

现代机械加工实验技术

广西大学机械工程学院编制

2006.10

前 言

本书作为机械工程及自动化本科专业《机械制造技术基础》、《现代加工技术》等课程配套的实验教材,以实验课独立设课的形式向学生开设。本教材从制造技术的宏观角度将原机械制造专业的多门主课(金属切削原理及刀具、金属切削机床和机械制造工艺学等)中的实验内容进行有机整合和改革创新。主要包括以下几方面的内容:1) 工艺规程的编制;2) 典型刀具、夹具、数控机床部件的构造、功用、选用原则;3) 数控加工及其编程;4) 金属切削过程的物理现象及其基本规律;5) 加工误差分析与补偿;6) 综合评价加工质量及加工工艺的合理性。本教材体现了制造过程的交叉、并行、协同和有机联系。

本书第一章由梁式老师编写;第二章和第十一章由段明扬老师编写;第三章、第七章和第八章由胡映宁老师和胡珊珊老师编写;第五章和第六章由邓敏和老师编写;第九章和第十章由王小纯老师编写。

张庆力、陈邦道、苏家强等研究生为本书的编写校对做了许多工作,特此感谢!

由于书中内容较广,初次使用,受各方面条件和作者水平所限,书中难免有错误和不足之处,请读者批评指正。

编者

2006年10月

目 录

第一章 基于 CAPP 的犁刀变速齿轮箱体工艺规程设计.....	4
第一节 实验目的与要求	4
第二节 实验准备.....	4
第三节 上机步骤.....	4
基于 CAPP 的犁刀变速齿轮箱体工艺规程设计实验报告	11
第二章 典型夹具组合与应用	13
第一节 实验目的与要求	13
第二节 组合夹具的特点及应用范围	错误！未定义书签。
第三节 组合夹具的元件及其作用	错误！未定义书签。
第四节 组合夹具组装原理与实验方法步骤	错误！未定义书签。
第五节 组合夹具组装实例	错误！未定义书签。
典型夹具组合与应用实验报告	错误！未定义书签。
第三章 典型刀具选用、测量、性能评价	13
第一节 实验目的与要求	13
第二节 实验装备.....	13
第三节 车刀量角仪的结构与使用方法.....	13
第四节 典型数控刀具的结构组成、各部分的作用.....	错误！未定义书签。
车刀角度的测量实验报告	14
第四章 步进电机的驱动控制	15
第一节 实验目的与要求	15
第二节 实验仪器与设备	15
第三节 基本原理和方法	15
第四节 实验步骤.....	15
步进电机的驱动控制实验报告	16
第五章 实际加工零件.....	18
第一节 实验目的与要求	18
第二节 实验设备.....	18
第三节 实验内容及步骤	19
实际加工零件实验报告	19

第六章 切削力的测定及经验公式的建立	20
第一节 实验目的与要求	20
第二节 测量原理与实验方法	20
第三节 实验数据的处理与经验公式的建立	21
切削力的测定及经验公式的建立实验报告	22
第七章 切削过程中振动信号的测定	24
第一节 实验目的与要求	24
第二节 测量原理与实验方法	24
切削过程振动信号的测定实验报告	27
第八章 加工过程误差的统计分析	30
第一节 实验目的与要求	30
第二节 实验仪器与设备	30
第三节 基本原理和方法	30
第四节 实验步骤	33
加工过程误差的统计分析实验报告	36
第九章 丝杠运动误差的数据补偿	37
第一节 实验目的与要求	37
第二节 实验仪器与设备	37
第三节 基本原理和方法	37
第四节 实验步骤	37
丝杠运动误差的数据补偿实验报告	39
第十章 评价加工工艺的合理性	40
第一节 实验目的与要求	40
第二节 评价零件加工质量的实验方法	40
第三节 综合评价零件加工工艺对保证加工质量的合理性结论	40
评价加工工艺的合理性实验报告	41

第一章 基于 CAPP 的犁刀变速齿轮箱体工艺规程设计

第一节 实验目的与要求

- 1、了解机械加工工艺规程的制定方法，熟悉编制加工工艺的一般流程。
- 2、掌握开目 CAPP 系统编制工艺过程卡、工序卡、绘制零件加工工序图的方法。
- 3、通过实例的学习，能够熟练使用开目 CAPP 系统进行零件的工艺规程设计，上交实验报告及零件的工艺规程设计文件各一份。

第二节 实验准备

- 1、复习教材有关机械加工工艺规程制定方法及编制加工工艺一般流程等内容。
- 2、根据犁刀变速齿轮箱体零件图，设计其工艺规程，参考有关手册，计算相关数据及编制工艺路线。表 1-1 是已经编制好的工艺路线。

表 1-1 犁刀变速齿轮箱体加工工艺路线

工序号	工 序 内 容	简要说明
	铸造	
	时效	消除内应力
	涂底漆	防止生锈
10	粗铣 N 面	先加工基准面
20	钻扩铰 2 - f10F9 孔至 2 - f9F9，孔口倒角 1 × 45°，钻孔 4 - f13	留精扩铰余量
30	粗铣 R 面及 Q 面	先加工面
40	铣凸台面	
50	粗镗孔 2 - f80，孔口倒角 1 × 45°	后加工孔粗加工结束
60	精铣 N 面	精加工开始
70	精铰孔 2 - f10F9 至 2 - f10F7（工艺要求）	提高工艺基准精度
80	精铣 R 面及 Q 面	先加工面
90	精铰孔 2 - f80H7	后加工孔
100	钻孔 f20，扩铰球形孔 Sf30H9，钻 4 - M6 螺纹底孔，孔口倒角 1 × 45°，攻螺纹 4 - M6 - 6H	次要表面在后面加工
110	镗平面 4 - f22	
120	钻 8 - M12 螺纹底孔，孔口倒角 1 × 45°，钻铰孔 2 - f8N8，孔口倒角 1 × 45°	
130	攻螺纹 8 - M12 - 6H	工序分散，平衡节拍
140	检验	
150	入库	

