

上海大学自学考试

机械制造基础
实验指导

上海大学

2002年10月10日

实验一 Y3150E 型滚齿机调整

一、实验目的

1. 了解齿轮加工过程及滚齿机的调整方法
2. 掌握滚齿机调整过程中的滚刀转速的计算及选择方法。
3. 掌握滚齿机调整过程中范成运动链中分齿挂轮的计算及选择方法。
4. 掌握在滚齿机调整过程中对滚切斜齿轮时的附加运动链挂轮的计算及选择方法。
5. 掌握滚刀的安装角度计算
6. 通过实验使同学能更好地熟悉、掌握滚齿加工的基本原理和特点

二、Y3150E 滚齿机的介绍

Y3150E 型滚齿机的主要技术性能

名称	参数	备注
工件最大直径	500(mm)	
工件最大加工宽度	250(mm)	
工件最大模数	3(mm)	
工件最小齿数	Z _{min}	5×K _{分齿}
滚刀主轴转速级数		40、50、62、100、125、160、200、250(r/min)
刀架轴向进给量级数		0.4、0.56、0.63、0.87、1.1、1.6、1.8、2.5、2.9、4(mm)

机床轮廓尺寸(长×宽×高) 2439×1272×1770(mm)

机床重量 约 3450(kg)

2. 机床的用途和外形

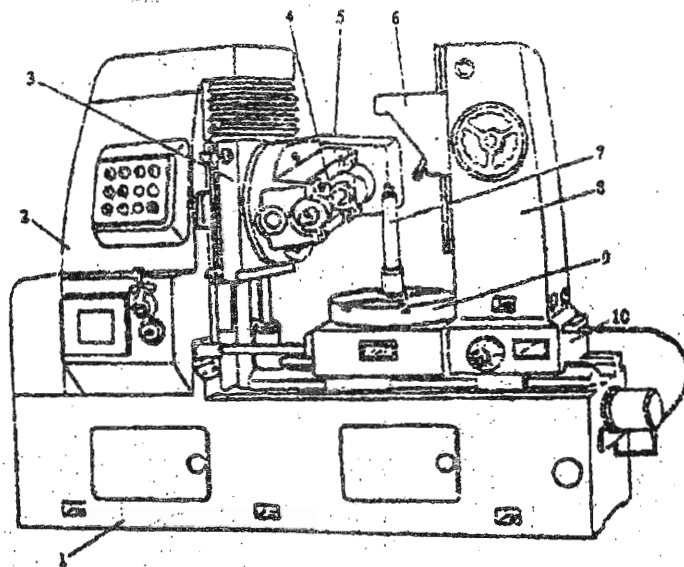


图 1-1 Y3150E 滚齿机

- 1- 床身 2-立柱 3-刀架滑板 4-刀杆 5-刀架体 6-支架 7-工件轴
8-后立柱 9-工作台 10-床板

通用滚齿机主要用于加工直齿、斜齿圆柱齿轮和蜗轮，在机床上也可以加工花键轴。

该齿机的布局形式一般有立柱移动式和工作台移动式两种。图 1-1 所示为 Y3150E 型滚齿机的外形。它属于工作台移动式的一种机床。刀架溜板 3 可沿床身 1 上的立柱 2 上导轨作垂直进给移动。滚刀用刀杆 4 安装在可旋转成一定角度的刀架体 5 上作旋转切削运动。工件安装在工作台 9 上的芯轴 7 上，随工作台旋转作范成运动。后立柱 8 和工作台 9 均装在床鞍 10 上，可沿床身水平导轨移动，用于调整工件的径向位置或作径向进给运动。后立柱 8 上的支架 6 用于支承工件芯轴的上端，可增加切削加工中的稳定性。

三、滚齿加工原理与机床传动运动分析

滚齿加工属范成法加工，滚齿加工是根据范成法原理来加工齿轮轮齿的。用齿轮滚刀加工齿轮的过程，相当于一对交错轴螺旋齿轮副的啮合滚动过程，如图 1-1 所示。将其中的一个齿轮齿数减少到一个或几个，

轮齿的螺旋角很大，就形成了蜗杆形齿轮。再将“蜗杆”开槽并铲背，就形成了齿轮滚刀。因此滚刀实际上是一个斜齿圆柱齿轮，当机床的传动系统使该刀具和工件严格地按一对斜齿圆柱

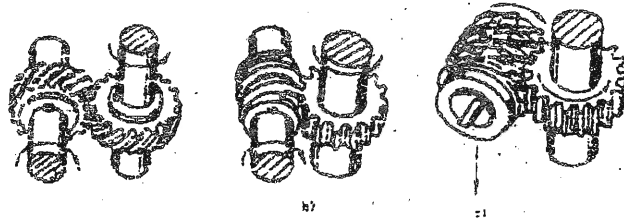


图 1-2 滚齿原理

齿轮的速比关系作旋转运动时，该刀就可以在工件上连续不断滚切出齿轮轮齿来。

1. 滚切直齿圆柱齿轮

从机床运动分析的规律可知，用滚刀加工直齿圆柱齿轮，机床必须具有以下两个成形运动：一个是形成渐开线(母线)所需的范成运动，这是个复合运动，它由工件的旋转和刀具的旋转而合成；另一个是形成导线所需的滚刀沿工件轴向的移动，要完成以上两个成形运动，机床必须具有三条运动传动链；见图 1-3。

2. 滚切斜齿圆柱齿轮

斜齿圆柱齿轮与直齿圆柱齿轮一样，其端面均为渐开线。所不同的是，斜齿圆柱齿轮的齿宽方向不是直线而是一条螺旋线，见图 1-4。因此，从成形运动的角度来看，加工斜齿圆柱齿轮，仍然需要两个成形运动：一个是形成渐开线(母线的范成运动；它是由刀具的旋转和工件的旋转两部分合成；另一个是形成螺旋线(导线)的成形运动，这个运动与

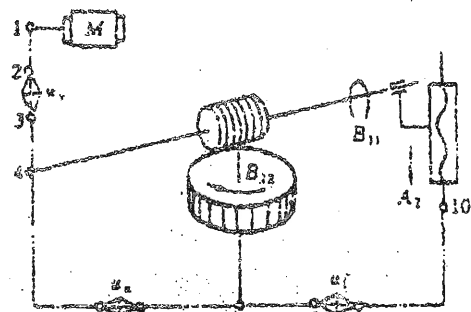


图 1-3 滚切直齿圆柱齿轮的传动原理图

加工蜗状形成螺旋线的运动有相同之处，即是一个复合运动，它由工件的旋转和刀具沿工件轴向移动复合而成，当工件旋转一转时，刀具应沿工件

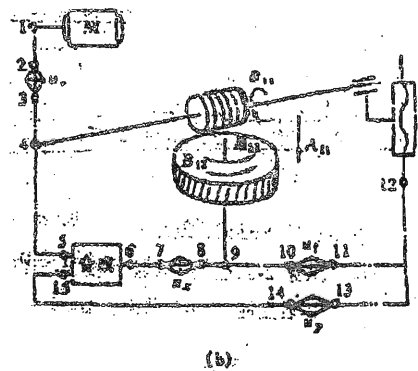
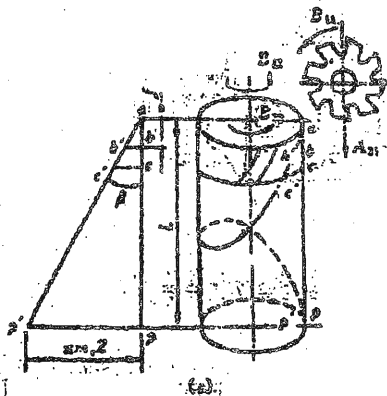


