

国家级实验教学示范中心机械类专业系列实验教材

机械制造技术 综合实验教程

江苏大学工业中心 编

宋昌才 袁晓明 沈春根

刘东雷 黄 舒 李 品

编著

JIXIE ZHIZAO JISHU
ZONGHE SHIYAN JIAOCHENG



江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

机械制造技术 综合实验教程

JIXIE ZHIZAO JISHU
ZONGHE SHIYAN JIAOCHENG

江苏大学工业中心 编

宋昌才 袁晓明 沈春根 编著
刘东雷 黄 舒 李 品

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术综合实验教程 / 宋昌才等编著. — 镇江:
江苏大学出版社, 2015.8
ISBN 978-7-5684-0009-1

I. ①机… II. ①宋… III. ①机械制造工艺—实验—
高等学校—教材 IV. ①TH16-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 203909 号

机械制造技术综合实验教程

编 著/宋昌才 袁晓明 沈春根 刘东雷 黄 舒 李 品

责任编辑/吴昌兴 郑晨晖

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/http://press. ujs. edu. cn

排 版/镇江华翔票证印务有限公司

印 刷/丹阳市兴华印刷厂

经 销/江苏省新华书店

开 本/787 mm×1 092 mm 1/16

印 张/15.75

字 数/383 千字

版 次/2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-5684-0009-1

定 价/35.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

实验教学是本科教学的组成部分,实验成绩按一定比例计入课程考评总成绩,因此学生的实验能力越来越受重视。

在机械工程学科教学改革中,教学体系改革中实践性教学环节的改进与提高,尤其是实验教学内容与方法的改进与提高,是一个非常重要的内容。课程实验贯穿于教学的全过程,对学生建立科学的实验思路、认识先进的实验系统、掌握科学的实验方法和技能等方面,具有不可替代的作用。在课程实验改革中,很重要的一点是创新,即创建一批具有高新技术水平的、采用计算机处理的、高度信息化的,同时又能揭示课程内容所阐述的基本原理的现代化教学实验。这样的实验系统可以放手让学生自己去做实验,改变了传统的只看不做的方式,提高学生自己动手做实验的实践能力。

本书共涵盖 14 门课程 43 个实验,分 5 个模块编写,分别是模块 A 机械制造技术类实验,包括机械制造技术基础、机械制造装备设计、机械制造自动化、机械故障诊断技术;模块 B 机电控制与单片机控制类实验,包括机电传动控制、单片机应用系统设计;模块 C 数控类实验,包括数控原理及编程技术、数控原理与系统、数控机床伺服及检测技术;模块 D 模具成型与特种加工技术类实验,包括塑料成型设备、冲压工艺及模具设计、精密与特种加工;模块 E 产品开发类实验,包括机械制造综合实验、模具设计与制造综合实验。

本书供机械制造、机电工程、机械设计、模具工程、农机工程、环保机械、食品机械、车辆工程、动力流体、动力机械、动力热能、动力节能减排、机械卓越、车辆卓越、流体卓越等机械类、近机类专业三年级和四年级本科生使用。

本书由江苏大学机械工程学院宋昌才、袁晓明、沈春根、刘东雷、黄舒、李品编著。由于时间紧迫,书中难免有疏漏或不足之处,敬请读者指正。

编 者

2015 年 8 月

目 录

模块 A 机械制造技术类实验

课程一 机械制造技术基础	002
实验一 刀具几何角度测量	002
实验二 切削力测量和分析	006
实验三 专用夹具	011
实验四 计算机辅助误差测量与分析	019
实验五 机床主轴回转精度测试	025
课程二 机械制造装备设计	029
实验一 普通车床传动与结构	029
实验二 机床噪声测试	037
实验三 组合夹具	041
课程三 机械制造自动化	046
实验一 MES 系统的使用	046
实验二 协同制造系统的使用	059
课程四 机械故障诊断技术	065
实验一 数控机床振动测量和故障分析	065
实验二 机床噪声测试与故障分析	069