其他如零件材料、零件尺寸、工艺设备、工步内容及切削用量等数据可参考示例文件。

第三节 上机步骤

1、调入需要设计工艺规程的零件图及过程卡

进入开目 CAPP 运行模块，进入开目 CAPP 运行界面。点<文件>—<打开>，按文件类型及存放的

路径找到该图，双击该图文件名后，弹出图 1-1。

例：F:\开目 CAPP 应用实例目录下双击 犁刀变速齿轮箱体.dwg 文件；

在对话框中选择：工艺规程设计，点“确认”；

在对话框中双击“机加工工艺”，调出“机加工工艺过程卡片”，最后如图 1-2 所示。

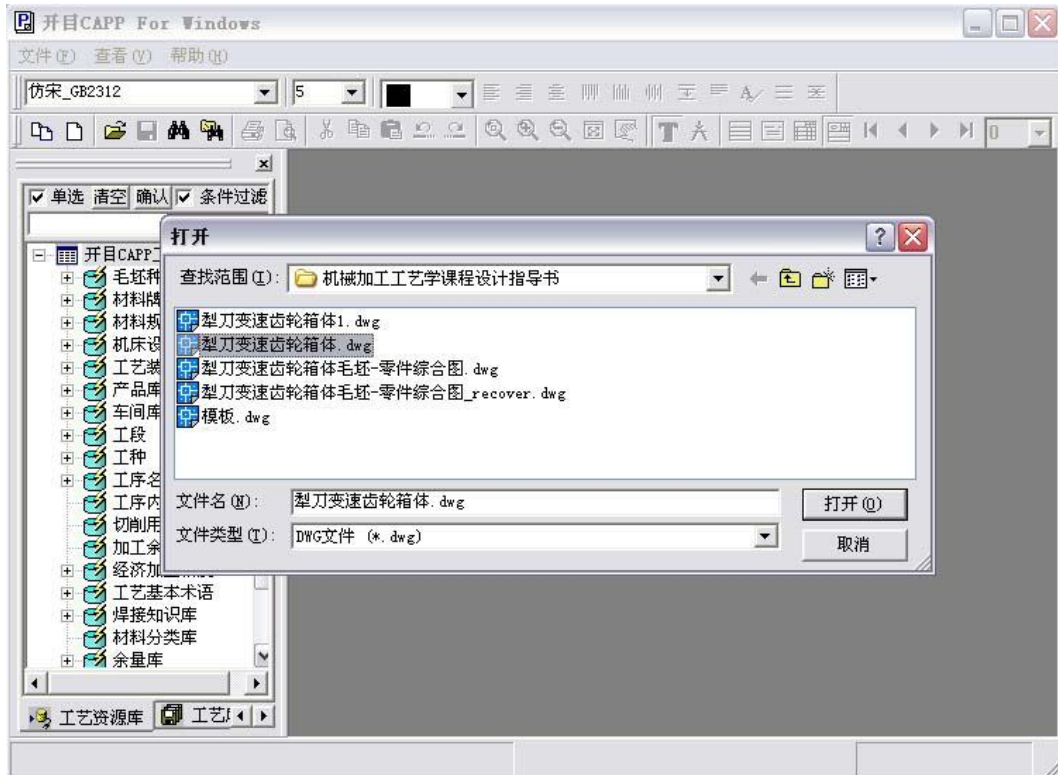


图 1-1 打开所需零件图

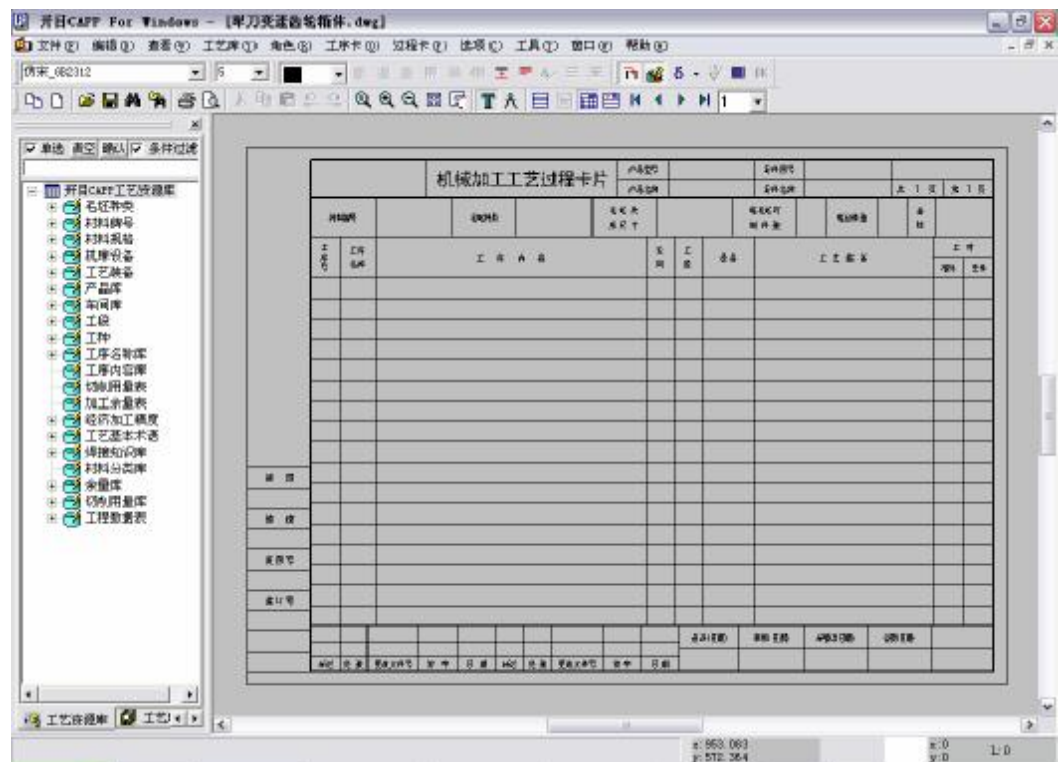




图 1-2 出现机械加工工艺过程卡片

通过按钮“”和“”，我们得到图 1-3 所示界面，从中我们可以看到我们导入的图形文件。

这里显示的是已经在开目 CAPP 里重新调整了线型颜色后所得的图形。

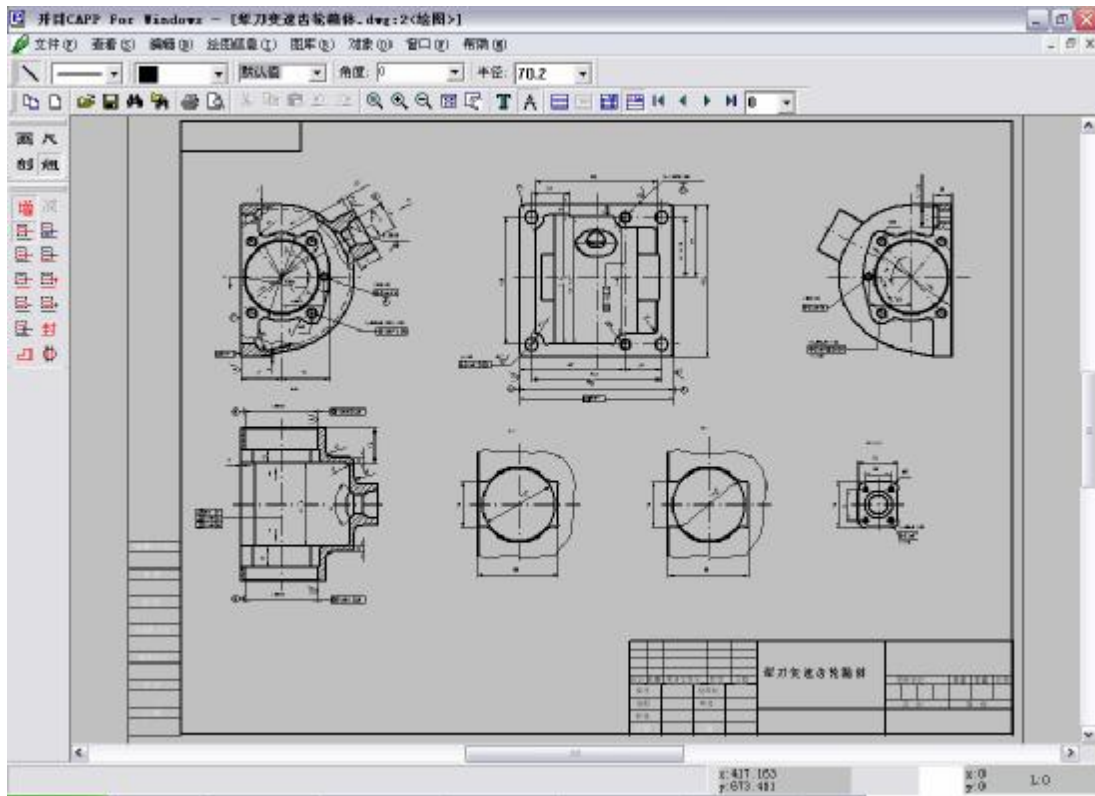




图 1-3 机械加工工序卡片第 0 页内容

通过界面左边工具栏内“**组**”中“**增**”、“”把所有的图形选中（也可以只选中相应的线），然后点<编辑>—<调整颜色>，就可以将所选中的图形改为黑色。

值得注意的是，AutoCAD 图形经转换后得到的图和原图不可能完全一样，会出现某些尺寸标注无法识别的现象，需要用户在开目 CAPP 中进行手动修改。比如在 AutoCAD 中标注的形位公差，用户必须利用开目 CAPP 中的形位公差工具进行重标注。此外，AutoCAD 中用“%C”来表示直径“Φ”，同样要在开目 CAPP 手动修改。

2、编写过程卡

确定了工艺路线后，我们就可以进行工艺过程卡的编辑。如果零件图是直接利用开目 CAPP 提供的绘图模块绘制，表格也是利用开目表格定义模块所定义的，那所绘零件的有关信息如产品名称、型号，零件名称等已进入过程卡。但如果是直接导入*.dwg 文件，则信息不会自动与过程卡关联，须手动添加。

1. 填写表头区：点击“”、“**T**”，进入过程卡编辑界面，将光标放在表头区需填写的格内，单击左键，左边库文件栏出现对应的库内容，双击所需项，该内容自动填入过程卡，无对应库的自行输入内容，其操作界面如图 1-4 所示。

2. 填写表中区：点<过程卡>—<表中区>，光标自动进入第一列的第一格，顺序向右填写，作了库对应的左边库文件自动打开，可在其中选择所需项，双击即可自动添加，如图 1-5 所示。