图 1-4 滚切斜齿圆柱齿轮的传动原理图

轴向移动一个导程的距离。直齿和斜齿因挂齿轮的区别在于导线的不同。与滚切直齿圆柱齿轮的传动原理图相比较，传动系统多了一条传动链(附加运动传动链)和一个运动合成机构。

刀架和工件之间传动联系保证刀架直线移动一个导程时，通过合成机构使工件得到的附加转动为一转。这条传动链与车床上形成螺旋线的进给传动链的性质一样，属于内联系传动链。除此之外，滚切斜齿圆柱齿轮的传动联系和实现传动联系的各条传动链，都与滚切直齿圆柱齿轮时相同。因而，如要完成以上两个成形运动，机床必须具有四条运动传动链。

滚刀的刀齿是沿螺旋线分布的，加工圆柱齿轮时，为了使滚刀刀齿的齿向与工件齿向方向相一致，应根据工件的螺旋升角，来确定滚刀的安装角度，如图 1-5 所示。

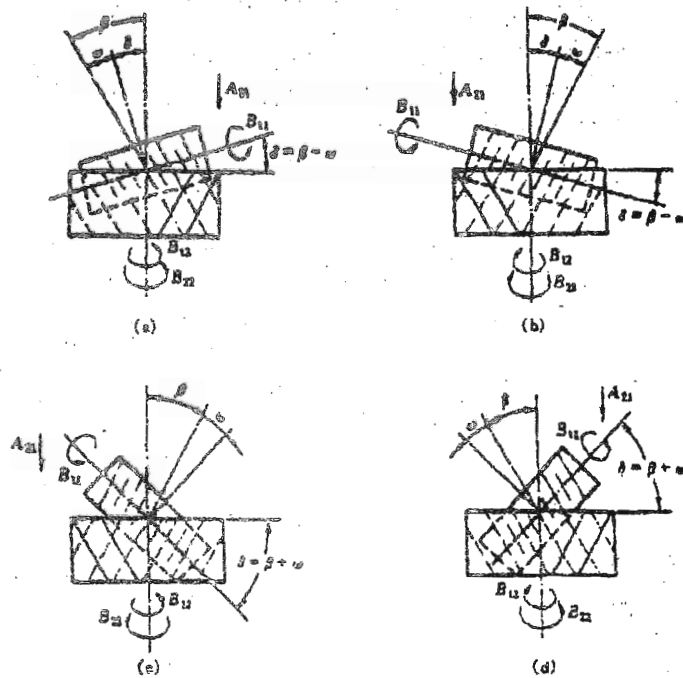


图 1-5 滚刀的安装角

- (a) 用右旋滚刀加工右旋齿轮；(b) 用左旋滚刀加工左旋齿轮；
- (c) 用右旋滚刀加工左旋齿轮；(d) 用左旋滚刀加工右旋齿轮

四. 实验内容及要求

实验内容

滚齿加工前，必须根据齿轮的设计要求，滚刀的几何参数和切削用量确定滚齿机的调整内容。滚齿机的调整内容有许多项，机床传动链的调整是主要调整内容。它们分别是：确定各个运动传动链的速比挂轮传动比；确定各个运动传动链的转速方向及是否使用惰轮；确定滚刀安装角等。实验中，实验员通过加工示范操作与讲解，向同学展示滚齿加工过程和滚齿机调整实施方法。

实验要求

在实验中，同学通过观察实际齿轮加工全过程，熟悉滚齿机的调整工作内容、增加对齿轮加工的感性认识。同时，记录所加工齿轮的设计要求、所用滚刀的几何参数和切削用量、计算校核各个运动传动链的速比挂轮传动比；运动传动链的转速方向、滚刀安装角参数等、验证各项计算公式的正确性和实用方法。

机床主要调整内容与计算方法

1. 切削用量的确定：进给速度 f 和滚刀切削速度 u 是滚齿加工中的切削用量参数，一般的选择原则是齿轮得当模数较大齿数较少、材料较硬、机床刚性较差时选择较低的进给量和切削速度；粗滚时选择较大的进给量而降低切削速度；精滚时相反。如需减小表面粗糙度时可提高切削速度并降低进给量。[参考书《金属机械加工工艺人员手册》]

2. 机床主运动传动链的调整—确定滚刀转速

根据滚刀转速计算公式($n = \frac{1000u}{\pi D_n}$ 单位: r/min), 选择与之相近的机床主运动转速 n 。

式中的 u 为滚刀线速由[参考书《金属机械加工工艺人员手册》]查得, D_n 为滚刀分度圆直径

根据所选的机床主运动转速确定机床主运动速比挂轮组 $\frac{A}{B}$ 值

3. 机床范成运动传动链的调整

根据工件齿数、滚刀头数, 范成运动传动链换置公式确定 u_x

由 u_x 、 f 、 e 值查附表确定范成运动分齿挂轮 a 、 b 、 c 、 d [注 1]

4. 滚刀轴向进给运动传动链的调整

由滚刀参数及工件参数查表确定进给量经验值 f_s , [参考书《金属机械加工工艺人员手册》]

由进给量经验值 f_s 、轴向进给传动链换置公式确定 u_f

由 u_f 及轴向进给传动链速比挂轮组 ($\frac{26}{52} \frac{32}{46} \frac{46}{32} \frac{52}{26}$) 选择相应的速比挂轮组, 代入

轴向进给传动链平衡式, 校核是否接近进给量经验值 f_s 值。

5. 机床附加运动传动链的调整 (加工斜齿轮)

由工件参数及机床附加运动换置公式计算 u_y , 并根据工件齿轮加工精度级别确定 u_y 的数据有效小数位数, 该值的大小与齿轮的加工精度有关;

根据 u_y 值确定速比挂轮值 a_2 、 b_2 、 c_2 、 d_2 [注 2]。

6. 滚刀安装角度确定

由滚刀的螺旋升角及旋向、工件的螺旋升角及旋向计算齿轮滚刀安装角度 (可参看教科书)

[注 1: 表见附录 2]

[注 2: 计算方法见附录 3]

五. 实验报告要求

实验报告用纸必须选用学校实验报告标准用纸。

实验报告格式须按下列实验报告内容要求撰写

实验报告内容:

1. 记录实验条件数据, 格式如下

表一 加工齿轮参数

工件材料	齿数	模数	螺旋角	齿轮加工精度	装夹定位形式

表二 刀具参数及切削用量

滚刀材料	滚刀螺旋角	滚刀头数	滚刀外径	滚刀轴向进给量

表三 机床各个传动链速比挂轮值

名称	A(a _i)	B(b _j)	c _i	d _j	是否安装惰轮, 为什么?
主运动传动链速比挂轮					
范成运动传动链分齿挂轮					
轴向进给运动传动链速比挂轮					
附加运动传动链速比挂轮					
滚刀安装角					

2. 机床调整参数校核

请按下表格式将计算过程结果列表

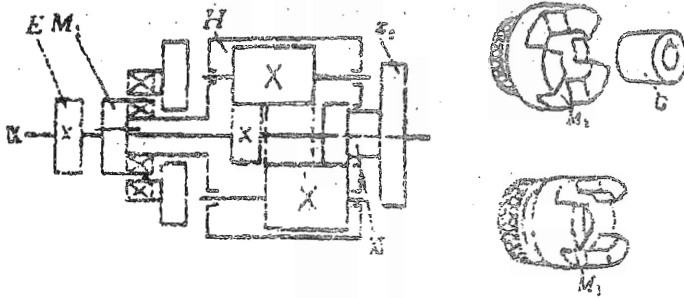
校核项目	计算公式	计算结果	计算校核结果
主运动传动链换置公式 U_1			
范成运动传动链换置公式 U_2			
轴向进给运动传动链换置公式 U_f			
附加运动传动链换置公式 U_p			
滚刀安装角计算公式			