模块 B 机电控制与单片机控制类实验

课程五 机电传动控制	082
实验一 直流电动机特性测试	082
实验二 单相桥式半控整流电路特性测试	089
实验三 晶闸管直流调速系统主要单元调试	093
实验四 交通信号灯的 PLC 控制	100
实验五 自动送料装车 PLC 控制	104

课程六 单片机应用系统设计	109
实验一 P1 口亮灯实验	109
实验二 步进电动机控制	111
实验三 工业顺序控制	113
实验四 A/D 转换实验	115
实验五 D/A 输出方波实验	117

模块 C 数控类实验

课程七 数控原理及编程技术	120
实验一 数控车床编程与操作	120
实验二 数控铣床编程与操作	126
实验三 插补原理与伺服控制	134
课程八 数控原理与系统	142
实验一 逐点比较法插补实验	142
实验二 数字积分法插补实验	146
实验三 刀具半径补偿原理实验	150
课程九 数控机床伺服及检测技术	152
实验一 旋转编码器特性测试实验	152
实验二 旋转变压器特性测试实验	155
实验三 步进电动机特性测试实验	159
实验四 交流伺服电动机特性测试实验	163

模块 D 模具成型与特种加工技术类实验

课程十 塑料成型设备	168
实验 热塑性塑料的注射成型	168
课程十一 冲压工艺及模具设计	170
实验 冲压工艺及模具	170
课程十二 精密与特种加工	174
实验一 电火花成型加工	174
实验二 激光加工实验——打标与雕刻	178
实验三 线切割加工技术	194
实验四 激光加工实验——激光焊接	198

模块 E 产品开发类实验

课程十三 机械制造综合实验	210
实验一 产品快速开发——选择性激光烧结	210
实验二 熔融挤压原型制造	214
实验三 复杂零件的 CAD/CAM 实验	220
课程十四 模具设计与制造综合实验	236
实验一 产品快速开发——MCP 真空铸形实验	236
实验二 逆向工程实验	240

机械制造技术类实验

课程一 机械制造技术基础



实验一 刀具几何角度测量



一、实验目的

- (1) 了解车刀量角台的构造与工作原理；
- (2) 掌握车刀几何角度测量的基本方法；
- (3) 加深对车刀各几何角度、各参考平面及其相互关系的理解。

二、实验仪器及刀具

- (1) 仪器: 回转工作台式量角台；
- (2) 车刀: 直头外圆车刀($\lambda_s = 0^\circ$)；
直头外圆车刀($\lambda_s < 0^\circ$)。

三、回转工作台式量角台的结构

回转工作台式量角台的结构如图 1.1-1 所示。底盘为圆盘形,在零度线的左右方向分别标有量程为 100° 的刻度值,用于测量车刀的主偏角和副偏角,通过底盘指针读出角度值。平台可绕底盘中心在零刻度线左右 100° 范围内转动。

