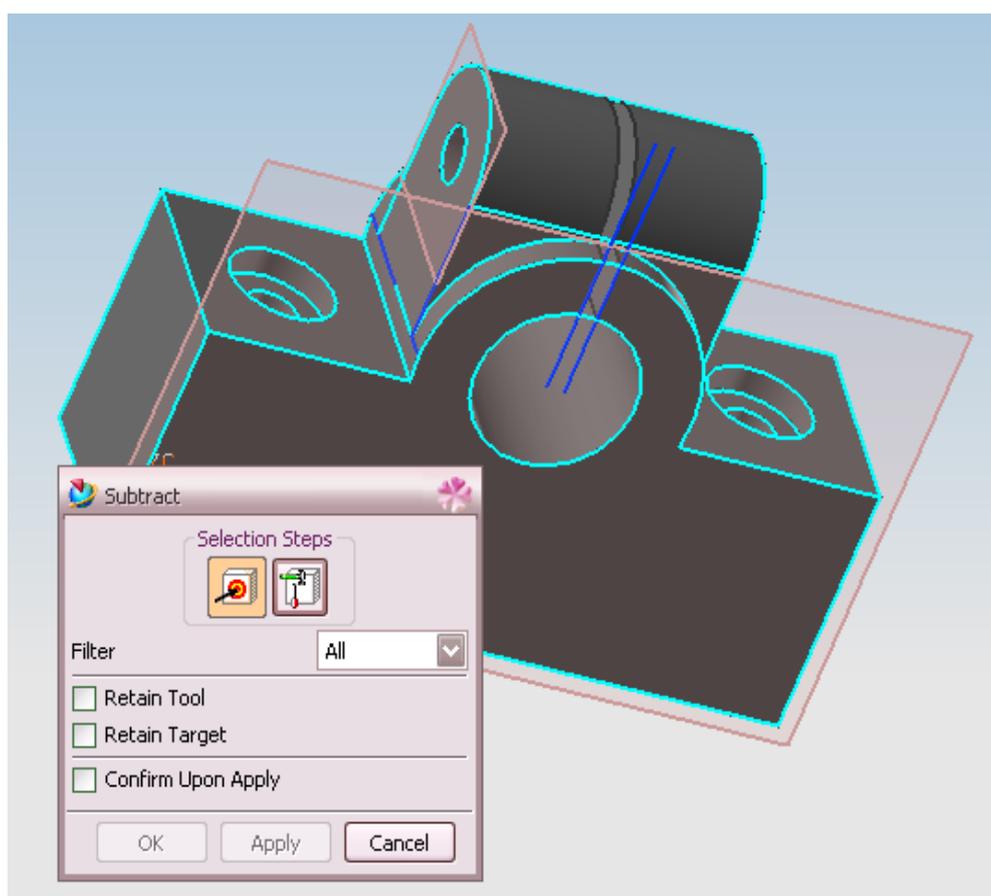
图 1-6

5) 对于上面部分的开口可以先画一个同等厚度的长方体，再做布尔差运算，

就可以得到图 1-7 的形状：



a



b

图 1-7

6) 做圆角，完成实体造型把辅助线删除。如下图 1-8:

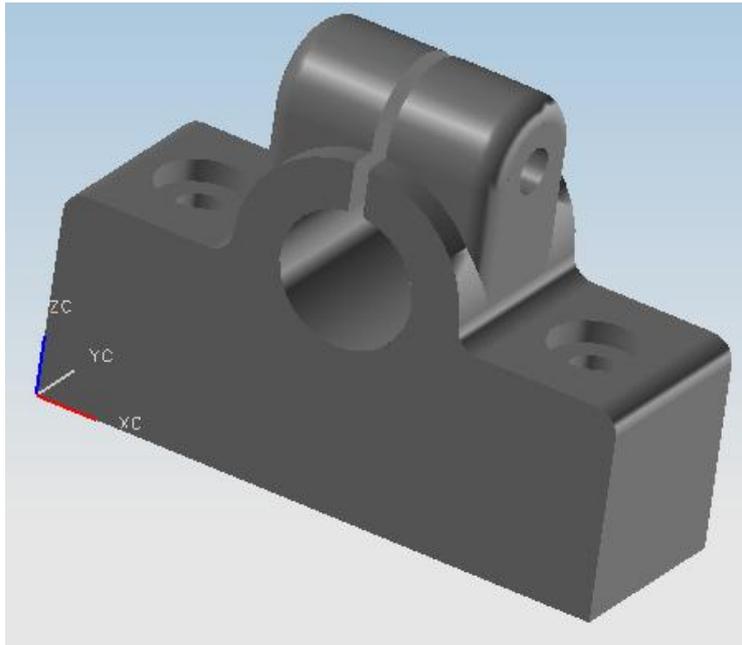


图 1-8

(二)、反求建模

由测量得到的点云原始数据文件，导入（Import）到三维 CAD 软件中，对所测得的点云进行处理，从而构建三维模型。

- 1) 将三维坐标测量的原始数据文件（点云文件）test.igs，导入 UG，直接点“打开文件”，选择文件类型.igs，选择文件名字即可，此时 UG 会自动生成一个 prt 文件。（如图 2-1）；点云数据如图 2-2 所示。

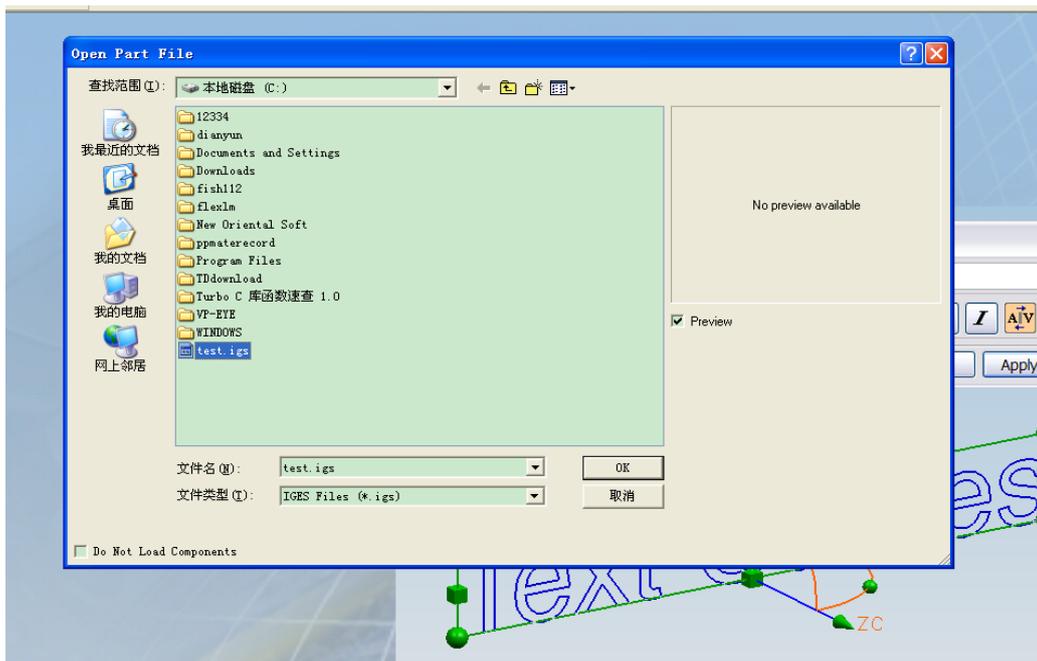


图 2-1

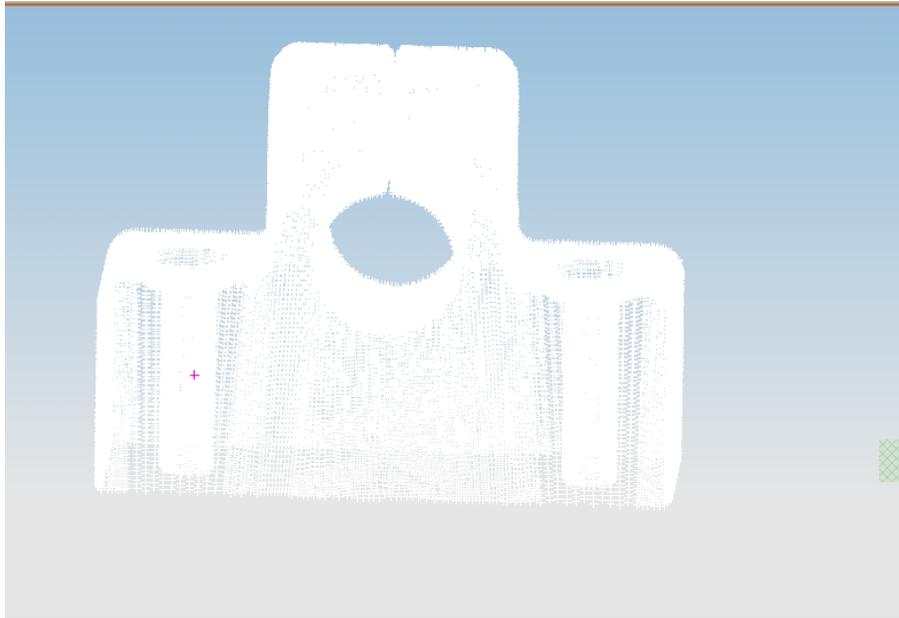


图 2-2

- 2) 构造三维模型。构造方法大体上就是做曲面，然后再将这些面缝合在一起。做面的方法也有很多，可以直接采用由点做面，也可以选择先做线再用线生成面。但是由于 UG 本身选择的复杂性，我们在做的时候无论哪种方法，选点的时候可以适量少选一些点，注意一些明显离散点（容易看出明显偏离点云较大误差的）也就在此舍去了。
- 3) 这里采用先做线，然后由线再做面的过程。首先进入 Modeling 环境。Insert 菜单下 curve—spline，选择 Through Points，进入下图 2-3 所示菜单