附件

1) 滚齿机合成机构分析

在滚齿机上加工斜齿圆柱齿轮时, 展成运动传动链和附加运动传动链通过运动合成机构将其传递的运动合成起来, 传到工作台。

滚齿常用的运动合成机构有圆柱齿轮行星机构和圆锥齿轮行星机构两种。图 2.5-21 是 Y3150E 型滚齿机所用圆锥行星轮传动机构, 现以此为例说明运动合成机构的工作原理及传



述加工圆锥行星轮传动链运动输入滚齿工滚齿时, 工件 (工作台) 不随展成运动, 只随附加运动转动, 展成机构在不展成运动合成作用, 此时应取下离合器 C, 离合器装在轴 I 上 (图 2.5-21b), 此时圆锥行星架和行星轮的端面齿顶圆, 或齿顶圆与齿顶圆, 通过轴与轴 I 连接, 这样行星架和行星轮与轴 I 组成一个整体, 转速 n_1, n_2, n_3, n_4 之间不再存在速度差, 行星架和行星轮的齿顶圆已组成一个圆环, 因此, 滚齿时滚刀, 按法: 展成运动传动链以轴 I 为轴 I, 此时合成运动的传动比 $u_H = 1$ 。

当加工行星行星轮传动链, 在轴 I 上先装离合器 C, 并用轴 I 轴, 再装离合器 C, 离合器装在轴 I 上, 离合器 C, 齿顶圆齿与行星齿轮 X 的齿顶圆齿以轴 I 为轴 I 齿顶圆齿组成圆环, 将它们装在一起, 因而行星架和行星轮的齿顶圆齿组成一个圆环。

设 n_1, n_2, n_3 分别为轴 I, 行星架和行星 H 的转速, 按行星轮传动链传动原理, 它们有下列传动关系:

$$\frac{n_3 - n_H}{n_H - n_1} = (-1)^m \frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} \times \frac{z_5}{z_6}$$

式中 m 为传动副对数, 这里 $m=3$ 。

将齿轮齿数代入, 对上式化简得:

$$\frac{n_3 - n_H}{n_H - n_1} = 1$$

即: $n_3 = 2n_H - n_1$

运动合成机构在展成运动传动链和附加运动传动链中的传动比可根据上式求得:

1) 在展成运动传动链中, 运动由齿轮 X 传到轴 I, 设 $n_H = 0$, 则轴 I 与轴 X 的传动比为:

$$u_1 = \frac{n_1}{n_X} = -1$$

2) 在附加运动传动链中, 运动由齿轮 X 传到行星架 H, 再经过运动合成机构至轴 I。设 $n_1 = 0$, 则轴 I 与行星架 H 的传动比为:

$$u_2 = \frac{n_1}{n_H} = 2$$

综上所述, 加工斜齿圆锥齿轮时, 展成运动和附加运动同时通过合成机构, 并分别按传动比 $u_1 = -1$ 及 $u_2 = 2$ 经轴 I 和行星架 H 传出。

挂轮速查表

齿数 Z	a	b	c	d	齿数 Z	a	b	c	d
40	45			75	72	30			90
41	48	41	45	90	73	24			73
42	40			70	74	30	37	24	60
43	48	43	45	90	75	24			75
44	30			55	76	30			95
45	48			90	77	20	55	60	70
46	48			92	78	45	65	40	90
47	45	47	48	90	79	24			79
48	45			90	80	24			80
49	48			98	81	40	45	30	90
50	48			100	82	48	41	25	100
51	40			85	83	24			83
52	30			65	84	24	70	50	60
53	40	80	48	55	85	24			85
54	40			90	86	45	43	24	90
55	40	80	48	55	87	24	58	50	75
56	30			70	88	30	55	40	80
57	40			95	89	24			89
58	40	80	48	58	90	24			90
59	40	80	48	59	91	30	65	40	70
60	40	80	38	60	92	24			92
61	40	80	48	61	93	24	62	50	75
62	40	80	48	62	94	24	47	45	90
63	40	70	50	75	95	24	60	40	95
64	30			80	96	30			80
65	24			65	97	24			97
66	40	55	45	90	98	24			98
67	24			67	99	40	55	30	90
68	30			85	100	24			100
69	48	60	40	92	\	\	\	\	\
70	24			70	\	\	\	\	\
71	24			71					

附录3 附加运动速比挂轮的计算方法

滚切斜齿轮时，需确定附加运动的速比挂轮，因附加运动的换置公式中有一无理数因子，故求得的传动比值将是带有限位小数的近似值。该值的精度直接影响到加工后斜齿轮的螺旋线升角精度。因而必须严格地按所需的精度配置速比挂轮。下例是关于如何按计算出的传动比值，确定数比挂轮

例1，已知附加运动的速比挂轮的传动比值 $i = 0.5741239$ 请求出所用的挂轮齿数值。

分解为现有的交换齿轮齿数。

如： $i = 0.5741239$ (分成整数部分和小数部分)

$$\frac{1}{a'} = \frac{1}{0.5741239} = \frac{1.7417843}{b'}$$

$$\frac{1}{b'} = \frac{1}{0.7417843} = \frac{1.3481009}{c'}$$

$$\frac{1}{c'} = \frac{1}{0.2481009} = \frac{2.8727311}{d'}$$

$$\frac{1}{d'} = \frac{1}{0.2727311} = \frac{1.1459283}{e'}$$

$$\frac{1}{e'} = \frac{1}{0.1459283} = \frac{6.8573795}{f'}$$

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{0.8573795} = \frac{1.1663446}{g'}$$

$$\frac{1}{g'} = \frac{1}{0.1663446} = \frac{6.0116168}{h'}$$

由此， $i = 0.5741239$ 的近似分数，

$$i = 0 + \frac{1}{b + \frac{1}{c + \frac{1}{d + \frac{1}{e + \frac{1}{f + \frac{1}{g + \frac{1}{h}}}}}}}$$

$$= 0 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{6 + \frac{1}{1 + \frac{1}{6}}}}}}}}$$

$$= \frac{213}{371} = \frac{30 \times 71}{70 \times 53} = 0.57412398$$

实验二 主轴回转精度的测定

一、概述

随着机械制造业的发展,对零件的加工精度要求越来越高,由此对机床精度要求也越来越高。作为机床核心——主轴部件的回转误差运动,直接影响机床的加工精度,它是反映机床动态性能的主要指标之一,在《金属切削机床样机试验规范》中已列为机床性能试验的一个项目。多年来,国内外一直在广泛开展对主轴回转误差运动测量方法的研究,并取得一定的成果。

研究主轴误差运动的目的是,一是找出误差产生的原因,另一是找出误差对加工质量影响的大小。为此,不仅对主轴回转误差运动要能够进行定性分析,而且还要能够给出误差的具体数值。

过去流行的测试与数据处理方法,是传统的捷克 VUOSO 双向测量法和美国 LRL 单向测量法。前者适用于测试刀具回转型主轴径向误差运动,后者适用于测试工件回转型主轴径向误差运动。两种方法都是在机床空载或模拟加工的条件下,通过对基准球(环)的测量,在示波器屏幕上显示出主轴回转而产生的圆图像。将圆图像拍摄下来便可用圆度样板读取主轴径向误差运动数值。这种测试方法虽然能够在试验现场显示图形,直观性强,便于监视机床的安装调试,但也存在一些不足,如基准钢球的形状误差会复映进去,不能反映切削受载状态,存在一定的原理误差等。所以测量精度难以提高,实际应用受到一定限制。

