

---

# 机械制造工艺与机床实验指导书

陈银清

茂名学院机电工程学院

2005年 11月

---

## 前言

本实验指导书是为机械制造及其自动化专业学生开设机械制造工艺和机床结构方面的实验内容而编写的,同时也适用于非机械类专业相关课程的实验,主要是为《金属切削原理》《金属切削机床和刀具》《机械制造工艺学》等课程开设实验服务。机械制造技术是人类历史上最早发展起来的实用技术之一。它包括以设计为中心的产品技术和以工艺为核心的过程技术(Process Technology)。它自18世纪初工业革命形成以来,经历了一个漫长的发展过程。然而,随着现代科学技术的进步,特别是微电子技术和计算机技术的发展,使机械制造技术焕发了新的活力,增加了新的内涵。近30多年来,迅速发展了许多新技术、新装备,如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、敏捷制造(AM)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等已逐步被人们了解和熟悉。这些新技术的引进和使用,使机械制造业无论在加工自动化方面,还是在加工过程检测、组织管理、制造精度、制造工艺及装备方面都发生了令人瞩目的变化。

因此,在机械制造类专业技术人才的培养上,不仅要求学生学习和掌握如计算机技术、微电子技术等方面的新知识、新技术,而且对机械制造过程等必备的知识,要用新的观念,重新进行科学的优化组合,并在实践中尽快地把理论知识转化为应用能力,才能在现代制造技术无所不在的机械制造过程中得心应手。本书就是为满足这一需要而开设实验,实验内容分三部分,第一部分是机床及刀具实验,第二部分为机械加工工艺实验,第三部分是综合创新。

通过这些实验,使学生把理论和实践结合起来,在第一部分的实验内容里,学生通过这两个基本实验,加深了对理论的认识,对车刀的十种几何角度和车床的基本结构原理进一步理解。在第二部分的实验里,能利用计算机等信息技术与工具对制造过程的状态进行检测、分析与控制,加深对加工过程动态特性的理解,机械制造过程技术实验在“计算机辅助误差测控仪”(EMCD—IV型)上进行。该仪器与计算机(IBM/PC486以上)配合构成一套实验系统,可为本科生的重点专业课“机械制造过程技术”开出多个实验。第三部分为综合性实验内容,学生在此综合利用学过的理论知识,设计加工工艺,选用合理的工艺装备,按要求加工并装配出一套部件。

陈银清 20005.22/10

---

# 实验课的要求

## 1. 实验课前的准备工作

学生在每次实验课前，必须认真预习，具体要求是：

- λ 阅读实验指导书，明确实验的目的与要求，并结合实验原理复习有关理论，了解实验的方法和步骤，以避免实验的盲目性。
- λ 了解实验中所用仪器设备的作用和使用方法。

## 2. 实验过程中的工作

- λ 实验中测量数据和调整仪器要胆大心细，一丝不苟，认真观察仪器工作情况和屏幕显示的情况，随时分析研究实验结果的合理性，如发现异常情况，应及时查找原因。
- λ 实验完毕，将显示结果和实验数据请教师审核，认可后，按要求关机，切断电源，并将仪器设备排放整齐。
- λ 注意人身和设备安全，发生事故或出现异常现象，应立即停机，报告教师处理。

## 3. 实验课后的整理工作

整理工作主要是撰写实验报告，这是实验工作的全面总结，应认真完成。

实验报告的内容应包括：

- λ 实验名称、日期、班级、姓名。
- λ 实验方法及步骤：简述一般方法、步骤和工作原理，画出工作简图。
- λ 写出主要仪器设备名称、规格（或编号）。
- λ 实验数据记录与处理。（按实验要求）
- λ 实验结果整理与分析。（按实验要求）
- λ 写出实验的收获、心得体会或建议（不少于 400 字），包括：记录实验中出现的问題、现象及故障的处理分析、对实验仪器装置和实验方法等的建议。

# 第一部分 机床和刀具结构实验

## 实验 1 车刀几何角度的测量

### 一、实验目的与要求

1、目的：通过车刀几何角度的测量，增加对车刀切削部分几何形状的感性认识；加深对课堂讲授中有关几何角度的定义及概念的理解；掌握测量车刀几何角度的基本方法。

2、要求：（1）熟悉车刀（外圆、端面、切槽）的结构特点；

（2）掌握测量车刀几何角度的方法；

（3）绘出外圆车刀简图并标出基面、切削平面、主剖面、法剖面等，并在这些剖面和视图上标出相应的几何角度的代号及具体数值。

### 二、实验数据和工具

1、车刀测角仪

2、外圆车刀、45°弯头车刀、切槽刀

3、钢尺。

### 三、实验方法和步骤

1、了解和认识测角仪的结构与工作原理

车刀测角仪的结构有多种形式，本实验用的结构如图 1 所示，主要由底盘、工作台、立柱、大刻度盘、小刻度盘、大指针、小指针、滑体、定位块、弯板等 20 多个零件组成。