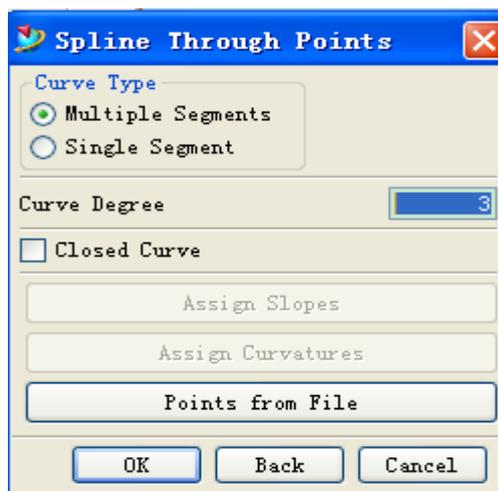


图 2-3

直接选择 OK 就可以进行选点，为方便选择，选择 Chain from All 方式，这

样在选择一串点时，只需要选择起点和终止点，UG 自动把中间的点选择上。如图 2-4，如果线的参数不需要改变设置，就可以继续构造线。

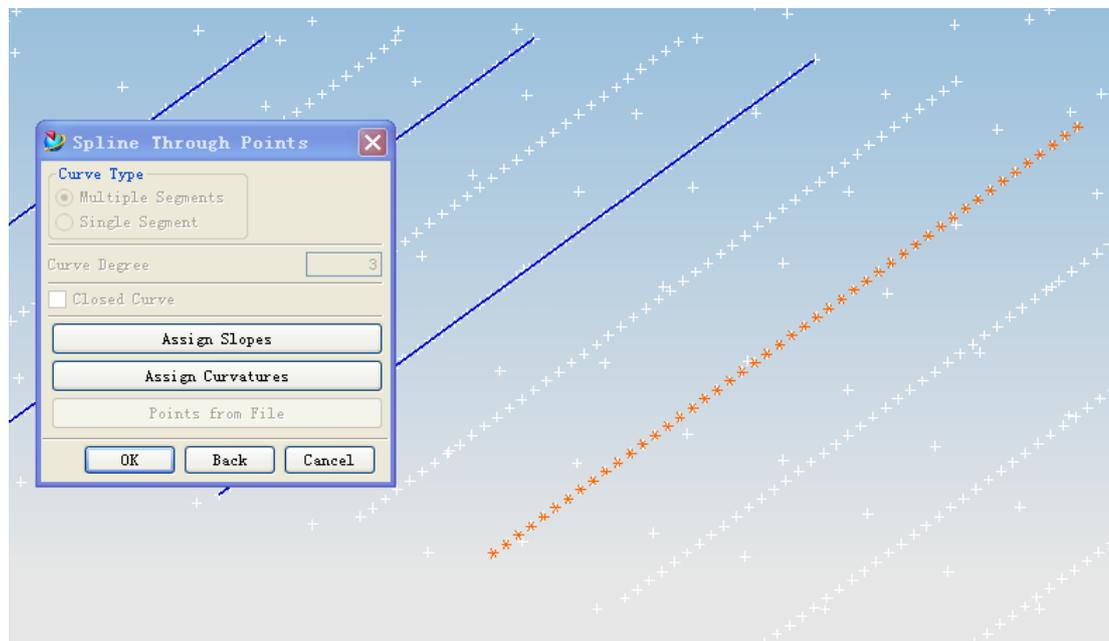


图 2-4

4) 由于某些地方点比较密或者视觉问题，不容易选择，可以用

Through Curves 功能先把面做出来，在面上选择点减少选择的难度。

如下图 2-5

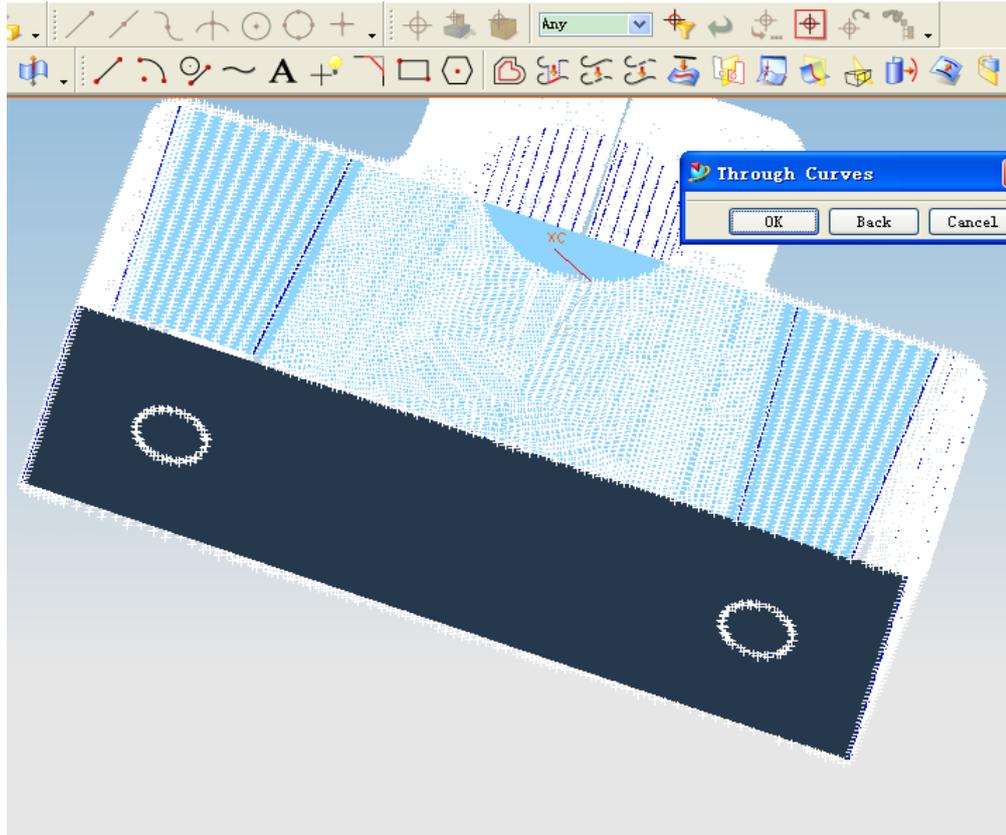


图 2-5

- 5) 可以用点做出面的交线，如侧面和下底面的圆，可以拉深出面，拉深距离不确定的话可以用交线求减，或者用其他相交面裁减，主要采用 **Trimmed sheet** 命令，如果面不相交不可以用才命令此时可以先用 **Enlarge** 命令，将面延展至相交；有些面之间存在很大距离也可以用 **Bridge** 命令将你桥接起来；如下图 2-6、2-7，主要命令图标见图 2-6 左侧。