经过多年的研究,目前主轴误差运动测试与数据处理方法有了很大的改进,引入频谱分析理论和 FFT 变换技术,通过用计算机来进行测量数据处理,使整个测量过程更方便、数据处理更科学、测量结果更正确。

二、实验目的

1. 了解机床主轴回转误差运动的表现形式、定义、评判原则、产生原因及对机床加工精度的影响。
2. 懂得主轴回转误差的测量方法及实验原理。

三、主轴径向误差运动的测试原理及方法

1. 主轴回转误差运动

主轴回转时,在某一瞬时,旋转的线速度为零的端点联线为主轴在该瞬时的回转中心线。理想情况下,主轴回转中心线的空间位置,相对于某一固定参考系统应该是不随时间变化的。实际由于主轴轴颈不圆、轴承存在缺陷、主轴挠曲、轴支承的两端对轴颈中心线不垂直以及振动等原因,使得主轴回转中心线在每一瞬时都是变动的。因而,在进行测试数据处理时,往往只能以回转主轴各瞬时回转中心线的空间平均位置作为回转主轴的“理想”中心线。主轴瞬时回转中心线的空间位置相对理想中心线空间位置的偏差,也就是回转主轴的瞬时误差。瞬时误差的变化轨迹也就称为回转误差运动。

如图 2-1 所示,若 o_1o_1, \dots, o_0o_0 为主轴各瞬时的回转中心线, oo 为它们在空间的平均位置,即理想回转中心线,那么, $\delta_0, \dots, \delta_1$ 便是主轴的瞬时回转误差,误差的范围也可大致看成是主轴的回转精度。

可以想象,主轴瞬时回转中心线对其理想中心线的偏移有五种可能,即沿 x, y, z 三个坐标方向的移动和绕 x 和 y 轴的转动。为了完全描述主轴回转中心线的误差,理论上要采

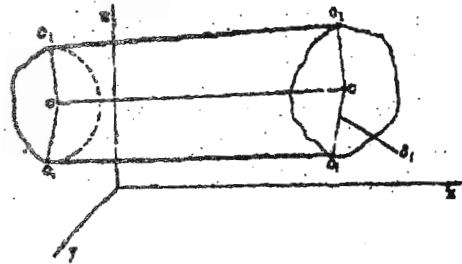


图 2-1 主轴瞬时回转误差

用五个传感器同时在三个坐标方向上测量才行,但是,就这些误差的形式,基本上可分为三种:

(1) 纯径向移动

指的是主轴各瞬时回转轴线平行于理想中心线并沿 oz 或 oy 方向移动。

(2) 纯角度摆动

指的是主轴回转轴线与理想轴线成倾斜角运动,即绕 oz 轴, oy 轴作角度摆动。

(3) 纯轴向窜动

指的是主轴各瞬时回转轴线平行于理想中心线并沿 ox 方向窜动。

以上三种误差形式往往同时并存。当前两者同时存在时,称为径向误差运动;当后两者同时存在时,称为端面误差运动。

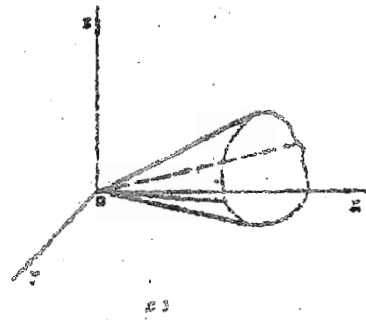


图 2-2 主轴回转误差运动的基本形式

2. 误差敏感方向

对于工件旋转,刀具固定的机床(譬如车床),加工工件时,如果主轴径向误差运动在 y 方向,则误差将以 1:1 的关系反映到工件表面上,如图 2-3a 所示。该方向就是这种机床加工外圆时的误差敏感方向,且敏感方向不变。主轴误差运动在 z 方向,误差对工件表面影响甚微,如图 2-3b 所示。该方向为非敏感方向。

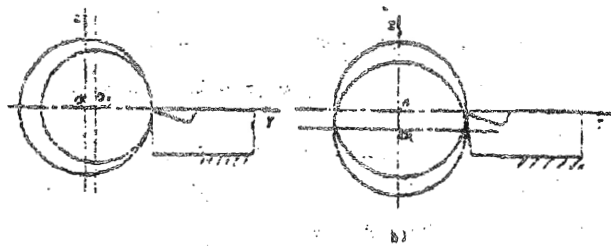


图 2-3 误差敏感方向

对于刀具旋转,工件固定的机床(譬如镗床),刀具在任何径向的误差运动,都将 1:1 反映到工件表面上。因此,刀尖至理想回转轴心的连线为敏感方向,且敏感方向随刀尖回转而回转。

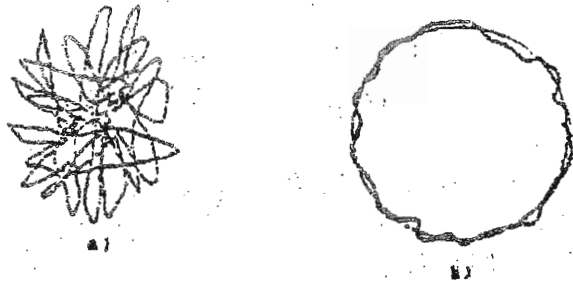


图 2-4 主轴回转径向误差中径向分量的图象

如果以主轴回转角作为自变量,以误差运动在敏感方向的分量作为因变量,则误差图形是杂乱无章的,如图 2-4a 所示。如果将这部分误差加在一个理想的基础上,就能够比较直观地显示出径向误差运动的圆图象,如图 2-4b 所示。

3. 测量方法

(1) 双向测量法

双向测量法适用于测量刀具旋转机床(如镗床类)的主轴径向误差运动。传统的测量装置如图 2-5 所示。在主轴前端固定一个基准球

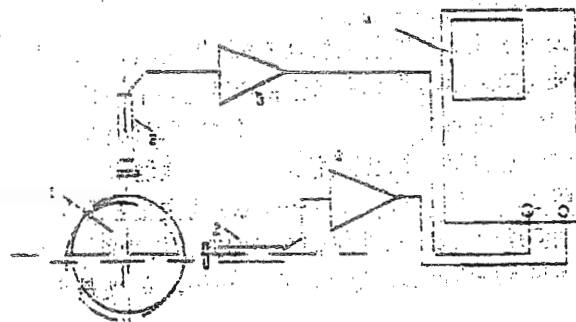


图 2-5 双向测量法试验系统示数

1. 在互相垂直的两个方向上各固定一传感器

与主轴回转中心 O 略有偏心。主轴回转时，基准钢球与两个传感器之间的径向间隙发生变化。传感器拾取的信号经放大器 3 放大后分别输入双迹示波器 4 的 x 与 y 轴(示波器的水平偏转板与垂直偏转板)。