园形底盘 2 的周 边

上刻有从 0° 起 向

顺、逆时针两 个方

向各 100° 的 刻

度，其上的工 作台

5 可绕小轴

7 转动，转动角

度的数值可由固

定在工作台上的

指针 6 来表示。

工作台上的定位

块 4 和导条 3 固

定在一起，能在

工作台的滑槽内

平行滑动。立柱

20 固定在底盘 2

上，立柱有矩形

螺纹，旋转大螺

母 19，可使滑体

13 沿立柱上的键槽上下滑动。滑体 13 上用小螺钉 16 固定安装一个小刻度盘 15。

用旋纽 17 将弯板 18 锁紧在滑体 13 上。松开旋纽 17，弯板 18 可绕旋纽顺、逆两个

方向转动，转动角度的大小由固连于弯板 18 上的小指针 14 在小刻度盘 上指示出

来。弯板另一端由两个螺钉 11 固定着扇形大刻度盘 12，其上用螺钉轴 安装大指

针 9，大指针 9 可绕螺钉轴 8 作顺、逆两个方向转动，在大刻度盘示动的

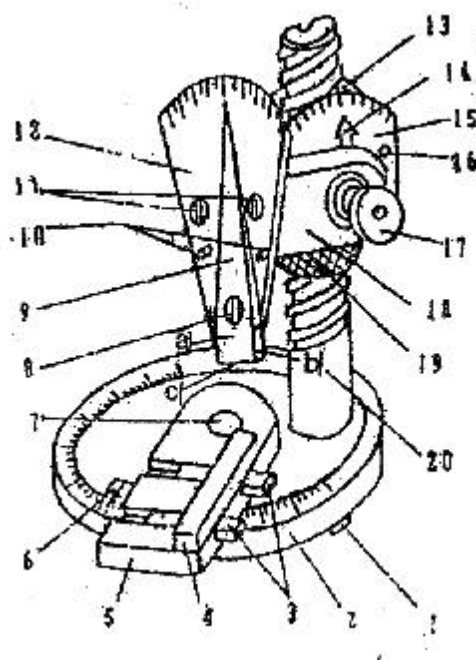


图 1 车刀测角仪

角度。两个销钉 10 用以限制大指针 9 的极限位置。

当工作台指针 6、大指针 9 和小指针 14 都在“0”位时，大指针的前表面 a 和侧面 b 处于与工作台 5 的上表面垂直的位置，大指针 9 的底平面 c 则平行于工作台 5 的上表面。测量车刀角度时，就是根据被测角度的需要，转动工作台 5，调整工作台上车刀的位置，同时旋转大螺帽 19，使滑体 13 带动大指针 9 上下移动，使之处于适当位置，然后，转动弯板及大指针 9，用大指针的前表面 a（或侧表面 b，或底表面 c），使与车刀上构成被测角度的刀面或刀刃紧密贴合，此时，在底盘 2（或大刻度盘 12）上由指针 6（或大指针 9）和小刻度盘 15 上由小指针 14 指示出相应的被测角度数值。

在设计、制造和检验测量车刀时，均与平行于车刀底面的平面作为基面。车刀的几何角度是在车刀的各辅助平面和剖面内测量的，而车刀上除法剖面外的所有剖面均垂直于车刀的基面。因此在设计量角台时，以工作台上平面作为车刀的基面（车刀靠工作台上平面和定位块定位），以大指针的平面 a 所在平面代表各剖面，当工作台转到不同位置时，即可测出车刀各剖面内的角度。测量基面内角度时，大指针 a 面代替走刀方向。将小针指着测出的刃倾角值，这时大指针 a 面所在的平面即为车刀的法剖面，因此能测出车刀法剖面的角。

## 2、车刀标致角度的测量（以外园车刀为例）

测量车刀标致角度时，将车刀置于工作台上，侧面紧靠定位块。测量车刀主、副刀上标注角度的顺序是  $k_{\gamma}$ —— $\lambda_s$ —— $\gamma$ 。—— $\alpha$ 。—— $\gamma_n$ —— $\alpha_n$ 。—— $k_r$ —— $\lambda_{s'}$ —— $\gamma'$ —— $\alpha_n'$ 。

- (1) 主偏角  $k_{\gamma}$  的测量（是指在基面上，主切削刃的投影与进给方向的夹角）大小指针归零。转动工作台，使主刀刃平行，靠近大指针平面 a，这时 a 面代表主刀刃切削平面，则指针板上刻线所对底盘上角度即为  $k_{\gamma}$
- (2) 刃倾角  $\lambda_s$  的测量（是指在切削平面内，主切削刃与基面 P 的夹角）调整滑体高度，使大指针底边平行靠近主刀刃，则大指针所指角度为  $\lambda_s$ 。
- (3) 前角  $\gamma$  的测量（是指在主切削刃上选定点的正交平面内，前刀面与基面之间的夹角）使工作台逆时针方向转  $90^\circ$ ，此时的 a 面代表主剖面，调整滑体、定位块，使指针的底边贴靠前刀面，则大指针所指角度为  $\gamma$ 。
- (4) 后角  $\alpha$  的测量（指在同一正交平面内，后刀面与切削平面之间的夹角）调整滑体和定位块位置，使大指针侧边靠近后刀面，则大指针所指的角度为  $\alpha$ 。
- (5) 法向前角  $\gamma_n$  的测量（是指在法平面内前刀面与基面之间的夹角）令小指针指向  $\lambda_s$  的角度值（当  $\lambda_s$  为大于 0 时，小指针指左边， $\lambda_s$  小于 0 时，小指针指向右边）这时 a 面即为法剖面，调整滑体，定位块位置，使指针底边靠紧前刀面，此时大指针所指的角度即为法向前角  $\gamma_n$ 。（右正左负）
- (6) 法向后角  $\alpha_n$  的测量（是指在法向平面内，后刀面与切削平面之间的夹角）调整滑体、定位块的位置，使大指针的侧边靠紧后刀面，则大指针所指的角度为  $\alpha_n$ 。
- (7) 副偏角  $k_r$  的测量（是指在基面上，副切削刃的投影与进给方向的夹角）大小指针归零，转动工作台使副切削刃平行靠近大指针 a 面，这时 a 面为副切削平面，指针板上刻线所对底盘上刻度值即为  $k_r$ 。
- (8) 副刃倾角  $\lambda_{s'}$  的测量（它是在切削平面 P 内，主切削刃与基面的夹角）调整滑体高度，使大指针靠紧副刀刃，则大指针所指角度为  $\lambda_{s'}$ 。
- (9) 副前角  $\gamma'$  的测量  
令工作台顺时针转过  $90^\circ$ ，这时 a 面即代表副剖面，调整滑体、定位块，使大指

---

针底边靠紧副刀刃，则大指针所指角度即为 $\gamma_o'$ 。

(10) 副后角 $\alpha_o'$ 的测量（它是在副切削刃上选定点的副正交平面P内副后刀面与削平面之间的夹角）调整滑体、定位块，使大指侧面靠紧副后刀面，则大指针所指为 $\alpha_o'$ 。

### 3、车刀其它标注的计算

(1) 楔角 $\beta$ 。

主剖面内前刀面与后刀面之间的夹角称为楔角 $\beta$ 。

$$\because \gamma_o + \beta_o + \alpha_o = 90^\circ \therefore \beta_o = 90 - (\gamma_o + \alpha_o)$$