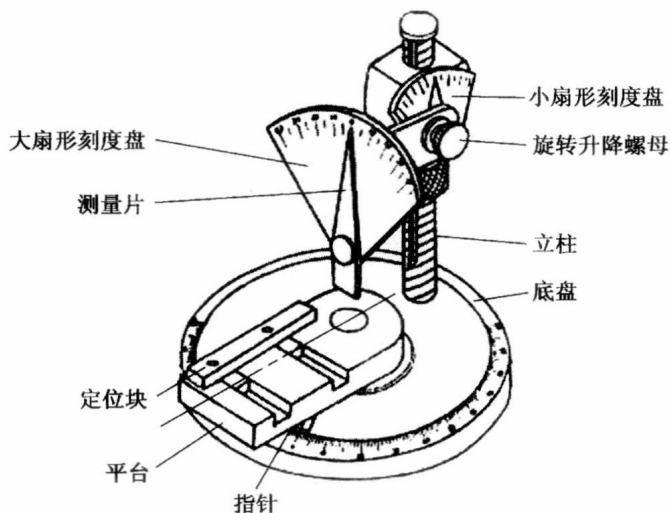


图 1.1-1 量角台的结构

定位块可在平台上平行滑动,作为车刀的基准;测量片结构如图 1.1-2 所示,由主平面(大平面)、底平面、侧平面三个成正交的平面组成,在测量过程中,根据不同的情况可分别用以代表剖面、基面、切削平面等。大扇形刻度盘上有正负 45° 的刻度,用于测量前角、后角、刃倾角,通过测量片的指针指出角度值;立柱上制有螺纹,旋转升降螺母就可以调整测量片相对车刀的位置。

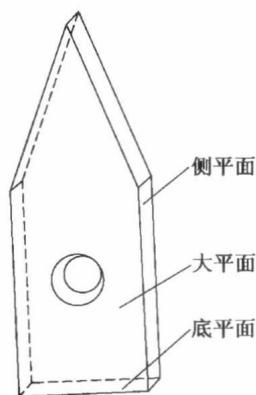


图 1.1-2 测量片结构

四、实验内容

(1) 利用车刀量角台分别测量 $\lambda_s = 0^\circ$, $\lambda_s < 0^\circ$ 的直头外圆车刀的几何角度。要求测量 $k_r, k'_r, \lambda_s, \gamma_o, \alpha_o, \alpha'_o$ 等共 6 个基本角度。

(2) 记录所测量的数据,并计算出刀尖角 ϵ 和楔角 β 。

五、实验步骤

1. 测量前的调整

调整量角台使平台、大扇形刻度盘和小扇形刻度盘指针全部指零,使定位块侧面与测量片的大平面垂直,则

- ① 主平面垂直于平台平面,且垂直于平台对称线。
- ② 底平面平行于平台平面。
- ③ 侧平面垂直于平台平面,且平行于平台对称线。

2. 测量前的准备

把车刀侧面紧靠在定位块的侧面上,使车刀能和定位块一起在平台平面上平行移动,并且可使车刀在定位块的侧面上滑动,这样就形成了一个平面坐标,可以使车刀置于一个比较理想的位置。

3. 测量车刀的主(副)偏角

(1) 根据定义测量主(副)刀刃在基面的投影与走刀方向的夹角。

(2) 确定走刀方向:由于规定走刀方向与刀具轴线垂直,在量角台上即垂直于零度线,故可以把主平面上平行于平台平面的直线作为走刀方向,其与主(副)刀刃在基面的投影有一夹角,即为主(副)偏角。

(3) 测量方法:顺(逆)时针旋转平台,使主刀刃与主平面贴合。如图 1.1-3 所示,即主(副)刀刃在基面的投影与走刀方向重合,平台在底盘上所旋转的角度,即底盘指针在底盘刻度盘上所指的刻度值为主(副)偏角 $k_r(k'_r)$ 的角度值。

4. 测量车刀刃倾角(λ_s)

(1) 根据定义测量主刀刃与基面的夹角。

(2) 确定主切削平面:主切削平面是过主刀刃与主加工表面相切的平面,在测量车刀的主偏角时,主刀刃与主平面重合,就使主平面可以近似地看作主切削平面(只有当 $\lambda_s = 0$ 时,与主加工表面相切的平面才包含主刀刃),当测量片指针指零时底平面可作为基面。这样就形成了在主切削平面内,基面与主刀刃的夹角,即刃倾角。