在示波器荧光屏上就可观察到一个近似于回转刀具刀尖的运动轨迹。

(2) 单向测量法

测量系统的组成：单向测量法适用于测量刀具固定机床(如车床类)的主轴径向误差运动。测量时，测量仪器设备配置如图

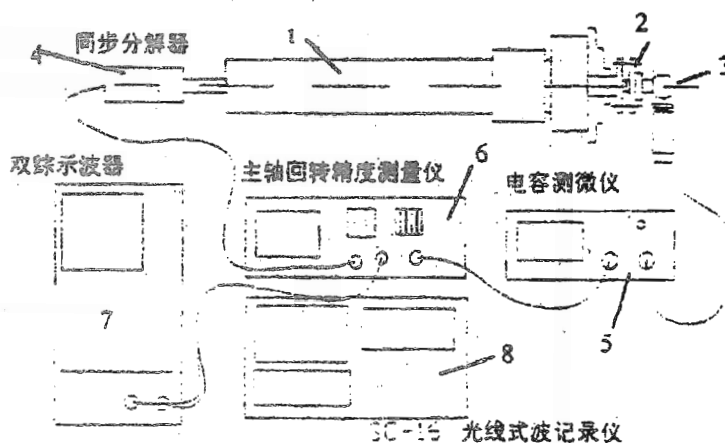


图 2-6 主轴回转精度单向测量法示意图

2-6 所示。图中 1 为待测机床主轴，它的端部安装有测量附件 2。附件的一端为夹持件，另一端粘牢一个高精度的基准钢球 3。在中间两圆盘之间有一个小钢球作为支点，两圆盘用三个螺钉联接，调节三个螺钉便可借以调节基准钢球的几何中心轴线与主轴回转中心轴线的偏心量。传感器安装在误差敏感方向。在机床主轴后部同轴联接一个同步分解器 4，它的工作原理类似于同步旋转变压器。当该同步分解器转轴随主轴旋转时，它的输出端子上会输出二个相位相差 90° ，频率与机床主轴旋转频率相同的正弦波信号，可用同步分解器来产生基准圆。测量仪器由高精度电容式位移测量仪 5、WG 回转精度测试仪 6、双踪电子示波器 7、SC-16 光线记录示波器 8 组成。

测量过程分析：当被测主轴回转时，基准钢球与传感器之间的径向间隙发生变化，传感器拾取基准钢球的位移量变化信号，经放大后，由双 T 选频网络消除基准钢球安装偏心所引起的位移量变化信号。这样，剩下的信号便是由主轴径向误差运动所引起的了。然后将它分别与同步分解器输送来的信号合成，处理后输入双踪示波器 6 的 x 轴与 y 轴(示波器的水平偏转板与垂直偏转板)，在示波器荧光屏上就可观察到一个近似于回转刀具刀尖的运动轨迹。

在引入微型计算机的试验系统中，当主轴回转时，传感器拾取基准钢球的位移量变化信号，经放大后送入 A/D 转换器的信号通道。微型计算机调用数据采集软件将模拟信号转换成数字量，然后调用数据处理软件进行处理和分析。

四、实验内容及实验要求

实验员演示主轴回转误差测量的全过程，讲解主轴回转精度的定义、主轴回转误差测量原理和测量仪器的操作方法。

同学观察实验过程，记录实验数据，并依此完成实验数据处理，将实验数据处理过程的计算和结果写入实验报告。

五. 实验数据处理方法

1) 主轴回转误差时基数据记录的评定方法

$$\sigma = D \frac{a}{b}; \quad D \text{ 为定标当量 (本实验 } D = 6 \mu\text{m}); \quad b \text{ 为定标当量在记录纸上的宽度 (格数)}$$

a 为主轴回转误差测量值在记录纸上的宽度; σ 值为主轴回转误差评定值

2) 主轴回转误差圆图象的评定方法

评定是在照片上进行的, 评定圆图象的中心有多种。本实验采用的是最小径向分离 (MRS) 中心。用同心圆模板在一定圈数 (如 10 圈或明或 20 圈) 的径向误差运动图象上, 参考其内外功能, 找出一个最小外接圆和最大内接圆, 形成最小区域。此两同心圆的半径差为主轴回转误差的评定值。

$$\sigma_{(mrs)} = D \frac{\phi_{R1} - \phi_{R2}}{2b}$$

式中的 D 为定标当量; ϕ_{R1} 为最小外接圆半径; ϕ_{R2} 为最大内接圆半径; b 为定标环宽度。

六. 实验报告格式

主轴回转误差时基数据记录的评定公式的计算过程

表 1) 主轴回转误差时基数据记录的评定

D: 定标当量	B: 定标当量在记录纸上的宽度	B: 定标当量在记录纸上的宽度	σ : 主轴回转误差评定值	备注

主轴回转误差圆图象的评定公式的计算过程

表 2) 主轴回转误差圆图象的评定

D: 定标当量	ϕ_{R1} : 最小外接圆半径	ϕ_{R2} : 最大内接圆半径	b : 定标环宽度	$\sigma_{(mrs)}$ 主轴回转误差评定值

在实验报告中完成下列简答题

1. 什么是主轴回转误差运动?
2. 什么是主轴回转精度?
3. 什么是误差敏感方向? 为什么在误差敏感方向测量主轴回转误差才有意义?

实验三 (普通车床的切削力测量)

一.目的和要求

1. 了解电阻应变片三向车削测力仪的工作原理和使用方法;
2. 了解切削深度 a_p 和进给量 f 对三向切削力的影响规律;
3. 掌握用实验数据建立切削力经验公式的方法。

二.设备、仪器和工具

1. 普通车床;
2. 电阻应变片式三向车削测力仪;
3. YD-15 型动态电阻应变仪;
4. SC-16 型光线记录示波器;
5. 机夹可转位硬质合金车刀 (YT15), 主要几何参数:

$$\begin{array}{lll} r_0=15^\circ & a_0=6^\circ\sim 8^\circ & \alpha'_0=4^\circ\sim 6^\circ \\ \lambda_s=0^\circ & \kappa_r=75^\circ & \kappa'_r=10^\circ\sim 12^\circ \end{array}$$

6. 45# 圆钢 (不调质)。

三.工作原理

测力仪的种类有很多,如机械式、液压式、电感式、电容式、电阻应变片及压电晶体式等等,其中电阻应变片式使用较为普遍。

电阻应变片式测力仪通常把应变片粘贴在弹性体上,并组成电桥如图 (3-1) 所示。

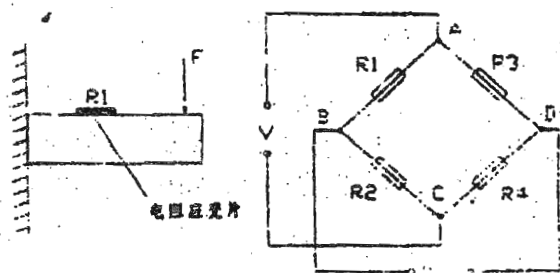


图 3-1

平衡时: $\Delta V = V_{BD} = 0$, $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$ 。

加力 F 后, 电桥平衡被破坏即 R_1 变化, 图 (3-1) 所示的电桥为单臂桥, 则由关系式:

$$\Delta V = V_{AB} - V_{AB} = (R_1 / (R_1 + R_2) - R_3 / (R_3 + R_4)) \cdot V$$

令 $R_2 = R_3 = R_4 = R$, $R_1 = R + \Delta R$

$$\begin{aligned} \Delta V &= ((R + \Delta R) / (R + \Delta R + R) - R / (R + R)) \cdot V \\ &= (\Delta R / 2(2R + \Delta R)) \cdot V \end{aligned}$$

由 $2R \gg \Delta R$

$$\Delta V \approx V \cdot \Delta R / 4R$$

若电桥为双臂工作 (称为半桥), 电桥有电阻变化, 则 $\Delta V = V \cdot \Delta R / 2R$; 若电桥为四臂工作 (称为全桥), 电桥有电阻变化, 则 $\Delta V = V \cdot \Delta R / R$ 。全桥、半桥、单桥的灵敏度之比为: 4: 2: 1。