(2) 刀尖角 $\epsilon_r$

主刀刃与副刀刃在基面上投影之所夹角称为刀尖夹角 $\epsilon_r$

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa_r')$$

(3) 余偏角 $\psi_r$

主刀刃与进给方向的垂直线在基面上的投影之间的夹角称为余偏角 $\psi$   $\psi_r = 90^\circ - \kappa_r$

(4) 法楔角 $\beta_n$

在法向平面内前刀面与后刀面之间的夹角称为法楔角 $\beta$   $\beta_n = 90^\circ - (\gamma_n + \alpha_n)$

### 四、填写实验报告书

---

## 实验 2 CA6140 普通车床结构剖析

### 一、实验目的和要求

- 1、了解 CA6140 车床的用途，总体布局，以及车床的主要技术性能。
- 2、对照车床传动系统图，分析该机床的传动路线。
- 3、了解和分析车床主要零部件的构造和工作原理

### 二、实验设备

CA6140 型普通车床一台

### 三、实验内容

- 1、由指导老师结合现场介绍机床的用途、布局、各操纵手柄的作用及其操作方法。然后空车、空载运转表演，以观察机床各部件的运动。

- 2、主轴箱

揭开主轴箱盖，根据机床传动系统图和主轴箱展开图，看清各挡传动路线及传动件的构造：

- (1) 看懂牌意义，明确主轴箱各操纵手柄的作用
- (2) 了解主传动系统的传动路线，主轴的正转、反转、高速、低速是如何调整实现的。
- (3) 结合现教图 1-1 了解摩擦离合器的结构原理及其调整操纵情况。
- (4) 结合现教图 1-2 观察主轴前轴承、中轴承、后轴承，轴上齿轮离合器的构造，了解前后轴承的作用及调整方法。

- (5) 观察卸荷皮带轮的构造，参看《《金属切削机床》》上册图 3-4 3、挂轮

### 架

了解挂轮架的构造，用途和调整方法。

- 4、进给箱 结合进给箱的展开图及传动系统图，观察基本组、增倍组操纵机构，螺纹种类转换机构，以及光杠、丝杠传动的操纵机构。参看《《金属切削机床》》上册图 3-2

- 5、溜板箱 纵向、横向的机动进给及快速移动的操纵机构。丝杠、光杠的互锁机构，对开螺母机构。结合现教图 1-3 了解超越离合器及过载保险装置。

- 6、刀架 刀架总体是由床鞍、横刀架、转盘、小刀架、方刀架五部份组成。结合这些部件的结构和装配图分析其工作原理。

- 7、尾架 观察尾架的构造，尾架套筒的夹紧方法。尾架套筒与机床主轴中心线同轴度的调整方法。

- 8、床身

了解床身的整体结构，对床身导轨的要求。

### 四、思考题

- 1、摩擦片离合器的工作原理是什么？控制摩擦离合器完成主轴正、反转，通过什么环节以保持离合器自锁？
- 2、卸载皮带轮是如何使皮带的拉力不传给轴而传给箱体？带轮的扭矩又是怎样传给轴的？用简图说明之。
- 3、超越离合器、安全离合器的用途和工作原理是什么？

## 第二部分 加工工艺分析实验

### EMCD—I V 计算机误差测控仪设备简介

#### 一· 实验设备总体结构



图2 “计算机辅助误差测控仪” (EMCD—IV 型)

#### 二· 系统总体结构

计算机辅助误差测控仪由计算机、计算机专用接口卡、测控电路板、机械本体、角位移检测传感器、线位移检测传感器、步进电机及驱动控制器、驱动软件等组成。系统总体结构如图1所示:

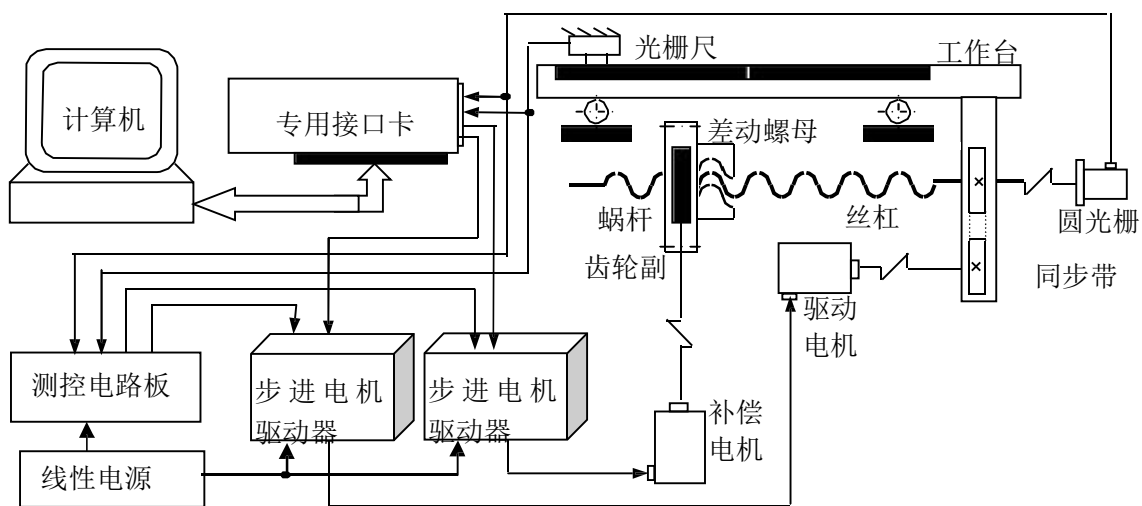


图3 系统总体结构示意图

机械本体包含机座、机架、滚动导轨、丝杠螺母副、差动螺母机构、两个步进电机、两个位移检测传感器等。

控制电柜包含一个+24V 线性电源，两个步进电机驱动模块，以及一块控制电路板。

计算机机箱内安装了计算机控制接口卡，驱动软件安装于计算机系统中。 主轴驱动步进电机通过齿轮减速后(减速比为4:1)，驱动丝杠作旋转运动，带动工作



台沿导轨作往复直线运动。另一台步进电机通过齿轮、蜗杆减速后(减速比为 100:1), 驱动差动螺母作补偿运动。差动螺母与齿轮固联, 其轴向固定, 周向随齿轮的摆动而摆动。工作台除了可在主轴步进电机驱动下作直线运动外, 还可在补偿电机的驱动下产生直线运动。由此可知, 工作台沿导轨的直线位移可由二者的位移叠加而成。检测装置分别检测丝杠的角位移和工作台的直线位移。其中角位移采用光电编码盘检测, 直线位移采用光栅尺检测。在理想情况即不存在误差的情况下, 丝杠转角与工作台直线位移成正比关系, 但实际上由于各种误差因素会影响这种关系, 因此, 实际检测到的丝杠角位移与工作台直线位移的比值与理论值相比存在着误差, 本实验仪器就是利用计算机检测和控制技术, 采用计数法对两路传感器反馈的代表位移量的脉冲个数进行比较, 动态求出每一个采样点的误差值(参数设置中的“采样点数”决定了将要测量的误差数据的个数), 每组误差数据形成一个误差数据文件, 存储在计算机中, 通过计算机对误差数据进行各种处理和运算, 得出并显示分析结果。此外, 通过计算机检测控制技术, 可实时进行误差补偿、螺纹数控加工的仿真等。

系统中的角位移检测装置采用微型光电编码盘, 其内部采用圆光栅, 通过光电转换, 将轴旋转角位移转换成电脉冲信号。

其技术指标为: 电源电压 DC5V, 每转输出脉冲数  $N=1000$ , 输出信号波形如图 2

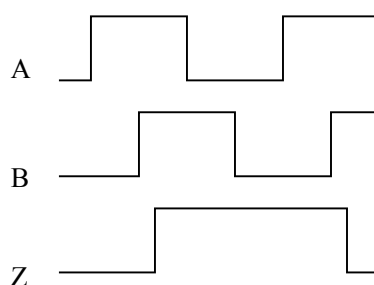


图 4 光电编码盘输出信号波形

A、B 两路信号的相位差为  $90^\circ$ , 幅值为  $4\sim 5V$ , 脉冲周期  $T=360^\circ/N$  ( $N$  为 A、B 相脉冲数)。零位信号 Z 的信号宽度  $T_M=1T\pm 0.5T$ , 幅值为  $4\sim 5V$ 。

系统中的线位移检测装置采用高精度的 SGC 系列数显光栅尺, 其工作原理及输出信号与光电编码盘类似, 只是用光栅尺替代圆光栅。其技术指标为: 电源电压 DC5V, 栅距为 0.02 毫米。输出信号波形与光电编码盘类似。