(3) 测量方法:旋转测量片,即旋转底平面(基面)使其与主刀刃重合。如图 1.1-4 所

示,测量片指针所指刻度值为刃倾角。

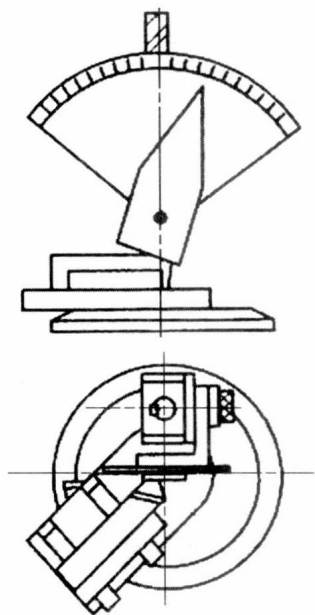


图 1.1-3 测量车刀的主偏角图

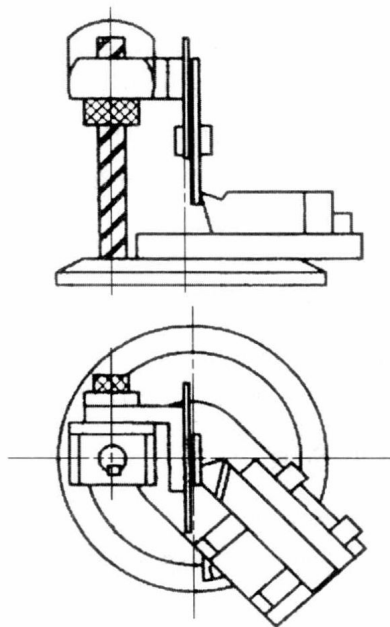


图 1.1-4 测量车刀刃倾角

5. 测量车刀主剖面内的前角 γ_o 和后角 α

(1) 定义:主前角是指在主剖面内,前刀面与基面的夹角。主后角是指在主剖面内后刀面与主切削平面的夹角。

(2) 确定主剖面:主剖面是过主刀刃一点,垂直于主刀刃在基面的投影。

(3) 在测量主偏角时,主刀刃在基面的投影与主平面重合(平行),如果使主刀刃在基面的投影相对于主平面旋转 90° ,则主刀刃在基面的投影与主平面垂直,即可把主平面看作主剖面。当测量片指针指零时,底平面作为基面,侧平面作为主切削平面,这样就形成了在主剖面内,基面与前刀面的夹角,即前角(γ_o);主切削平面与后刀面的夹角,即后角(α_o)。

(4) 测量方法:使底平面旋转与前刀面重合,如图 1.1-5 所示,测量片指针所指刻度值为前角;使侧平面(即主切削平面)旋转与后刀面重合,如图 1.1-6 所示,测量片指针所指刻度值为后角。

