

实验指导书

机械制造工程基础



浙江大学机械制造及其自动化实验室

二〇〇九年十月

目录

实验一	组合夹具组装及其定位误差分析实验.....	1
实验二	切削力测量实验.....	3
实验三	CNC 数控加工机床操作实验.....	12
实验四	数控加工编程、加工程序校验及仿真实验.....	19
实验五	快速成型制造实验.....	31
实验六	激光加工实验.....	39
实验七	车刀几何角度测量.....	42
附录:	组合夹具设计创新实验.....	44

实验一 组合夹具组装及其定位误差分析

一、实验目的

通过组合夹具的组装，使学生能较为具体系统地认识组合夹具的结构组成，组装方法及影响加工的定位误差的分析方法。

二、实验要求

1. 根据需加工零件的加工要求（零件有实物和图纸两种），分析被加工零件的加工和定位方法。
(图纸及零件由做实验时给学生)
2. 选择组合夹具的有关元件（基础件，定位件，导向件，支承件，夹紧件等），对这些元件进行必要的精度测试及记录。
3. 掌握组合夹具的组装方法。

三、实验步骤

1. 认识和掌握组合夹具的各种元件的功用和选择方法；
2. 分析被加工零件的技术要求；
3. 选择被加工零件的加工方法（车、铣、镗、磨等）；
4. 选择组合夹具和机床的联接（定位和固定）方法；
5. 选择组合夹具有关元件，并进行清洁及必要的参数和精度测试并作记录；
6. 将有关元件进行合理可靠地组装，组装过程中同时进行必要的调整和测试；
7. 建立安装零件有关数学方程；
8. 分析计算定位误差；
9. 画出有关组装夹具的有关结构图。

四、实验报告

1. 分析被加工零件的加工技术要求；
2. 选择加工方法和机床设备；
3. 绘制组合夹具的结构图；

4. 建立有关数学模型（方程）；

5. 分析有关定位误差。

实验二 切削力测量实验

一. 实验目的

1. 掌握切削力测量的原理和基本方法
2. 了解电阻式三向车削测力仪的工作原理及仪器的使用。
3. 设计实验方案，熟悉实验方法及数据处理，用线性回归分析法建立车削力的经验公式，求出它的指数和常数。
4. 了解车削时切削深度 a_p 、进给量 f 和切削速度 v 对切削力的影响。
5. 了解使用计算机来得到车削力的经验公式的方法。

二. 实验原理

1. 车削力测试

车削力测试系统如图 1 所示。



图 1 车削力测试系统原理图

切削力由电阻式三向测力仪来测量，其工作原理是：将电阻丝应变片合理地粘贴在测力仪弹性元件上，并将其联成电桥的形式。在无切削力作用时，测力仪弹性元件不发生变形，各个电阻应变片的电阻值不发生变化，电桥平衡，输出电压为零；在切削力作用下，测力仪弹性元件发生变形，引起各个电阻应变片的电阻值的变化，从而电桥失去平衡，产生输出电压。因此可以根据电桥输出的电压变化值来表示各应变片的电阻变化值，进一步根据材料力学原理，得出切削力的大小。

切削力的测量正是根据上述原理来测量的。在切削力作用时，三向测力仪在切削力的三个分力进给抗力 F_x ，切深抗力 F_y 和主切削力 F_z 的作用下，发生三个方向的微小弹性变形，于是粘贴在弹性元件上的应变片也随之产生变形，从而使电阻应变片的电阻值发生变化，电桥失去平衡，产生输出电压。将电桥的输出电压经应变仪的放大，通过模数（A/D）转换器将电压信号转换成数字信号，由计算机读出，并作进一步的数据处理。

2. 测试系统的标定

所谓标定是指测量切削力的标准尺度，由前面切削力测量原理可知，切削力是经过力值——>变形——>电阻值——>电压——>数字信号等一系列转换来得到的，因此，需要建立各个环节之间的转换关系。本实验中，需要对测力仪由力转换成变形、电阻变化引起电压变化、电压信号转换成数字信号等三个环节进行标定。

2.1 测力仪的标定

对于测力仪的标定，就是要给出切削力与变形之间的关系。一般地，通过对测力仪施加已知大小的力，再对变形进行测量而得到，而由于变形很难直接进行测量，往往通过电阻应变片来进行，即通过变形引起电阻值的变化来反映出来。在本实验所用的测力仪在出厂时已经过标定，因此不需要进行标定。

2.2 应变仪的标定

测力仪在切削力的作用下产生变形，反映在电阻应变片的电阻值的变化，应变放大仪将电阻的变化用电压的变化来表示，因此本实验中需要对应变放大仪进行标定。

2.3 AD 板的标定

应变放大仪输出的是电压信号（模拟信号），为了便于处理，需要转换成数字信号，AD（analog & digital）转换器是实现该功能的元件。从理论上，也需要对 AD 转换器进行标定，但由于 AD 板精度较高，因此一般认为从 AD 板读入的数字就是应变放大仪的电压输出值。

综上所述，在本实验中，需要对应变仪进行标定。

三. 实验设备和仪器

1. 机床：CA6140 或数控车床
2. 仪器：
 - 1) 电阻式三向车削测力仪；
 - 2) TS3830 数显应变放大器
 - 3) TS2900 桥盒
 - 4) A/D 转换器
 - 5) 计算机
3. 工具：
 - 1) 游标卡尺、钢皮尺、200mm 直角尺；
 - 2) 200×24 活络扳手、M16 内六角扳手、螺丝刀；
 - 3) 硬质合金不重磨外圆车刀；
 - 4) 直角坐标纸（自备）
4. 试件： $\Phi 60 \times 500$ mm 45 钢试件一根。

四. 实验步骤

1. 阅读所用仪器使用说明书操作部分，了解仪器的使用。
 2. 熟悉机床各操作手柄，将工件和刀杆式测力仪分别装在机床和刀架上。
 3. 按实验原理和仪器使用说明书的要求进行下列工作：
 - 1) 将各仪器联接成实验所需的切削力测试系统；
 - 2) 打开各应变放大仪电源开关并预热；
 - 3) 根据需要对各仪器调零；
 - 4) 检查仪器的各选择开关是否在要求的位置上；征得指导人员同意后开始测试。
 4. 测量切削力
 - 1) 固定切削速度 v 和进给量 f ，改变切削深度 a_p ，得到一组应变仪的读数或从 AD 板中采集读入，记录在固定切削速度和进给量的条件下，不同切削深度时的应变仪（AD 板）的值，并根据系统的标定数据，计算出车削力的值；
 - 2) 固定切削深度 a_p 和切削速度 v ，改变进给量 f ，得到一组应变仪的读数或从 AD 板中采集读入，记录在固定切削深度和切削速度条件下，不同进给量时的应变仪（AD 板）的值，并根据系统的标定数据，计算出车削力的值；
 - 3) 固定切削深度 a_p 和进给量 f ，改变切削速度 v ，得到一组读数，记录在固定切削深度和进给量的条件下，不同切削速度时的应变仪（AD 板）的值，并根据系统的标定数据，计算出车削力的值。
- 将上述测量和计算结果填入到表 1 中进行手工计算；如果配备计算机辅助系统，则不需要进行

记录，只需要根据相应的软件来进行处理，并进行处理得出切削力的实验公式，再将相关数据打印出来（详见附1切削力测量实验辅助软件操作说明）。

表 1：测量切削力的实验数据

测量条件			测量结果			计算结果		
固定参数	变动参数		应变仪（AD）读数			切削力值（kg）		
	名称	值	Nx	Ny	Nz	Fx	Fy	Fz
ap=	f1							
	f2							
v=	f3							
	f4							
	f5							
f =	ap1							
	ap2							
v =	ap3							
	ap4							
	ap5							
ap =	v1							
	v2							
f =	v3							
	v4							
	v5							

5. 实验结束后将仪器各选择开关置于合适的位置，关掉各仪器电源，拆除联接线，将所用仪器、工具等放回原处。清理车床和场地。

五. 实验报告

1. 实验条件：简述所用机床、仪器、工具、试件情况及固定的参数等。
2. 实验数据：将实验数据及预处理结果记录于表 1。
3. 根据表 1 的车削力实验数据，利用一元线性回归分析方法建立车削力 F_z 、 F_y 、 F_x 的实验公式（具体计算方法详见附 2 实验数据的处理和实验公式的建立）。
4. 讨论切削深度 ap 、走刀量 f 、切削速度 v 对车削力的影响。

附 1：切削力测量辅助软件说明

一. 操作步骤：

1. **测力通道设置**：设置切削力 F_x 、 F_y 、 F_z 分别与 AD 板哪个通道相联。
2. **系统校零**：对系统进校零，分别设定 F_x 、 F_y 、 F_z 三个方向校零时应变放大仪的衰减倍数以及 AD 板的读数。
3. **应变仪标定**：对应变放大仪进行标定，需要给出应变放大仪的标定量程（与切削力大小相适应）、应变放大仪的衰减倍数以及 AD 板的相应读数。
4. **测量参数设置**：设置本实验所用的测力仪及测量时应变仪的衰减倍数；
5. **切削力测试**：采用单因素法分别只改变切削深度、进给量、切削速度来测量切削力，其中切削力数据是通过 AD 板读入的。
6. **数据处理**：根据标定数据，对切削力测试的数据进行处理，根据最小二乘法得到切削力实验公式。
7. **数据保存**：将本实验过程中的有关数据保存到文件中，可以打印出来。
8. **实验结束**。

二. 切削力计算逻辑

假设如下：

- (1) 切削力 F 从 AD 板读入值为 A，应变仪的衰减倍数为 B；
- (2) 应变仪校零时，AD 板读数为 A0，应变仪的衰减倍数为 B0；
- (3) 应变仪标定时，量程选择为 C，应变仪的衰减倍数为 B1，AD 板读数为 A1；
- (4) 测力仪的标定值为 D（牛顿/微应变）；

则切削力 F 的计算公式为：

$$\frac{(A \times B - A0 \times B0)}{(A1 \times B1 - A0 \times B0)} \times C \times 100 \times D$$

其中，100 为应变放大仪标定的单位。

三. 主要操作界面



设置界面

图 1 系
统总界
面

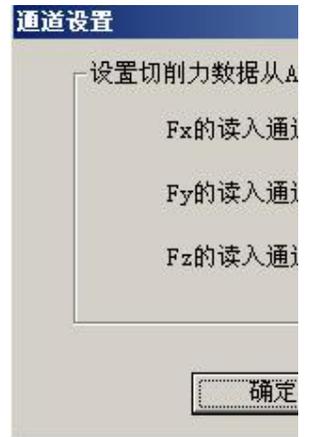


图 2 测
力通道



图3 系统校零的界面



图4 应变仪标定的界面



图5 切削力测量参数设置的界面

附 2: 实验数据的处理和实验公式的建立

利用测力仪进行切削实验就可以求出切削力的实验公式。切削力实验的方法有单因素法和多因素法。在本实验中采用单因素法，即实验时仅改变一个因素，而使其它因素保持不变，并测出这一因素改变时的切削力大小，然后通过对实验数据的处理，从而建立切削力的实验公式。

例如求切削深度 a_p 与主切削力 F_z 的关系式。设 a_p 为自变量 x ，取一系列 x 值 (x_1, x_2, \dots, x_n) 进行切削试验，若令 F_z 为因变量 y ，则可得到一系列相应的 y 值 (y_1, y_2, \dots, y_n)。