系统中的丝杠采用经过普通车削加工后的丝杠, 丝杠螺纹部分总长为 200mm, 丝杠导程为 2mm。

步进电机采用低电感、大电流、小惯量电机。其主要技术指标为: 电压 2.6V; 相数 2; 电流 2A; 步距角 0.9Deg; 最大静转矩 61.74N.cm。

## 二·控制电路原理

计算机辅助误差测控仪包含两块控制电路板，一块为插在计算机总线扩展槽上的控制接口卡，一块为安装在控制柜箱体内的手动控制电路板。其结构框图如图 3 所示：

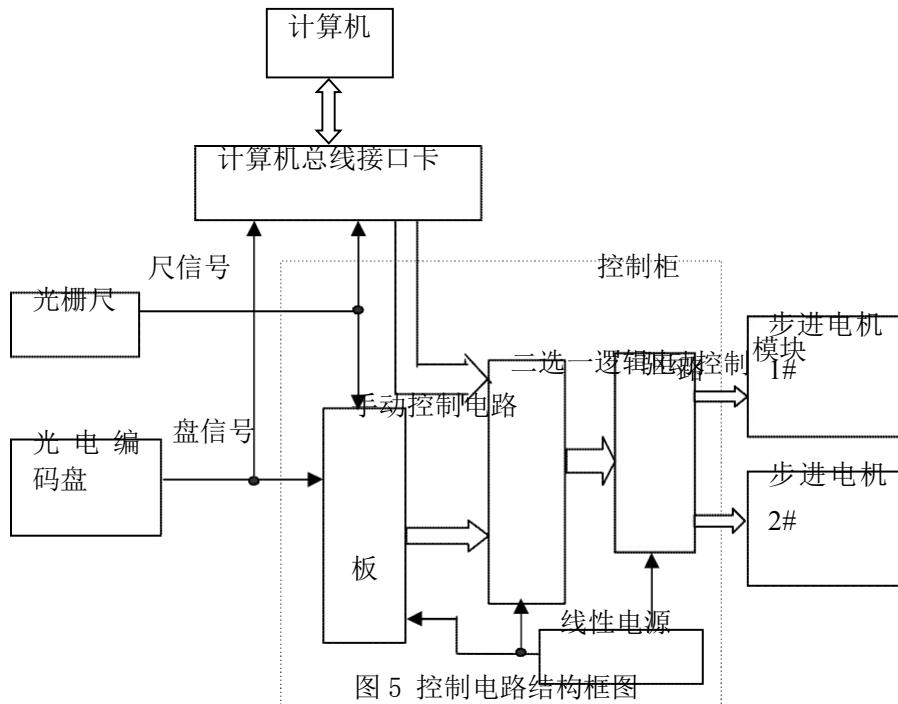


图 5 控制电路结构框图

计算机总线接口卡的原理如图 6 所示。采取分级控制的方法，四个单片机分别与四路外部信号打交道，实现系统的底层控制；上位机采取应答的方式通过总线与单片机进行交互。

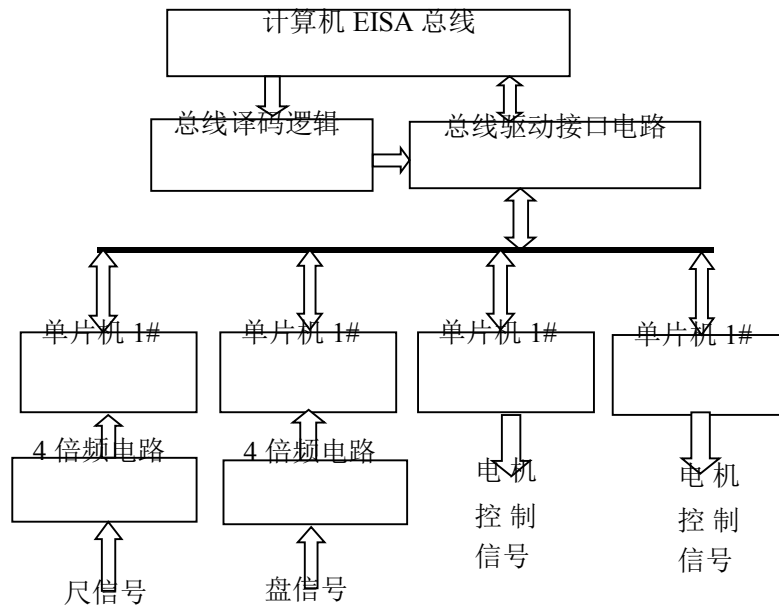


图 6 计算机总线接口卡原理图

手动控制电路板原理图如图 7 所示。其中两路单片机及其外围电路实现尺信号和

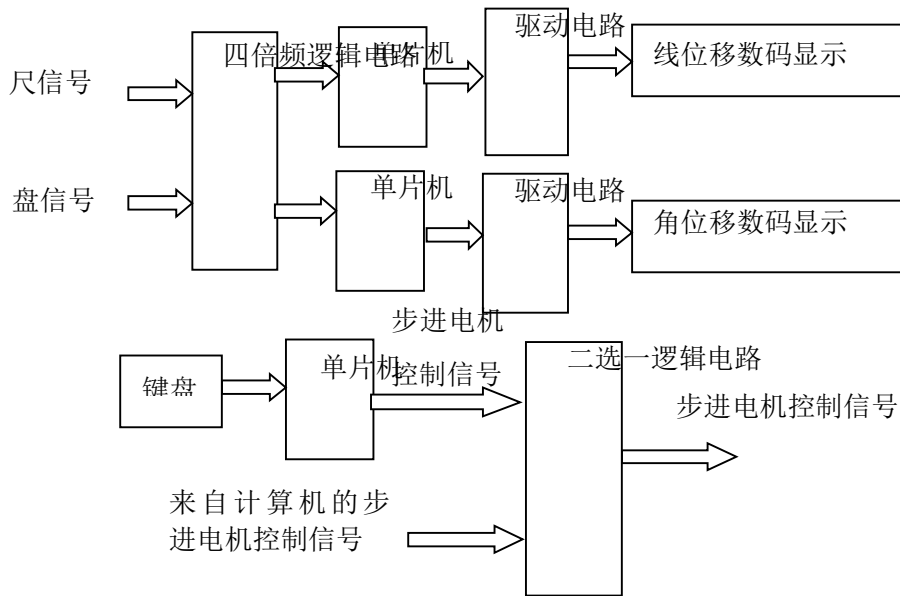


图 7 手动控制电路板原理图 盘信号的计数和显示功能；另一个单片机及其外围电路实现键盘管理功能以及步进电机的控制功能。

当控制柜上电后，通过控制柜面板上的方向键控制两个电机以一固定的速度运转，并在数码管上显示相应的线位移、相位移脉冲个数和运动方向。这主要用于检查机械装置以及步进电机、光栅尺、光电编码盘等工作是否正常。

当控制柜上电，且计算机开机后，就可以在计算机上找到所安装的驱动软件来进行实验。

### 三·软件设计

本系统的软件设计包含两个部分。其一是采用 Visual C++5.0 设计的操作界面和五个实验模块；其二是采用 MCS-51 系列单片机汇编语言设计的底层控制软件。计算机与控制卡之间采用分级控制的形式，计算机发出各种动作命令，通知控制卡上的单片机，单片机根据所接收的命令完成具体的命令动作。控制柜里的电路板由于并未与计算机之间交互，因而完全由该电路板本身的单片机内设计的监控软件实现控制。

系统软件采用 Visual C++5.0 作为开发平台，从软件的外观来看，在操作界面下有五个实验模块，分别为：实验一：加工误差的统计分析；实验二：加工误差源的诊断；实验三：动态测量与实时补偿；实验四：螺纹数控加工的仿真；实验五：丝杠副传动误差的在线验收。

从软件的内部功能来看，该软件包含 8 个功能模块，其功能模块划分如图 8 所示：

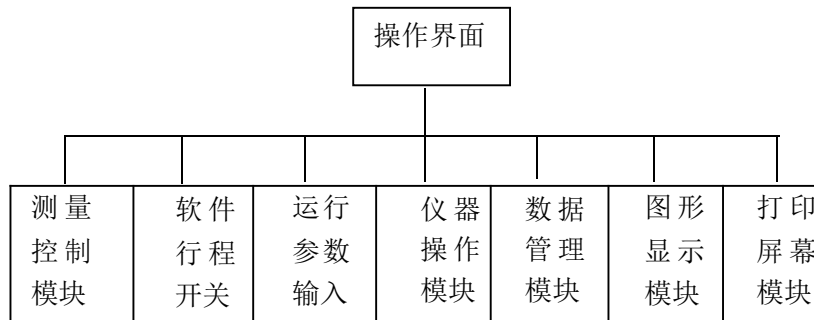


图 8 软件功能模块图

程序设计在上述功能结构的基础上构造了如下一些类：  
 应用程序类：负责在操作系统中运行应用程序时创建进程，获取并管理各种资源。  
 主框架类：显示并管理主窗口，接受用户输入，发送消息，是人机交互的关键部件。  
 视图类：负责所有图形显示与打印操作。

文档类：负责保存所有数据。  
 工具箱类：提供给用户一个直观的工具箱，便于快捷操作。

硬件操作类：所有与底层打交道的函数调用和参数都封装在此。

对话框类：提供给用户输入各类运行参数。

子窗口类：显示各类测量结果。

对于每一个实验模块，测量所获得的误差数据分别以不同的文件名存储在缺省目录 `c:\program files\cam\Emcd` 应用程序的工作目录下。所有这些数据文件都以文本文件的方式存储，体现开放式设计风格。

九个外部数据文件的文件名如下：

- Errora.dat 实验一的误差数据文件
- Errord.dat 实验二的无扰情况下误差数据文件
- Ganrao.dat 实验二的有扰情况下误差数据文件
- Errorr.dat 实验三无补偿情况下误差数据文件
- Compen.dat 实验三补偿后误差数据文件
- Identi.dat 实验三系统辨识数据文件
- Errors1.dat 实验四无补偿误差数据文件
- Errors2.dat 实验四补偿后误差数据文件
- Errorry.dat 实验五的误差数据文件