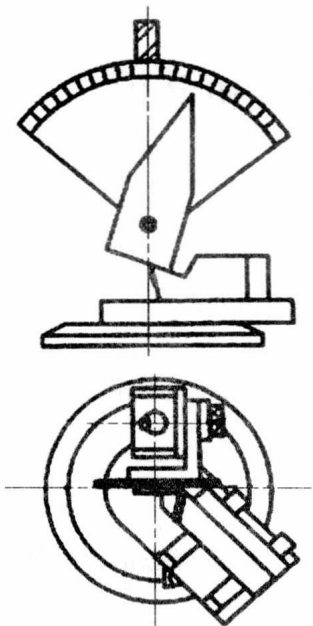


图 1.1-5 测量车刀前角

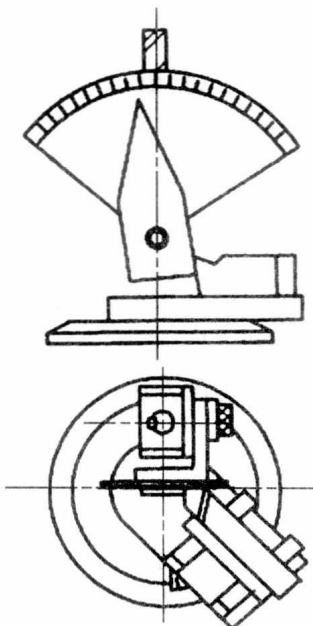


图 1.1-6 测量车刀后角

6. 副后角的测量

副后角的测量方法与主后角的测量方法相近,所不同的是须把主平面作为副剖面。

六、实验结果

将测得的角度值记录在表 1.1-1 中并计算出楔角 β_o 和刀尖角 ϵ_r ,以及其他角度的值,并进行比较、分析其误差原因,写在实验报告中。

表 1.1-1 车刀几何角度测量结果记录

基本角度	$\lambda_s=0^\circ$ 直头外圆车刀	$\lambda_s<0^\circ$ 直头外圆车刀	备注
主偏角 k_r			
刃倾角 λ_s			
前 角 γ_o			
后 角 α_o			
副偏角 κ'_r			
副后角 α'_o			
楔 角 β_o			
刀尖角 ϵ_r			



实验二 切削力测量和分析



一、实验目的

- (1) 了解三向压电晶体力传感器的工作原理和运用场合；
- (2) 掌握三向动态切削力实时采集和处理的基本方法；
- (3) 掌握数据处理的方法,能在给定切削用量条件下推导出切削力经验公式。

二、实验设备

- (1) 加工中心；
 - (2) 三向压电晶体测力板(9257B)、连接电缆、分线器、准静态电荷模块、多通道数据采集分析系统(计算机、显示器等)；
 - (3) 刀具:三刃立铣刀,直径 6 mm；
 - (4) 加工零件材料:铸铝 LY104。
- 本实验测试系统的结构如图 1.2-1 所示。

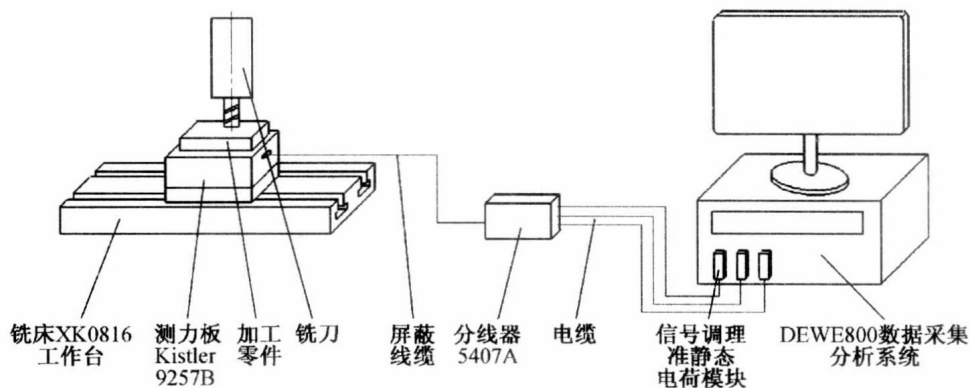


图 1.2-1 三向动态切削力测量系统的结构

三、实验原理

切削力是切削加工中的一个重要参数,影响切削力的因素包括工件材料、切削用量、刀具几何参数、刀具材料、刀具磨损状态和切削液等。而了解切削力变化规律不仅是机床动态特性研究的需要,也是提高机械加工精度、优化切削刀具几何参数的需要。随着数控技术的发展,切削力的测量和分析已成为数控自适应控制的重要判据。目前切削力的获取有理论法和实验法两种,切削力的理论计算公式是在忽略温度等条件的情况下推导出来的,只能用于定性分析。通过实验获得切削力的方法是利用测力仪直接测出切削力,再通过数据处理得到经验公式,因此相对理论计算更准确和方便。

测力仪的测量原理是利用切削力作用在测力仪的弹性元件上所产生的变形,或作用在

压电晶体上产生的电荷经过转换和放大为电压值,再经过 A/D 转化为数字量,直接得到各个方向力的大小和动态变化情况。

图 1.2-2 所示为三向压电石英晶体传感器的结构。

此类传感器由 3 对不同切片的石英晶片装入壳体内部构成。其中一对晶片采用具有纵向压电效应的切片,只能测量垂直的 Z 向力,而另外两对晶片由于采用具有切向效应的切片,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 3 个分力并输出。