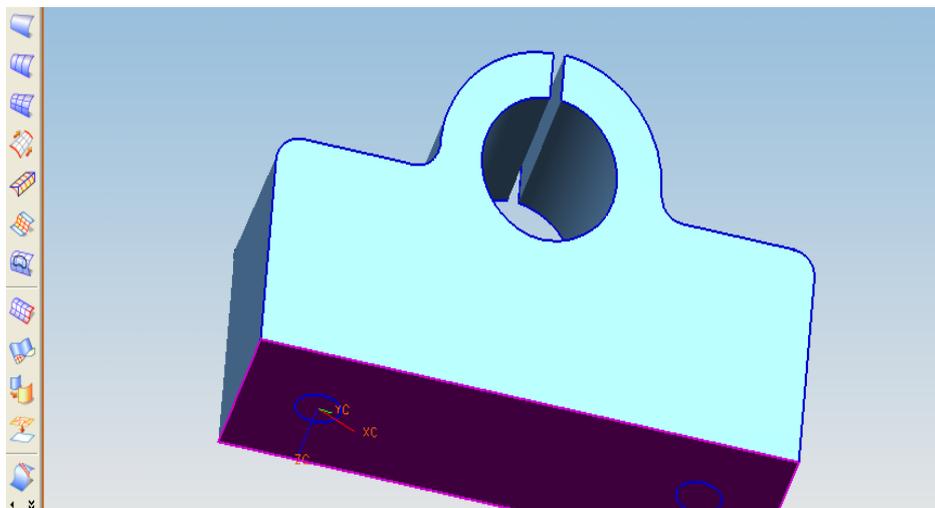


图 2-6

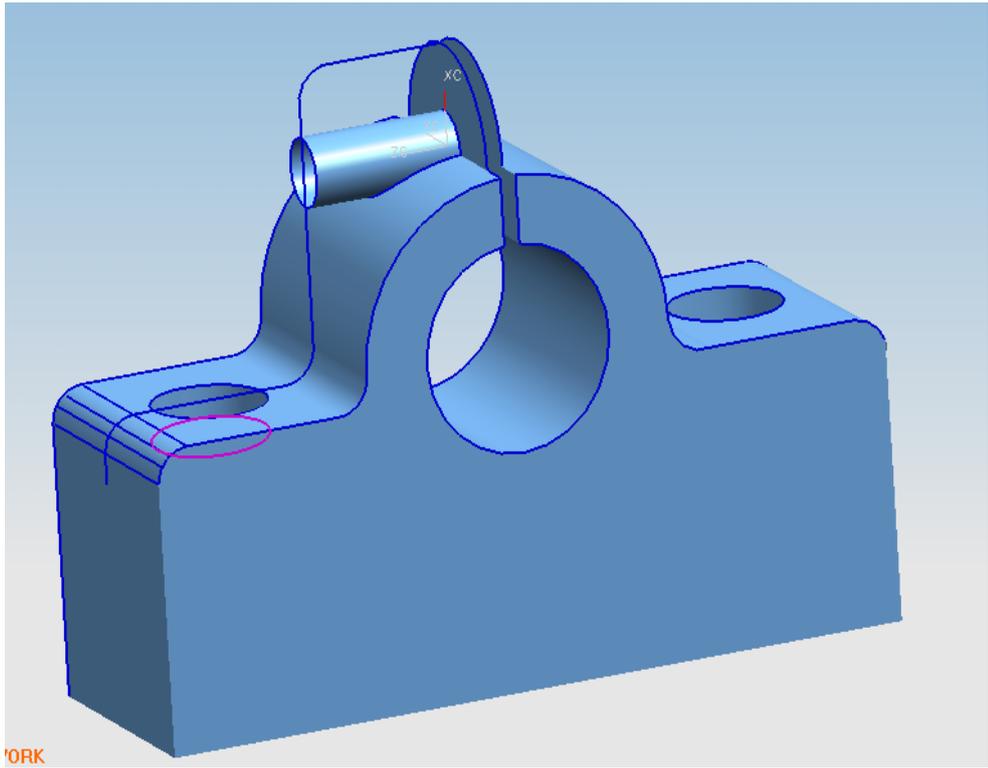


图 2-7

6) 对于顶部部分可以先做一边，在做镜像，如图 2-8 所示。

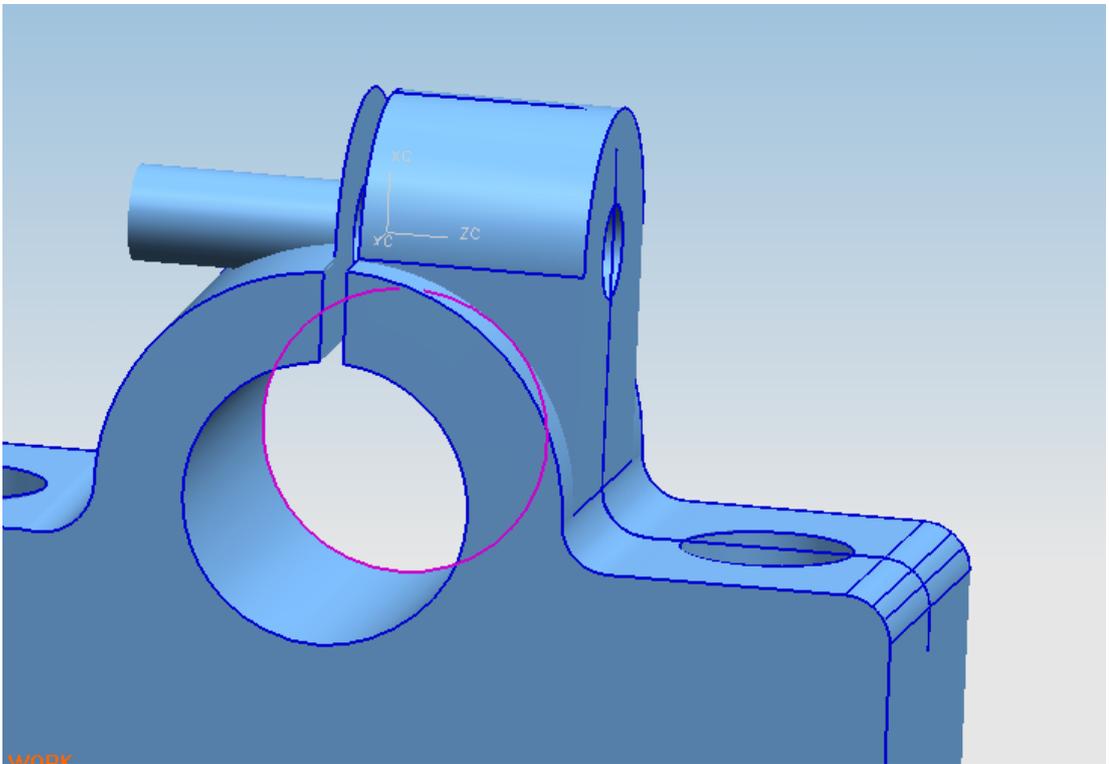


图 2-8

7) 镜像后圆角部分可以采用 Face blend 来导角，也可以通过，由点云构造的

圆弧曲线扫描成面，再进行裁减。全部完成后可以将体缝合成一个 Sheet body。这样就完成了反求的过程。图 2-9、2-10、2-11 为所做的片体。

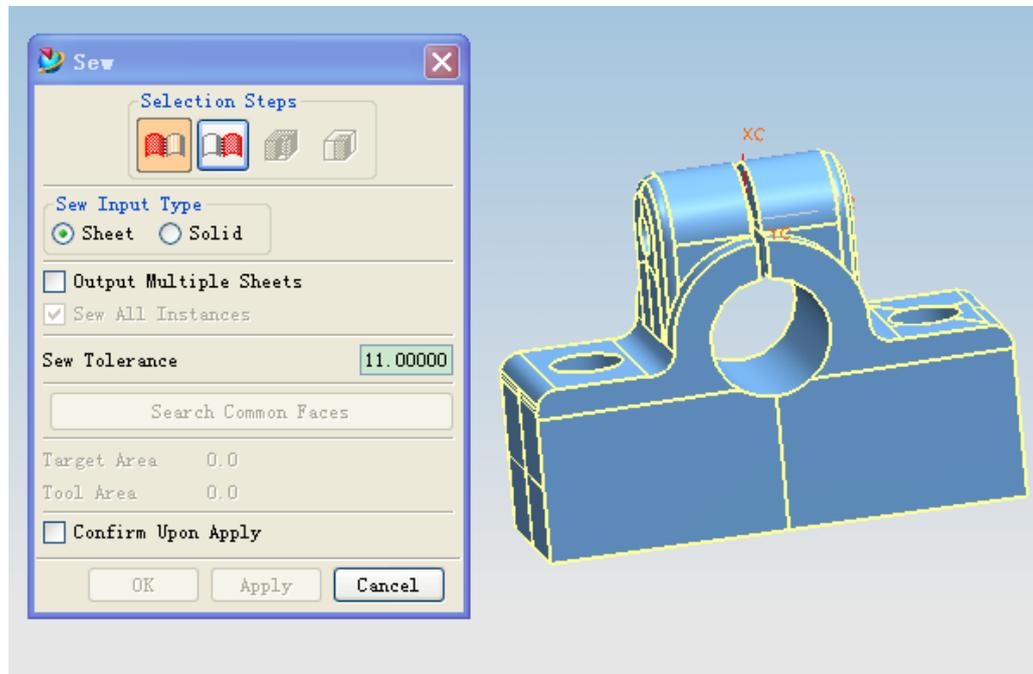


图 2-9

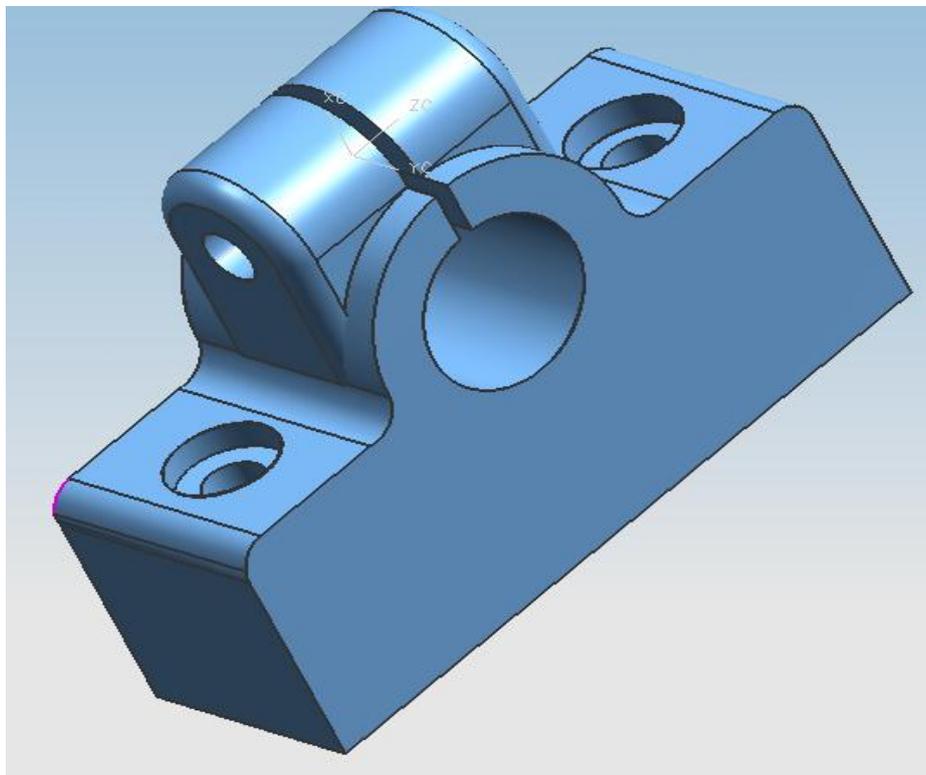


图 2-10

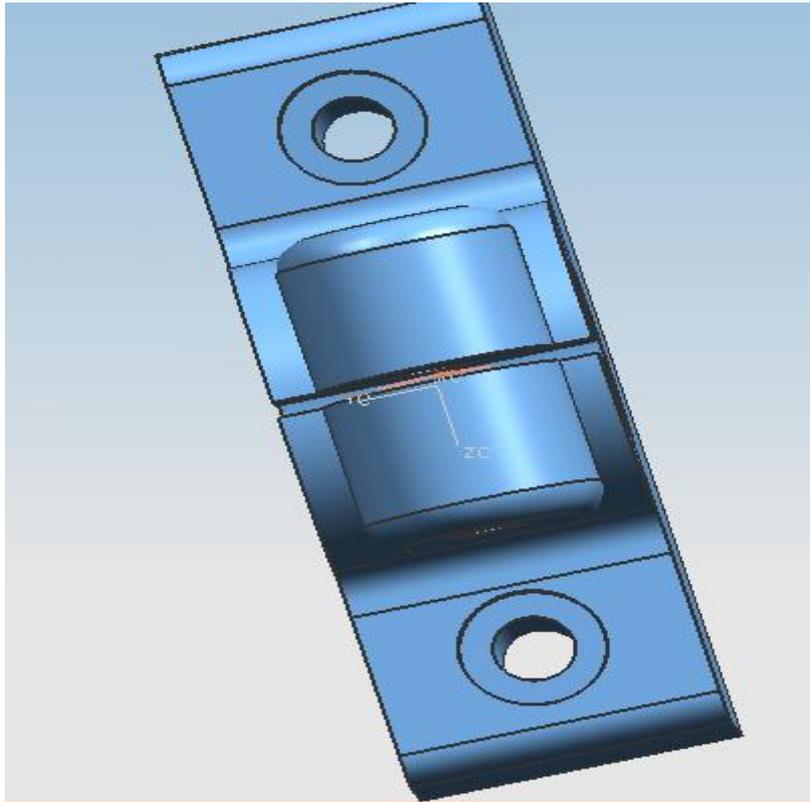


图 2-11

注：将以上两个部分所得到的模型，通过三维 CAD 软件导出为.STL 格式的模型文件，并用 magics 软件进行模型修复，保存后以便实验二时，模型打印。

五、实验报告

对以上两种方法的设计过程进行图文并茂的说明，然后加以比较分析，说明自己的设计体会与收获（用 Word 文档完成）。

六、思考题

- 1、在面结构光三维测量实验中，在旋转物体测量时，为什么必须使测得的前一幅图像与后一幅图像有重叠部分？
- 2、说明一下你对反求工程的理解并分类列举反求工程在不同行业中的应用。
- 3、总结正向与逆向两种建模方法的特点，并谈谈这次实验的建模体会与收获。

实验 2 零件的熔融快速成型实验

一. 实验原理

1. 快速成形技术概述

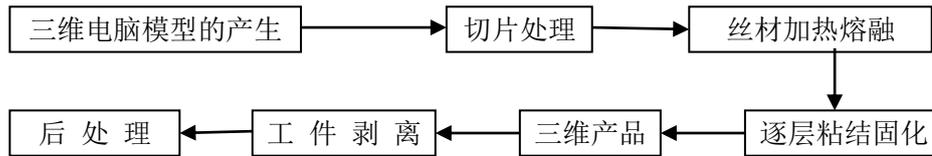
塑料产品或者金属产品甚至是成形所需的模具，在用电脑 CAD 技术设计完成后，可通过快速成形技术来制造。这是一种全新概念的制造技术，它摒弃了传统的机械加工方法。其成形原理是将三维 CAD 实体模型离散成设定厚度的一系列片层数据，利用激光成形机或其它成形设备读取这些数据，用材料添加法技术，依次将每层堆积起来成形。这一技术称为快速自动成形技术(Rapid Prototype)。它也是 CAD 集成技术的重要组成部分。从材料固化方法可分为激光和非激光烧结法(SLS)、固体表层造型法(SGC)、层片制造法(LOM)、熔化沉积法(FDM)、选区粘结法(DSPC)、激光气相沉积法(SALD)等。

2. FDM 技术原理及应用

熔丝沉积快速成型技术(Fused Deposition Modeling 简称 FDM), 直译名为“熔积成型”，其工作过程是机床的加热喷头在计算机的控制下，根据加工工件截面轮廓的信息，作 $x-y$ 平面运动和高度 z 方向的运动。丝状热塑性材料(如 ABS 及 MABS 塑料丝、蜡丝、聚烯烃树脂丝、尼龙丝、聚酰胺丝)由供丝机构送至喷头，并在喷头中加热至熔融态，然后被选择性地涂覆在工作台上，快速冷却后形成加工工件截面轮廓。当一层成形完成后，喷头上升一截面层的高度，再进行下一层的涂覆，如此循环，最终形成三维产品。

这种方法适合成形中、小塑料件，当成形腔室部分予以密闭和保温(约 70°C)时，能够制作 ABS 塑料件；制件的翘曲变形比 SLA 法小，原材料的利用率高，成形件精度可达 0.127mm (对于 304.8mm 见方的成形件)。但原材料的价格昂贵(每千克 250-400 美元)，成形件的表面有较明显的条纹，沿成形轴垂直方向的强度比较弱，也需设计、制作支撑结构，并且仍须对整个截面进行扫描涂覆，因此成形时间较长，为克服这一缺点，可采用多个热喷头，同时进行涂覆，以便提高成形效率。

熔丝沉积快速成型设备的加工过程可分为以下几个阶段，如图所示：



FDM 加工过程示意图

1) 电脑模型的产生

快速成型设备只接受三维电脑模型。在当前，模型建立的方法主要有两种：
 I) 通过三维设计软件由工程技术人员按照设计要求设计出电脑模型，在创新设计时主要采用的方法；II) 通过反求工程（Reverse Engineering, RE）直接从零件或模型提取截面信息，再通过反求软件重新生成电脑模型，是研究已有产品的常用方法。

2) 切片处理/加工前准备

FDM 快速成型技术是基于层堆积的制造过程，在制作之前必须获得模型截面信息，以此来进行每一层扫描前的准备过程。由于这种层堆积的成型的工艺特点，必须保证每一层的精度，从而保证层层堆积后整个实体模型的精度。层准备有两个方面：首先在软件方面，准备好该层的加工数据，生成扫描路径；其次在硬件方面，下降一个层厚的距离，准备当前丝材。下降距离必须精确，否则上下层之间就会可能会粘结不充分或者过度挤压产生变形。

3) 层加工

层准备好之后，控制模块根据规划好的扫描路径进行扫描粘结。层加工是堆积成型的基础，也是最关键的一步。因此需要保证路径上的涂丝均匀，扫描速度、出丝速度、和开关必须配合一致。丝材由两部分组成，因此在扫描过程中有喷头转换过程，在喷头转换时，工作台必须下降一定距离，以免在喷头平移时碰撞已制作部分，造成截面破坏，在喷头转换完毕再上升回原来的位置，上升与下降的距离必须控制精确，以免造成截面的制造不准确。

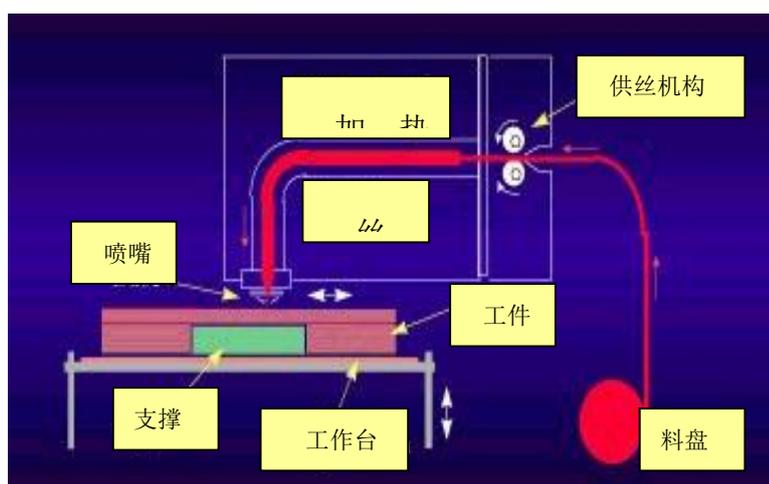
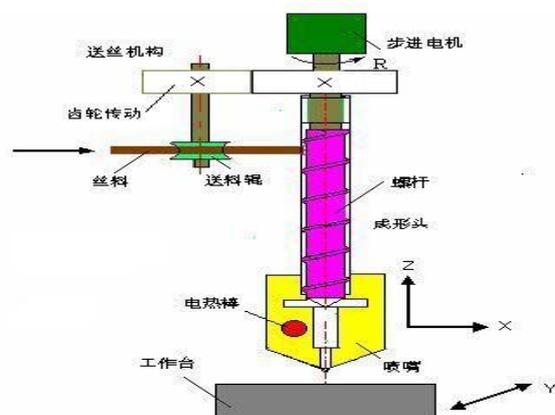
4) 层层堆积

层层堆积实际上是前两步层准备与层加工的不断重复。在单层扫描粘结固化过程中，除了本层丝材粘结固化外，还必须通过扫描参数和层厚的精确控制，使当前层和前一层牢固的粘结在一起，即实现层层堆积。

5) 工件剥离/后处理

后处理是整个模型成型后对模型进行的辅助处理工艺，包括模型的取出、支撑的剥离、表面处理等再处理过程，后处理也必须得到足够的重视，否则一个制作良好的模型就可能变成一个废品。