另外，系统程序还为实验者预留入口，以供采用自己的控制算法控制误差测控仪的运动误差。自定义控制算法需要在动态链接库中实现，并将生成的动态连接库（以 `ctrl.dll` 命名）拷贝到 EMCD 应用程序的工作目录下，运行 EMCD 程序，选择用户自定义控制算法，则 Emcd 应用程序自动调用 `ctrl.dll`，即可检验自己的控制算法。以下是一个动态链接库例程，该例程实现的是一种简单的控制算法——PID 控制算法。实验者可通过修改该例程，方便地将自己的控制算法加入到系统中。说明如下：

1. `Ctrl.dll.h`、`ctrl.dll.cpp` 由 VC++6.0 生成，不需修改；
2. `CCntrl` 类实现控制算法：
  - λ 构造函数 `CCntrl()` 实现对控制算法的参数预初始化；
  - λ `CtrlInitiate(CWnd *p_MainWin)` 在选择“自定义算法”后自动调用，完成对控制算法的参数初始化。指针 `p_MainWin` 指向应用程序当前活动视图的视图对象；
  - λ 在 `UserCtrlMethod(long int *error, int i)` 中实现控制算法，该函数在每次采样

---

后由系统自动调用。指针 error 指向误差序列, 参数 i 为当前采样时刻。这三个函数为接口函数, 其申明不得修改。但可修改这三个函数的实现部分, 实现自己的控制算法。所有关于对话框的程序及资源, 均可增加、删除或修改以满足

## 实验注意事项

1. 测控仪控制柜的机壳在内部与电源插头的地端相连, 因此, 测控仪电柜上电前应确保供电插座提供可靠的地电位 (最好用试电笔测一下), 以免机壳带电。此外, 应保证控制柜与计算机、机械本体的接线插头可靠连接。
2. 在使用控制电柜上的键盘控制机械本体进行运动时, 注意丝杠不要运动到极限点, 以免丝杠卡死。计算机软件操作工具箱中的控制按钮设有自动检测功能, 丝杠运动到头后可以自动停止。建议使用软件操作工具箱中的控制按钮进行操作。
3. 每次进行“实时测量”前, 应检查剩余丝杠长度是否足够进行测量, 若不够就用软件操作工具箱所示的箭头方向后退, 因为测量过程是不能中断的。若万一在实时测量过程中发现剩余丝杠长度不够时, 可立即关闭控制柜后面板上的电源开关, 退出实时测量, 然后重新开启控制柜电源, 用软件操作工具箱所示的后退箭头调整丝杠位置后再进行实验。
4. 每次开始实验之前, 最好先用软件操作工具箱中的控制按钮控制丝杠前后来回运动几次, 以使机械本体处于良好啮合状态。
5. 测控仪机械本体应特别注意防尘, 定期添加润滑油。
6. 测控仪控制电柜应安放在通风散热条件较好的地方, 搬运过程中应防震、防潮。

## 常见故障的处理

1. 若安装 Emcd 后, 程序不能正常工作, 请检查该计算机是否安装有 VC++5.0 及其以下版本的软件, 若已安装有 VC++5.0 及其以下版本的软件, 请卸载 VC 后, 从新安装 Emcd。
2. 若程序运行中出现“卡死”的提示, 请检查机械本体是否真的有卡死现象, 若有请尽快排除机械故障; 若没有机械故障, 请检查电缆接线是否按说明连接正确。注意: 电缆接线不要误接在计算机的并行接口上。
3. 程序运行中若发现剩余丝杠长度不够时, 可立即关闭控制柜的电源开关, 以免丝杠卡死。然后退出 Emcd, 再从新进入 Emcd。若重新进入后不能驱动丝杠运动, 则可关闭控制柜的电源, 试着用手拧动丝杠。
4. 若出现其他故障, 应及时报告教师。

---

## 实验一 加工过程误差的统计分析

### 一. 实验目的和要求

通过本实验掌握加工过程误差统计分析的基本原理和方法。

- λ 运用计算机辅助误差测控仪进行误差数据的采集、运算、结果显示和打印。
- λ 熟悉直方图的作法，能根据样本数据确定分组数、组距，由直方图作出实际分布曲线，进而将实际曲线与正态分布曲线相比较，判断加工误差性质，评定工序能力系数 CP，根据给定的精度要求估算合格率。
- λ 熟悉 X-R 质量控制图的作法，能根据 X-R 图判断工序加工稳定性。

### 二. 基本原理和方法

加工误差可以分为系统误差和随机误差两大类。系统误差指在顺序加工一批工件中，其加工误差的大小和方向都保持不变或按一定的规律变化，前者称常值系统误差，是由大小和方向都一定的工艺因素造成；后者为变值系统误差，由大小和方向有规律变化的工艺因素造成。随机误差指在顺序加工一批工件中，其加工误差的大小和方向都是随机的，是许多相互独立的工艺因素微量的随机变化和综合作用的结果。

实际加工误差往往是系统误差和随机误差的综合表现，因此，在一定的加工条件下，要判断是某一因素起主导作用，必须先掌握一定的数据资料，再对这些数据资料进行分析研究，判断误差的大小、性质、及其变化规律等等。然后再针对具体情况采取相应的工艺措施。

统计分析方法可用来研究、掌握误差的分布规律和统计特征参数，将系统误差和随机误差区分开来。

#### 1. 误差的分布图分析法：

根据概率论理论，相互独立的大量微小随机变量，其总和的分布接近正态分布。这就是说，对于随机误差，应满足正态分布。根据数理统计的原理，随机变量全体（总体）的算术平均值和标准差可用部分随机变量

的算术平均值  $\bar{x}$  和标准差  $S$  来估算，其值是很接近的。这样，就可由抽检样本来估算整体。

在机械加工中，用调整法加工一批零件，当不存在明显的变值系统误差因素时，其尺寸分布近似于正态分布。根据上述原理，在本实验中，通过检测丝杠螺距误差的数据样本，来模拟一批零件的加