3. 申请工序卡：将光标放在需作工序卡的工序行内点<工序操作>—<申请工序卡>，该行的首格变红，表示已为该道工序申请到一张工序卡，如图 1-6 所示。

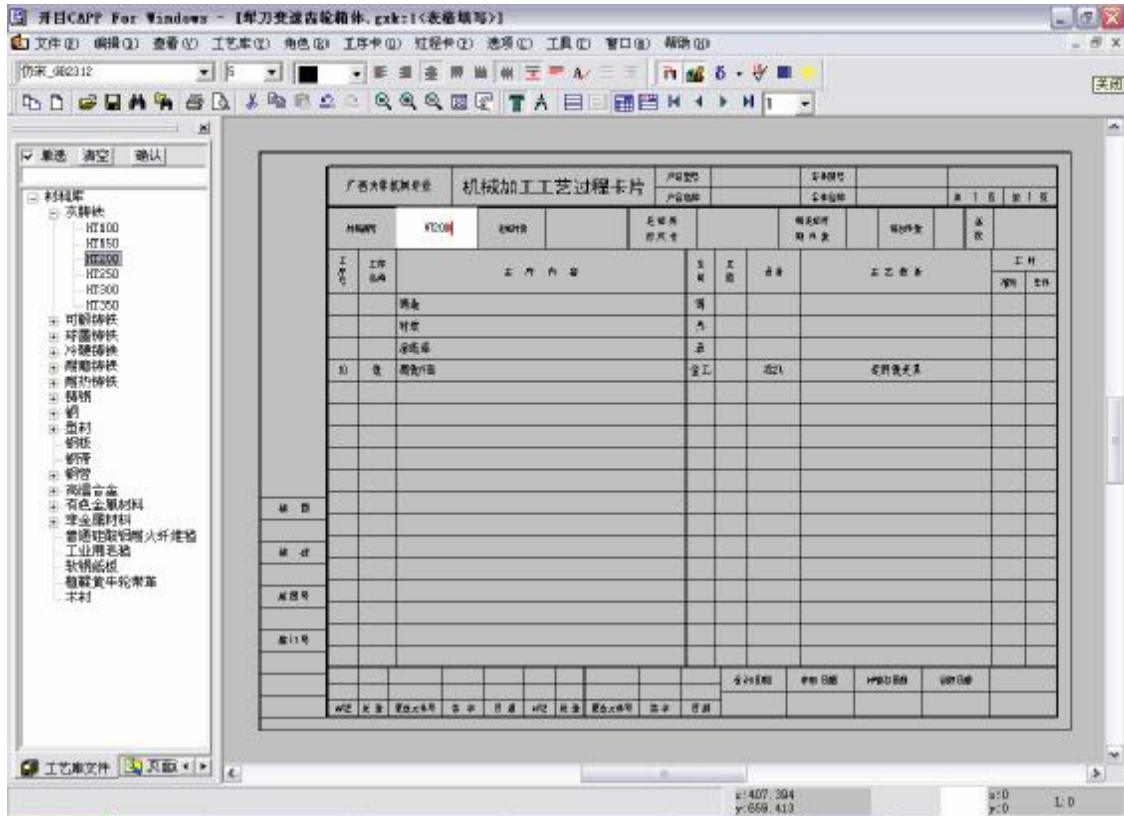


图 1-4 填写过程卡表头区

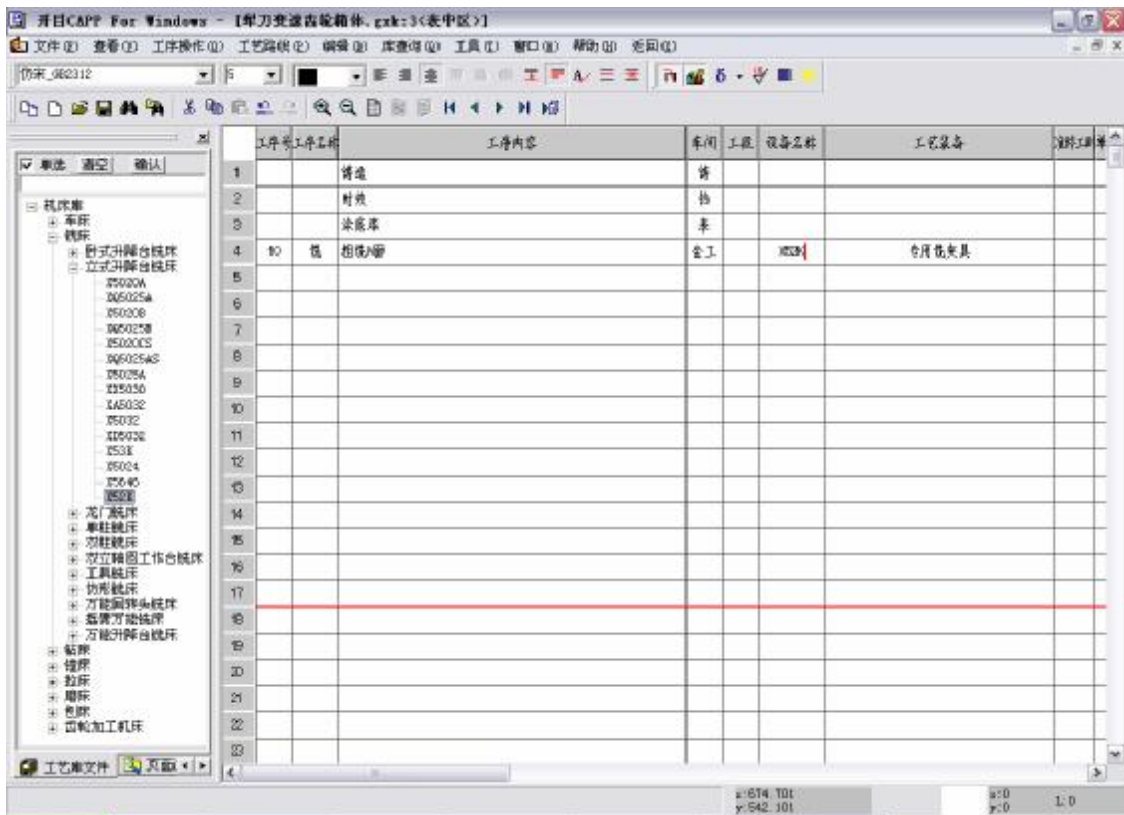


图 1-5 填写过程卡表中区

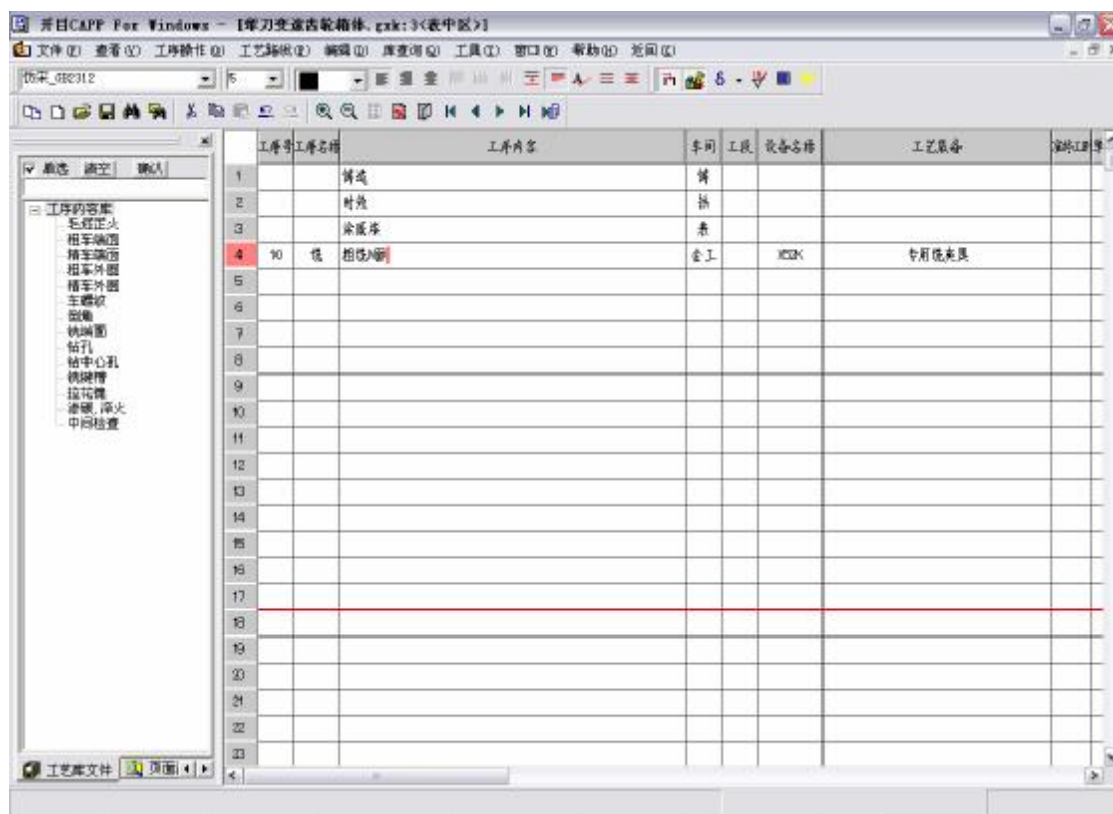




图 1-6 申请工序卡

工艺过程设计完毕，还可点<编辑>对已完成的内容进行插入、删除等操作。全部完成后点<文件>—<保存>，在对话框中输入文件名，再点<返回>。


3、编写工序卡

点击工具栏中“”，切换至工序卡的“0”页，即需编制工艺的零件图。

1. 绘制工序图

点“”进入绘图界面，可用画、尺、组、剖四类工具绘制工序草图，再从<图库>—<夹具符号库>调取夹具符号。

2. 从零件图中提取轮廓图

点“组”中“”外轮廓，工作框将所需图形选中，将光标放在基准点处，按“G”键，切换到第一张工序卡。按 Alt_<(>) 将黄色图缩（放）到所需大小，再用转动键（T：逆时针转 15°；D：逆时针转 90°；F：转 180°）、移动键或鼠标移动到工序卡中合适位置，单击左键，图形生成。再按 G 键切换到第 2、3……张工序卡，也可点工具栏右边的下拉按钮，选取所需工序卡号。最后点右键菜单中的<重选>，光标上的黄色图消失。

若用组没有找到外轮廓线，说明没有图形的交点表信息，在“画”工具的界面下按 Alt+S 重建即可。

3. 从零件图中提取加工面