由于压电石英晶体传感器具有刚性好、灵敏度高、频率响应宽和测量范围宽等优点,可以精确测量出车削、铣削、钻削和磨削等切削力和切削扭矩的准静态和实时动态变化,配合相应的数据采集、分析软件,可以进行切削力的频响函数和相关性分析。

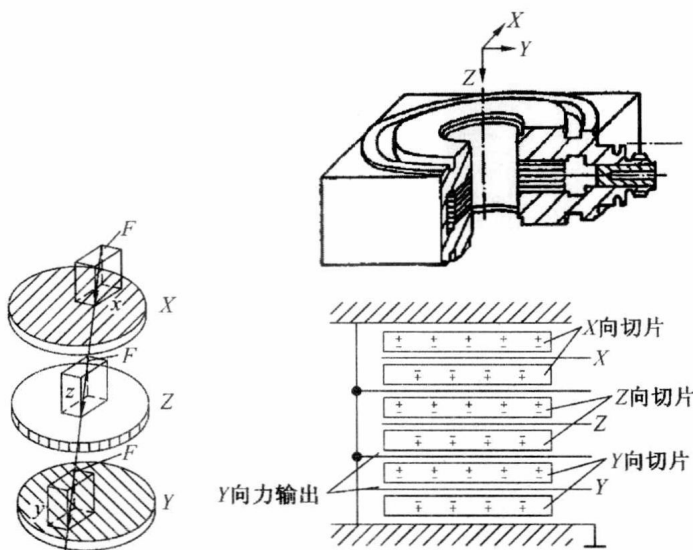


图 1.2-2 三向压电晶体传感器的结构

测力实验的方法有单因素法和多因素法,通常采用单因素法,即固定其他实验条件,在切削时分别改变切削深度 a_p 或进给量 f ,并从测力仪上读出对应的切削力数值,然后经过数据整理求出它们之间的函数关系式。

四、实验步骤

本实验采用单因素测量法,即在其他因素不变的情况下,考察切削深度 a_p 或进给量 f 对主切削力产生的影响。

1. 三向动态铣削力实时测量

① 按照测试系统工作框图,将测力板、分线器、数据采集系统连接好。

② 将测力板牢固压紧在数控铣床工作台上,将加工零件压紧在测力板顶板上。

③ 启动计算机,打开测试系统,进入如图 1.2-3 所示的参数设置界面(测试软件为 DEWESoft),分别进行测试文件名称、测试日期、采样频率、通道名称和通道中测试范围、灵敏度等的设置,并保存设置参数。