工误差的数据样本，不同截面的丝杠螺距误差，可以看成是该丝杠车削加工工艺系统中众多随机误差因素综合作用的结果。根据该误差数据样本绘制实验分布图（即直方图）和正态分布曲线。若该分布图呈正态分布，表明加工过程中是影响不突出的随机性误差起主导作用，而变值系统性误差作用不明显；若分布图的平均偏差与公差带中点坐标不重合，表明存在常值系统误差；若所分析的误差呈非正态分布，则说明变值系统误差作用突出。

实验分布图（即直方图）和正态分布曲线的绘制方法如下：

假设有一个误差数据样本，其样本容量为  $n$ ，样本数据的最大值为  $x_{\max}$ ，最小值为  $x_{\min}$ ，

并记极差  $R = x_{\max} - x_{\min}$ 。

将数据分为  $K$  组， $K$  的选取与样本容量  $n$  的大小有一定的关系，可参见表 1-1

确定  $K$  值以后，即可按  $D=R/K$  确定组距。样本值落在同一误差组的个数即为频数  $m_i$ ，频数与样本容量  $n$  之比，称为频率  $f_i$ 。以组距为横坐标，以频数为纵坐标按一定比例作出各个数据组的长方形，就构成了直方图。

正态分布概率分布密度函数为：

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2}$$

其中  $\sigma$ 、 $\mu$  是正态分布曲线的两个特征参数，分别为随机变量总体的标准差和均值。样本的标准差的估算值为：

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

样本的均值为：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

根据  $\bar{x}$  和  $S$  即可绘出样本的正态分布曲线。

## 2. 点图法

由于分布图法采用随机样本，不考虑加工顺序，因而不能反映误差大小、方向随加工先后顺序的变化，此外，分布图法是在一批工件加工结束以后进行分析的，它不能及时反映加工过程误差的变化，不利于控制加工误差。因此，如何使工艺过程在给定的运行条件下，在给定的工作时间内，稳定可靠地保证加工质量是一个重要问题。这就是工艺过程稳定性的问题。

按照概率论中的中心极限定律，无论何种分布的大样本，其中小样本的平均值趋向于服从正态分布，这样，从统计分析的一般角度，认为若某一项质量数据的总体分布的参数（例如  $\sigma$ 、 $\mu$ ）保持不变，则这一工艺过程是稳定的。因此，可通过分析样本统计特征值  $\bar{x}$ 、 $S$  推知工艺过程是否稳定。样本属于同一个总体，若样本统计特征值  $\bar{x}$ 、 $S$  不随时间变化，则工艺过程是稳定的。总体分布参数  $\mu$  可用样本平均值  $\bar{x}$  的平均值  $\bar{\bar{x}}$  估算，总体分布参数  $\sigma$  可用样本极差的平均值  $\bar{R}$  来估算。通常采用点图（控制图）法来进行工艺过程稳定性的分析。用点图来分析工艺过程稳定性首先要采集顺序样本，这样的样本可以得到在时间上与工艺过程运行同步的有关信息，反映出加工误差随时间变化的趋势，以便对加工工艺过程质量的稳定性随时进行监视，防止废品产生。

误差点图有各值点图和样组点图两类，其中样组点图较常用的是  $\bar{x}-R$  点图（即平均值-极差点图）。 $\bar{x}-R$  图是平均值  $\bar{x}$  控制图和极差  $R$  控制图联合使用时的统称。前者控制工艺过程质量指标的分布中心，后者控制工艺过程质量指标的分散程度。

根据数理统计的中心极限定律，即使不知原始数据的分布，但它们的平均值分布近似于正态分布。总体分布越接近正态分布，样本平均值的分布就更接近正态分布，此时所需样本的容量也可越小。

$\bar{x}-R$  点图的绘制方法如下：

### 1. 数据抽样：

绘制  $\bar{x}-R$  图是以小样本顺序随机抽样为基础的，通常的要求是在工艺过程进行中，每隔一定时间，如半小时或一小时，从这段时间内加工的工件中，随机抽取几件作为小样本，小样本的容量  $N=2\sim 10$  件，求出小样本的统计特征值的平均值和极差  $R$ 。经过若干时间后，取得  $K$  个小样本，通常取  $K=25$ ，这样，抽取样本的总容量一般不少于 100 件，以保证有较好的代表性。在本实验中，由于实验时间的限制，采取依次采取样本的总容量数据，再按小

---

样本容量对总容量分成  $K$  组，以这种方法来代替上述的数据抽样过程。

2. 绘  $\bar{X}$  点图和  $R$  点图：

以分组序号为横坐标，每组误差的平均值  $\bar{x}$  为纵坐标绘制  $\bar{X}$  点图；以分组序号为横坐标，每组误差最大值与最小值之差  $R$  为纵坐标绘制  $R$  点图。 $\bar{x}$ 、 $R$  分别按下式计算：

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i$$

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

式中  $m$ ——每组的工件数(即小样本容量)  $x_i$ ——误差值  
 $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ ——每组误差的最大、最小值

再绘  $\bar{x}-R$  图的中心线和上下控制线

根据数理统计中的推导，在  $\bar{X}$  图上， $\bar{X}$  的上、下控制线和中心线分别按下式计算：

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A\bar{R}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A\bar{R}$$

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

式中  $\bar{\bar{x}}$  为样本平均值  $\bar{x}$  的平均值

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i$$

$\bar{x}_i$ ——第  $i$  个小样本的平均值

$k$ ——小样本的个数

式中  $A$  为常数，可查表得到。参见教科书。

在  $R$  图上， $R$  的上、下控制线和中心线分别按下式计算：

$$UCL = D_1 \bar{R}$$

$$LCL = D_2 \bar{R}$$

$$CL = \bar{R}$$

式中

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i \quad \text{为小样本极差 } R_i \text{ 的平均值}$$



$D_1$ 、 $D_2$  为常数，可查表得到，参见教科书。

在  $\bar{x}-R$  图上作出平均线、控制线，就可根据误差点的变化，判断工艺过程的稳定性。

### 三·实验步骤

1. 在 W98 或 W95 桌面上(或开始菜单的“程序”内), 打开 EMCD 图标, 进入测控仪主服务台。主服务台的工具栏中有五个按钮分别代表五个实验模块。选择“误差分析”按钮进入实验一“加工误差的统计分析”用户界面。也可从下拉菜单“选择实验”中选择进行每个实验模块。