用“组”中合适的选择方式，选中所需加工面（图素），点右键菜单中的<拷贝>，将光标放在基准点处单击左键。按 G 键，翻到所需工序卡，选中的图素以黄色线重叠在已有的轮廓图上，单击左键，询问尺寸是否复制，点“是”或“否”，即生成。点右键菜单中的<重选>界面恢复原状。如复制了尺寸，应在“尺”状态下调整尺寸位置。

最终得到如图 1-7 所示的工序草图。

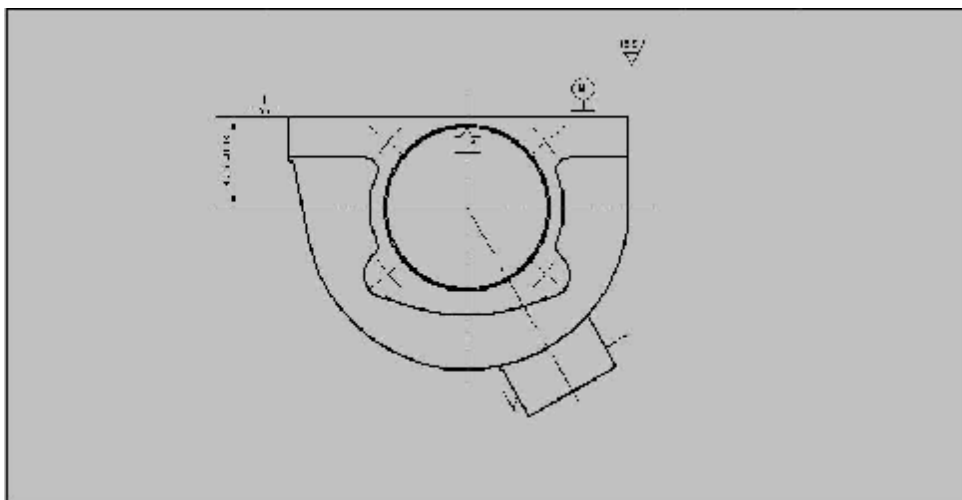


图 1-7 绘制工序草图

4. 填写工序卡内容

单击“**T**”切换到表格填写界面，方法与过程卡表中区的填写相同。进入工序编辑界面，将光标放在需填写的格内，单击左键，左边库文件栏出现对应的库内容，双击所需项，该内容自动填入过程卡，无对应库的自行输入内容。

单击“**LB**”，在对话框中可选取粗糙度、形位公差基准、形位公差…等特殊符号。点“**8**”在对话框中可选取特殊字符，标准符号等。点“**■**”可查询工艺参数表，表中列有各种机床的参数及切削用量供选用。

4、浏览工艺文件

完成了整个工艺规程设计后，可以利用开目 CAPP 系统提供的工艺文件浏览器浏览整体效果。犁刀变速齿轮箱体的工艺过程卡及工序卡的浏览效果如图 1-8。

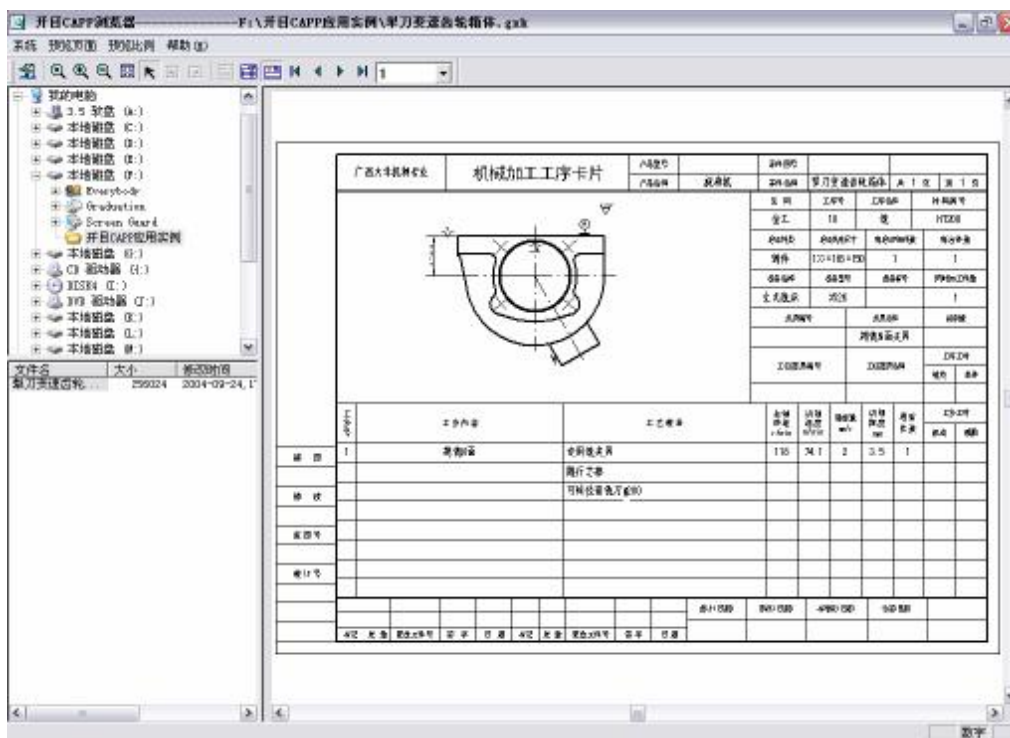


图 1-8 使用工艺浏览器浏览

5、输出工艺文件

在开目 CAPP 里直接集成了工艺文件的打印输出功能。能够对工艺表格预览，能够以各种比例在各种幅面的打印机或绘图仪上输出，可以有选择地输出工艺卡片或拼图。在操作系统的支持下，能够使用各种 Windows 兼容的打印机和绘图仪。