切削深度与切削力的关系可以有两种不同的方法来表达，一种是在直角坐标中切削深度与切削力为线性关系，另一种是切削深度与切削力为指数关系，即在对数坐标系中为线性关系。目前普遍采用后者，即：

$$F_z = C_{ap} \cdot a_p^{X_{Fz}} \quad (\text{式 1})$$

在对数坐标系中，式 1 可写成：

$$\lg F_z = \lg C_{ap} + X_{Fz} \lg a_p \quad (\text{式 2})$$

若令 $x = \lg a_p, y = \lg F_z, a = \lg C_{ap}, b = X_{Fz}$ ，则式 2 可以写成：

$$y = a + bx \quad (\text{式 3})$$

这个方程称为 y 对 x 的线性回归方程， a, b 称为回归系数。现在的问题是 a, b 取怎样的值时，可使这条直线最逼近各实验点，即用这条直线来表示 x 与 y 之间的关系使实验数据的误差最小。

对于每一个 x_i ，由式 3 可以确定一个回归值 $\hat{y}_i = a + bx_i$ ，这个在直线上与 x_i 相对应的回归值 \hat{y}_i 和切削实验所得的实测值 y_i 之差就是误差 d_i 。

显然，对于所有的 x_i ，若总误差越小，则意味着直线与所有实验点拟合得越好；全部实验点所构成的总误差不能有各点 d_i 的代数和来表示，因为这些误差中有正有负，所以单纯的代数和由于正负抵消而不能代表真正的误差，用误差的绝对值之和表示总误差虽然可以避免此缺点，但对以后的数学运算带来不便，所以一般都是将每个误差的平方和作为总误差 Q ，即：

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad (\text{式 4})$$

然后用使得 Q 等于最小的方法确定 a 及 b ——最小二乘法，也就是说用最小二乘法所确定的直线，与各实验点的偏差是一切直线中最小的。

根据微积分学中的极值定理，要使 Q 达到最小值，只需将式 4 分别对 a 及 b 求偏纳数，并令它们等于零，于是 a 及 b 满足：

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0 \quad (\text{式 5})$$

$$\frac{\partial Q}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)x_i = 0 \quad (\text{式 6})$$

由式 5 得： $na = \sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i$ ，所以

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (\text{式 7})$$

$$\text{其中： } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (\text{式 8})$$

由式 6 得：

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i - a \sum_{i=1}^n x_i - b \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0 \quad (\text{式 9})$$

将式 7 代入式 9，经整理后可得：

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (\text{式 } 10)$$

因此由式 7 及式 10 即可求出 a 及 b 值。

通过上述计算,可以得到切削深度 a_p 与主切削力的关系式。用同样方法也可求得进给量、切削速度与主切削力的关系式为:

$$F_Z = C_f \cdot f^{y_{FZ}}, F_Z = C_v \cdot v^{z_{FZ}} \quad (\text{式 } 11)$$

因此,综合式 1 和式 11,主切削力的实验公式为:

$$F_Z = C_{FZ} \cdot a_p^{x_{FZ}} \cdot f^{y_{FZ}} \cdot v^{z_{FZ}} \quad (\text{式 } 12)$$

上式中的系数 C_{FZ} 可按如下方法求出,因为在进行 a_p 与 F_Z 的实验时,进给量 f 和切削速度 v 保持不变,即取 $f = f_0$, $v = v_0$ 。因此式 1 中的 C_{ap} 可写为:

$$C_{ap} = C_{FZ1} \cdot f_0^{y_{FZ}} \cdot v_0^{z_{FZ}}$$

$$\text{故 } C_{FZ1} = \frac{C_{ap}}{f_0^{y_{FZ}} \cdot v_0^{z_{FZ}}} \quad (\text{式 } 13)$$

而在进行 f 与 F_z 的实验时,切削深度 a_p 和切削速度 v 保持不变,即 $a_p = a_{p0}$, $v = v_0$ 。因此式 11 中 C_f 可写成

$$C_f = C_{FZ2} \cdot a_{p0}^{x_{FZ}} \cdot v_0^{z_{FZ}}$$

$$C_{FZ2} = \frac{C_f}{a_{p0}^{x_{FZ}} \cdot v_0^{z_{FZ}}} \quad (\text{式 } 14)$$

同理,在进行 v 与 F_z 的实验时,切削深度和进给量保持不变,即 $a_p = a_{p0}$, $f = f_0$ 。因此式 11 中 C_v 可写成

$$C_v = C_{FZ3} \cdot a_{p0}^{x_{FZ}} \cdot f_0^{y_{FZ}}$$

$$\text{故 } C_{FZ3} = \frac{C_v}{a_{p0}^{x_{FZ}} \cdot f_0^{y_{FZ}}} \quad (\text{式 } 15)$$

由于实验误差,从式 13、式 14 和式 15 所求出的 C_{FZ1} 、 C_{FZ2} 和 C_{FZ3} 值不一定相同,因此取其平均值作为最终的常数 C_{FZ} , 即:

$$C_{FZ} = (C_{FZ1} + C_{FZ2} + C_{FZ3}) / 3 \quad (\text{式 } 16)$$

同理可求得 F_y 力及 F_x 力的实验公式。

实验三 CNC 数控加工机床操作

一、实验目的与要求

1. 认真阅读实验用数控机床使用说明，熟悉 CNC 机床操作台结构。
2. 练习并掌握 CNC 数控机床功能及操作面板的使用。
3. 感性比较数控机床和普通机床的异同。

二、HNC 数控铣床用户面板操作介绍

操作面板直接控制机床的动作或加工过程的控制。华中 1 型教学型数控系统直接采用 PC 机标准键盘，因而操作台上只有操作面板而无 NC 键盘。

1. 系统上电屏幕

上电后系统的屏幕显示说明：

- (1) 加工方式：显示系统目前的运行方式，如自动、手动、回零、急停等。
- (2) 加工程序：显示一行正在加工的程序。
- (3) 正文窗口：根据不同的用户界面显示，如编辑功能、显示编辑的程序。
- (4) 命令行说明当前画面所在的位置。

命令行———主画面。

自动加工———自动加工的设置、程序调入等。

编辑———程序编辑、删除、拷贝、改名等。

参数———系统参数的显示、修改等。

MDI———MDI 画面。

PLC———PLC 画面。

故障诊断———系统故障诊断及报警处理。

- (5) 运行程序索引：显示自动加工中的 % 代码和 N 代码。

(6) 工件指令坐标：可在机床坐标系/工件坐标系/相对坐标系下显示指令位置/实际位置/剩余进给/跟踪误差/负载电流。

(7) 按软体键则进入相应的画面，如按 F1，则进入自动加工，“命令行”变为“自动加工”。

(8) 软体键 F9 在任何画面中有效，用于设置显示的方式、参数等。

(9) 在主画面中按 F10，进入扩展功能，在其它画面中按 F10 为返回上一画面。

2. 电源接通与关断

合上总电源开关后，用钥匙打开操作面板上的电源开关，接通 CNC 电源，同样可用钥匙断开 CNC 电源。

3. 紧急停止与复位

机床运行过程中，当出现紧急情况时，按下急停按钮，伺服进给及主轴运转立即停止工作，CNC 即进入急停状态；松开急停按钮，CNC 进入复位状态。

4. 超程解除

当某轴出现超程，要退出超程状态时，必须松开急停按钮，一直按压着超程解除开关，然后在点动方式下，使该轴向相反方向退出超程状态。

5. 方式选择

通过方式选择开关，选择机床的工作方式，有如下几种方式可供选择（注：不同用户的机床工作方式可能会有相应的增减，具体决定于方式选择开关）。

(1) 自动：自动运行方式，机床控制由 CNC 自动完成。

(2) 单段：单程序段执行方式。

(3) 步进：步进进给方式。

(4) 点动：点动进给方式。

(5) 回零：返回机床参考点方式。

(6) 手动攻丝：手动攻丝方式。

(7) 手摇：手摇脉冲发生器操作方式。

6. 手动运行

手动运行包括：手动回参考点、点动进给、步进进给、手摇脉冲发生器进给以及手动攻丝等。

(1) 坐标轴选择

在手动运行方式下，通过按压±x、±Y、±Z 选择相应的手动进给轴。此时，每次能手动走多个坐标轴。

(2) 点动 (JOG) 进给及进给速度选择

在点动进给方式下，按压±X (Y 或 Z)，X (Y 或 Z) 轴将向正向或负向产生连续移动，松开±X (Y 或 Z) 即减速停止。点动进给的速率为最大进给速率的 1/3 乘以进给修调开关选择的进给倍率。若同时按下±X (Y 或 Z) 和快速键，则产生 x (Y 或 Z) 轴的正向 (或负向) 快速运动。此时点动进给的速率为最大进给速率乘以进给倍率。

(3) 增量(步进)进给及增量倍率

当操作面板如图 1.4 所示时，在增量进给方式下，按一下±X (Y 或 Z)，X (Y 或 Z) 轴将向正向或负向移动一个增加值。

增加值的大小由增量倍率 X 1, X 1 0, X 100, X 1 000 控制。增量倍率开关的位置和增量值的对应关系如下表:

位置	1	10	100	1000
增量值 (mm)	0.001	0.01	0.1	1

(4) 手摇进及倍率

当工作方式手摇方式时，转动手摇脉冲发生器可以正方向或负方向进给各轴。手摇进给轴由坐标轴选择开关选定，手摇脉冲发生器的当量 (手摇每转一格移动的距离) 由增量倍率开关选择，其对应关系与增量进给基本相同，只是在增量倍率为 1000 时，手摇脉冲发生器的当量为 $0.001 \times 100=0.1 \text{ mm}$ 而非 1mm。

(5) 返回参考点

手动回参考点。教学铣床操作如下：当工作方式回参考点方式时，选择需返回参考点的坐标轴，直接按压±X (Y 或 Z) 按钮，直到到达参考点的位置 (当减速限位开关被接通，再关断后，下一个栅格被看作是参考点)，该轴参考点返回结束后，参考点返回指示灯亮。工业铣床为选择回参考点方式，选择所需要的坐标轴，然后按“循环启动”，等指示灯亮后，再用同样的方法使其坐标轴返

回参考点。

在电源接通后，必须用这种方法完成返回参考点操作。

7. 手动机床动作控制

(1) 主轴起停及速度选择

在手动方式下，按下主轴正转按钮，主电机正转，主轴正转，按下主轴反转按钮，主电机反转，按下主轴停止按钮，主电机停止运转。

当操作面板上有主轴修调开关时，主轴正转及反转的速度可通过主轴修调开关调节。

(2) 刀具夹紧/松开

手动装刀。此操作有两种方法，如果是带锁开关，则按下操作面板的刀紧/刀松开，松开刀具，松开此开关，刀具夹紧；如果是不带锁开关，则按一次刀具松开（默认值为夹紧）再按一次又为夹紧，如此循环。

(3) 冷液开/关

此操作有两种方法，如果是带锁开关，则按下操作面板上的冷液开/关，冷却液开，松开此开关，冷却液关。如果是不带锁开关，则按一次冷却液开（默认值为冷却液关），再按一次又为冷却液。如此循环。

8. 与自动有关的操作

(1) 自动运转与单段自动方式

当方式选择开关置于自动方式时，机床控制由 CNC 自动完成。

当方式选择开关置于单段方式时，程序控制将逐段执行，即运行一段后机床停止，再按一下循环启动按钮，即执行下一程序段，执行完后又再次停止。

(2) 自动运转启动——循环启动

自动运转启动。当方式选择开关置于自动方式时，在主菜单下按 F1 键进入自动加工子菜单，按 F1（程序选择）选择要运行的程序，按下循环启动按钮，自动加工开始。自动加工期间，按钮内指示灯亮。