当弹性体在力的作用下产生变形, 使粘贴在其上的电阻应变片发生变形, 从而其电阻值也发生变化, 可用下式表示:

$$\Delta R / R = K \cdot \Delta L / L = K \varepsilon$$

式中: R —应变片名义电阻值;
 ΔR —电阻变化值;
 L —电阻丝长度;
 ΔL —电阻丝长度变化量;
 K —电阻应变片的灵敏系数;
 ε — $\Delta L / L$ 称为相对应变。

综上所述, 在贴有电阻应变片的弹性体上加力 F 后, 引起弹性变形, 从而使电阻应变片的电阻值变化, 电桥输出相应的电压值, 达到测力的目的。

三向车削测力仪的结构为: 直立十字形八角环弹性体。八角环弹性体是有圆环演变而来。

电阻应变片粘贴在八角环弹性体上的位置如图 (3-2) 所示, 构成三组电桥如图 (3-3) 所示。当车削试验时, 三向切削力作用在八角环弹性体上, 使粘贴在八角环弹性体上的电阻应变片的电阻值发生变化, 输出相应反映切削力大小的电信号。

实验系统框图如图 (3-4) 所示。

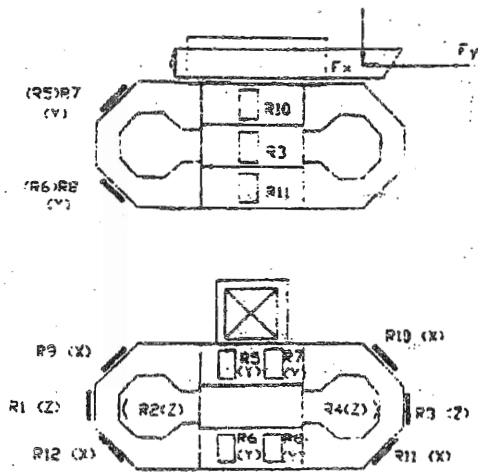


图 3-2

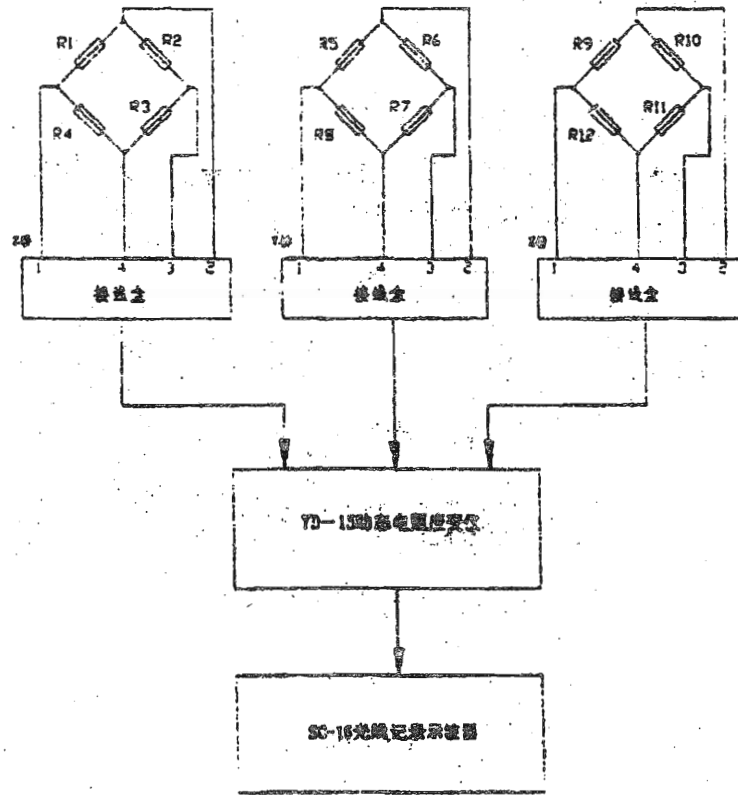


图 3-3

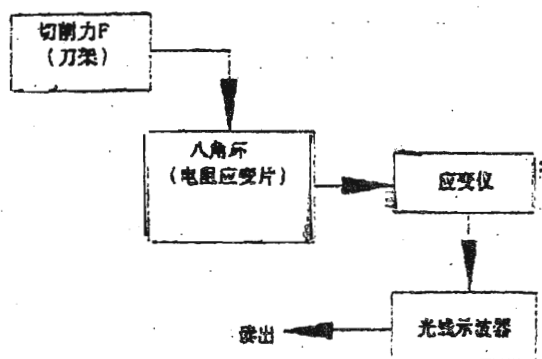


图 3-4

四. 切削力经验公式的建立原理

切削力的经验公式为:

$$\begin{aligned}
 F_x(a_p, f) &= C_{Fx} \cdot a_p^{X_{Fx}} \cdot f^{Y_{Fx}} \\
 F_y(a_p, f) &= C_{Fy} \cdot a_p^{X_{Fy}} \cdot f^{Y_{Fy}} \\
 F_z(a_p, f) &= C_{Fz} \cdot a_p^{X_{Fz}} \cdot f^{Y_{Fz}}
 \end{aligned} \tag{A}$$

是二元指数函数。要建立 (A) 组方程组，只要确定三个系数和六个指数。
对 (A) 组方程两边同时取对数得 (B) 组:

$$\begin{aligned}
 \lg F_x(a_p, f) &= X_{Fx} \cdot \lg a_p + Y_{Fx} \cdot \lg f + \lg C_{Fx} \\
 \lg F_y(a_p, f) &= X_{Fy} \cdot \lg a_p + Y_{Fy} \cdot \lg f + \lg C_{Fy} \\
 \lg F_z(a_p, f) &= X_{Fz} \cdot \lg a_p + Y_{Fz} \cdot \lg f + \lg C_{Fz}
 \end{aligned} \tag{B}$$

假设切削线速度不变，只改变 a_p 和 f 。首先在 (B) 组的变量 a_p 和 f 变量中，
固定 f 设 $f=f_0$ 得 (C) 组方程:

$$\begin{aligned}
 \lg F_x(a_p, f_0) &= X_{Fx} \cdot \lg a_p + \lg Ca_{px} \\
 \lg F_y(a_p, f_0) &= X_{Fy} \cdot \lg a_p + \lg Ca_{py} \\
 \lg F_z(a_p, f_0) &= X_{Fz} \cdot \lg a_p + \lg Ca_{pz}
 \end{aligned}$$

其中:

$$\begin{aligned}
 \lg Ca_{px} &= Y_{Fx} \cdot \lg f_0 + \lg C_{Fx} \\
 \lg Ca_{py} &= Y_{Fy} \cdot \lg f_0 + \lg C_{Fy} \\
 \lg Ca_{pz} &= Y_{Fz} \cdot \lg f_0 + \lg C_{Fz}
 \end{aligned}$$

同样在 (B) 组的变量 a_p 和 f 变量中, 固定 a_p , 设 $a_p = a_{p0}$ 得 (D) 组方程:

$$\begin{aligned} \lg F_x(a_{p0}, f) &= Y_{Fx} \cdot \lg f + \lg C_{Fx} \\ \lg F_y(a_{p0}, f) &= Y_{Fy} \cdot \lg f + \lg C_{Fy} \\ \lg F_z(a_{p0}, f) &= Y_{Fz} \cdot \lg f + \lg C_{Fz} \end{aligned} \quad (D)$$