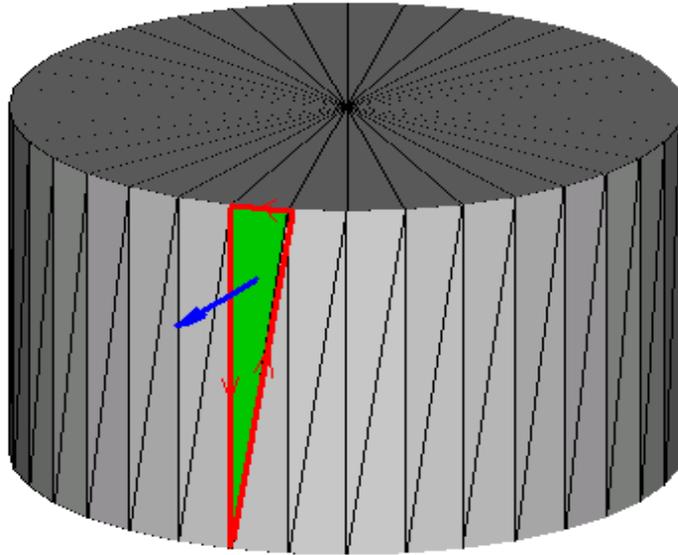
下图为 FDM 成形机的送料及成形过程示意图。



快速成形机的成形头和送料机构

3. STL 文件概述

STL 文件是一种可读性较强的文件格式，最早是作为快速成型领域中的接口标准，已被广泛应用于各种三维软件中，很多主流的商用三维软件都支持 STL 文件的输入输出。STL 模型接口格式将 3D 零件 CAD 模型近似表示为一系列三角形平面片组成的封闭多面体，任何 CAD 系统建立的物体几何模型只要把它转化为由一系列封闭三角形平面片组成的近似模型，并按照 STL 格式记录到数据文件内，就可以为大多数 RP 系统接受。



二、实验目的及内容

1、目的：

完成某一塑料产品的熔射快速制造（模型文件由实验一所得，或者学生课外设计模型均可！），了解熔射快速制造设备的工作原理和工作方法。掌握不同 CAD 系统间的数据交换方法。并通过与传统加工方法的对比，了解快速成形与快速制造技术的特点和应用范围。

2、内容

- 利用 UG 完成某塑料产品的三维造型工作（或直接利用实验一的结果），导出快速成形所需格式的中性文件（STL）。
- 选用合适的工艺参数，在 FDM 熔融成形机完成零件的快速制造。
- 对熔融快速成形的产品进行分析，总结快速成形方法的工艺特点，并与传统制造方法相比较，分析其各自的优缺点和应用范围。
- 了解其他分层制造技术的一般原理及技术难点，了解国内外行业的发展现状及发展趋势。

三、实验仪器设备

- 1、仪器设备：FDM 成形机及配套工装夹具。安装了 UG 软件系统的计算机。
- 2、耗材：ABS 塑料丝等。

四、实验方法与步骤

一、自主设计(或者利用实验一)得到塑料产品的三维模型(尺寸规格应小),再利用 UG 的 Export 模块导出中性图形文件(STL)。

二、零件的快速成形

1、 准备加工基底:

根据加工零件的 X-Y 方向的尺寸大小,选择合适的硬纸板,用双面胶把硬纸板粘结到清洁的工作台上(选择硬纸板的光面进行粘结)。为了防止制作过程中纸板翘起,通常用胶带纸把硬纸板四周粘固在工作台上。

2、 安装成形材料:

用本系统制作工件前,必须将卷筒状丝料安装在存贮辊上,并拖拽它的一端,使其通过成型头中的送料辊、导向套,进入加热室。

3、 打开电源:

打开 HTS 快速成型机电源箱上的总电源开关,给设备加电。检查控制面板上两个温度控制器,等待成型头的温度上升到设定值。

4、 打开控制软件:

打开用户电脑上的控制软件,读入加工零件的 STL 文件。软件打开后自动进行设备检测及初始化。

5、 生成支撑:

对于需要支撑的零件,利用软件提供的支撑生成及编辑功能生成支撑。

6、 设置参数及生成填充路径:

7、 调整成形头到工作位置:

首先,在 X-Y 平面上把成形头移动到平台的中心位置(140,120),然后调整成形头 Z 方向的位置,使成形头喷嘴距基底硬纸板的距离为 0.1mm 左右。

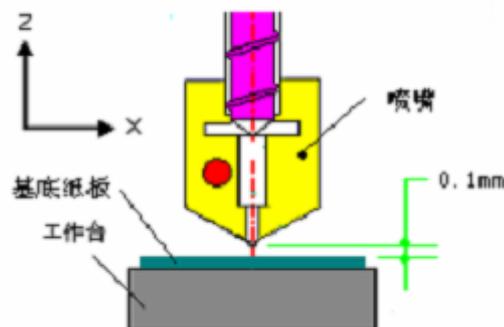


图 3-1 喷嘴工作位置

操作时，可以在喷嘴下面垫一张打印纸，然后逐渐下降成形头，当觉得打印纸能够移动但有明显阻力时即可。

8、 开始零件加工：

准备工作完成后，可以按下软件中的开始加工菜单，设备开始在软件的控制下，自动进行零件的加工。

9、 加工结束，取下工件：

工件加工完成后，对于尺寸较小的工件，可以用美工刀片把工件从硬纸板上割下来；对于大尺寸工件，可以在工件四周刷水，等待工件下面的硬纸板松软后，再用刀片取下零件。

注意：因为工作台下面分布着电器元件，刷水时要防止水过多而流出硬纸板的范围。

三、加深对于 FDM 快速成形方法的原理理解，分析其技术难点和要点，并对影响产品质量的因素进行分析和探讨。

五、FDM 软件使用说明

1. FDM 系统参数表

| 型 号 | HTS-200 | HTS-300 |
|---------------------------|--|-------------|
| 成形件最大尺寸/mm | 280×250×200 | 280×250×300 |
| 成形件精度/mm | ±0.2 | ±0.2 |
| 最大速度/mm·sec ⁻¹ | 260 | |
| 驱动系统 | X 与 Y 轴：伺服电机通过精密滚珠丝杠驱动，精密直线导轨导向 Z 轴：步进电机通过精密滚珠丝杠驱动，精密直线导轨导向 R 轴：步进电机直接驱动 | |
| 温控系统 | 实时测温控制 | |
| 切片软件 | HTS 切片软件 | |
| 外部计算机要求 | 普通 PC 机 | |
| 文件输入格式 | STL 格式 | |
| 成形材料 | 直径 4mm 的塑料丝 | |
| 电 源 | 220V 50Hz，最大电流 6A | |
| 环境要求 | 空 调 | |
| 机器外形尺寸/mm | 950×820×800 | 950×820×900 |
| 机器重量/kg | 100 | 120 |

2. 软件使用说明

2.1 软件安装

随机安装光盘上有一个 setupV1.5.exe 文件，运行该文件，即可在用户电

电脑上安装 HTS 快速成型机控制软件。软件安装后，会在桌面上添加一个程序图标（见图 5.1）。



图 5.1 桌面上的程序图标

2.2 软件启动

双击控制软件程序图标，启动控制软件后，会出现一个硬件设置对话框（图 5.2），用户需要检查并选择正确的设备型号以及连接设备的串行口端口。如果参数正确，软件开始进行硬件检测及初始化，这时可以看到成形头 X-Y 方向的回零动作。如果选择脱机运行方式（激活对话框上的脱机运行按钮），软件以模拟方式打开，不进行硬件检测及初始化。

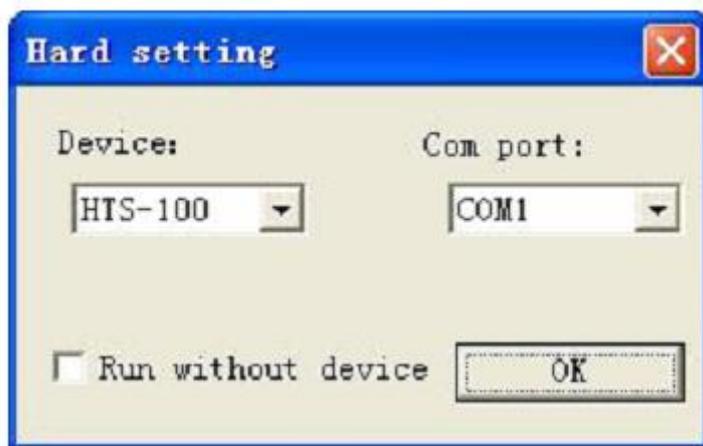


图 5.2 硬件设置对话框

如果之前加工过零件，软件会接着弹出如图 5.3 所示对话框，询问是要装载新工件的 STL 文件。

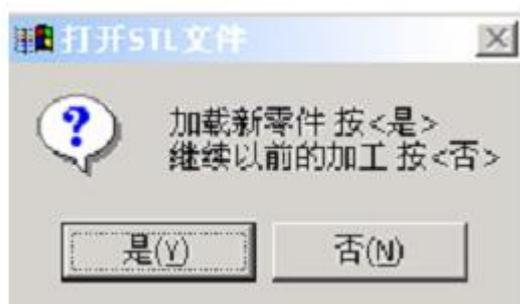


图 5.3 装载工件的 STL 文件的对话框

注意：在选择 Yes 之前，必须仔细确认是否装载新文件。否则，最后成形工件的成形记录将不可恢复地被删除。

选择 Yes，准备调入新工件的 STL 文件。

选择 File 菜单下的 Open，调入 STL 文件。HTS 软件对 STL 文件有一定的容错功能，对严重的错误，有可能造成支撑生成失败或填充数据错误，建议使用 STL 修复软件修改。

选择 No，系统将自动装入未完成工件的 STL 文件及原来的成形数据记录，并可继续进行成形工作。所有参数均无需重新设置。

STL 文件装载完成后，屏幕如图 5.4 所示。

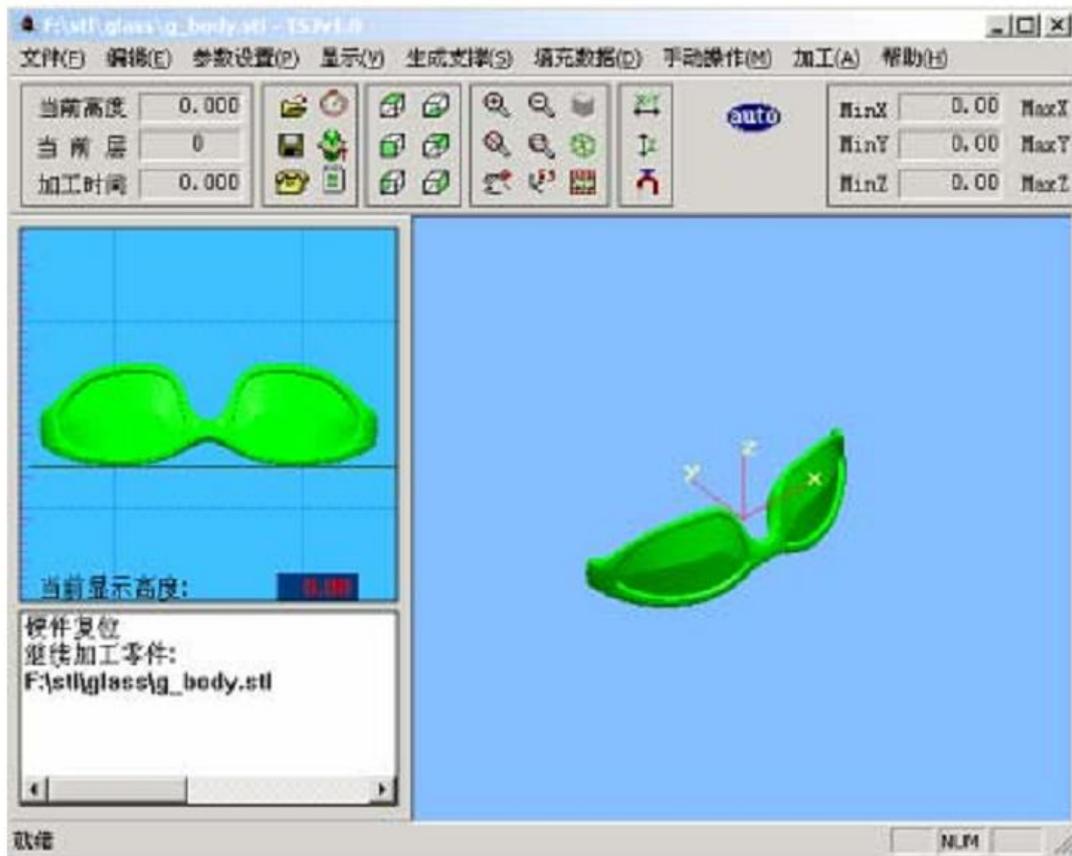


图 5.4 HTS 控制软件系统界面

HTS 控制系统窗口(图 5.4)的最上一行是标题行，这一行显示了当前打开的 STL 文件名及路径。如果对 STL 文件进行了修改而没有及时保存，系统就会在文件名后面加一个*号。文件保存以后*号自动消失。第二行是菜单行，菜单行下面显示工具栏区，工具栏里汇集了与大多数菜单项对应的快捷按钮，在介绍菜单项