2. 选择实验一后系统进入图 9 所示的界面。软件菜单设有：(1) 总服务台：用户可随时回到总服务台的界面；(2) 选择实验：用户不必回到总服务台而在任何时候选择别的实验；(3) 手动：用于控制工作台的前进、后退与停止；(5) 系统设置：用于设置延时（当接口卡不能正常工作时，适当增大设置）及打印放大系数；(6) 帮助：按 F1 或用鼠标左键点帮助按钮，即可查找在线帮助。（与总服务台工具栏上的按钮相同。）



图 9 实验一主界面 右下角的操作控制箱按钮分别控制丝杠前进、后退、停止和差动螺母正转、反转、停止。 3. 输入运行参数：用鼠标点输入参数按钮，进入运行参数设置对话框，可采用缺省值，也可以修改参数。参数定义和范围如下： 采样点数：指实时测量时将采集的误差数据点数，亦即样本容量  $n$ 。为 0~600 间的整数。 采样密度：是指丝杠每转一周被采集的点数。为 5~40 间的整数。 前进转速：代表主驱动电机驱动的丝杠的前进速度。为 10~60 转/分的整数。 后退转速：代表主驱动电机驱动的丝杠的后退速度。为 10~80 转/分的整数 直方组数：进行误差的分布图分析时设定的分组数。为 1~40 间的整数。分组数大小的选取 与样本容量  $n$  的大小有关，请参照表 1-1。

n	25-40	40-60	60-100	100	100-160	160-250	250-400	400-630	630-1000
K	6	7	8	10	11	12	13	14	15

表 1-1 分组数的选定

样本容量：实际上是小样本容量，是指按照该小样本容量的大小，将顺序采样的一组数据分成若干个小样本，即进行点图分析时用到的参数  $m$ ，为 4~6 间的整数。 4. 实时测量：用鼠标点“实时测量”按钮后，系统将以上述的运行参数驱动工作台前进并 进行数据测量，测量数据以文本格式存入文件 errora.dat 中。 5. 画直方图：点“画直方图”按钮后，系统将实时测量得到数据文件进行分布图分析并 在显示器上绘制直方图（如图 10 所示）。



图 10 直方图

从图中可以看出丝杠的螺距误差曲线基本符合正态分布，说明系统无变值系统误差，样本的标准差  $S$  为  $10.931034$ ，曲线分布中心与公差带中心不重合说明系统存在常值系统误差。

6. 画 X 图：进行实时测量后，可点“画 TQ 图”图标，绘制 X 图（如图 11 图 所示）。

可以看出丝杠螺距误差的平均值为  $-0.55 \mu\text{m}$ ，上控制线为  $16.4736 \mu\text{m}$ ，下控制线为  $17.573601 \mu\text{m}$ ，没有点子超出控制线。

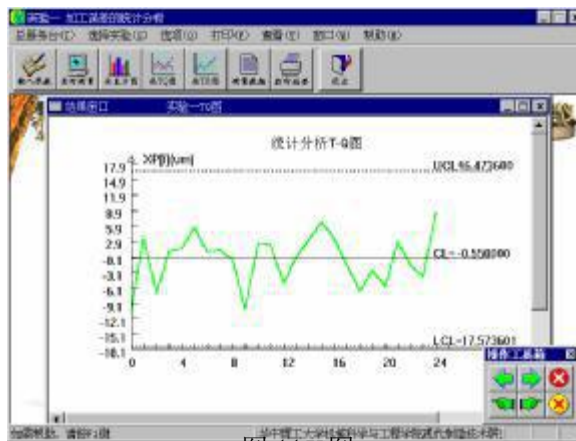


图 11 X 图

7. 画 R 图：进行实时测量后，可点“画 TR 图”图标，绘制 R 图（如图 12 所示），从图中可以看出丝杠螺距误差的极差的平均值为  $23.32 \mu\text{m}$ ，上控制线为  $53.1695 \mu\text{m}$ ，下控制线为  $0 \mu\text{m}$ ，没有点子超出控制线，而且没有明显的变化规律。综合  $\bar{X}$ -R 图可知：被测丝杠的加工工艺系统是稳定的。

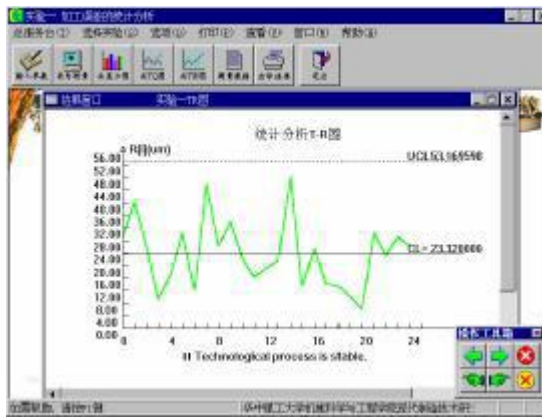


图 12 R 图

8. 测量数据：进行实时测量后，可点“测量数据”图标，可显示所测误差数据的数值。
9. 打印结果：点“打印结果”图标，用于实验结果打印预览及打印。可打印除实时测量和实时误差补偿窗口外的其它任何窗口内的曲线。
10. 退出：点“退出”图标，表示退出 EMCD 软件，若想回到总服务台请用菜单栏上的“总服务台”。

#### 四·实验报告要

求 1. 打印测量数据。

2. 按表 1-2 格式作出频数分布表，计算出  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  和  $S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ 。

组号	组界	组中间值	频数 $m_i$	频率 $f_i$	累计频数	累计频率
1						
2						
3						
:						
k						

表 1-2 频数分布表

3. 按表 1-3 格式记录 TQC 图 ( $\bar{x} - R$  控制图) 数据，计算出总平均值  $\bar{\bar{x}} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \bar{x}_i$  和极差

$$\text{平均值 } \bar{R} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K R_i。$$

样本序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	.....
样本均值 $\bar{x}$										.....
样本极差 R										.....

表 1-3 TQC 图数据表 (小样本件数  $n=***$ , 样本组数  $k=**$ )