犁刀变速齿轮箱体的工艺过程卡及工序卡的打印预览效果如图 1-9、图 1-10 所示。

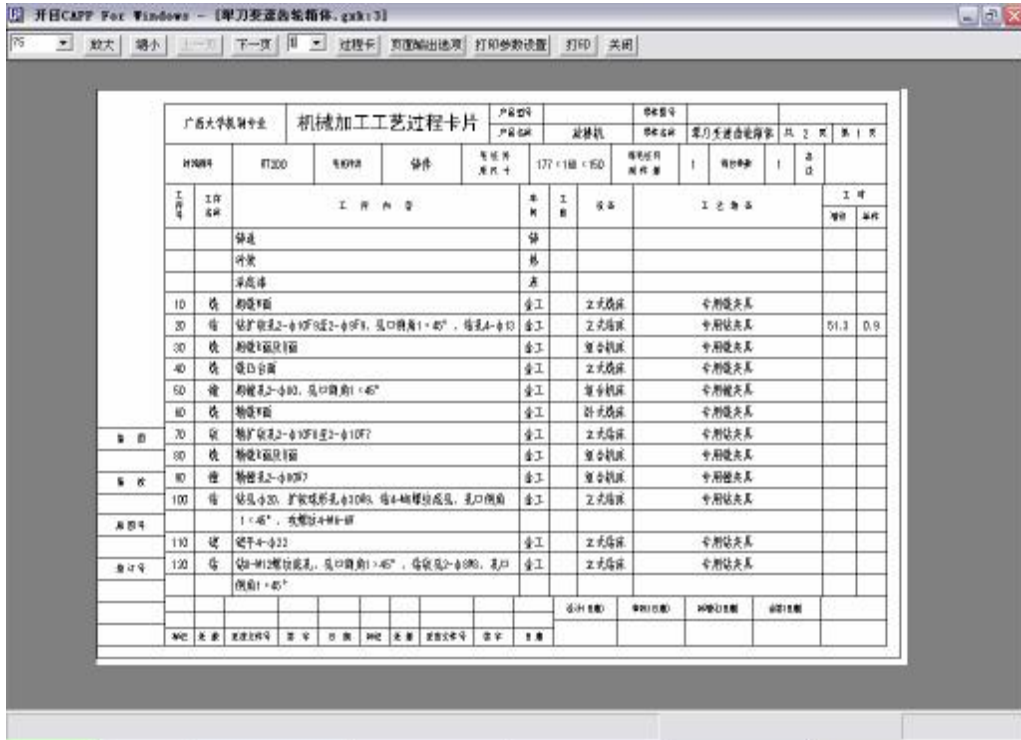


图 1-9 工艺过程卡打印预览

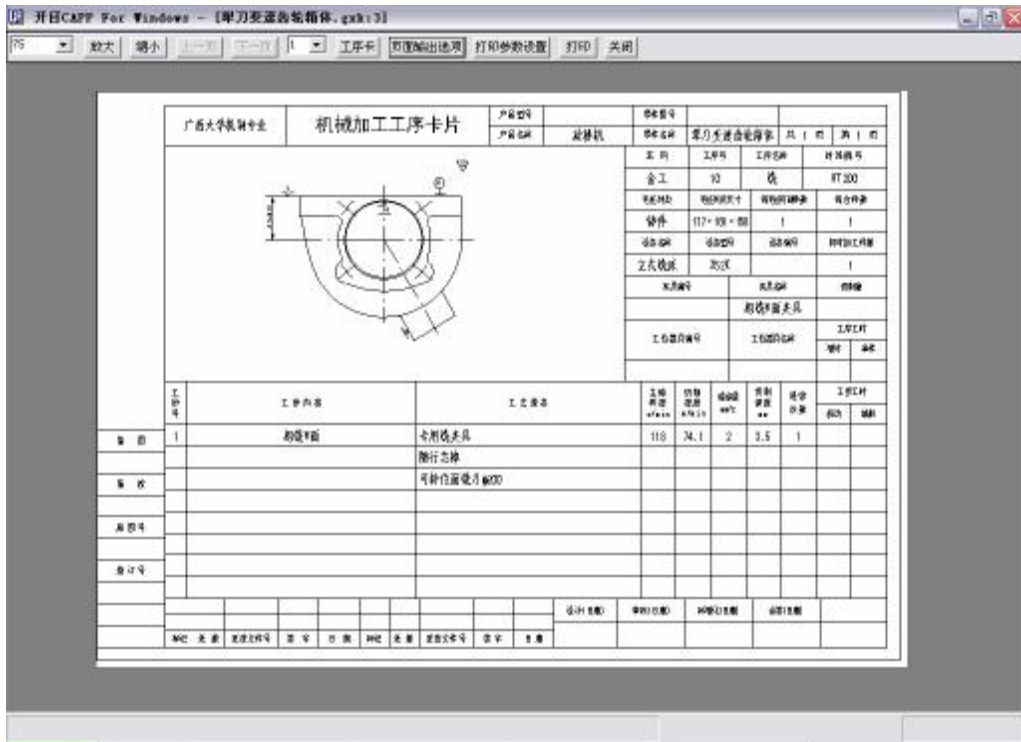


图 1-10 工序卡打印预览

基于 CAPP 的犁刀变速齿轮箱体工艺规程设计实验报告

专业班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 成绩：_____ 指导教师：_____

（一）实验目的

（二）实验环境（软件、硬件及条件）

（三）实验过程

(四) 实验结果 (附文件)

(五) 实验心得

思考题

- 1、如果要在本次实验中，在工序 60 前增加一道工序，则应如何实现？
- 2、在上机实验中发现什么问题，你是如何解决的？

第二章 典型夹具组合与应用

第一节 实验目的与要求

- 1、了解组合夹具的结构特点及应用范围。
- 2、了解夹具定位原理和夹紧基本准则。
- 3、掌握组合夹具组装原理与方法步骤。

第三章 典型刀具选用、测量、性能评价

第一节 实验目的与要求

- 1、刀具切削部分的角度测量；
- 2、典型刀具的结构组成、各部分的作用；
- 3、典型刀具的选用、性能评价。

第二节 实验装备

仪器：车刀量角仪、万能量角器。测量用车刀：45°弯头车刀、75°偏刀、90°偏刀、切断刀。

第三节 车刀量角仪的结构与使用方法

车刀量角仪的结构类型有许多种，其构造、使用方法略有不同。我们选择两种有代表性的介绍如下：

（一）万能量角器

车刀角度的测量实验报告

专业班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 成绩：_____ 指导教师：_____

编写实验报告书的要求与方法

实验报告内容应包括：记录所测车刀的名称，记录测得角度的数值，画出所测车刀简图，正确标注正交平面、法平面、背平面和假定工作平面参考系的角度并进行刀具角度换算校验。

实验报告的格式要求：测得的角度值用列表形式表达，表下附角度换算校验公式及。车刀简图应大致以 1: 1 比例绘制，图线应符合投影响关系，并将所测角度值标注在图中。最后分析测量、计算结果，回答思考问题。

(一) 实验用量具仪和工具

(二) 实验数据记录

车刀 编号	车刀名称	刀杆尺寸 B×H (mm×mm)	前角 γ_0	后角 α_0	主偏角 K r	副偏角 K r'	刃倾角 λ_0	副后角 α_0'

正交平面参考系的基本角度（单位：度）

第四章 步进电机的驱动控制

第一节 实验目的与要求

通过本实验掌握运用系统平台提供的底层控制函数进行步进电机的驱动控制方法。

- 1) 熟悉系统平台提供的底层控制函数；
- 2) 了解和学习使用底层控制函数编程对试验平台进行操作，控制驱动电机和补偿电机单独和同时的前进、后退和停止，电机速度的设定以及电机转动步数的设定。

第二节 实验仪器与设备

KSPT-1 型可重构数字化测控试验平台

第三节 基本原理和方法

第四节 实验步骤

- 9) 调试、运行工程文件 exp1。

步进电机的驱动控制实验报告

专业班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 成绩：_____ 指导教师：_____

打印关键程序源代码，如果是采用 win32 控制台方式，则打印 main() 函数所在源程序，如果是采用 MFC 方式，则打印包含调用底层控制函数所在的源程序。

第五章 典型零件的数控编程及虚拟加工仿真

第一节 实验目的与要求

1. 了解 CIMATRON 编程思路。
2. 学习零件加工工艺的分析的方法。
3. 掌握 CIMATRON 编制刀路的步骤。
4. 利用 CIMATRON 进行虚拟加工仿真，并能对刀路作分析。