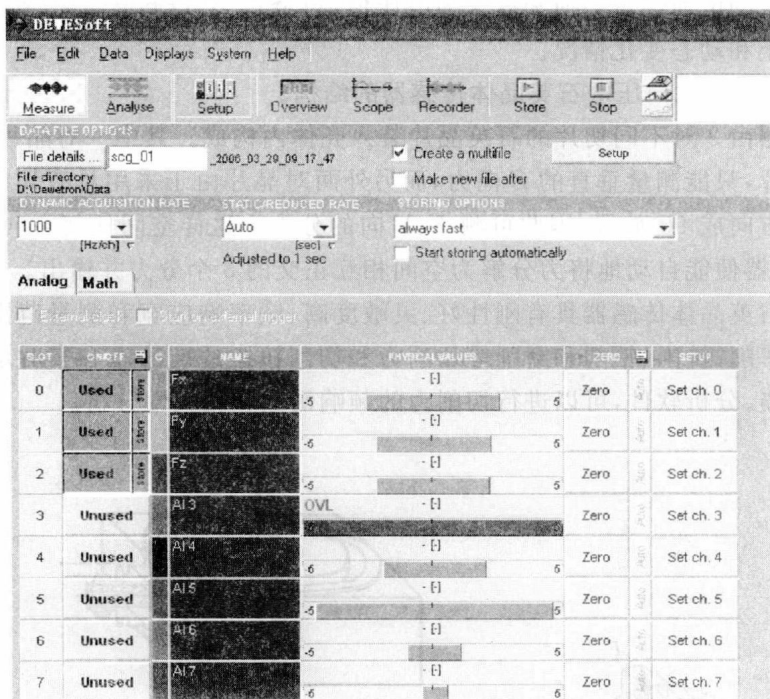


图 1.2-3 测试系统参数设置界面

④ 按下“Scope”按钮,进入如图 1.2-4 所示的采集界面,增添好 F_x , F_y 和 F_z 采集通道的切削力数据(均方值)显示窗口,等待切削开始。

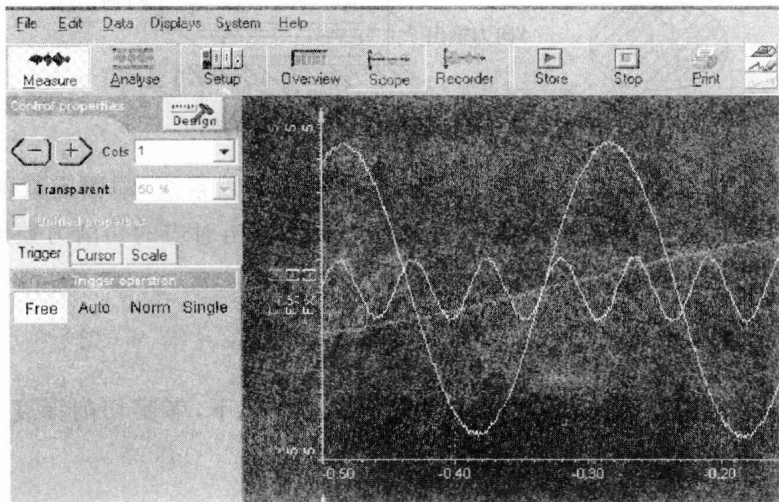


图 1.2-4 测试系统开始采集界面

⑤ 启动数控铣床,移动铣刀进入加工零件顶面,对好刀,启动主轴,转速设置为 600 r/min,实时测量的切削用量见表 1.2-1,在固定进给量的条件下,分别测量出在不同切削深度下的三向铣削力,开始切削时按下“Store”按钮。

表 1.2-1 切削深度对切削力影响数据表 ($f=60 \text{ mm/min}$)

切削深度 a_p/mm	切削力 F_z/N	切削深度 a_p/mm	切削力 F_z/N
0.5		1.5	
1.0		2.0	

⑥ 切削一段距离后按下“Stop”按钮,通过分析和打印,得到三向铣削力的动态测量数据显示图。

⑦ 求出其中的铣削切向力(即铣削主切削力 F_z)的均方值,填入表 1.2-1 中。

⑧ 采用同样的方法,测出在不同进给量条件下的主切削力平均值,并填入表 1.2-2 中。

表 1.2-2 进给量对切削力影响数据表 ($a_p=1 \text{ mm}$)

进给量 $f/(\text{mm/min})$	切削力 F_z/N	进给量 $f/(\text{mm/min})$	切削力 F_z/N
60		180	
120		240	

2. 主切削力数据处理及经验公式推导

对主切削力 F_z 进行数据处理,以切削深度 a_p 和进给量 f 为变量求出其经验公式。

(1) 手工数据处理

要推导经验公式 $F_z = C_{F_z} \cdot a_p^{X_{F_z}} \cdot f^{Y_{F_z}}$, 由于采用的是单因素测量法,所以可做如下处理:

① 固定 $f=f_0=0.1 \text{ mm/min}$, 则

$$F_z = C_{F_{z1}} \cdot a_p^{X_{F_z}} \cdot f_0^{Y_{F_z}},$$

令 $C_{F_{z1}} \cdot f_0^{Y_{F_z}} = C_{a_p}$, 可得

$$F_z = C_{a_p} \cdot a_p^{X_{F_z}} \quad (1.2.1)$$

$$C_{F_{z1}} = \frac{C_{a_p}}{f_0^{Y_{F_z}}} \quad (1.2.2)$$

② 固定 $a_p=a_{p0}=1 \text{ mm}$, 则

$$F_z = C_{F_{z2}} \cdot a_{p0}^{X_{F_z}} \cdot f^{Y_{F_z}},$$

令 $C_{F_{z2}} \cdot a_{p0}^{X_{F_z}} = C_f$, 可得

$$F_z = C_f \cdot f^{Y_{F_z}} \quad (1.2.3)$$

$$C_{F_{z2}} = \frac{C_f}{a_{p0}^{X_{F_z}}} \quad (1.2.4)$$

式(1.2.1)在对数坐标系中可写成 $\lg F_z = \lg C_{a_p} + X_{F_z} \lg a_p$, 令 $Y = \lg F_z$, $X = \lg a_p$, $a = \lg C_{a_p}$, $b = X_{F_z}$, 则上式可写为

$$Y = a + bX,$$

这个方程式为 Y 对 X 的线性回归方程, a, b 称为回归系数。

用测得的第一组数据在对数坐标系中将实验点描绘出来,然后用一条直线去逼近各实验点,即用这条直线表示的 X 和 Y 之间的关系与实验数据的误差最小,

$$\delta i = Y_i - Y_{i0} = Y_i - (a + bX_{i0}),$$

一般将每个误差的平方和作为总误差 Q , 即

$$Q = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{i0})^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - a - bX_{i0})^2,$$

然后用最小二乘法确定 a, b , 使由 a, b 确定的直线与各实验点的偏差是最小的, 从而求得 C_{ap} 和 X_{F_z} 。相关系数 γ 用来描述两个变量 X, Y 之间线性关系的密切程度。

同理, 可求得 C_f 和 Y_{F_z} 。再将其代入式(1.2.3)、式(1.2.4)中可求得 $C_{F_{z1}}, C_{F_{z2}}$ 。理论上 $C_{F_{z1}} = C_{F_{z2}}$, 由于实验中存在误差, 其值可能不相等, 则 C_{F_z} 为 $C_{F_{z1}}$ 与 $C_{F_{z2}}$ 的平均值, 即 $C_{F_z} = \frac{C_{F_{z1}} + C_{F_{z2}}}{2}$ 。从而可以推导出综合经验公式。

(2) 计算机辅助数据处理

将测得的两组数据(取实时动态的平均值)分别输入计算机, 计算机将完成最小二乘法的线性回归计算, 得到两个形式为 $Y = A \cdot X^B$ 的式子。当 X 表示切削深度 a_p 时, A 为 C_{a_p} , B 为 X_{F_z} ; 当 X 表示进给量 f 时, 式中 A 为 C_f , B 为 Y_{F_z} , 求得 $C_{a_p}, X_{F_z}, C_f, Y_{F_z}$ 。将其代入式(1.2.2)、式(1.2.4)中可求得 $C_{F_{z1}}$ 和 $C_{F_{z2}}$ 。



思考题

1. 简述三向压电石英晶体力传感器的工作原理和运用场合。
2. 根据三向铣削动态切削力的实时图, 初步分析铣削力分布特点, 简述三向动态铣削力测量的目的和运用场合。
3. 整理出主切削力的经验公式, 比较切削深度 a_p 和进给量 f 分别对主切削力的影响程度。
4. 分析本次实验中测试系统采样频率选用和设置的依据。