(3) 自动运转暂停——进给保持

自动运转暂停。在自动运转过程中，按下“进给保持”键，暂停执行程序，机床运动轴减速停止，暂停期间，按钮内指示灯亮。

(4) 进给运转后的再启动

在自动运转暂停状态下，按下“循环启动”键将重新启动，从暂停前的状态继续运行。

(5) 进给速度修调

在自动方式下，当进给速度偏高或偏低时，可用操作面板上的进给修调开关，修调程序中编制的进给速度，此开关可提供 10%~160%的修调范围。

注意：在点动方式，此开关可调节点动速率。

(6) 空运行

当机床选择自动循环操作方式时，按下操作面板上空运行按钮，CNC 处于空运行状态(这时按钮内的灯亮)。程序中编制的进给速率被忽略，刀具是以快移速度移动。

(7) 主轴速度修调

可用操作面板上的主轴修调开关，修调自动运行时程序中编制的主轴速度或手动时的主轴速度，此开关可提供 10%~160%的修调范围。机械齿轮换档时，主轴不能修调。

(8) 任选程序段跳过

打开机床操作面板上的任选程序段开关，含有斜号“/”的程序段被忽略。

9. 其它控制操作

(1) 机床锁住

禁止机床坐标轴动作。在自动运行开始前，将“机床锁住”键按下，再循环启动，坐标位置信息变化，但不允许机床运动，这个功能用于校验程序。

注：(i)即便是 G28、G29 功能，刀具不运动到参考点。

(ii)机床辅助功能 M. S. T 仍然有效。

(iii)在自动运行过程中，按“机床锁住”键，机床锁住无效。

(iv)在自动运行过程中，只有在运行结束时，方可解除机床锁住。

(2) Z 轴锁住

禁止进刀。在自动运行开始前，将“Z 轴锁住”键按下，再循环启动，Z 轴坐标位置信息变化，但 Z 轴不运动，因而主轴不运动。

(3) 禁止程序中辅助功能的执行。按下“M. S. T 锁住”按钮后，除控制用 M 代码 M00、M01、M02、M30、M98、M99 照常执行外，所有其它的 M.S.T 指令无效。

三、实验内容

本实验以 HNC—1M 铣削数控机床为对象，熟悉 HNC 系统的功能及面板按钮操作。主要包括：机床自动、单段、步进、点动、回零、手摇等工作方式选择操作；手动回参考点、点动进给、步进进给、手摇脉冲进给操作；主轴正反转、刀具夹紧松开、冷却液开关等手动机床动作控制操作；循环启动、进给保持、进给速度修调、主轴速度修调、空运行等与自动有关的操作；机床锁住、Z 轴锁住及 M. S. T 锁住等重要控制操作；紧急停止与复位、超程解住等。

四、实验步骤：

1. 合上总电源开关，接通 CNC 电源。
2. 操作机床自动、单段、步进、点动、回零、手摇等工作方式选择。
3. 手动运行操作：回参考点、点动进给、步进进给、手摇脉冲进给；坐标轴选择、进给速度及倍率选择操作。
4. 自动加工有关操作：循环启动、进给保持、进给速度修调、主轴速度修调、空运行等。
5. 手动机床动作控制操作：主轴正反转、刀具夹紧松开、冷却液开关等。
6. 机床锁住、z 轴锁住及 M.S.T 锁住等重要控制操作。
7. 特殊操作：紧急停止与复位、超程解住等。
8. 关机结束。

五、注意事项：

1. 认真复习 HNC 数控机床操作说明。
2. 防止工件及刀具与机床碰撞，注意安全。
3. 实验时，别人不得乱碰按钮
4. 万一有意外，迅速切断电源。

六、实验报告

1. 分析 HNC 面板功能，画出系统操作面板功能布置图。
2. 分类归纳手动和自动工作方式下所需的有关操作。

实验四 数控加工编程、加工程序 校验及仿真

一、实验要求及目的

1. 掌握 HNC 数控机床的基本指令系统及常用 G 代码及 M 代码的使用
2. 掌握平板类零件铣削加工的编程方法
3. 掌握数控加工程序 NC 键盘输入，修改及加工执行过程
4. 掌握数控加工程序的校验及轨迹仿真方法
5. 了解数控铣床控制面板操作

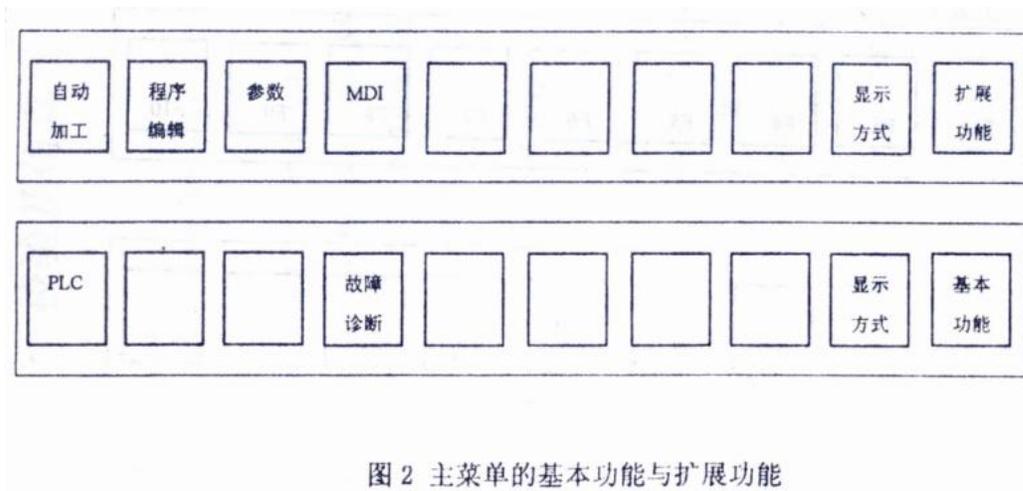
二、HNC——IM 数控系统 NC 键盘操作使用说明

1. 系统的菜单功能

系统的各项功能由用户通过菜单来选择。

由于每个功能包括不同的操作，菜单采用层次结构，即在主菜单中，当用户选择一种功能(用功能键在主菜单中选择一个菜单项)后，控制系统会显示该功能下的子菜单，用户可根据该子菜单的内容选择该功能下所需的各种操作。当要返回主菜单时，该主菜单下的 F10 键即可。软体键 F8、F9 在任何画面中有效，用于设置通道（若只有一个通道则 F8 无效）及显示的方式、参数等，如图1所示。

系统的主菜单如图1所示。主菜单基本功能中按 F10，即出现子菜单，而在子菜单中按 F10，即返回主菜单。



系统的菜单结构如图 3 所示。

自动加工：程序选择（F1）

运行状态（F2）

程序校验（F3）

重新对刀（F4）

保存断点（F5）

恢复断点（F6）

停止加工（F7）

程序编辑：文件管理（F1）

保存程序（F2）

删除一行（F4）

查找（F5）

参数功能：参数索引（F1）

- 修改口令 (F2)
- 输入权限 (F3)
- 置出厂值 (F5)
- 恢复前值 (F6)
- 输入汉字 (F7)

- MDI 功能: 刀库表 (F1)
 - 刀具表 (F2)
 - 坐标系 (F3)
 - MDI 运行 (F6)

- PLC 功能: T 图编译 (F1)
 - T 图显示 (F2)
 - 状态显示 (F4)
 - T 图打印 (F6)

- 故障诊断: 报警显示 (F6)
 - 错误历史 (F7)

图 3 菜单结构

用户进入主菜单各功能项后会有相应的子菜单显示,用户当前所选的功能在主菜单画面中的“加工方式”处于相应的显示,同时在命令行的开头也会有相应的提示。

2. 程序编辑及管理

程序编辑及管理包括对加工程序的编辑、拷贝、删除、改名等操作。在基本功能主菜单下按 F2 “程序编辑”进入程序编辑及管理功能。如果在编辑区已经有程序在编辑,则在正文窗口显示正在编辑的程序,并允许用户编辑。

F1 “文件管理”用于将程序调入编辑区,以及程序拷贝,程序删除,程序改名,通讯等操作。按下 F1,弹出菜单,用光标键上下移动红色亮条以选择所需的功能,然后按 CR 确认。

2.1 程序编辑与保存

如果在编辑区没有程序在编辑，按下列步骤调入到程序编辑区：

(1) 在程序编辑子菜单下按 **F1**，选择“程序选择”，按 **CR**，系统将提示由用户选择从内存调入，还是从磁盘调入等。用光标键上下移动红色亮条以选择所需的程序类型，按 **CR** 确认。

其中，当前运行程序指当前正在加工的程序：内部程序是指电子盘中的程序；磁盘程序是指 3 软盘中的程序；网络程序是指通过网络调入的程序。

(2) 选择具体程序：选择内存程序，磁盘程序，网络程序后，系统自动将所有程序目录都以菜单的形式列出。用户用光标选择，按 **CR** 确认。对于新程序，系统创建一个临时文件由用户修改。

当前运行程序是指对当前加工区的程序进行编辑。

程序调入之后，可以用下列各键对程序进行全屏幕编辑及修改：

→：向右移动光标一个字符。

←：向左移动光标一个字符。

↑：向上移动光标一行。

↓：向下移动光标一行。

HOME：将光标移到本行的行首。

END：将光标移到本行的行尾。

PCR 用：将光标向上移一页。

PGDN：将光标向下移一页。

DEI：将光标所在位置的字符删除。

BACKSPACE：将光标所在位置的前一字符删除。

CR：在光标所在位置插入一个数字、字母。

F2：保存程序，如果当前有程序正在编辑，此键有效。按 **F2**，系统提示程序路径，用光标选择，按 **CR** 确认，此时命令行提示如下：

编辑：程序路径\0_

有用户键入程序名，按 **CR** 确认当前正在编辑的程序保存。

F4：如果当前程序正在编辑，此键有效。按 **F4**，将当前光标所在行删除。

F5: 如果当前程序有正在编辑, 此键有效。按 **F5**, 在命令行提示所在行向下查找。查找到则将光标移到找到的行, 未找到, 则提示用户。

2.2 程序拷贝

(1) 按 **F1**。弹出菜单, 选择“程序拷贝”, 按 **CR**, 系统将提示被拷贝文件的路径。用光标选择, **CR** 确认。

(2) 选择被拷贝的程序。系统自动将内存或软盘上的所有程序目录都以菜单的形式列出来, 用户光标选择, **CR** 确认, 此时命令行提示如下:

编辑: 程序路径\程序名拷贝至

(3) 选择要拷贝的程序路径。系统自动提示选择程序路径, 用户用光标选择, **CR** 确认, 此时命令行提示如下:

编辑: 程序路径\程序名拷贝至程序路径名\0_

(4) 选择要拷贝的程序名。用户在命令行提示处直接键入程序名, 用 **CR** 确认。

2.3 程序改名

(1) 按 **F1**。弹出菜单, 选择“程序改名”, 按 **CR**, 系统将提示要改名的程序路径。用光标选择, **CR** 确认。

(2) 选择要改名的程序名。系统自动将内存或软盘上所有程序目录都以菜单的形式列出来, 用户用光标选择, **CR** 确认, 此时命令行提示如下:

编辑: 程序路径\程序名改名至

注意: 对于正在加工的程序不能改名。

(3) 选择改名后的程序路径。系统自动提示选择程序路径, 用户用光标选择, **CR** 确认, 此时命令行提示如下:

编辑: 程序路径\程序名改名至程序路径名\0_

(4) 选择改名后的程序名。用户在命令行提示处直接键入程序名, 用 **CR** 确认。

2.4 程序删除

(1) 按 **F1**。弹出菜单, 选择“程序删除”, 按 **CR**, 系统将提示要删除的程序路径。用光标选

择，CR 确认。

(2) 选择程序。系统自动将内存、软盘或网络上所有程序目录都以菜单的形式列出来，用户用光标选择，CR 确认，此时命令行提示如下：

编辑：程序路径\程序名删除程序，确认 (Y/N) ?