第二节 实验软件

1. CAD/CAM 软件 Cimatron E 6.0
2. 硬件要求：最低配置为 Pentium IV 1. 7GHz，内存 512MB，显示卡必须支持 OpenGL 3D(64MB)，可用硬盘空间 1GB，三键鼠标。

第三节 实验内容及步骤

典型零件的数控编程及虚拟加工仿真实验报告

专业班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 成绩：_____ 指导教师：_____

提交实验报告并附该报告电子版，实验报告应包含以下几方面内容：

1. 零件加工工艺的分析及加工工序的选择。
2. 完整、详细的软件操作流程。
3. CIMATRON 加工仿真的作用及分析。
4. 自动生成的加工程序。

第六章 实际加工零件

第一节 实验目的与要求

1. 了解实验中采用的刀具的类型、规格及选用原则，掌握对所用刀具进行编号、刀具长度补偿的方法。
2. 了解下刀方式、刀具进给运动方式、退刀方式等。
3. 弄清 G、M、S、T、F 代码的含义。
4. 了解机床坐标系、工件坐标系和相对坐标系的定义及其相互关系，掌握对刀方法。
5. 了解加工中心的基本操作。

第二节 实验设备

YCM—V85A 型立式铣削加工中心，由我国台湾省台湾永进机床工业有限公司生产，机床采用日本富士通公司的 FANUC SERIES 18-M 数控系统。

1. 机床特点及应用范围：

YCM—V85A 型立式铣削加工中心属多工序、多功能、带刀具库并能自动更换刀具的复合型数控金属加工机床，主要有三方面优点：（1）三轴联动，能进行复杂型面零件的加工。用于加工那些在普通机床上很难或根本无法加工的形状复杂、精度要求高的零件，因此，是模具一类复杂零件制造的重要设备。

（2）加工精度高，质量稳定，生产效率高。它将数控铣床，数控镗床，数控钻床的功能组合起来，附加自动换刀装置和 20 把刀容量的刀库，工件经过一次装夹后，数控装置就能控制机床自动的更换刀具，能连续对工件加工面自动地完成铣、镗、钻等多工序加工。因此，比使用多台机床多次装夹与调整节省了大量时间，也提高了加工精度。由于工序集中，从而减少了机床的台数，减少了零件重复定位误差，大大减少了加工辅助时间，缩短半成品的周转时间。（3）具有高度的柔性。当被加工零件改变时，只需重新编制加工程序或改用另一加工程序即可实现对新零件的加工。其适合进行单件或小批量多品种的加工。

2. 主要技术规格：

主轴电机：	5.5KW
主轴刀头：	BT40
主轴转速：	50~8000 RPM
工作台：	L×W=950×400
T 型槽：	(宽×数量×距离)=18×3×125
工作台行程：	沿 X 轴向 860 沿 Y 轴向 440 沿 Z 轴向 630
轴向进给：	快速 (XYZ 三个方向) 12m/min
切削进给：	1~5000mm/min
刀 库：	20 把

第三节 实验内容及步骤

1. 刀具选用

2. 坐标系的设定

在进行 NC 编程时，首先要在加工模型上选择某一点作为原点来建立一个坐标系，这个坐标系称为编程坐标系，是系统计算产生切削工件的刀路轨迹的坐标系。机床的切削坐标系（即工件坐标系）可在机床的行程范围内任选一点作为原点来建立。可以用 G92 或 G54-G59 指令设定工件坐标系。对刀的目的就是将编程坐标系与机床的切削坐标系统一起来，使机床加工出正确的零件。

3. 编程与加工实验的几个问题

实际加工零件实验报告

专业班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 成绩：_____ 指导教师：_____

提交实验报告并附该报告电子版，实验报告应包含以下几方面内容：

1. 加工程序的后置处理文件。
2. 实验过程发现的技术问题、所作的研究分析及对策。
3. 实验体会（收获等）。

第七章 切削力的测定及经验公式的建立

第一节 实验目的与要求

1. 了解车削（铣削）测力仪的工作原理及测力方法。
2. 掌握切削深度 a_p 、进给量 f 等对切削力的影响规律。
3. 通过实验数据的处理，建立主车削力 F_z 的经验公式。

第二节 测量原理与实验方法

测量切削力的主要工具之一是测力仪。测力仪的种类很多，有机械式测力仪、压电式测力仪和电测力仪。本试验采用的是三向压电式测力仪。

测力仪必须具备如下性能要求

1. 必须有足够的刚度。刚度是指单位变形所需的作用力。要求达到 10^8N/m 。
2. 必须有较高的固有频率（自振频率）。要求大于所测力变化频率的 4-5 倍。
3. 应有足够的灵敏度。灵敏度是指单位作用下测力仪的输出。要求能测出切削力变化的 $\pm 1\%$ 。灵敏度单位：压电式用微微库化表示，即 pC/N （或 pC/kgf ）。
4. 各分力间的相互干扰应较小。要求干扰小于（3—4）%。
5. 测力仪的输出应不受力作用点位置变化的影响。
6. 测力仪的输出应有较好的线性及较小的滞后现象。非线性度应小于 $\pm 3\%$ ，滞后应小 2 %。

（一）压电石英晶体三维力传感器原理

1. 基本原理

压电石英晶体三维力传感器的结构如图7-1所示：

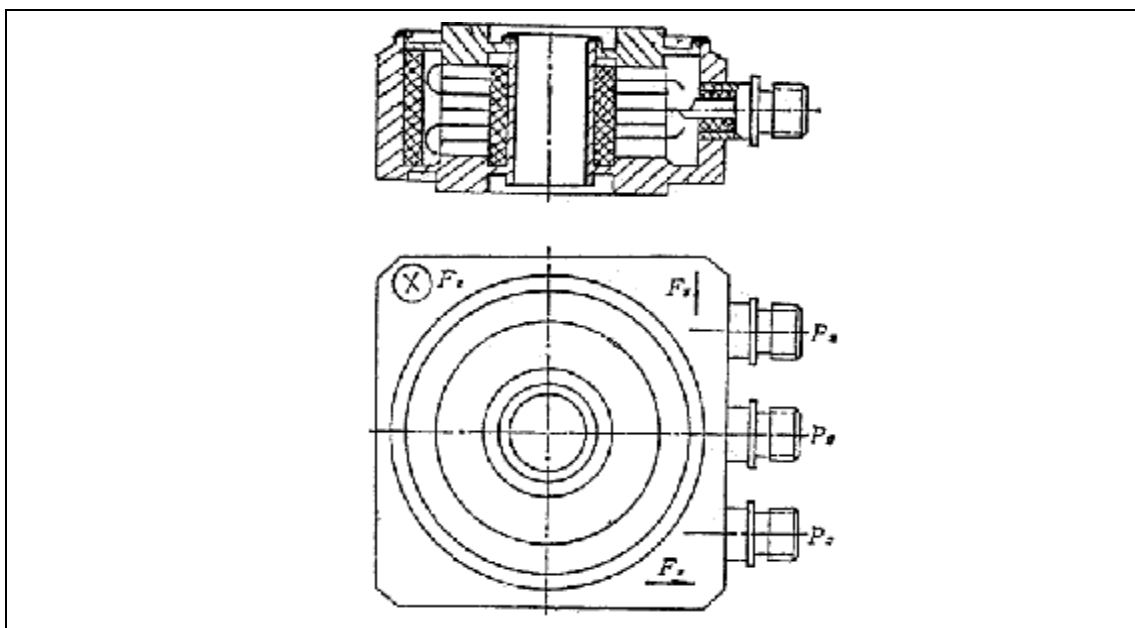


图7-1 压电石英晶体三维力传感器的结构如图

这种传感器有三对不同切型的石英晶片装入壳体内构成。其中一对采用具有纵向压电效应的切片，只能测量垂直平台的Z 向力；而另外两对晶片由于采用具有切向效应的切型，且相互灵敏度方向成 90° 放置，因此可测X, Y向的分力。这样空间任何方向的力作用在传感器上时，传感器便能自动地将力分解为空间相互正交的三个分力。

(二) 压电石英晶体三维力传感器工作原理及特点

(四) 实验方法

第三节 实验数据的处理与经验公式的建立

切削力的测定及经验公式的建立实验报告

专业班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 成绩：_____ 指导教师：_____

(一) 实验仪器、设备及测试系统原理图

1. 仪器、设备

机床						测力仪					
应变仪						测力仪的 标定常数	$K_z = \quad N / me(kgf / me)$				
记录仪							$K_y = \quad N / me(kgf / me)$				
							$K_x = \quad N / me(kgf / me)$				
工作	材料					硬度					
刀具	结构	材料	Y	a	l	x	K	r			