时将对各按钮的功能进行介绍。加工工件的模型参数及加工进程信息也显示在工具栏区。这些信息包括：

| | |
|----------------|-----------------------|
| MinX、MinY、MinZ | 模型在 XYZ 坐标系中的各个方向的最小值 |
| MaxX、MaxY、MaxZ | 模型在 XYZ 坐标系中的各个方向的最大值 |
| 当前高度 | 模型的当前制作高度 |
| 当前层 | 当前正在处理的层 |
| 加工时间 | 完成当前高度所用的时间 |

工具栏下面是主模型窗口，其中可以对模型视图进行放大、缩小、平移等操作，可改变显示方式及观看切片模拟。主显示窗口左侧有两个小窗口。上面的图形窗口显示的是模型的 X-Z 视图及当前显示的高度信息。下面的文字窗口显示各种运行时消息。这些消息也同时记录在加工记录文件中。

窗口底部的边框称为状态条，显示状态信息（如读入 STL 文件的进程等）。

菜单栏内有如下九个主菜单：

2.3 文件菜单

进入 HTS 控制软件系统后，用鼠标打开“文件”菜单，屏幕显示如图 5.5。

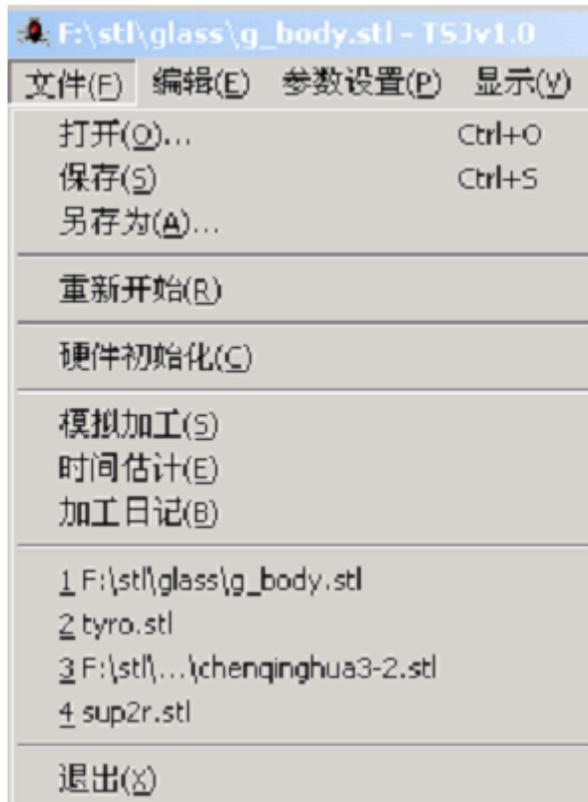


图 5.5 文件菜单下的选择项

该菜单下的各选项的功能如下：

打开： 该菜单项与工具条上按钮  的功能相同，用于打开软盘或硬盘，寻找所需要的 STL 文件。

保存： 在编辑 STL 文件之后，以旧文件名保存文件。

另存为： 该菜单项与工具条上按钮  的功能相同，用于在编辑 STL 文件之后，以新文件名保存文件。

硬件初始化： 该菜单项与工具条上按钮  的功能相同，用于对设备进行初始化。在系统启动时，这个过程被自动执行。当系统在运行过程中出现故障或通讯异常，在故障排除后可能需要用此菜单项来重新初始设备。

模拟加工： 该菜单项与工具条上按钮  的功能相同，它用于在屏幕上对切片过程进行模拟。在模拟过程中，工具栏区会出现三个工具按钮 。可以随时按下按钮  退出模拟过程，或按下 按钮 （暂停后可按下按钮  继续模拟过程）。

时间估计： 与工具条上按钮  的功能相同，在已经生成了填充数据文件并设置了正确的加工参数后，可以使用该菜单估算完成零件加工所需的时间。

加工日记： 该菜单项与工具条上按钮  的功能相同，它利用系统记事板打开零件制造日记，以查看制造过程中发生的事件、制造时间、当前制造高度、参数改动等信息。

退出： 退出 HTS 控制软件系统、返回操作系统环境。

2.4 编辑菜单

进入 HTS 控制软件系统后，用鼠标打开“编辑”菜单，屏幕显示如图 5.6。

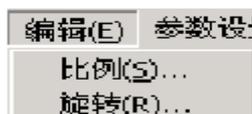


图 5.6 编辑菜单下的选择项

该菜单下的各菜单项的功能如下：

比例：

用鼠标选择“编辑”菜单下的“比例”项后，系统弹出“比例”对话框（图 5.7）。该对话框用于设置模型在 X、Y 和 Z 方向的放大倍数（X 比例，Y 比例，Z 比例）。如果各方向放大倍数相同，则可激活“统一改变”按钮，输入放大倍数。修改任一方向的放大倍数，会导致 STL 文件的变化。设定范围为 0.1~1000，但受系统最大成形尺寸的限制，缺省值为 1。

注意：当设定值使最大尺寸超出系统最大成形尺寸时，系统将会给出错误提示。

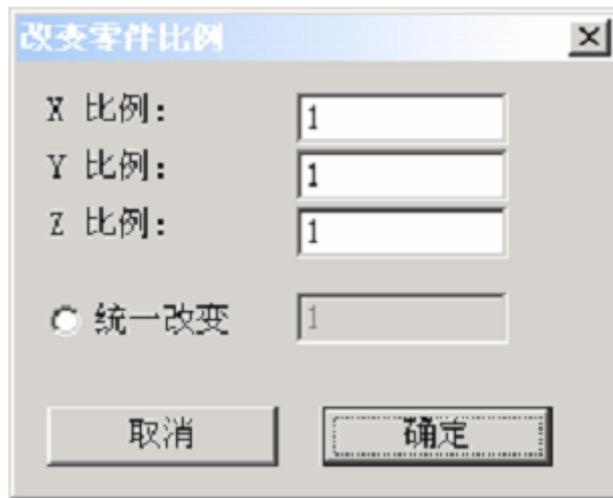


图 5.7 比例对话框

旋转：

用鼠标选择“编辑”菜单（图 5.6）下的“旋转”项，出现如图 5.8 所示的对话框。该对话框用于选择模型的制作方向。



图 5.8 零件旋转对话框

模型的制作方向由三个参数决定，它们是：

- X 轴 绕 X 轴旋转模型的角度
- Y 轴 绕 Y 轴旋转模型的角度
- Z 轴 绕 Z 轴旋转模型的角度

系统通过设置模型绕 X、Y 轴和 Z 轴的旋转角度可以改变其制作方向。当按 OK 后模型将按设定值绕 X、Y 和 Z 轴旋转，从而导致 STL 文件产生变化。设定范围为-360~360，缺省值为 0。

注意：STL 文件修改后应及时存盘。否则系统再次启动时，将不能恢复修改后的加工环境。

2.5 显示菜单

用鼠标打开图 5.4 中的“显示”菜单，屏幕显示如图 5.9。

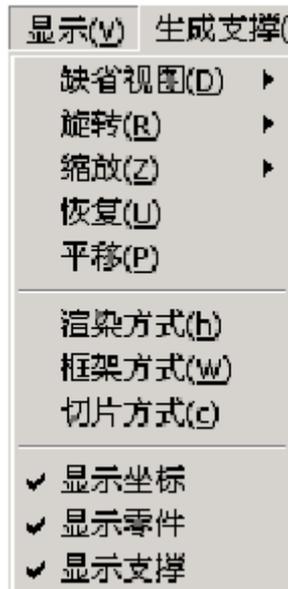


图 5.9 显示菜单下的选择项

该菜单下的各选择项的功能如下：

缺省视图：单击缺省视图将弹出一个二级菜单，二级菜单项有前视图、后视图、左视图、右视图、轴侧图，单击一个二级菜单项会在主窗口中显示工件的相应视图，且有相应的快捷按钮在界面上（分别对应 、、、、、）。

旋转：用于在主窗口中改变工件的视图方向，其二级菜单功能如下：

实时：与工具条上按钮  的功能相同，它用于激活实时旋转功能，即
在主窗口中按下鼠标左键并随意移动鼠标，主窗口中的工件将根据
鼠标的当前位置而改变视图方向。X 轴、Y 轴、Z 轴：与“实时”
子菜单的功能类似，不同处在于工件视图方向仅绕着对应的轴（X、
Y、Z）进行旋转。

缩放：用于在主窗口中改变工件的显示比例，单击它将弹出一个二级菜单，
如图 5.12。



图 5.12 缩放 菜单下的二级菜单

各子菜单项的功能如下：

窗口：与工具条上按钮  的功能相同，它用于激活窗口放大功能，即
在主窗口中按下鼠标左键并移动鼠标，主窗口中将根据鼠标的当前位置而显
示一个矩形框，松开鼠标左键，矩形框框着的部分将被放大。

放大：与工具条上按钮  的功能相同，它被单击时，主窗口中的工件显示
比例将放大 50%。

缩小：与工具条上按钮  的功能相同，它被单击时，主窗口中的工件显示比
例将缩小 50%。

恢复：与工具条上按钮  的功能相同，它用于把主窗口中工件的显示比例恢
复到缺省值。

平移：与工具条上按钮  的功能相同，它用于激活视图移动功
工件视图将跟
随鼠标移动。

框架方式：与工具条上按钮  的功能相同，它用于激活线框显示模式。

渲染方式：与工具条上按钮  的功能相同，它用于激活实体显示模式。

切片方式：与工具条上按钮  的功能相同，它用于激活二维切面显示模式。

显示坐标：用于决定是否显示坐标系统。

线时零件：用于决定是否显示零件。

显示支撑：用于决定是否显示支撑。

2.6 参数设置菜单

在制作新工件之前，必须设置有关成型过程的一些参数。为此，进入 HTS 控制软件系统后，用鼠标打开图 5.4 中的“参数设置”菜单，屏幕显示如图 4.13。

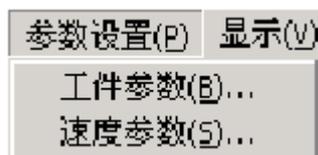


图 5.13 参数设置 菜单

工件参数：

用鼠标打开图 5.13 中的“工件参数”菜单，弹出如图 5.14 的对话框。

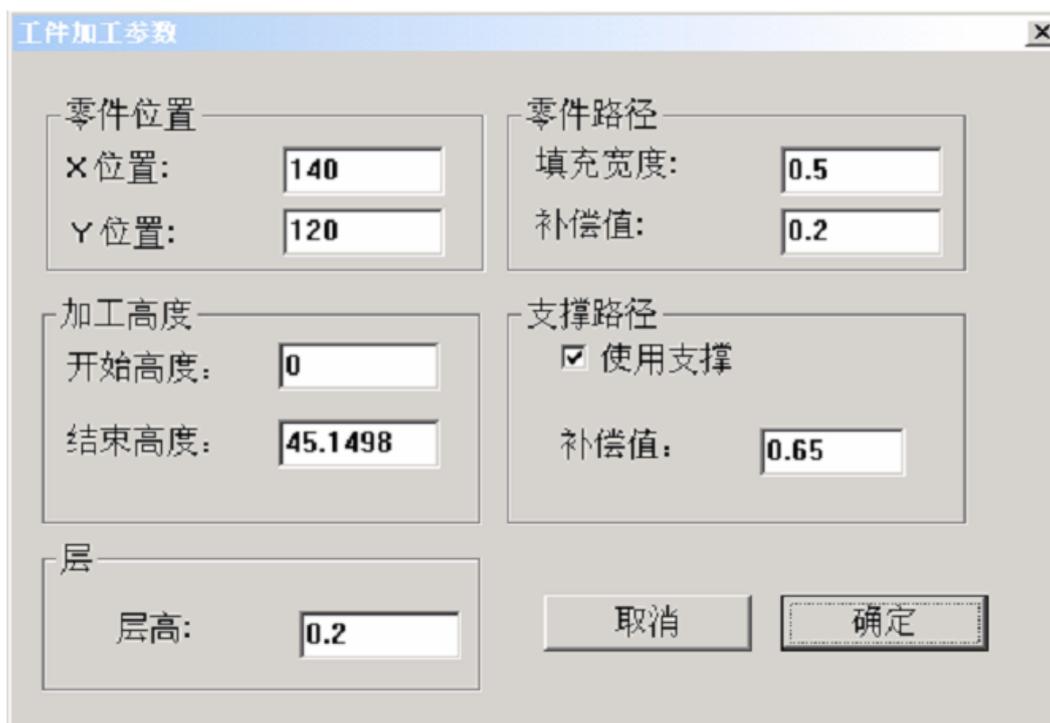


图 5.14 工件参数对话框的参数设定

零件位置：工件中心在平台上的位置（图 5.15）。该位置由 X-Y 平台坐标系的坐标值确定，坐标系的原点是成形头的原点位置，单位为毫米。X 轴缺省值是 140，Y 轴缺省值是 120。当参数设置与工件尺寸不符时，系统将会给出错误提示信息框，必须重新设置。