输入 Y 删除程序，输入 N 不删除程序

注意：对于正在加工的程序不能删除。

3. 程序自动运行

在基本功能主菜单下按 F1 “自动加工” 进入程序自动运行功能。

3.1 自动运行

(1) 选择运行程序

1) 在自动加工子菜单下，按 F1 “程序选择”，系统将弹出菜单让用户选择程序路径（从内部还是从磁盘等读入加工程序）。用 ↑、↓ 移动亮条选择，用 CR 确认。其中，当前编辑程序是指当前正在编辑的程序。

2) 弹出程序的目录，由用户选择。用 ↑、↓ 移动亮条选择。

弹出目录说明：红色—正在运行的程序；蓝色—正在编辑而未存盘的程序；绿色—正在编辑并已经存盘的程序。

3) 选中后按 CR，即可将程序调入加工区。此时屏幕上将显示要加工的程序。

(2) 启动自动程序

1) 将操作面板上的方式选择开关置于自动加工位置 (AUTO)。

2) 按下操作面板上的“循环启动”按钮，自动加工开始。

3.2 程序仿真校验

程序仿真校验可对调入运行区的程序进行校验，并提示可能的错误。在新程序调入后最好先仿真校验，无误后再启动自动加工。

1) 选择运行程序（要校验的程序）：

2) 自动加工子菜单下，按下 F3，此时主画面中的加工方式功能显示改为“校验”；

3) 启动自动程序。

此时会有一黄色亮条跟踪被校验的程序段，亮条将不断下移以指示校验过程。

若程序正确，程序显示由回到头，且主画面中的加工方式功能显示改回为“自动”；若程序错误，亮条停在错误行，且主画面中有“出错”闪动。此时可以进入到故障显示功能中查看出错信息。

3.3 自动运行停止

有以下几种情况：

(1) 程序停止 (M00)

当系统执行到有 (M00) 代码的程序段，自动运行停止，所有的模态信息保留，按操作面板上的“循环启动”键，程序执行。

(2) 选择停止 (M01)

M01 功能类似于 M00，只是当操作面板上有“选择停止”键并按下才有效。

(3) 程序结束 (M02, M30)

M02, M30 是加工程序的结束标志，当系统执行该程序段时，自动运行停止。

M30 还兼有使程序重新开始的作用，此时按“循环启动”键，系统又程序头开始执行。

(4) 进给保持

在自动运行过程中，操作面板上的“进给保持”键按下，指示灯亮，刀具减速停止，如按“循环启动”键，系统继续运行。

(5) 停止加工

在自动运行过程中，想人为的退出自动运行或屏幕上有报警信息时，可强行停止自动运行。按 F7 “停止加工” 软体键，屏幕上提示确认信息“是否退出自动运行 Y/N”？，按“Y”键表示停止运行，其它任意键不停运行。

3.4 运行程序显示

运行时若选择正交文显示方式，会有一黄色亮条跟踪正在加工的程序段，亮条将不断下移指示加工过程。

按 F2，将显示目前正在运行程序的状态，包括用户宏程序登，并可进行用户宏变量设置：

(1) 按 F2，系统弹出变量类型选择菜单，用 ↑、↓ 移动光标选择要浏览的变量。

3.5 加工断电保存

在自动加工过程中，按下进给保持一按 F5(保存断电)，系统会提示断电保存文件，一般为 OXXXXBP.OOX，若不想改变，可直接按回车确认，如果文件已存在系统会提示您是否覆盖该文件，如果有坐标轴未回零，系统会提示保存断点失败，断点位置不存在。

3.6 恢复断点加工

在自动加工过程中，一般有两种情况需要恢复断点，一是比较的加工程序，一次加工不完，希望开机后接上次的断点位置继续加工；二是加工过程中，按下进给保持按钮，但需要中途中断进行测量等工作，完成工作后再继续加工，此时再按循环启动按钮，系统会提示您不在断点位置，这两种情况恢复断点的方法是一样的。步骤如下：

按 F1（自动加工）→按 F6(恢复断点)，系统提示您下断点保存文件→用光标键选择所需文件后，回车确认。如果有坐标轴未回零，或文件指向的加工程序已改变，则提示断点恢复失败，否则系统提示用 MDI 方式返回断点→按 F10（返回）→按 F4（MDI）→按 F4（返回断点）→按循环启动，机床返回断点→按 F10(返回)，然后就可以按循环启动从断点处举行上次的加工了。

4. MDI 手动数据输入

在 MDI 功能中，可以从 CRT / MDI 面板输入一个指令段。

在基本功能菜单下按 F4 “MDI” 进入 MDI 功能。

4.1 MDI 运行

(1) 在 MDI 功能子菜单下按 F6，进入 MDI 运行方式，如果系统当前在加工一个 G 代码程序则会在命令行各处提示信息“自动运行中”，否则显示轴的位置等信息。命令行变成白色的底色，光标在闪烁，此时就可以输入 G 代码指令。

(2) 在命令行输入指令“G01”，按 CR，则 G01 指令被输入。输入数据“X9999.999 刀，按 CR，则 X 的值被输入。同样对于 Y、Z、A、B、C、U、V、w、I、K、R、M、S、T、F 等也用此方法输入，也可以一次输入如“G00x100y 1000z200”。

在按 CR 之前，发现数据输错，可用 BACKSPACE、Home、End、Irisert、Del、→、←进行编

辑，如果按下的错误信息，这时则需要重新输入正确的数据。

(3) 按操作面板上的“循环启动”键，则开始物 MDI 运行。如果正在加工区运行，则会提示用户不能进行 MDI 运行。

(4) 在输入时，按 F7 “清除”可将前面输入的数据全部清除，需要新输入。正在运行时，按 F7 “清除”，可停止运行并将数据全部清除。

4.2 坐标系数据输入

在 MDI 功能子菜单中按 F3 进行坐标设计设置，按 F10 退出。操作步骤：

(1) 按 F3，正文窗口将分别出现 G54 坐标数据，按 Pg 脚、PgUp，正文窗口将分别出现 G55、G56、G57、658、659 坐标系及当前工作坐标系、相对值零点的数据。

(2) 在命令行输入所需数据（坐标系零点相对于机床零点的值），如：“X100 Y 100”，按 CR。若输入正确，正文窗口相应位置将显示修改过的值；否则原值不变。

4.3 刀具数据输入

在 MDI 功能子菜单中按 F2 进行刀具设置。按 ESC 退出。操作步骤：

(1) 按 F2，此时正文窗口将出现刀具数据，可用 ↑、↓、→、←、PgDn、PgUp 移动黄色的亮条选择要编辑的选项。

(2) 按 CR 键，在命令行有一黄色光标在闪烁，此时便可用→、←、BACKSPACE、Home、End、Del 键进行编辑修改。在编辑的过程中可以输入要修改的数据，如果在新的输入数据过程中有错误，则可按 ESC 键退出编辑，则原值不变。

(3) 修改完毕，按 CR 键确认。若输入正确，正文窗口相应位置将显示修改过的值；否则原值不变。

4.4 刀库数据输入

在 MDI 功能子菜单中按 F1 进行刀库设置。按 ESC 退出。操作步骤如下：

(1) 按 F1，此时正文窗口将出现刀库信息，可用→、←、↑、↓、PgDn、PgUp 移动黄色的亮条选择要编辑的选项，如图 3.4.5 所示。

(2) 按 CR 键，此时在命令行有一黄色光标在闪烁，此时便可用→、←、BACKSPACE、Home、

End、Del 键进行编辑修改。

(3) 修改完毕，CR 键确认。若输入想要修改的数据，在输入数据过程中输入正确，正文窗口相应位置将显示修改过的值；否则原值不变。

5. 参数设置

在基本功能主菜单下按 F3 “参数” 进入参数功能

5.1 参数索引及设置

在参数功能子菜单下按 F1 用于选择参数块。操作步骤：

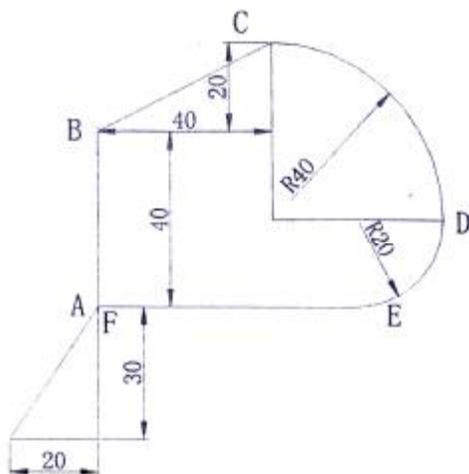
(1) 按 F1，正文窗口将出现参数块名，可用↑、↓选择要设置的选项。

(2) 按 CR 键，（此时如果有第二级菜单，将显示第二级菜单，可用↑、↓选择要设置的选项，按 CR 键确认）如果没有第二级菜单，正文窗口出现所抗参数块内的参数名及相应值。

(3) 可用→、←、↑、↓、PgDn、PgUp 移动红色亮条到要设置的选项处，按 cR 键在命令行中将出现闪烁的光标既可以对此项进行编辑。

三、实验内容

基于 HNC-
→P 轨迹编制相



零件（要求沿 P→A→B→C→D→E→F
G 代码等编制加工零件的

数控程序，然后通过 MDI 方式输入到数控系统中，并利用 HNC—1M 系统控制软件所提供的功能完成加工程序编辑、语法检查及轨迹仿真，经校对无误后，启动机床完成程序的在机校验工作。

四、实验步骤：

1. 加工图纸分析、走刀路线规划
2. 利用系统提供的代码编制加工程序
3. 在 HNC 系统支持下输入加工程序，完成程序编辑工作
4. 在自动加工状态下，完成坐标系设置、参数输入、程序校验和轨迹仿真工作
5. 启动机床各轴运动，走出实际的刀具轨迹
6. 程序校验无误后，关机结束

五、注意事项

1. 认真复习 HNC 数控铣床编程代码规范
2. 仔细阅读 HNC 系统 NC 键盘操作使用说明
3. 实验时不得乱动面板上其它开关

六、实验报告

1. 画出零件加工走刀路线图，列出程序清单
2. 实验中如有错误，分析其中原因

实验一 CNC 数控加工机床操作实验			
一、实验目的：认真阅读实验用数控机床使用说明，熟悉 CNC 机床操作台结构；练习并掌握 CNC 数控机床功能及操作面板的使用；感性比较数控机床和普通机床的异同。			
二、实验环境：（1）硬件环境； （2）软件环境；			
三、实验及操作过程：			
四、实验现象分析：			
完成日期	班级	学生姓名	指导教师
实验二 数控加工编程、加工程序校验及仿真实验			

一、实验目的：掌握 HNC 数控机床的基本指令系统及常用 G 代码及 M 代码的使用；掌握平板类零件铣削加工的编程方法；掌握数控加工程序 NC 键盘输入，修改及加工执行过程；掌握数控加工程序的校验及轨迹仿真方法；了解数控铣床控制面板操作。			
二、实验环境：（1）硬件环境； （2）软件环境；			
三、实验过程及结果：			
四、实验现象分析：			
完成日期	班级	学生姓名	指导教师

实验五 快速成型制造实验

一、实验目的

快速原型制造技术是一种新型的制造工艺，它将 CAD、CAM、CAC 精密伺服驱动和新材料等先进技术集于一体。依据产品的三维数字模型，通过分层切片，得到各层截面轮廓，最终按照这些轮廓，通过“增材”加工的方式形成三维产品。其主要特点是高速度，低成本。快速原型制造技术是先进制造技术的重要组成部分，是产品快速设计的支撑技术之一。

为了便于学生了解并掌握这一新工艺的基本原理，特开设快速原型制造技术实验。通过实验，学生应该能比较全面地了解快速原型制造的整个工艺过程，掌握快速原型制造的基本原理，进一步认识快速原型在产品快速设计制造中的作用。