2. 测试系统原理图

(二) 实验记录

(三) 实验数据处理及经验公式建立

(四) 实验结果分析讨论

(五) 思考题

第八章 切削过程中振动信号的测定

第一节 实验目的与要求

1. 了解铣削虚拟仪器的工作原理及使用方法。
2. 掌握切削深度 a_p 、进给量 f 等对切削振动信号影响规律。
3. 了解通过振动信号监控切削过程。

第二节 测量原理与实验方法

振动信号测量的主要工具之一是虚拟仪器系统，其主要组成为加速度振动传感器、电荷耦合器、数据采集卡、QLV 型多功能虚拟式分析仪器库。

(一) K-SHEAR 加速度传感器

1. 总述

K-SHEAR 加速度传感器用于振动测量装置，是通过连接内置的压电阻转换器的自产生压电信号的传感器。使用中，将加速度信号转换成电荷信号，电荷的数量和作用力成比例，因此就可以得到振动的信号，和其他加速度传感器一样，它的灵敏度是通过所施加的加速度所产生的电输出的比率来表示的，如 mv/g 。K-SHEAR 加速度传感器具有低阻抗输出的特性，因此不需电荷放大器，长距离传输噪声拾取小。

2. 安装

安装时应特别小心，仔细的安装可以得到最佳的高频响应、精度和稳定性。

- 1) 连接表面：连接表面应平整，具体要求如图8-1所示
- 2) 螺钉连接：根据图1，直接将加速度传感器选进螺孔，注意不要拧得太紧。
- 3) 信号线：正确的信号线的固定方法如图8-2，这样可减少信号线的应变。

图8-1 传感器连接平面和螺孔示意图

料号	螺孔	L1 In (mm)	L2 In (mm)
B402	10-32	.16 [4.0]	.32 [8.0]
B410	10-32	.16 [4.0]	.32 [8.0]
B411	M6	.32 [8.0]	.47 [12.0]
B412	1/4-28	.20 [5.0]	.43 [11.0]
B421	M6	.31 [8.0]	.63 [16.0]
B423	5/16"	.31 [8.0]	.63 [16.0]
B721, B724	10-32 UNF	.16 [4.0]	.32 [8.0]

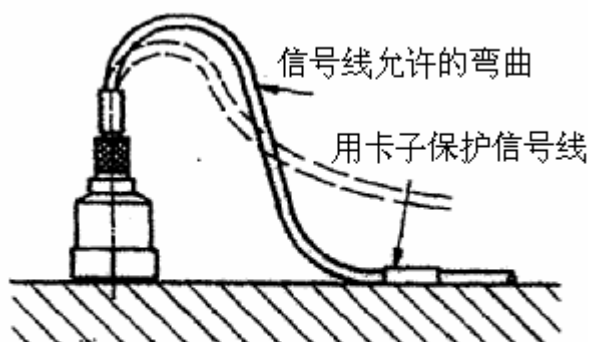


图8-2 信号线的固定方式

3.注意事项

- 1) 不要用于冲击振动的场合, 如用榔头敲击或掉到地上。
- 2) 不用时应放在提供的容器内, 保持干净并防潮。

(二) K-SHEAR 耦合器

1.总述

5134A耦合器是用于低阻抗压电转换器的四通道调节器。是由内部微控器控制的高性能连续信号处理器。

2.安装

- 1) 信号线的连接: 采用系统提供的特制信号线进行连接。
- 2) 交流电源连接: 连接电源电压115—230V, 频率48-62Hz。

3.操作

- 1) 增益设置: 按菜单键直至出现增益灯亮, 各通道的增益显示在LCD上, 然后选择通道数, 再按上下的箭头键完成设置。
- 2) 滤波设置: 按菜单键直至出现滤波灯亮, 各通道显示在LCD上, 然后选择通道数, 再按上下的箭头键完成设置。

(三) 数据采集卡

采用重庆大学 QLV 虚拟仪器系列的数据采集卡使用时将数据采集卡安装于计算机的空闲插槽接口中。安装时应注意:

- (1) 关闭计算机;
- (2) 用刷子或吹风机将插槽清扫干净;
- (3) 切勿用手触摸插线板和电路板的引脚;
- (4) 将数据采集卡插入计算机插槽接口中保证不偏斜, 锁紧固定螺钉。
- (5) 安装完后, 检查机箱内是否有遗留物。

(四) 系统连接

系统连接如图8-3所示:

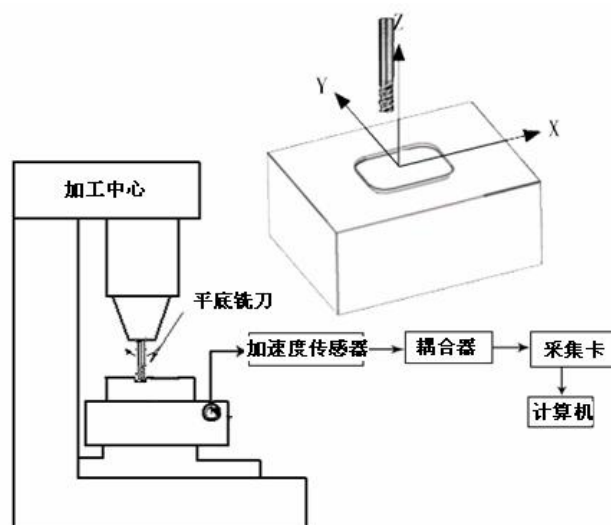


图8-3 虚拟仪器系统连接图

（五）熟悉机床操作、虚拟仪器数据分析软件，

（六）切削实验

切削实验用单因素法进行实验（也可用多因素法，见附录），即在固定其他因素，只改变一个因素的条件下，采集各条件下的振动信号或在线分析各条件下的振动状况。

1) 固定 v 、 f 等（ v 取 40m/min 左右， f 取 0.2-0.3mm/r），依次改变 a_p （在 0.5-4mm 范围内 5 个数值）进行切削，采集各条件下的振动信号或在线分析各条件下的振动状况。

2) 固定 v 、 a_p 等（ v 取 40mm/min 左右， a_p 取 2 左右），依次改变 f （在 0.1-0.6mm/r 范围内选取 5 个数值）进行切削，采集各条件下的振动信号或在线分析各条件下的振动状况。

3) 其它（还可以改变 v 、 Y 等实验）。

切削过程振动信号的测定实验报告

专业班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 成绩：_____ 指导教师：_____

数据处理采用 QLV 虚拟仪器的 Vi test1 软件来完成, 数据处理可以分为在线数据处理和离线状态数据处理。数据处理一般就是对采集的数据进行 FFT 分析。一般有时域分析、频域分析、自相关分析、细化分析等。具体分析方法参照 QLV 虚拟仪器软件分析使用说明。

(一) 实验仪器、设备及测试系统原理图

1. 仪器、设备

机床					虚拟仪器 测力仪					
耦合器					备注					
分析仪										
工作	材料					硬度				
刀具	结构	材料	<i>Y</i>	<i>a</i>	<i>l</i>	<i>x</i>	K	<i>r</i>		

2. 测试系统原理图

(二) 实验数据采集

(三) 实验数据处理。

(四) 实验结果分析讨论。

第九章 加工过程误差的统计分析

第一节 实验目的与要求

1. 目的:

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。

2. 要求:

- 1) 运用计算机辅助误差测控试验平台进行误差数据的采集、运算、结果显示和打印。
- 2) 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, 进而将实际曲线与标准正态分布曲线相比较, 用比较的结果: ①判断出加工误差性质; ②评定工序能力系数 CP; ③根据给定的精度要求估算合格率。
- 3) 了解 X-R 质量控制图的作法并根据 X-R 图判断工序加工稳定性。

第二节 实验仪器与设备

KSPT-1 型可重构数字化测控试验平台

第三节 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。而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。加工误差的分析方法通常可用以下两种方法进行:

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。

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 6-1。

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 σ 、 μ 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 σ 、 μ ）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 μ 可用样本平均值 \bar{x} 的平均值 $\bar{\bar{x}}$ 估算，总体分布参数 σ 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，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；

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： $\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i$ 为小样本极差 R_i 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。

第四节 实验步骤

1. 构建本实验的测控试验平台。

以被测丝杠的误差为统计分析的依据，被测丝杠由动力源模块驱动，尾顶尖模块的尾顶针顶住丝杠末端。将测头置于被测丝杠的螺旋槽内，并由磁力千分表架夹持，固定在安装平台模块的滑动工作台上。当被测丝杠旋转时，螺旋槽推动测头连同滑动工作台移动，通过分析编码盘和光栅尺的实际读数即可计算出螺距误差。