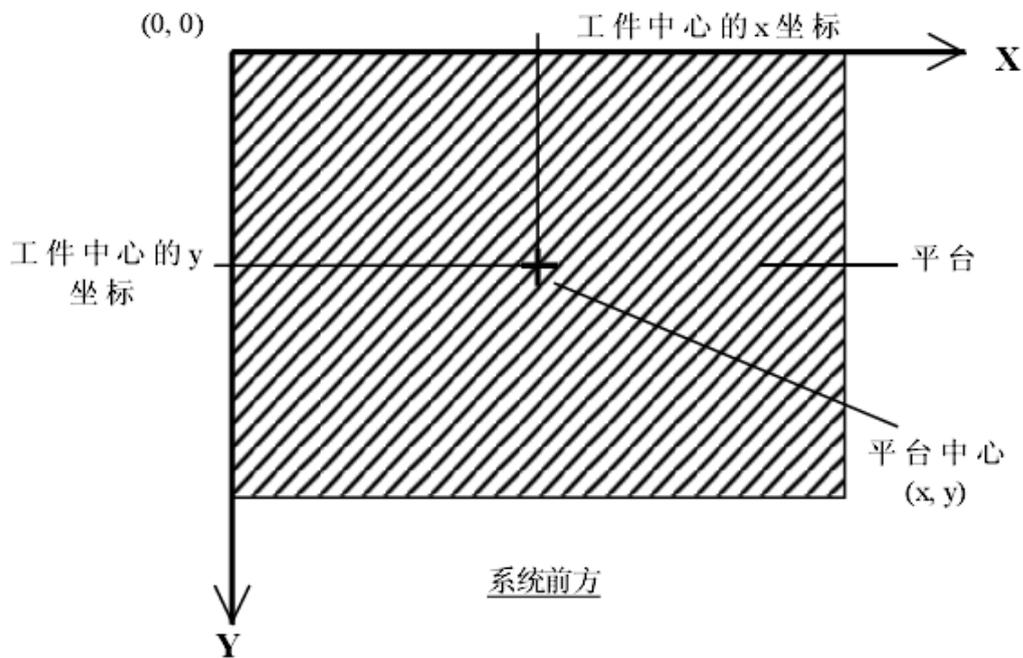


图 5.15 工件在平台上的位置

加工高度： 该选项用来设定工件的制作开始高度和结束高度。据此可以灵活选择工件的制作部位。工件的制作开始高度和结束高度的缺省值是根据工件的 Z 方向尺寸来确定的。

开始高度： 缺省值为 STL 模型的 MinZ，即模型的高度最小值。

结束高度： 缺省值为 STL 模型的 MaxZ，即模型的高度最大值。

注意： 用户也可以根据需要设置工件制作的起始高度和终止高度。

零件路径： 用于控制零件填充数据（图 5.16）。它有两个参数：填充宽度用于控制相邻两条填充路径间的距离。它的取值范围是 0.2-1.5,缺省值是 0.4。补偿值用于丝料半径补偿，它的取值范围是 0-1,缺省值是 0.25。这两个参数的取值与所选用的喷头孔径、温度及材料有关。

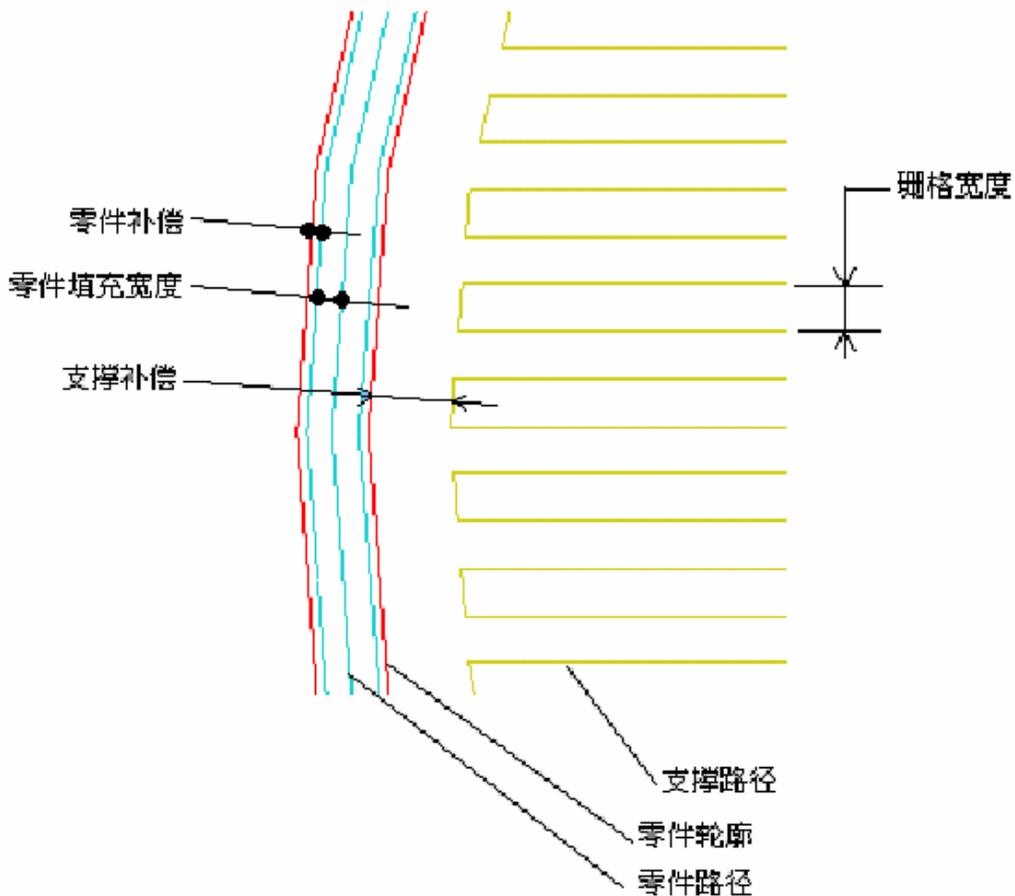


图 5.16 填充数据参数

层厚： 用于确定层厚(即成形头每次 Z 方向抬高距离)。它的取值范围是 0.05-1, 缺省值是 0.2。

支撑路径： 用于控制支撑填充数据。如果零件制造过程中需要支撑结构，可以

激活按钮 **Use support** ，这时可以设置支撑路径参数。

支撑补偿值的取值范围是 0-1,缺省值是 0.5。

速度参数： 一个工件的填充数据由一系列直线段拟和而成,为了提高填充速度，系统对运动进行了优化，系统根据机械系统所能达到的最大加速度、最大速度限制及位置误差限制确定通过各线段间拐角时的最大速度。在保证稳定性和精度的情况下高速通过拐角，从而缩短零件填充时间。在速度优化时，需要用户设定最大加速度、最大速度限制及位置误差等速度相关因子。在填充过程中，速度是一个动态变化的量，对于不

同的速度，应该有不同的成形头电机转速与之对应。

用鼠标打开图 5.17 中的“速度参数”子菜单，弹出如图 5.17 的对话框。

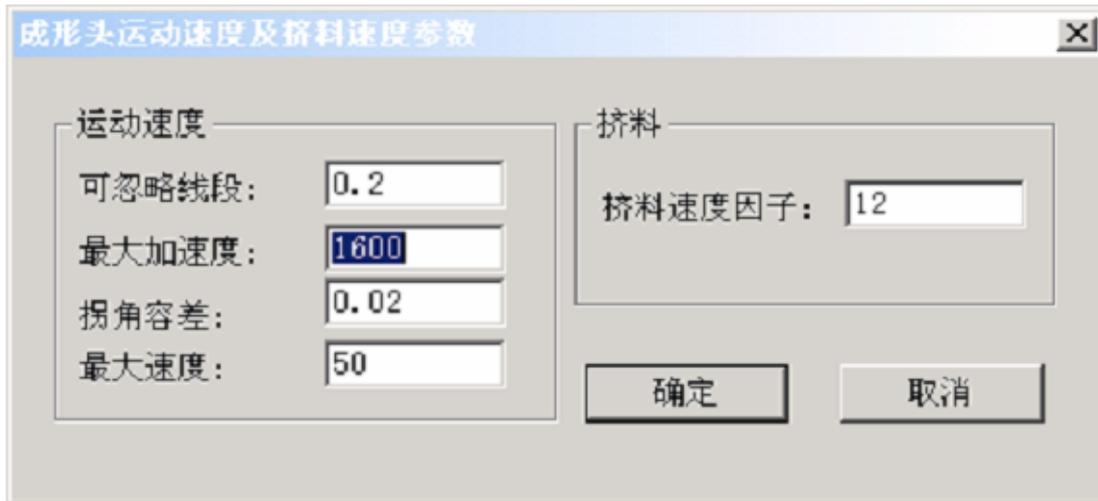


图 5.17 速度参数设置对话框

可忽略线段：路径填充时，长度小于该值的线段将被忽略。

最大加速度：机械系统的最大加速度值，取值范围 $500-2500\text{mm/s}^2$ 。系统缺省值是 1600mm/s^2 ，取值越大填充速度越快，但稳定性降低。

拐角容差：位置误差限制,取值范围 $0.0001-1.0\text{mm}$ ，一般取值 $0.01-0.1\text{mm}$ 。取值越大切割填充越快，但稳定性及精度降低。

最大速度：路径填充时的最大速度限制。一般取值是 $20-100\text{mm/s}$ 。

机料速度因子：成形头电机速度因子。取值范围 $1-100$ 。一般根据系统情况取 $20-60$ 。

2.7 生成支撑菜单

很多零件具有悬臂结构，图 5.18 给出了了些悬臂结构的例子。加工这类零件时，需要设计工艺支撑。HTS 控制软件系统提供了自动生成和修改支撑的功能。图 5.19 是一些支撑的例子，其中蓝色的是支撑，绿色的是零件。