二、快速成型技术及快速成型设备简介

2.1 快速成型技术简介

快速成型技术 (Rapid Prototyping, RP) 是 80 年代中期发展起来的一种崭新的原型制造技术。

RP 集机械工程、CAD、数控技术、激光技术及材料科学技术于一身，可以自动、直接、快速、精确地将设计思想转变为具有一定功能的原型或直接制造零件，从而可以对产品设计进行快速评估，修改及功能试验，大大缩短产品的研制周期。由于其具有敏捷性、适合于任何形状、高度柔韧性、高度集成化等优点而广泛应用于机械、汽车、电子、通讯、航空航天等领域。目前快速成型的工艺方法目前已有十余种，如光固化（SL）、叠层法（LOM）、激光选区烧结法（SLS）、熔融沉积法（FDM）、掩模固化法（SGC）、三维印刷法（TDP）、喷粒法（BPM）等。其中 SL 法是最早商品化、技术最为成熟、市场占有率最高的 RP 技术。我们实验室使用 CPS—250A 紫外光快速成型机系列属于 SL 法成型。

2.2 快速成型设备 CPS—250A

SL 法的基本原理如图 1 所示。紫外光束（激光束）在计算机控制下根据分层资料连续扫描液体光敏树脂表面，利用液体光敏树脂遇紫外光凝固的机理，一层一层地固化光敏聚合物，每层固化后，工作台下移一定精确距离，扫描下一层，如此反复，直到制造出一个完整的物体。

紫外光快速成型机采用光导纤维传导紫外光束，经透镜聚焦在光敏树脂液面上。采用高性能步进电机、同步带、精密导轨控制透镜的二维运动，有选择地对光敏树脂进行固化。

紫外光快速成型机系统按其功能可

分为：硬件系统和软件系统。

硬件系统包括：

扫描系统

工作台升降系统

涂层系统

树脂循环系统

温度控制系统

硬件电路控制系统

软件系统可分成三个模块：

分层模块

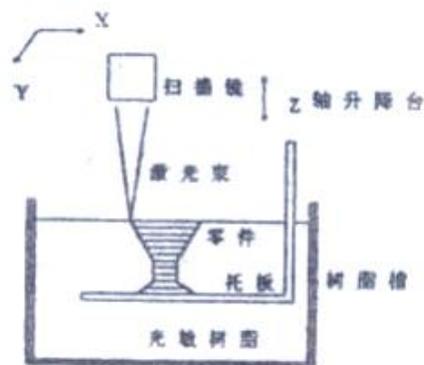


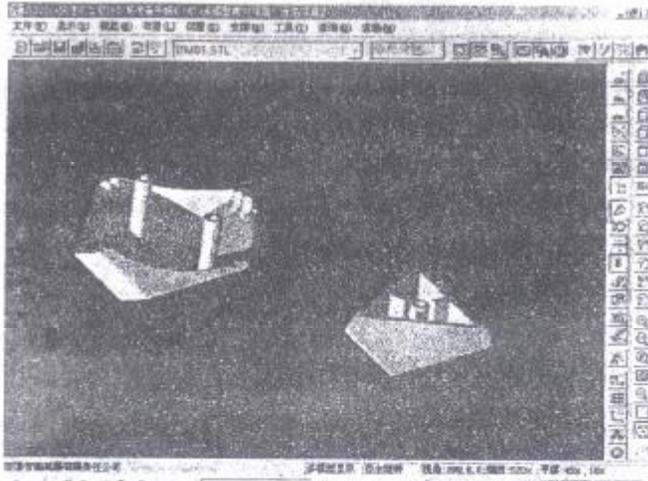
图 1 SLA 原理

支撑设计模块

成型机监控制作模块。

2.3 数据准备软件

数据准备软件主要为快速成型制作准备数据。其界面如图所示。主要包括下列模块：



2.3.1 文件管

三维数据文

料准备系统可自动识别二

进制与 ASC II 码形式的 STL 文件。

资料准备系统（CPS4.0）通过输入 STL 文件，生成激光快速成型机需要的成型加工文件，在本软件的操作过程中会操作及使用下列类型文件：

- STL 文件，由 CAD 设计系统生成的**三维零件三角面片文件**，为用户文件。
- LPS 文件，由 CPS4.0 软件生成的资料准备工程文件，在本文件中包含一个制作零件的三维、分层、支撑、系统参数等信息，是一个打包文件为用户制作原型提供中间存放资料环节文件 PMR 文件，由 CPS4.0 资料预处理软件输出的成型加工文件，激光快速成型机工艺控制系统加载对象文件。

2.3.2 视图显示

在资料准备系统中，为了激光快速成型机的制作，用户要对制作模型进行大小、方向和其工作台摆放位置的设定，要对模型进行分层处理，同时也要对模型进行支撑结构设计。上述环节中，用

户必须要不断地观察模型,了解模型的开头结构特征,才能有的放矢。视图显示控制模型利用 OpenGL 技术为用户提供了方便,功能强大的视图显示控制功能。本章内容包括模型、轮廓、支撑视图的显示与色彩控制。

2.3.3 参数设置与辅助

包括:多模型布置,原型制作大小、方向的设置,制作的缩放,制作的定向,制作信息查询(项目概要、设备参数、材料特性参数、模型概要、模型校验)

2.3.4 分层处理

三角面片信息(STL文件)无法供成型机直接使用,必须把其转化为二维层片零件的轮廓信息。本模块可对由制作准备模块好大小、方向的三维零件进行分层切片处理,生成加工必须的二维零件层轮廓信息,也作为零件支撑设计的前提条件,是制作资料准备必不可少的环节。

2.3.5 支撑设计

为了防止零件在加工过程中引起翘曲变形,保证零件制作的稳定性,必须对制作零件进行支撑设计(同机械加工中的夹具,但是与零件同时加工出来)。本模块根据三维零件的分层信息,提供交互式支撑设计的功能。使用户在此模块内完成对零件支撑结构的设计。

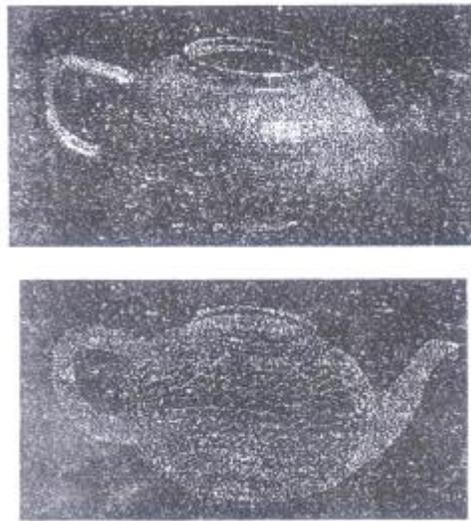
2.4 快速成型机的制作流程如图所示:



用户可使用能输出 STL 文件的 CAD 设计系统进行 CAD 三维实体造型（如：Pro/E、Solidworks、Ideas、UG、AutocCAD 等），其输出的 STL 三角面片文件可作为本软件的输入文件（快速成型机可直接根据用户提供的 STL 文件进行造型）。从上面流程图可见，本软件接受 STL 文件后，进行零件制作大小、方向的确定，对 STL 文件分层、支撑设计、生成 CPS 系列激光快速成型机的加工数据文件，激光快速成型机根据此文件进行加工制作。本软件是激光快速成型技术中的核心部分，其分层的精度、支撑的设计是制作成败的关键。

三、实验内容

用快速成型的方法，制作下图所示茶壶零件。



四、实验步骤

步骤 1 产品设计

在一种具有 STL 输出功能的三维 CAD 软件上，设计上图所示的零件（茶壶）。

步骤 2 STL 输出

给出一给定转换误差，将三维实体模型转化为 STL 文件格式输出。

步骤 3 在数据准备软件中，进行数据预处理

3.1 启动资料准备软件

3.2 加载模型 装入 STL 数据模型

3.3 模型位置布置 布置模型在工作台上的位置。

3.4 设置制作方向及大小 设置成型叠层方向和模型缩放比例。

3.5 分层处理 按每层 0.2mm，将模型分成许多薄层。

3.6 检查分层轮廓 查出具有不封闭轮廓的层。

3.7 编辑分层轮廓 对于具有不封闭轮廓的层进行轮廓编辑。

3.8 设置支撑参数及支撑编辑

3.9 输出成型加工文件

步骤 4 原型制作

根据切片轮廓数据，在快速原型机上完成原型制作。

4.1 前期准备

在启用 CPS250A 工艺控制系统 V4.0 版本的控制程序进行快速成型制作之前您必须已经做好了如下准备：

- 1、打开电源总开关，按下总电源按钮。
- 2、按下加热按钮。
- 3、按下光源按钮。
- 4、按下伺服按钮。
- 5、打开工业控制机主机（上位机）和计算机（下位机）。

此外还需准备：

成型数据文件。成型数据文件是控制软件加载对象，应当提前准备好。利用 PS250A 零件管理与资料准备系统 4.0 版处理您要加工的零件模型资料，并输出名为 *.pmr 的成型数据文件。

4.2 开始制作

1、准备工作做完后，待树脂温度达到 38 度以上和光源稳定时（光源打开后约需十分钟稳定），即可开始下一步的操作。

2、主机启动后进入 windows 状态，双击 rpbuild 启动控制程序，即进入控制软件。用鼠标点击主菜单文件菜单下的加载成型数据文件选项。随后出现一个对话框，以选择您要加工的文件。文件加载完毕后，程序接口的零件总体形态显示区和轮廓显示区内可以看到零件的外形和轮廓。

3、选择工艺参数，点开主工具栏中的模式选择下拉菜单条，选择制作模式，打开主菜单中控制菜单下的工作台移动菜单调节工作台的升降，使工作台上台面比树脂槽内的树脂液面稍高一点（约0.5mm），点击设置当前位置为零位的按钮，设置当前位置为工作台零点位置。点击主菜单中制作菜单下的完全重新制作命令

4、现在快速成型机就开始零件的加工工作了。您可以听到电机的转动，看到光学镜头在树脂槽内液面的移动。

4.3 完成制作

1、零件的制作由计算机监控完成。按下 CTRL+C 可强行终止。零件制作完成后，系统提示制作完成。

2、取出零件 要取出制作完成的零件，首先要将零件升出液面，打开主菜单中的控制菜单(如图 1-8 所示)，点击工作台移动的命令，即可将零件升至液面以上，然后用铲子将零件取出。

3、继续新零件的制作打开主菜单中的文件菜单（如图 1-2 所示），点击新建命令，然后在文件菜单中选择成型数据文件命令，装入新的制作资料。重复（二、）中介绍的步骤进行制作。

4、退出 点击文件菜单下的退出系统退出控制程序。然后关闭伺服、计算机、光源、加热，最后关闭总电源。

步骤 5 零件清理

1. 清除支撑，
2. 用工业酒精清洗零件上的残留树脂，
3. 在固化箱内（或太阳光下）固化零件。
4. 零件打磨七漆。

五、思考题

1. 试比较增材加工与材料去除加工方法的特点。
2. 快速成型制造在产品快速开发中的作用。
3. 快速成型的方法及原理。
4. CPS-250A 的工作原理。

5. 快速成型制造的工作流程是什么。

六、实验报告要求

1. 快速成型的工作原理
2. 写出运用快速成型制造茶壶的工作流程

实验 快速成型制造实验			
一、实验目的： 通过实验，了解快速原型制造的整个工艺过程，掌握快速原型制造和快速成型机的基本原理，进一步认识快速原型在产品快速设计制造中的作用。			
二、实验环境：（1）硬件环境；CPS-250A （2）软件环境；RPData			
三、实验及操作过程：			
四、实验现象分析：			
完成日期	班级	学生姓名	指导教师