2. 选择进入实验界面

打开 KSPT 图标，进入试验平台主服务台。选择“误差分析”按钮进入实验六“加工误差的统计分析”用户界面，也可从下拉菜单“选择实验”中选择进入实验界面。实验六实验界面如图 9-1 所示。



图 9-1 实验六主界面

选择实验六后系统进入图 9-1 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。）

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 9-1。

表 9-1 分组数的选定

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

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“实验六 加工误差统计分析与控制.DAT”中。

5. 画直方图

点“画直方图”按钮后，系统将实时测量得到得数据文件进行分布图分析并在显示器上绘制直方图（如图 9-2 所示）。

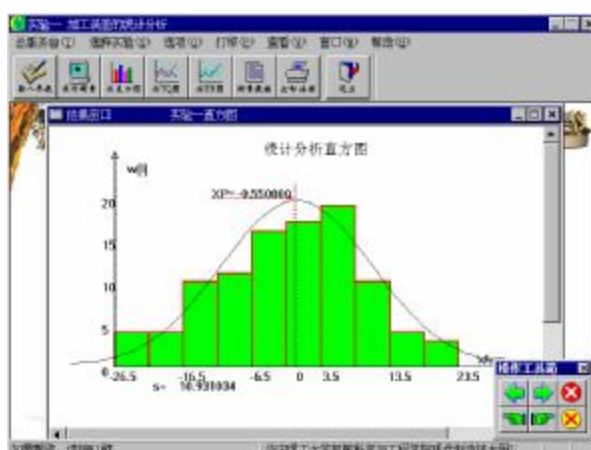


图 9-2 直方图

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 \bar{X} 图

进行实时测量后，可点“画 TQ 图”图标，绘制 \bar{X} 图（如图 9-3 图所示）。从图中可以看出丝杠螺距

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。

7. 画 R 图

进行实时测量后，可点“画 TR 图”图标，绘制 R 图（如图 9-4 所示），从图中可以看出丝杠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。

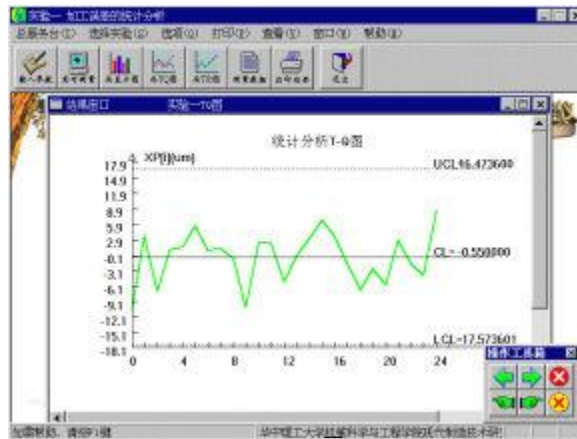


图 9-3 X 图

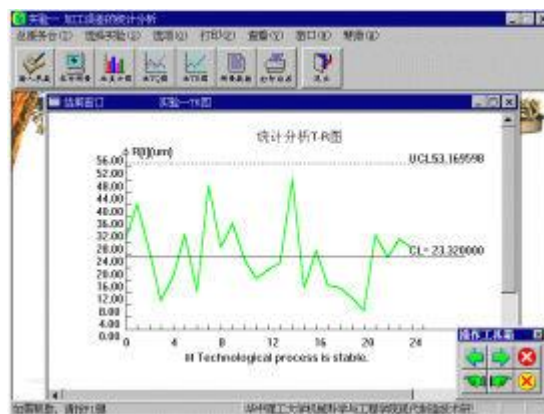


图 9-4 R 图

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. 退出

点“退出”图标，表示退出 KSPT 软件，若想回到总服务台请用菜单栏上的“总服务台”。

加工过程误差的统计分析实验报告

专业班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 成绩：_____ 指导教师：_____

1. 打印测量数据。

2. 按表 9-2 格式作出频数分布表，计算出 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 和 $S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ 。

表 9-2 频数分布表

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						

3. 按表 9-3 格式记录 TQC 图 ($\bar{x}-R$ 控制图) 数据，计算出总平均值 $\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i$ 和极差平均值 $\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i$ 。

表 9-3 TQC 图数据表 (小样本件数 $n=***$, 样本组数 $k=**$)

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

4. 实验结果整理与分析

- 1) 绘制直方图和实验分布曲线，判断加工误差性质，求出工序能力系数，估算合格率；
- 2) 绘制 TQC 图，判断稳定性。

第十章 丝杠运动误差的数据补偿

第一节 实验目的与要求

掌握丝杠运动误差数字补偿的基本原理和方法。

第二节 实验仪器与设备

KSPT-1 型可重构数字化测控试验平台

第三节 基本原理和方法

误差补偿的原理是采用数字的方法对误差进行补偿，其原理过程如下：首先，驱动步进电机在丝杠上预走一段距离；然后，将这段距离与理论值进行比较，从而可得出其误差值；接着，在下次采用的过程中，对其前一次采样中的误差进行补偿，其补偿是通过对步进电机的速度进行控制来达到的，使最终在滑动工作台上表现出标准丝杠的运动情况，即在整个误差补偿的过程中，通过不断调整步进电机的速度来实现误差的补偿控制。具体补偿过程如下：

在第一次采样中，步进电机按设定速度 V_1 驱动丝杠运动，假设其总共走的时间为 T_1 ，实际走的距离为 D_1 ，理论应当走的距离为 R_1 ，从而得出第一次采样中存在的误差 E_1 ，将这段误差计入第二次采样中进行补偿。

在第二次采样中，此时步进电机速度的设定要将第一次采样中存在的误差考虑进来，其速度需根据上一次的误差值进行调整，假设其速度为 V_2 ，总共走的时间为 T_2 ，在消除第一次误差后实际走的距离为 D_2 ，理论应当走的距离为 R_2 ，从而得出第二次采样中存在的误差 E_2 ，将这段误差计入第三次采样中进行补偿。依此类推，通过不断地调整步进电机的速度实现误差的数字补偿控制。

第四节 实验步骤

1. 构建本实验的测控试验平台。
2. 从菜单或工具栏中进入实验九，显示实验九主界面，如图 10-1 所示。用右下角操作工具栏中的按钮调好工作台的分度起点。



图 10-1 丝杠运动误差控制用户界面

3. 实时测量：点击“实时测量”按钮，仅驱动丝杠前进并检测出丝杠导程误差数据，形成误差数据文件，实时显示误差曲线。
4. 点击“误差补偿”位图按钮，进行误差测量补偿。
5. 点击“补偿结果”“测量数据”“补偿数据”其它位图按钮，显示补偿结果。
6. 点击“测量数据”和“补偿数据”位图按钮，显示丝杠误差的测量和补偿数据。

丝杠运动误差的数据补偿实验报告

专业班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 成绩：_____ 指导教师：_____

1. 打印补偿结果。
2. 根据实验原理分析丝杠运动误差控制的原理。

第十一章 评价加工工艺的合理性

第一节 实验目的与要求

- 1、了解形位精度、尺寸精度和表面粗糙度理论。
- 2、了解三坐标测量机、圆度仪、表面轮廓仪等工作原理及使用方法。
- 3、掌握综合评价零件的加工质量及加工工艺的合理性方法。

第二节 评价零件加工质量的实验方法

由实验的零件毛坯，经本课程实验 1~8 项目加工出实际零件之后，本实验利用三坐标测量机、圆度仪、表面轮廓仪器等，对零件主要表面要求的尺寸精度、形状精度、位置精度和表面粗糙度进行测量，对照零件图，给出是否达到质量要求的结论。

第三节 综合评价零件加工工艺对保证加工质量的合理性结论

根据上述测量是否达到零件加工质量要求的结论，综合评价零件的加工工艺规程（包括毛坯选择、基准选择、消除的自由度和夹紧方式、表面加工方法的选择、加工顺序的安排、工序组合、机械加工余量和工序尺寸的确定、切削用量的选择、工艺装备的选择等）、所选择的刀具、组装的组合夹具、选择的数控机床及编程、实际加工操作等对保证零件加工质量是否合理，并提出需要改进之处。

评价加工工艺的合理性实验报告

专业班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 成绩：_____ 指导教师：_____