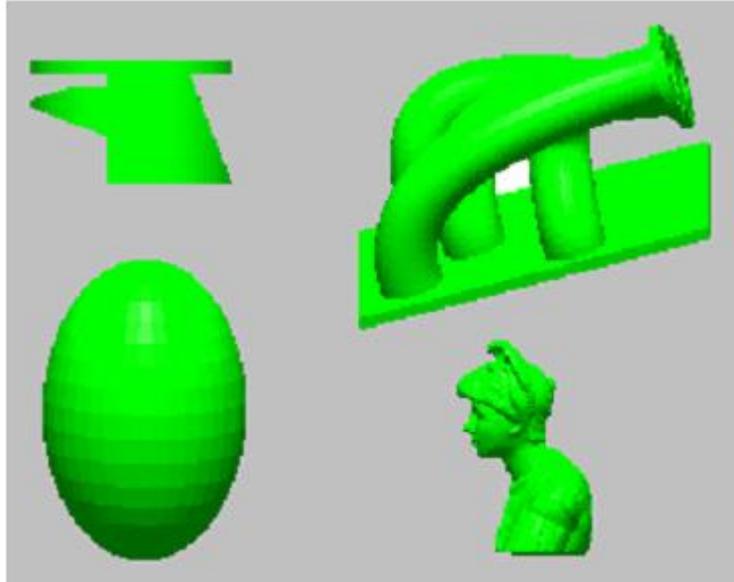


图 5.18 具有悬臂结构的零件

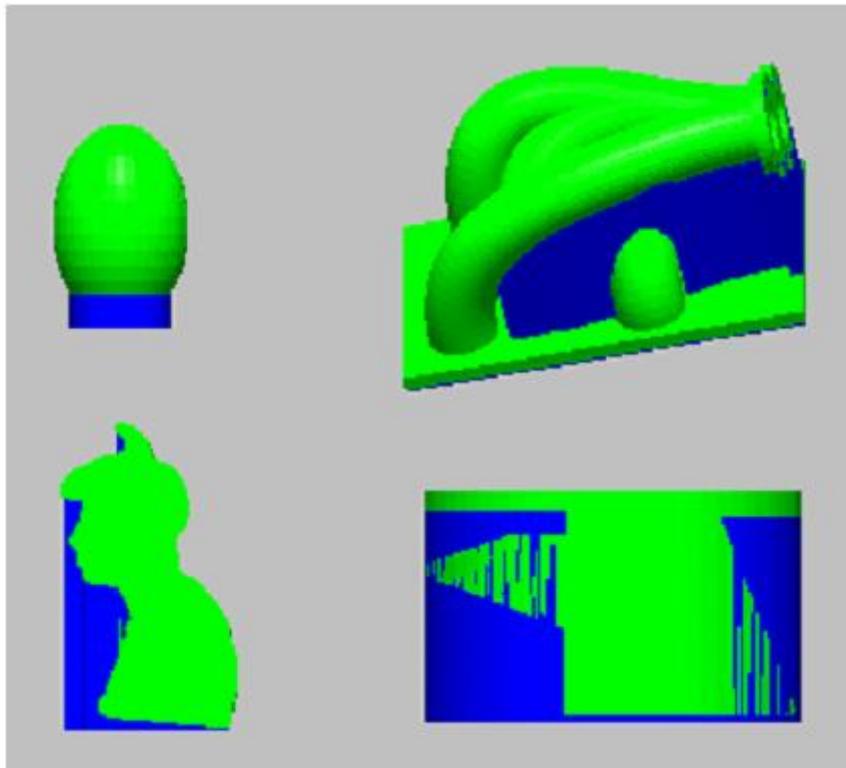


图 5.19 支撑的例子



图 5.20 生成支撑菜单

用鼠标打开图 5.4 中的“生成支撑”菜单，屏幕显示如图 5.20。

各菜单功能如下：

支撑编辑 单击它将弹出一个对话框，如图 5.21。

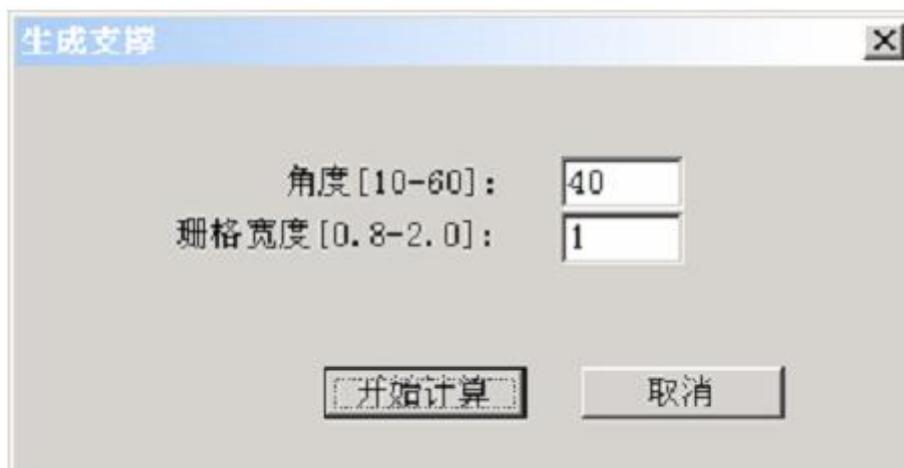


图 5.21 生成支撑对话框

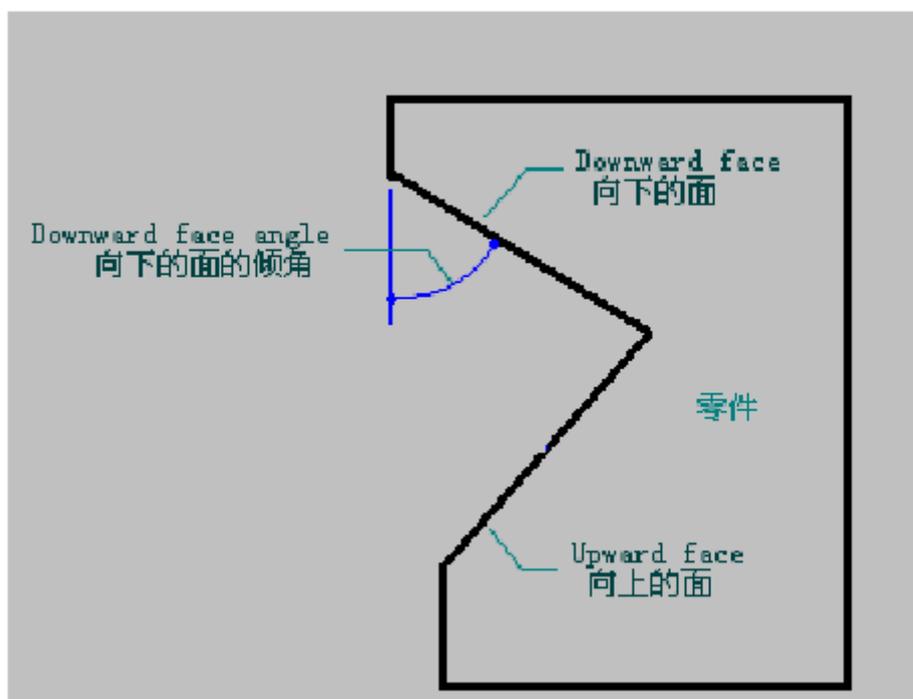


图 5.22 生成支撑 对话框角度参数的几何意义

零件的悬臂结构由一些法失向下的面片组成，这些面片的倾角是不同的（参考图 5.22），对于面片倾角小的悬臂结构，不需要做支撑。图 5.21 中的角度参数要求用户确定需要做支撑的最小倾角。栅格宽度参数的几何意义见图 5.16。设置好参数后，按下开始计算按钮，软件开始计算支撑数据并显示支撑。同时，

主窗口左侧弹出支撑编辑对话框。如图 5.23。

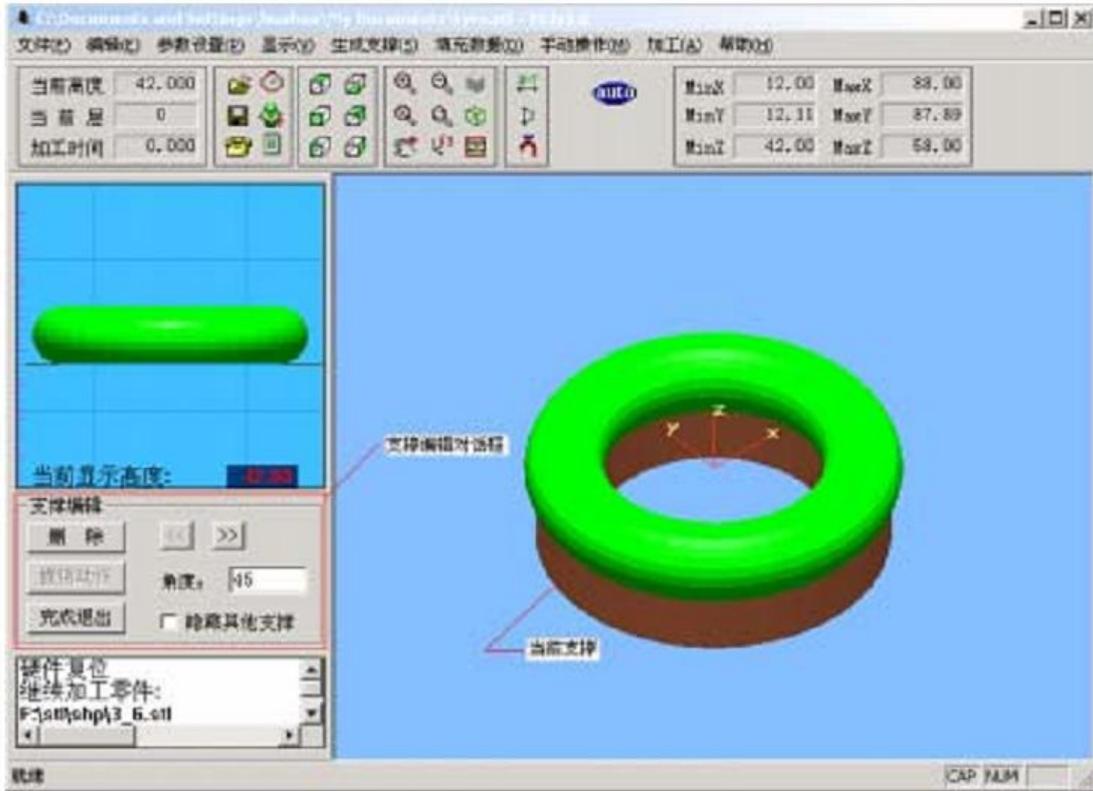


图 5.23 支撑编辑对话框

支撑编辑对话框：支撑编辑对话框用于检查并删除不需要的支撑、改变单个支撑的角度参数。按钮 **<<** 和 **>>** 分别用于选择前一个和下一个支撑。选择的支撑被加亮显示。按钮 **删除** 用于删除当前加亮的支撑，支撑被删除后，软件选择下一个支撑作为当前支撑并加亮显示。编辑框 **角度： 45** 用于改变当前支撑的角度参数，它的初始数据是当前支撑的当前角度，你可以改变这个值并按回车键通知系统改变当前支撑的角度参数。

注意：改变角度参数后，当前支撑可能会消失或会分裂成多个支撑，也可能发生多个支撑合并成一个支撑的情况。这时系统会选择合适的支撑作为当前支撑。

当改变了支撑的角度或支撑被删除后，可使用按钮 **撤销动作** 来恢复。

隐藏其他支撑 用于切换是否显示未加亮的其他支撑。支撑编辑完成后，按下 **完成退出** 按钮，软件开始检查工件与支撑的干涉情况并最终计算出加工所用

的支撑数据。

读入支撑：单击它将弹出打开文件对话框，用户可以调入以前保存的支撑文件。

保存支撑：单击它将弹出文件保存对话框，用户可以将支撑用文件保存起来。支撑文件的后缀名是“.SUP”。

2.8 填充数据菜单

用鼠标打开图 5.4 中的“填充数据”菜单，屏幕显示如图 5.24。各菜单项功能如下：

生成路径子菜单：用鼠标点击生成路径子菜单，系统会弹出一个通用保存文件对话框，让用户输入填充文件的文件名。实际的填充文件名由输入文件名加上当前层数组成。每层对应一个文件，数据文件的后缀名是“.PTH”。比如你输入的文件名是：XXX，那么第一层数据对应于文件 XXX0.PTH。输入文件名后，系统便开始计算各层填充数据。

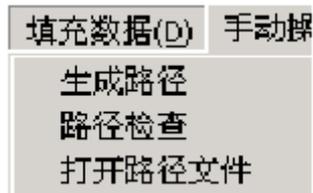


图 5.24 填充数据菜单

注意：数据生成过程中，用户可以随时按下键盘上 Ctrl 键中断

路径检查子菜单：用鼠标点击路径检查子菜单，系统会弹出一个通用打开文件对话框，让用户输入填充文件的文件名。这时用户应选择系统保存的对应某层数据的文件。在上面的例子中，就是 XXX0.PTH。用户选定了文件后，系统就会显示该层的填充路径（参考图 5.16）。