实验六 激光加工

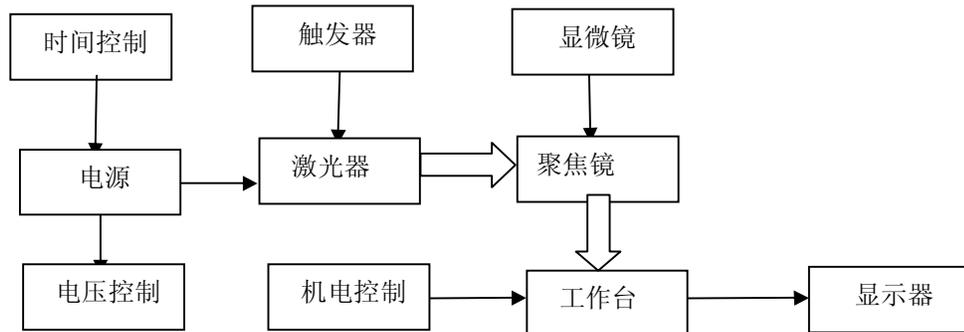
一、实验目的

- 1、进一步了激光加工原理、特点过程及其应用；
- 2、了解激光加工机床的基本组成；
- 3、了解不同加工条件下光学参数和电参数的选择及其对加工的影响。

二、实验原理

激光是可控的单色光，强度高，能量密度大，通过光热效应，可以在空气介质中使照射对象熔化而高速加工各种材料，因此，在材料加工方面，已逐步形式了一种新型的方法，即激光加工。根据光学参数、电参数和加工辅助条件的不同，激光加工可以广泛的应用于打孔、切割、电子器件的微调、焊接、热处理、以及激光储等各个领域。由于激光加工不需要加工工具、而且加工速度快、表面变小，可以加工各种材料，已经在生产实践中越来越多地显示了它的优越性，所以受到了广泛的重视。

激光加工的基本设备包括激光器、电源、光学系统及机械系统等四大部分，其结构理如下图所示。



- 1、激光器是激光加工的重要设备，它把电能变为光能，产生激光束。
- 2、激光器电源为激光器提供所需的能量，及控制功能。
- 3、光学系统将光束聚焦并能观察和调整焦点位置，以及加工位置在显示屏上显示等。
- 4、机械系统主要包括床身，能在三坐标范围内移动的工作台及机电控制系统等。现已较多地使

用 CNC 来控制工作台。

三、实验内容

本实验主要进行打孔和焊接两项。

1、打孔

在不锈钢板上和玻璃上分别打 $\Phi 0.3\text{mm}$ 和 1mm 左右的小孔。

2、焊接

将两不锈钢条进行对焊。

四、实验要求

- 1、根据实验内容的不同，进行光学系统调整。
- 2、调整电参数，进行加工操作。
- 3、观察焊接质量，并与其他加工方法进行对比。

五、实验设备与工具

- 1、150W 固体激光加工机；
- 2、放大镜；
- 3、游标卡尺
- 4、 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 1\text{mm}$ 不锈钢板两条；1mm、2mm、3mm、厚锈钢板各 1 块；3mm 厚玻璃 1

块

六、实验小结

- 1、激光加工的孔与机械加工的孔的何区别？试述激光加工中光参与电参数对孔加工的影响。
- 2、激光焊接加工时对光斑大小和能量大小和能量大小有何要求？为什么？

实验七 车刀几何角度测量

一、 实验目的

- 1.了解车刀几何角度的刃磨方法
- 2.掌握车刀测角仪的原理及使用方法，并测量车刀各几何角度

二、车刀测角仪结构简介

本仪器用于测量各种车刀的主剖面系、法剖面系和纵剖面系 ISO 制的几何角度。是金属工艺学及切削原理课程教学与实验的必备仪器之一，也是学生金工实习中磨刀必备的仪器。其结构如图 1. 所示。



图 1. 车刀测角仪结构

三、实验步骤和方法

在车刀测角仪上测量所给车刀的各几何角度，并作记录。

1.测量主偏角：主偏角是在基面上测量的主切削刃 S 与车刀进给方向之间的夹角。测量时，车刀放在滑动刀台 $2b$ 上，用刀台的侧面和底面定位。此时刀台底面表示基面，刀台侧面表示车刀轴线，量刀板正面表示车刀进给方向。以顺时针方向旋转矩形工作台，同时推动车刀沿刀台侧面（紧贴）前进，使主切削刃与量刀板正面密合。此时矩形工作台指针 $2a$ 指向盘形工作台上的刻度值即为主偏角。（如图所示）

2.测量副偏角：副偏角是在基面上副切削刃与车刀进给方向之间的夹角。测量时逆时针方向旋转盘形工作台，同时推进车刀使副切削刃与量刀板正面贴紧读出的刻度值即为副偏角。（如图所示）

3.测量刃倾角：刃倾角是在切削平面上测量的主切削刃与基面间的夹角。量出主偏角后，矩形工作台位置不变，旋松定位手轮 $5c$ ，逆时针方向旋转升降螺母 $3b$ ，微升量角器，并微推进车刀，使量刀板底面对准并紧贴在主切削刃上，量刀板指针在量角器刻度上读数即为刃倾角。（如上图所示）

4.测量前角：前角是在主剖面内测量两前刀面与基面之间的夹角。测量时，在滑移刀台上定好位的车刀随盘形工作台逆时针方向选择主偏角值 Kr ，此时量刀板在前刀面上的投影即表示主剖面的方向，量刀板底面与前刀面贴紧时所转过的度数即为前角角度值。（如图所示）

5.测量后角：后角也是在主剖面内测量的后刀面与切削平面之间的夹角，车刀的定位与测前角相同，只是使量刀板的侧面与车刀的后刀面贴紧，此时量刀板所转的角度即为后角角度值。（如图所示）

6.测量法剖面系车刀几何角度：测量法剖面系车刀几何角度时，主偏角、刃倾角、副偏角均与测主剖面车刀角度的原理与方法相同。只是在测量法前角与法后角时，应旋松固紧手轮 $4b$ ，旋转摇臂 $4c$ ，按刃倾角正负值顺（逆）时针方向旋转刃倾角值后，用固紧手轮固紧即可按法前角和法后角定义分别测出。

四、注意事项

1.在测量前必须对 0 对心：即车刀量角仪上三个刻度都对 0 时；旋转升降螺母使量刀板指针下降，其量刀板指针与矩形工作台垂直对心。

2.为了减少间隙，测量准确，在副件上有一个锁紧手轮 5c，调节手轮即可。

附录： 组合夹具设计创新实验指导书

第一部分：实验组装

一、实验目的

组合夹具是一种新型的工艺装备，它是由预先制造好的一组通用化、标准化、系列化的元件，根据工件工序要求组装而成。组合夹具结构灵活多变，元件可循环使用，从而可对不断变化的零件装夹需求作出快速响应。其元件具有很好的互换性、耐磨性以及较高的精度。与专用夹具相比较，组合夹具可大大缩短生产准备周期，降低成本，节省大量专用夹具的设计、制造费用及原材料消耗，保证产品质量，提高生产效率，具有很显著的技术经济效果。以组合夹具为基础的柔性夹具，是根据数控机床、加工中心的特点发展起来的一种具有较高柔性的新型夹具系统，正逐步应用于数控机床、加工中心、柔性加工单元（FMC）和柔性制造系统（FMS），是现代夹具的一个主要发展方向。

因此，了解柔性组合夹具的使用，对于机械制造及自动化专业的学生尤为重要。通过对柔性组合夹具的组装实验，可以了解组合夹具的应用范围、组成、类型，初步掌握柔性组合夹具的使用原则、设计原理以及简单的装配技术，加深对六点定位原理的理解认识。

二、实验设备

1、九套完整的柔性组合夹具元件（对应于三种典型工件特定工序），包括基础件、支承件、定位件、压紧件、紧固件、合件、其它件等。

2、拆装所需工具，包括小铜榔头、一字头改锥、二种套筒扳手、拨杆。

三、实验要求

1、实验前认真阅读教材和实验指导书，了解工件定位、夹紧的概念，初步了解柔性组合夹具的各种元件及用途。

2、通过柔性组合夹具的组装实验，初步了解机床与组合夹具之间的相互联系，初步掌握组合夹具的设计思路及设计方法。

3、实验时严格执行实验室的规章制度，严格按操作规程操作。

4、实验装配过程中若遇到别卡现象，不要强行装配，要及时通知指导教师处理，以避免损坏夹具元件。

四、实验内容

1、熟悉柔性组合夹具的各种元件及用途。

2、参考组合夹具装配图，针对 2~3 种零件工序加工要求，进行组合夹具拆卸和组装。

五、实验项目、要求与安排方式

1、项目与要求：

实验一：熟悉各元件并简单组装 2 学时

实验二：铣床 1 组合夹具组装 2 学时

实验三：铣床 2 组合夹具组装 2 学时

实验四：铣床 3 组合夹具组装 2 学时

课外实验：组合夹具创新设计与组装 2 学时

2、实验安排方式：

实验课前要求学生认真阅读实验指导书，了解实验的目的要求和步骤、实验所用的元件、工具、量具等；实验课时指导教师进行讲解并以提问等方式检查学生实验准备情况；实验中要求学生积极动手，按步骤进行实验，记录实验情况及数据，对学生提出的问题给予认真的解答，注意培养学生分析及解决问题的能力；实验后要求学生整理实验数据并完成实验报告。

六、综合成绩的评定方法

根据实验态度、动手能力、操作技能、实验数据与现象分析、实验报告等方面情况综合评分。评分等级分为“优秀，良好，中等，及格，不及格”五个等级。对个别实验课成绩不及格的学生要求必须重做。

七、具体实验

实验一：熟悉各元件并简单组装拆卸

实验学时：2 实验类型：综合性

一) 目的与任务

目的：加深对组合夹具元件与使用方法的了解，巩固课堂所学的组合夹具元件功能及使用方法等知识，掌握组合夹具组装的基本方法。

任务：直观认识组合夹具，观看其基本结构要素，并简单组装拆卸。

二) 内容、要求与安排方式

1、实验内容与要求：直观观看组合夹具元件，主要观看基础件、支承件、紧固件、压紧件、定位件的主要特征，要求按功能分类，测量元件的槽宽，槽距及元件外形尺寸，简单组装拆卸，完成实验报告。

2、实验安排方式：一次实验安排 15 人，分 5 组同时进行，每组 3 人。

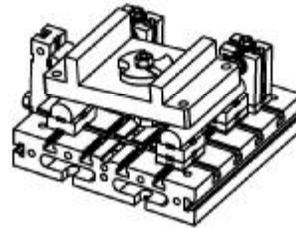
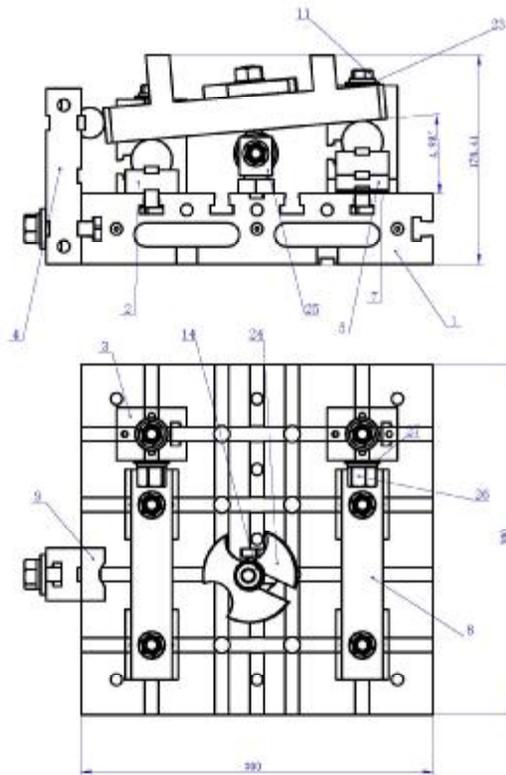
3. 实验步骤：

a) 把所有元件放在一起，由学生把它们按功能分类，分出基础件、支承件、定位件、压紧件、紧固件，并要求学生能描述它们的各自特点

b) 学生检测元件的槽宽、槽距、外形尺寸及形位公差从而让学生了解组合夹具元件的基本要素、互换性、精密性。

c) 进行简单组装拆卸，定位键与键槽的组装，把定位键放置在键槽内，由于是过渡配合，安装时可用小铜榔头轻轻敲击使其正确定位，然后用螺钉紧固；支承块与基础件的安装定位，在支承块上安装定位键，在基础板 T 形槽内穿入合适长度的 T 形螺栓，把支承块穿过 T 形螺栓与基础板定位连接并用螺母紧固；槽用螺栓在 T 形槽内的安装滑动。