其中:

$$\lg C_{Fx} = X_{Fx} \cdot \lg a_{p0} + \lg C_{Fx}$$

$$\lg C_{Fy} = X_{Fy} \cdot \lg a_{p0} + \lg C_{Fy}$$

$$\lg C_{Fz} = X_{Fz} \cdot \lg a_{p0} + \lg C_{Fz}$$

电阻应变片式测力实验系统可得到 $F_i \sim a_p$ 和 $F_i \sim f$ 关系的实验数据。(i 表示 X、Y、Z 三个方向中的一个方向)。把方程组 (C) 和方程组 (D) 分别写成下式:

$$\lg F_i(a_p, f_0) = X_{Fi} \cdot \lg a_p + \lg C_{a_{pi}} \quad (E)$$

$$\lg F_i(a_{p0}, f) = Y_{Fi} \cdot \lg f + \lg C_{fi} \quad (F)$$

用一个直线方程: $U = KV + C$ 描述, 即:

$$\text{在 (E) 方程: } U = \lg F_i(a_p, f_0), \quad K = X_{Fi}$$

$$V = \lg a_p, \quad C = \lg C_{a_{pi}}$$

$$\text{在 (F) 方程: } U = \lg F_i(a_{p0}, f), \quad K = Y_{Fi}$$

$$V = \lg f, \quad C = \lg C_{fi}$$

因此, 只要把实验数据描在对数纸上, 便可得到直线 $U = KV + C$ 如图 (4-1) 所示, 然后从图上直接得到 K 和 C 。

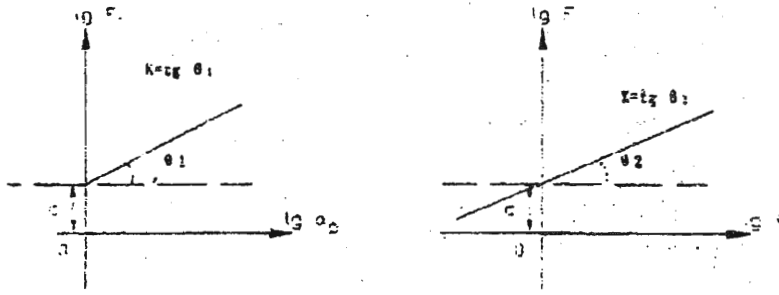


图 4-1

(注意: 由于测量系统的误差和试件材料性质不均匀等等偶然因数, 实验数据的点可能不在一条直线上, 但是大多数点都近似在直线上.)

*具体做法以 F_2 为例:

$$\text{从 (C) 组的: } \lg F_2(a_p, f_0) = X_{F_2} \cdot \lg a_p + \lg C_{a_{p_2}}$$

$$\text{从 (D) 组的: } \lg F_2(a_{p_0}, f) = Y_{F_2} \cdot \lg f + \lg C_{f_2}$$

$$\text{从 (B) 组的: } \lg F_2(a_p, f) = X_{F_2} \cdot \lg a_p + Y_{F_2} \cdot \lg f + \lg C_{F_2}$$

的三个式子两边同时取反对数得:

$$F_2(a_p, f_0) = C_{a_{p_2}} \cdot a_p^{X_{F_2}} \quad (1)$$

$$F_2(a_{p_0}, f) = C_{f_2} \cdot f^{Y_{F_2}} \quad (2)$$

$$F_2(a_p, f) = C_{F_2} \cdot a_p^{X_{F_2}} \cdot f^{Y_{F_2}} \quad (3)$$

其中: $C_{a_{p_2}}$ 和 C_{f_2} (截距)、 X_{F_2} 和 Y_{F_2} (直线斜率) 分别从两张实验曲线上求得带入公式, 并把 $a_p = a_{p_0}$ 和 $f = f_0$ 也带入公式, 得:

$$F_2(a_{p_0}, f_0) = C_{a_{p_2}} \cdot a_{p_0}^{X_{F_2}} \quad (4)$$

$$F_2(a_{p_0}, f_0) = C_{f_2} \cdot f_0^{Y_{F_2}} \quad (5)$$

$$F_2(a_{p_0}, f_0) = C_{F_2} \cdot a_{p_0}^{X_{F_2}} \cdot f_0^{Y_{F_2}} \quad (6)$$

理论上讲求 C_{F_2} 只要二个公式联列, 由于实验和实验数据的误差, 分二次求解

(4) 与 (6), 令 $C_{Fz} = C_{Fz1}$ 得:

$$C_{a_{pz}} \cdot a_{p0}^{X_{Fz}} = C_{Fz1} \cdot a_{p0}^{X_{Fz}} \cdot f_0^{Y_{Fz}}$$

则 $C_{Fz1} = C_{a_{pz}} / f_0^{Y_{Fz}}$

(5) 与 (6), 令 $C_{Fz} = C_{Fz2}$ 得:

$$C_{Fz} \cdot f_0^{Y_{Fz}} = C_{Fz2} \cdot a_{p0}^{X_{Fz}} \cdot f_0^{Y_{Fz}}$$

则 $C_{Fz2} = C_{Fz} / a_{p0}^{X_{Fz}}$

$$C_{Fz} = (C_{Fz1} + C_{Fz2}) / 2$$

同样方法可求得 C_{Fx} 和 C_{Fy}

最后把所求得的系数带入 (A) 组公式, 确定经验公式。

五. 实验步骤和数据记录

1. 熟悉普通车床的操作;
2. 调整 YD-15 型动态电阻应变仪和 SC-16 光线记录示波器 (平衡和幅度);
3. 固定 f 和转速, 即 $f=f_0$, 依次改变 a_p 进行切削, 同时记录实验数据。
4. 固定 a 和转速, 即 $a=a_0$, 依次改变 f 进行切削, 同时记录实验数据。

六. 数据处理和计算

1. 把实验数据分别用对数纸描出 $\lg Fz \sim \lg a_p$ 和 $\lg Fz \sim \lg f$ 的曲线;
2. 按“切削力经验公式的建立原理”的方法求得切削力经验公式。

附：实验数据记录表

工件直径 D mm		转速 n r/min		进给量 f mm/r	
切削深度 a_p mm	记录纸上曲线高度 mm		切削力 F kg.f		

工件直径 D mm		转速 n r/min		切削深度 a_p mm	
进给量 f mm/r	记录纸上曲线高度 mm		切削力 F kg.f		

数控机械加工系统模拟实验

一、实验目的

通过实验让同学了解数控系统的工作原理和结构形式,懂得数控机床的插补原理与实施方法,熟悉数控系统的编程语言、掌握数控加工的一些基本特点和工作原理。

二、数字控制系统的基本概念

数字控制 (Numerical Control) 简称数控。数控系统是用数字控制技术实现的自动控制系统,其被控对象可以是各种生产过程。任何生产都有一定的过程,采用数字控制技术,生产过程就用某种语言编写的程序来描述,以数字形式送入计算机或专用计算装置,利用计算机的高速数据处理能力,识别出该程序所描述的生产过程,通过计算和处理,将此程序分解为一系列的动作指令,输出并控制生产过程中相应的执行对象,从而可使生产过程能在人不干预或少干预的情况下自动进行,实现生产过程的自动化。它可以是采用数字化信息实现机械加工自动化的控制系统。

运用数字化信息对机床的切削加工及其加工过程进行控制的机床,称为数控机床,如数控车床、数控铣床、数控线切割机、数控加工中心等。数控机床的工作原理是将加工零件的几何信息、加工操作步骤和工艺信息进行数字化处理形成一个控制机床自动加工的程序,机床根据控制程序中的加工流程及加工过程中各种运动参量,自动控制机床的主运动、进给运动及辅助运动,完成对零件的自动加工过程。数控机床最大的特点是:可适用于多品种、小批量的生产加工模式。变换加工零件时,数控机床原则上只需要改变加工控制程序,而不需要对机床的进行人工的调整和直接参与操作,就可以自动地完成新的加工过程。