打开路径文件子菜单：用鼠标点击打开路径文件子菜单，系统会弹出一个通用打开文件对话框，让用户输入填充文件的文件名。此文件名是生成填充路径时用户输入的文件名。

2.9 手动操作菜单

“手动操作”菜单包括 3 个子菜单（见图 5.25）。

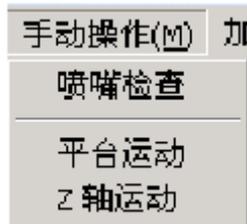


图 5.25 手动操作菜单

喷嘴检查:该子菜单与工具条上按钮的功能相同,用于检查成形头的工作状况。用鼠标选择手动操作中的喷嘴检查项,会弹出成形头检查对话框:屏幕如图 5.26 所示。

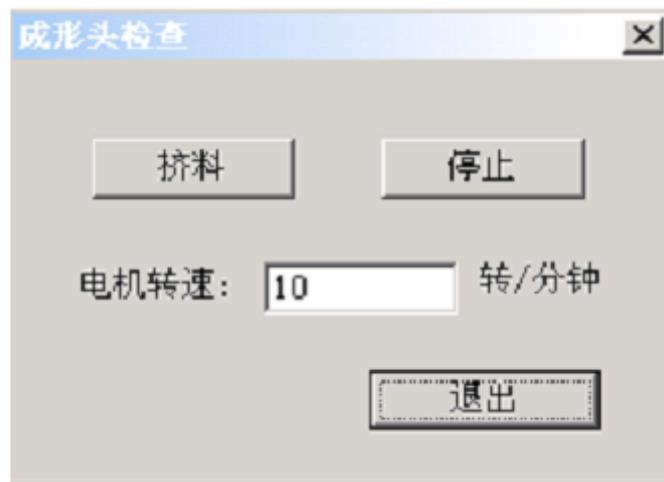


图 5.26 检查成形头的状况

用鼠标选择上图中的挤料按钮, 熔融的丝料应能连续、顺畅地从成形头的下端喷嘴挤出。否则,应检查温度控制器的设定值是否正确,成形头内的通道是否堵塞等。

用鼠标选择上图中的停止按钮, 成形头停止挤料。

电机转速: 设定检测时成形头电机的转速。

平台运动: 该菜单项用来手动操纵成形头分别沿 X、Y 方向移动。用鼠标激活该项后, 系统弹出“平台运动”对话框(图 4.27)。



图 5.27 平台运动对话框

回零： 成形头 X-Y 方向回零位。

开始运动： 输入成形头沿 X 轴或 Y 轴方向移动的速度、位移后，成形头以相应的速度沿 X 或 Y 方向移动相应的位移。X 与 Y 方向不可同时移动。

退出： 退出该选择项

X 轴： 若位移为正值，成形头从左向右移动给定值；若位移为负值，成形头从右向左移动给定值。

Y 轴： 若位移为正值，成形头从后向前移动给定值；若位移为负值，成形头从前向后移动给定值。

Z 轴运动： 该菜单项用来操纵成形头上下（沿 Z 轴）移动。用鼠标激活该项，系统弹出“成形头 Z 向移动”对话框（图 5.28）

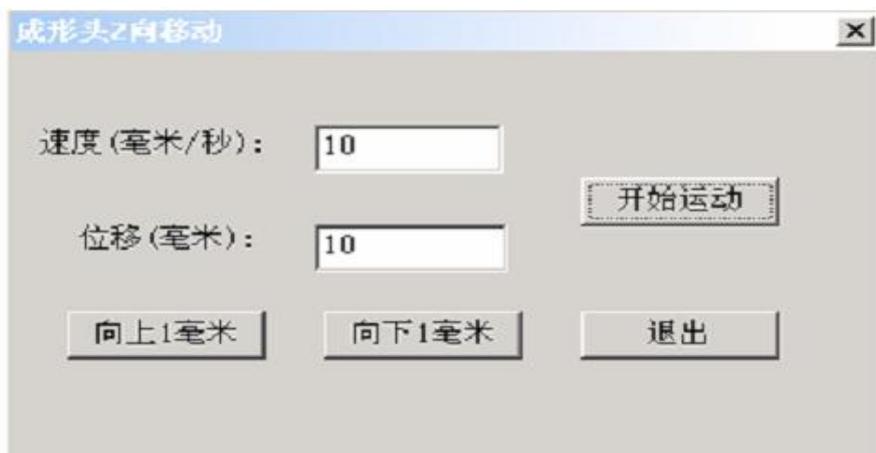


图 5.28 成形头 Z 向移动对话框

向上 1 毫米或向下 1 毫米： 成形头一次向上或向下移动 1mm

开始运动：输入移动速度和位移后，成形头以相应的速度移动相应的位移。

位移值为正，成形头向上移动；位移值为负，成形头则向下移动。例如，输入速度为 50mm/s，位移为-100mm，成形头以 50mm/s 的速度下降 100mm。

2.10 加工菜单

在选择该菜单前，应确认已经生成或者调入填充文件。否则系统将给出错误提示。加工菜单与工条上按钮  的功能相同，选择加工菜单后，系统弹出开始加工工件对话框（图 4.29）。其中文字框内列出了需要用户确认或注意的提示信息。按钮 需要上升一层 用于确定加工前成形头是否需要上升一个层厚（如果选中，则加工零件前成形头上升一个层厚并修改当前加工高度）。



图 5.29 加工工件对话框

按下 ，系统根据当前加工高度，计算加工层数并读入相应的路径文件自动进行工件的成形过程。

注意：自动加工过程中，用户可以随时按下键盘上 Esc 键，加工过程会在一层数据完成后终止。

2.11 帮助菜单

该菜单只有一个选择项（关于 HTS ）。它的功能是显示系统软件的版本号。

3. 相关工艺参数说明

使用 HTS 快速成型机制作工件，要考虑下面这些因素：

- 1) 成形头温度
- 2) 成形材料
- 3) 喷嘴直径
- 4) 层厚
- 5) 成形头挤料电机的速度因子
- 6) 成形头加工时的运动速度最大值
- 7) 零件轮廓补偿值
- 8) 零件填充路径的宽度
- 9) 支撑的角度
- 10) 支撑路径的栅格宽度
- 11) 支撑路径的补偿值
- 12) 工件形状、结构、制作方向

这些因素互相作用，对工件的质量、加工时间、材料消耗都有影响。在考虑这些因素时，我们首要考虑的是保证能够加工出符合质量要求的零件，其次是加工时间和材料消耗。

3.1 成形材料与加热温度

目前 Fochif 公司提供两种成形材料：白料和黄料。这两种材料的性质略有不同，其中黄料呈半透明状态，成形性能比白料好；白料不透明，比黄料硬，发脆。不同的成形材料需要的加热温度也略有不同。表 5-1 列出了推荐的加热温度：

| | 加热腔温度 | 喷嘴温度 |
|----|--------|--------|
| 白料 | 137° C | 152° C |
| 黄料 | 140° C | 152° C |

表 5-1 加热温度

加热温度在设备控制面板上设置，当加热温度较低时，易引起材料供应不足，导致缺料。随着温度提高，材料流动性增加，出料流畅，但温度过高时，材料容易从喷嘴周围溢出，成形性降低，影响表面质量，同时进料口材料容易失稳，

支撑不易剥离。

3.2 喷嘴直径

喷嘴直径影响工件的制作速度和质量。使用大直径喷嘴，可以减少工件加工时间。小直径喷嘴适合加工精度要求高的工件。目前可提供两种直径的喷嘴： $\Phi 0.5$ 和 $\Phi 0.7$ 。

3.3 层厚

层厚影响工件的制作速度及表面质量。一般使用 0.2mm 的层厚，当制作工件的曲面比较平坦时，可以使用较小的层厚以减小台阶效应（图 5.30）。实验证明，对叶片类的薄壁零件，使用小的层厚效果较好。

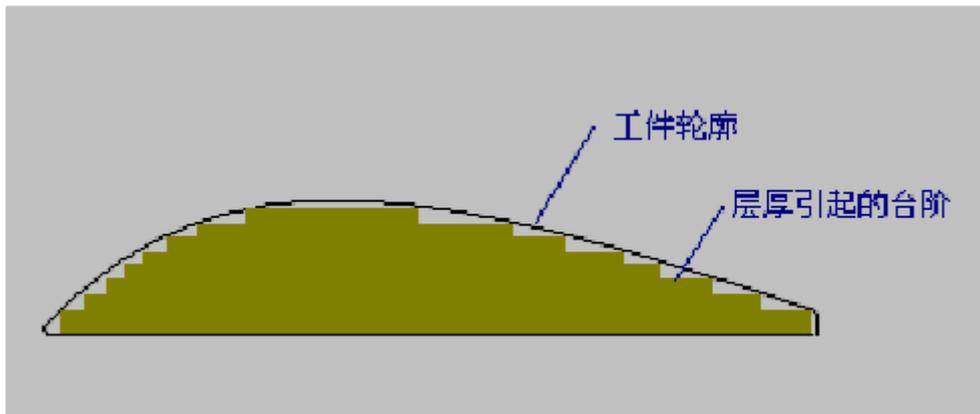


图 5.30 台阶效应

3.4 成形头挤料电机的速度因子

挤料电机速度因子决定加工工件时成形头喷嘴的出料速度。速度因子取值增大则出料速度相应增加。

出料速度是影响制作过程的关键因素，出料设置稍多时，零件和支撑强度较好，容易在支撑上生成零件。但如果喷嘴的出料速度过高，在加工的表面及侧面会出现材料溢出（白料较突出），表面粗糙。支撑与零件也不容易分离。

出料速度减小，得到的零件轮廓清晰，支撑容易分离，但零件强度降低，对于薄壁零件宜提高出料速度。加工过程中，如果发现零件填充区域丝料不足，丝与丝间粘结性不好，在排除了喷嘴堵塞得情况后，可以增加速度因子，提高喷嘴的出料速度。

3.5 零件填充路径的宽度和轮廓补偿值

零件填充的路径宽度主要与喷嘴直径与挤料速度有关。表 5-2 给出了层厚

是 0.2mm 时的推荐值：

| | 填充路径宽度： | 轮廓补偿值： | 速度因子（参考） |
|-----------|---------|------------|----------|
| 喷嘴直径：Φ0.5 | 0.45mm | 0.2~0.25mm | 40 |
| 喷嘴直径：Φ0.7 | 0.65mm | 0.3mm | 60 |

表 5-2 0.2mm 层厚时零件填充路径参数

3.6 支撑角度

在支撑生成和编辑的时候，角度是一个重要参数，角度越小，生成的支撑越多，越有利于零件生长，但支撑多的坏处是制作时间变长、材料消耗大并且支撑剥离难度增加。支撑角度一般取 38° 左右，对于结构较好封闭零件，可以设置较大的角度减少支撑甚至不做支撑。而当零件具有图 5.31 所示的结构时，一定要设置较小的角度参数，确保有足够的支撑。

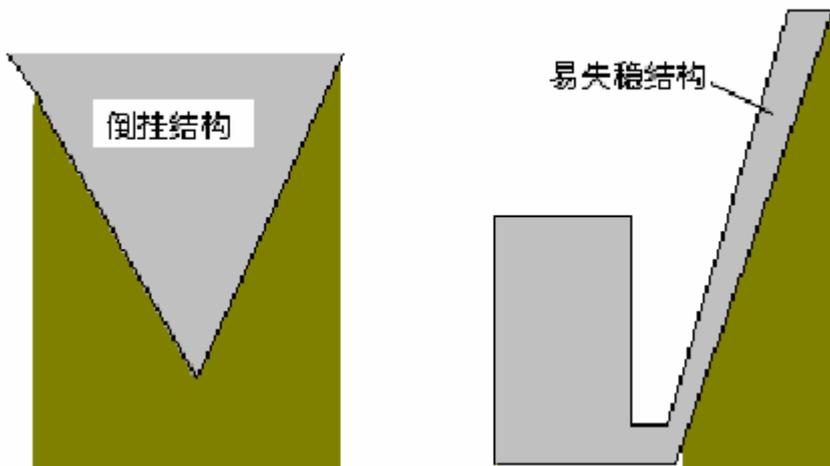


图 5.31 生成支撑菜单

3.7 支撑路径的栅格宽度和轮廓补偿值

支撑的路径栅格宽度取值较大，这样做出的支撑结构疏松，容易与零件分离。但如果取值过大，易造成接触面零件粗糙，支撑结构强度也不好。一般栅格宽度取值为丝径宽度的 2.2 倍左右。

设置支撑轮廓补偿的目的是为了使支撑结构与零件侧面形成适当的间隙，以便于支撑与零件分离。补偿值的取值规则是：支撑补偿+轮廓补偿=2*丝径宽度。表 5-3 给出了层厚是 0.2mm 时的支撑路径参数参考值。

| | | |
|------------------|---------|--------|
| | 路径栅格宽度: | 支撑补偿值: |
| 喷嘴直径: $\Phi 0.5$ | 1.0mm | 0.8mm |
| 喷嘴直径: $\Phi 0.7$ | 1.1mm | 0.9mm |

表 5-3 0.2mm 层厚时支撑填充路径参数

3.8 工件形状、结构、制作方向

选择工件的制作方向时，要综合考虑下面几个方面：

- 1) 支撑容易剥离。
- 2) 有支撑表面易打磨。
- 3) 支撑少。
- 4) 制件强度好。
- 5) 保证重要尺寸。

六、实验报告

阐述快速成形技术的原理和一般方法，比较几种常用方法的优缺点。介绍 FDM 成形机的工作原理，介绍其使用方法及操作要点。对所成形的零件进行质量评估，分析影响产品质量的主要因素。最后，总结自己的体会与收获。（用 Word 文档完成）。