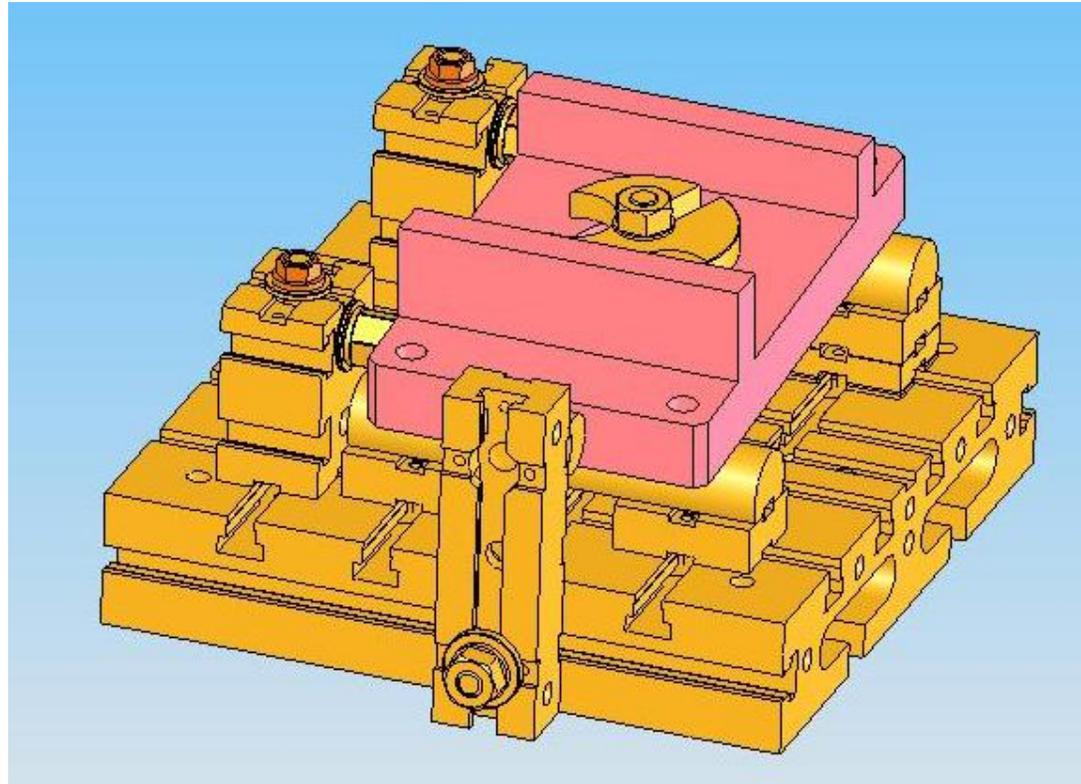
实验二：铣床 1 组合夹具组装



项目编号	零件号	名称	数量
1	Z101015		1
2	Z210210		4
3	Z211220		2
4	Z211010		1
5	Z210110		3
6	Z212000		2
7	Z212021		2
8	Z314030		2
9	Z314000		1
10	Z602116		1
11	Z602102		8
12	Z602108		1
13	Z600009		1
14	Z602001		2
15	Z602109		2
16	Z611001		2
17	Z602112		2
18	Z602110		1
19	Z605008		1
20	Z602118		1
21	Z602102		1
22	Z602007		1
23	Z630000		3
24	Z607300		1
25	4-8000F		1
26	Z920305		2
27	Z920510		2
28	Z920505		2
29	SC1-1		1

		名	代
		称	号
		铁床1	
设计	更改单号	审核	数量
校对		批准	质量
工艺		审核	比例
检验			1:1
		第 1 页 共 1 页	
		综合表具厂	

铣床 1 组装夹具实体图



实验学时：2 实验类型：验证性

一) 目的与任务

目的：加深对组合夹具元件与使用方法的了解，巩固课堂所学的组合夹具元件功能及使用方法等知识，掌握组合夹具组装的基本方法。

任务：动手组装铣角度夹具，熟悉各元件的组装方法与原理，熟悉切边轴的使用。

二) 内容、要求与安排方式

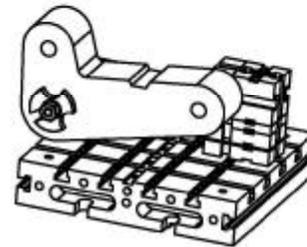
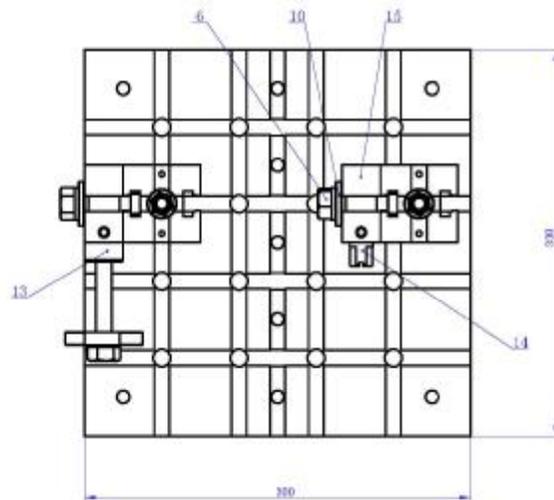
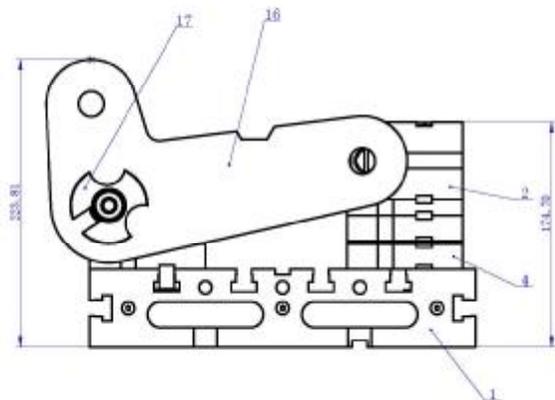
1、实验内容与要求：学生亲自动手组装铣床夹具 1，学习各种元件的简单组装与调整，调整出实验需要的角度，完成实验报告。

2、实验安排方式：一次实验安排 15 人，分 3 组同时进行，每组 5 人。

3、实验步骤：

- a) 按装配图准备好所需要的组合夹具元件
- b) 先把基础件摆放在工作台上,选好需要的支承件,在支承件与基础件连接面上安装定位键,并通过 T 形螺栓、螺母将支承件与基础件连接，调整到合适的位置，注意安装时要轻拿轻放，调整时用小铜榔头轻轻敲击元件。
- c) 安装定位切边轴，根据角度计算两个切边轴距离，并进行调整，在调整时，支承块通过定位键、T 形螺栓与基础板定位连接，先预紧；使支承块沿 T 形槽滑动以调整距离，通过游标卡尺检测两切边轴距离，达到要求距离后用内六角扳手紧固螺母，使支承块固定。
- d) 按装配图，安装侧面定位、压紧结构，放置工件使周边定位可靠，压紧工件。
- e) 用角度规检测工件角度，验证组装是否合理正确。
- f) 写试验报告，绘制组合夹具装配示意图，标出各组成元件，简要说明其作用并进行定位原理分析。

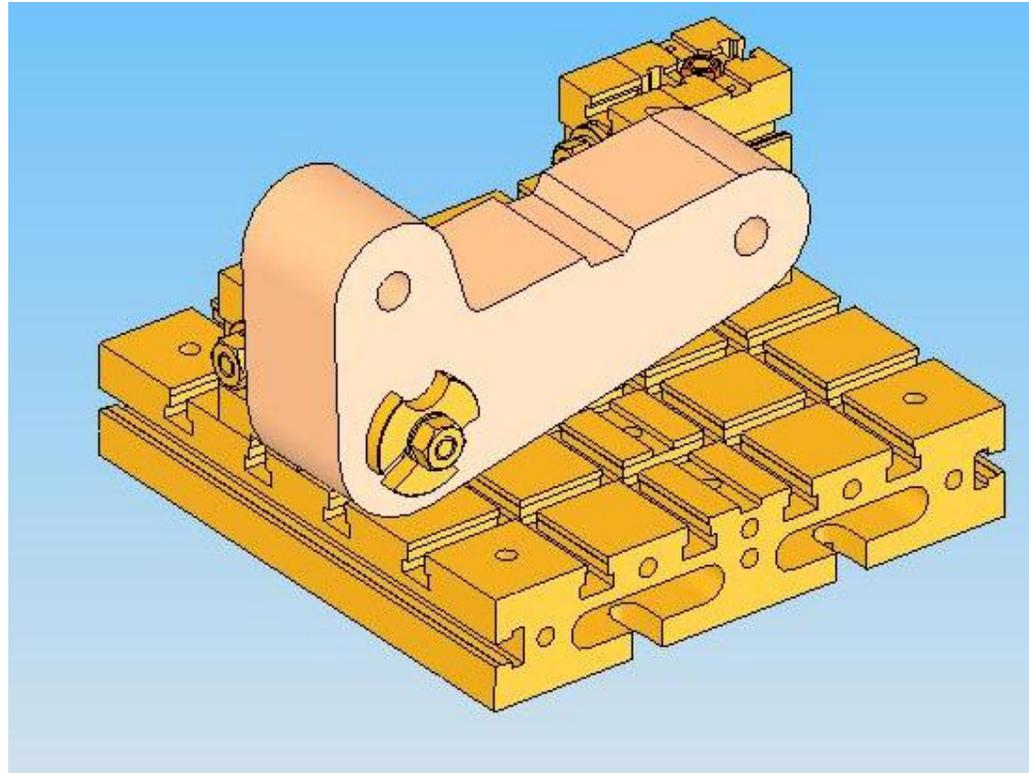
实验三：铣床 2 组合夹具组装



项目号	零件号	说明	数量
1	Z101015		1
2	Z202215		2
3	z213110		1
4	z213210		3
5	Z214003		2
6	Z632001		3
7	Z602109		2
8	Z602117		1
9	Z602123		1
10	Z620003		2
11	Z632102		3
12	Z600009		1
13	T311410		1
14	T313110		1
15	Z322205		2
16	XCLJ-2		1
17	Z627301		1

		名	代	
		称	号	
		铣床2		
设计	更改单号	审核	数量	质量
校对		批准	比例	
工艺		会签/审核	1:1	
标检			第 版	共 页 第 X 页
			组合夹具厂	

铣床 2 组装配夹具体图



实验学时：2 实验类型：验证性

一) 目的与任务

目的：加深对组合夹具元件与使用方法的了解，巩固课堂所学的组合夹具元件功能及使用方法等知识，掌握组合夹具组装的基本方法。

任务：动手组装铣面夹具，熟悉各元件的组装方法与原理，熟悉一面两销的使用与调整。

二) 内容、要求与安排方式

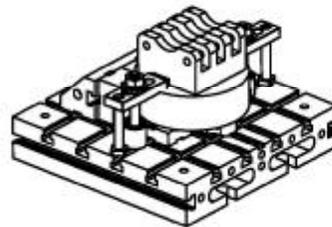
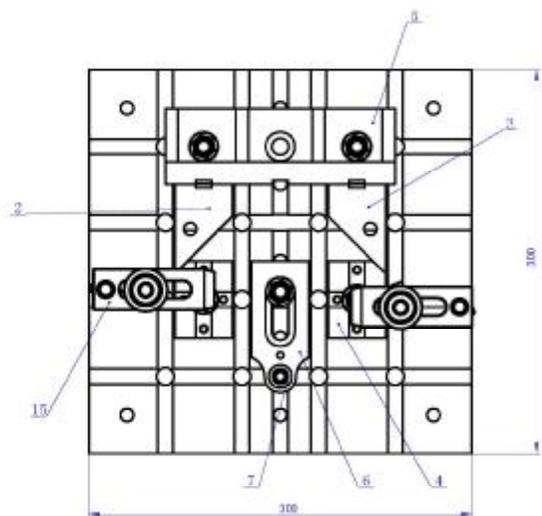
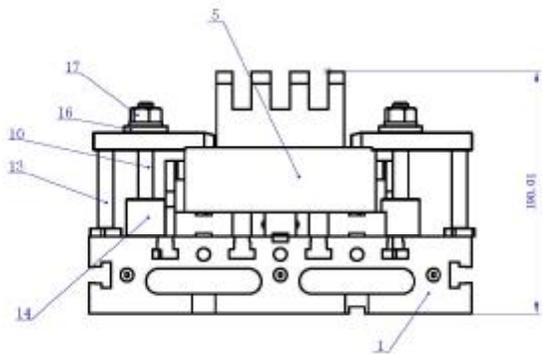
1、实验内容与要求：学生亲自动手组装铣床夹具 2，学习各种元件的简单组装与调整，调整出实验需要的角度，完成实验报告。

2、实验安排方式：一次实验安排 15 人，分 3 组同时进行，每组 5 人。

3、实验步骤：

- a) 按装配图准备好所需要的组合夹具元件
- b) 先把基础件摆放在工作台上,选好需要的支承件,在支承件与基础件连接面上安装定位键,并通过 T 形螺栓、螺母将支承件与基础件连接，调整到合适的位置，注意安装时要轻拿轻放，调整时用小铜榔头轻轻敲击元件。
- c) 安装圆柱销与菱形销，根据工件上两孔尺寸安装调整圆柱销与菱形销，并进行距离调整，在调整时，支承块通过定位键、T 形螺栓与基础板定位连接，先预紧；使支承块沿 T 形槽滑动以调整距离，通过游标卡尺检测两定位销距离，达到要求距离后用内六角扳手紧固螺母，使定位销固定，注意菱形定位销方向。
- d) 按装配图，安装侧面定位、压紧结构，放置工件使周边定位可靠，压紧工件。
- e) 写试验报告，绘制组合夹具装配示意图，标出各组成元件，简要说明其作用并进行定位原理分析。

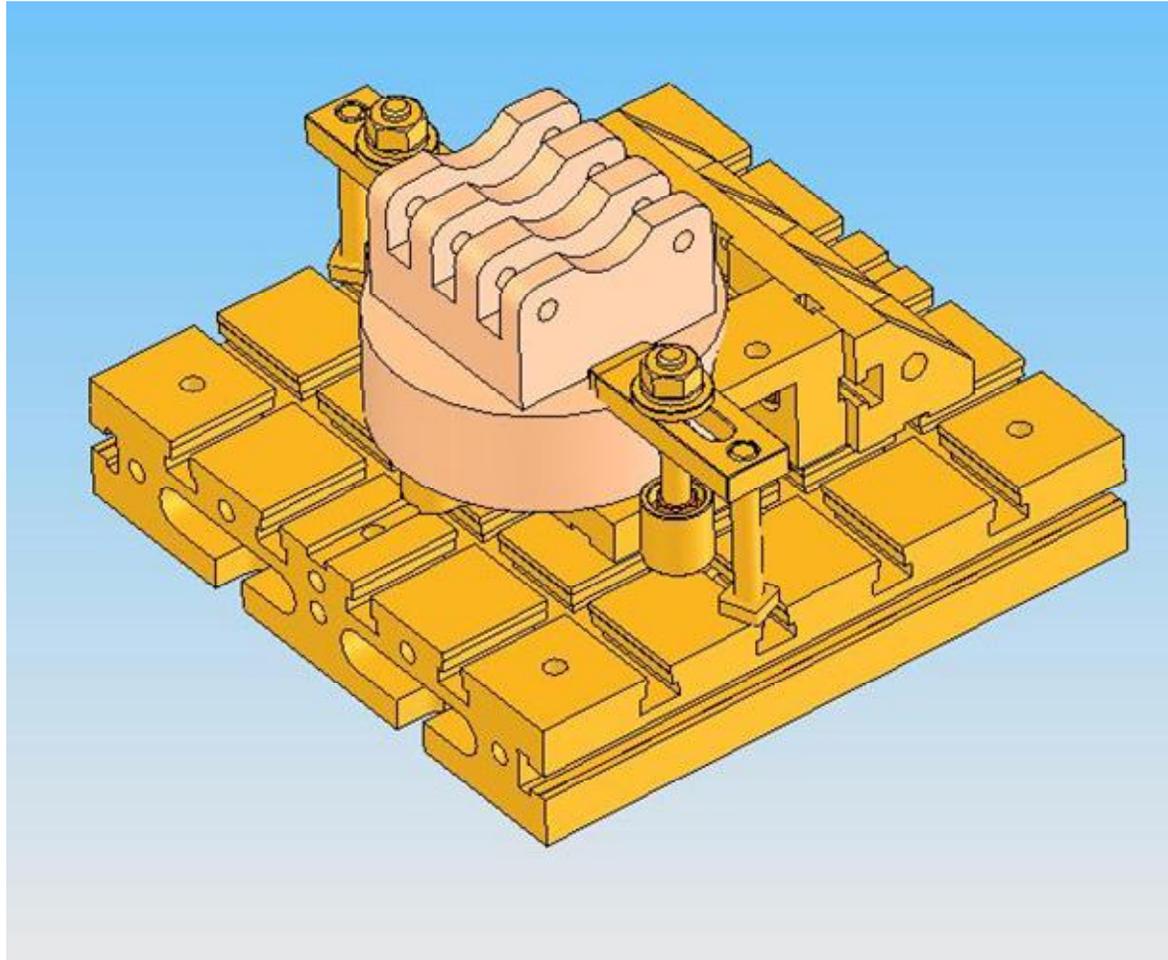
实验四：铣床 3 组合夹具组装



项目号	零件号	说明	数量
1	Z101015		1
2	Z263505		1
3	Z263605		1
4	Z210210		2
5	Z257220		1
6	Z438225		1
7	T310210		1
8	Z602105		2
9	Z602109		5
10	Z602121		2
11	Z632109		2
12	Z632102		7
13	Z602013		2
14	Z922610		2
15	Z500030		2
16	Z620000		2
17	Z632001		2
18	XCL1-3		1

		名	代号	
		称	铣床3	
设计	更改单号	审核	数量	质量
校对		批准	第 版	共 页
工艺		中 国 科 学 院	第 X 页	第 X 页
标 检			组 合 夹 具 厂	

铣床 3 组装夹具实体图



实验学时：2 实验类型：验证性

一) 目的与任务

目的：加深对组合夹具元件与使用方法的了解，巩固课堂所学的组合夹具元件功能及使用方法等知识，掌握组合夹具组装的基本方法。

任务：动手组装铣面夹具，熟悉各元件的组装方法与原理，熟悉左右角铁的使用与调整。

二) 内容、要求与安排方式

1、实验内容与要求：学生亲自动手组装铣槽夹具 3，学习各种元件的简单组装与调整，用左右角铁配对,组成 V 型定位，完成实验报告。

2、实验安排方式：一次实验安排 15 人，分 3 组同时进行，每组 5 人。

3、实验步骤：

- a) 按装配图准备好所需要的组合夹具元件
- b) 先把基础件摆放在工作台上,选好需要的支承件,在支承件与基础件连接面上安装定位键,并通过 T 形螺栓、螺母将支承件与基础件连接，调整到合适的位置，注意安装时要轻拿轻放，调整时用小铜榔头轻轻敲击元件。
- c) 在钻模板上安装圆柱销，通过钻模板与基础板连接，安装定位左右角铁各一个，通过调整两个角的距离来组装成适合工件的 V 型，在基础板上安装各支承件，调整圆柱销与 V 形距距离以适应工件定位，安装压板与螺钉螺母，放置定位工件，用压板压紧，完成组装。
- d) 写试验报告，绘制组合夹具装配示意图，标出各组成元件，简要说明其作用并进行 定位原理分析。

六、思考题：

- 1)、组合夹具与专用夹具相比较有哪些优缺点？
- 2)、如何理解柔性组合夹具的柔性？

第二部分：柔性组合夹具组装原则

组装就是将柔性组合夹具元件按照一定的原则，装配成具有一定功能的组合夹具的过程。组合夹具的组装，其本质和设计制造一套专用夹具完全相同，是一个复杂思维（设计）和动手装配（制造）的过程。但是，组合夹具又有自己的装配特点和装配规律。一般装配过程为：

一、熟悉有关资料

这是组装过程开始的第一步，其目的在于明确组装要求和条件，与之有关的资料有如下内容。

1、工件方面：

- (1) 工件形状与轮廓尺寸；
- (2) 加工部位与加工方法；
- (3) 加工精度与技术要求；
- (4) 定位基准与工序尺寸；
- (5) 有关前、后工序的要求；
- (6) 加工批量与使用时间。

2、机床和刀具方面：

- (1) 机床型号及主要技术参数；
- (2) 机床主轴或工作台的安装尺寸；
- (3) 可供使用的刀具种类、规格及特点；
- (4) 刀具或辅具所要求的配合尺寸。

同时，还要了解类似组合夹具的组装记录，供组装时参考。要了解夹具的使用场合，使用条件，加工条件，工人的操作水平等。

二、初步拟定方案

根据原始资料，应用组合夹具的基本组装原理来构思夹具的基本结构，一般过程如下：

- 1、局部结构的构思。一般首先考虑定位方案和定位部分结构，其次考虑刀具引导方案，然后考虑夹紧方案和夹紧部分机构，最后考虑基础部分和其它部分结构。
- 2、整体结构的构思。在各局部结构初步确定之后，应考虑如何将这些局部结构连成一个整体，此时应特别注意整体结构和各部分之间的协调。
- 3、有关尺寸的计算和分析，其中包括：工件工序尺寸，夹具结构尺寸，测量尺寸，角度及精度分析等。此外，在构思夹具结构时，还需进行必要的受力分析，以保证夹具有足够的刚度。
- 4、元件品种、规格的选用。
- 5、调整与测量方法的确定。
- 6、提出专用件及特殊要求。

三、试装

按拟定的组装方案用实际的元件初步组装成一个“模样”，以验证组装方案是否能满足工件、机床、夹具、刀具等各方面要求，以及发现存在的问题和提出改进措施等等。试装时一定要按要求的尺寸对每一局部结构及整体结构进行试装，仔细检查每一个定位键、螺栓的安装位置。

四、确定方案

针对试装时所发现的问题，修正原方案，重新试装，直到满足设计要求为止。

五、选择元件、装配、调整和固定

选择元件就是根据精度分析的结果，从所要求规定的元件中挑选合适精度的元件。按要求的位置和数量装上定位键，用螺栓和螺母可靠地连接成不同形式的组装单元，由组装单元装配成不同的结构，最后组装成完整的夹具。

六、检验

按零件加工的精度及其要求，在夹具交付使用之前对夹具进行全面检查，必要时还应在机床上进行试切，以确保夹具合乎使用要求。

七、整理和积累组装技术资料

积累组装技术资料是总结组装经验,提高组装技术以及进行技术交流的重要手段。详细的组合夹具设计原理,设计要求,可参考有关资料。