三、数控机械加工模拟实验系统的组成与工作原理

基于 PC 机和 WINDOWS 操作系统的开放式、模块化数控系统是当今数控技术发展的主要方向,在 PC 机的 WIN98/NT 下有两种方法可以实现数字控制:一种是由一台计算机和一些功能模块组成的单机型系统。这种模式硬件成本较少,但在软件的设计上却相当的复杂,而另一种方案是选用一开放型的数控系统与 PC 机组成上下位机结构型式的数控系统,利用两机间的通讯来实现控制过程的协调,构成一个开放式体系结构。这一模式的优点是可利用 PC 机的软件资源,用户可方便地实现软件二次开发。

美国 Delta Tau 公司的 PAMC 可编程多轴运动控制器是一种开放型数控系统。它采用了的 Motorola 公司的 56001/56002 DSP 数字信号处理器, PAMC 可编程多轴运动控制器本身就是一台高性能的实时控制计算机,具有自动对多任务进行优先等级判别,实时多任务处理功能。它可以同时控制 1—8 个轴的运动。它接受外部的速度传感器、位置传感器信号,与外部的电机驱动系统构成速度反馈闭环、位置反馈闭环的伺服型运动控制结构模式。它可通过 RS—422 串行接口或 ISA 总线接口与 PC 兼容机通讯,形成主从结构型双机数控系统。

实验系统是一种基于 PMAC 的双机开放型数控系统。它由 PC 机 1、PMAC 运动控制器系统 2、电机系统 3、2 维精密机械滑台 4 组成见图 4-1。其中 PC 机是数控系统的主控单元,它提供了良好的人机界面,以它作为控制平台,实现后台管理,程序编程和输入、实时输入控制指令、还可实时监控系统工况。PAMC 可编程多轴运动控制器系统是一个实时控制单元,根据编制的控制程序,对各个机械单元进行实时运动控制。PC 与 PMAC 间通过标准的 RS422 工业串行通讯口传输控制程序、系统实时控制信号、系统运行状态信号等来协调整个数控系统的工作,完成工作任务。

PMAC 可编程多轴运动控制器上执行的运动控制语言和逻辑控制编程语言具有 BASIC

或 C 等高级语言的特点，同时它与 G—代码 (RS—274) 机床语言兼容，并且可以直接接受

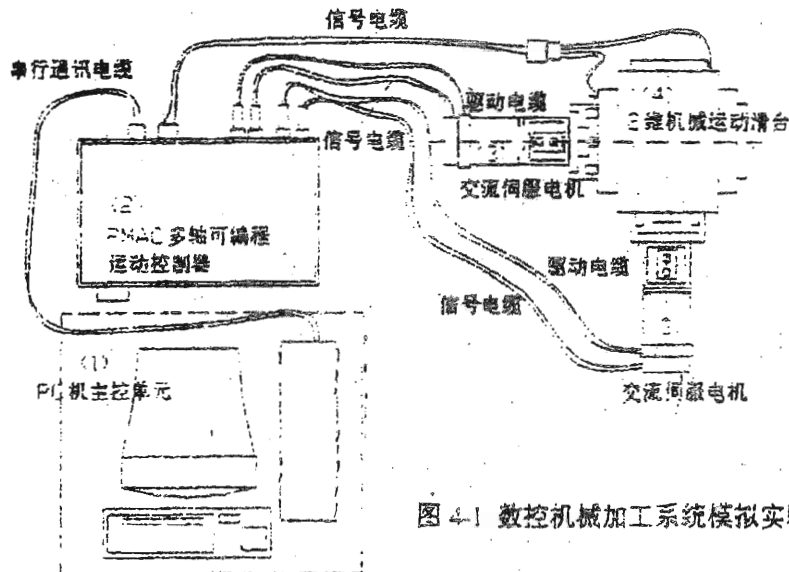


图 4-1 数控机床加工系统模拟实验示意图

G 代码命令，当用 G 代码命令编写数控程序时，其程序结构计算结构和逻辑结构与计算机语言相似，并且运动规范与机床工业中所使用的也相似。

驱动电机单元接受来自 PMAC 运动控制器的控制信号，驱动机械滑台的 2 维运动。

整个实验系统是模拟铣削类数控机床的工作过程，机械滑台模拟为机床的工作台，固定于机械滑台边的笔模拟为机床的加工刀具、粘于滑台上的纸模拟为工件。通过机械滑台的运动，笔在纸上留下了机械滑台的运动轨迹，可认为是数控加工轨迹的真实模拟。

四、数控机床加工模拟实验系统的编程方法和程序指令功能说明

编程方法：

1. 根据实验加工零件图纸分析加工几何轨迹；
2. 按 G—代码 (RS—274) 机床语言标准编制加工控制主程序；
3. 由 G—代码的操作内容编制运动控制子程序；
4. 由 M—代码的操作内容编制运动控制辅助操作子程序。

实验系统的操作过程

1. 启动 PWIN32 (PMAC 运动控制器在 PC 机上的编程，实时控制操作软件平台)；
2. 在 PWIN32 环境下，输入控制程序并进行语法检查；
3. 向 PMAC 传输控制程序；
4. 启动实时运行命令，观察运行过程；
5. 结束实验。

五、实验内容和实验要求

由实验员向同学展示实验系统的结构组成及讲述系统工作原理，实时展示实验系统的操作过程和模拟加工演示。同学在实验员和老师的指导下完成规定的数控加工编程作业，并通过上机运行校验结果。最后将实验过程、程序、实验结果、实验过程分析记录在实验报告纸上并完成实验。

六. 实验报告内容

1. 实验过程记录 (可用表格或流程图来表达);
2. 加工零件图纸;
3. 加工程序;
4. 实验结果、实验过程的分析。

附件一 G 代码编程实例

这是一个简单的PMAC G-代码程序.Gxx的意思PROG1000(下面)程序.Mxx的意思是调用标号为Nxx000的PROG1001(底座)程序.可能有更多的扩展代码:

.....分程序文本.....

注释:在这部分程序中不需要知道G-代码和M-代码如何执行

OPEN PROG 5 CLEAR

G17 G90

G97 S1800

F500

G00 X10.00 Y5.00

M03

G04 P2.0

G01 Z0

X30.25 5.00

G03 X35.25 Y10.00 J5

G01 X35.25 Y50.10

G03 X30.25 Y55.10 I-5

G01 X10.00 Y55.10

G03 X5.00 Y50.10 J-5

G01 X5.00 Y10.00

G03 X10.00 Y5.00 I5

G01 Z5 M05

G00 X0 Y0

CLOSE

: 准备进入运动程序5

: XY平面.绝对运动模式

: 设置主轴速度为1800rpm

: 切削速度为500mm/min

: 快速运动率(10.5)

: 启动主轴

: 等待2秒

: 降低切速

: XY线性运动

: CCW圆弧运动

: 线性运动

: CCW圆弧运动

: 线性运动

: CCW圆弧运动

: 线性运动

: CCW圆弧运动

: 切削.上移.停止

: 返回初始坐标

运动程序1000包含G-代码子程序

```

OPEN PROG 1000 CLEAR
RAPID RETURN
N01000 LINEAR RETURN
N02000 CIRCLE1 RETURN
N03000 CIRCLE2 RETURN
N04000 READ(P)
IF (Q100 & 32768 > 0)
DWELL (Q116*1000)
ENDIF
RETURN
N17000 NORMAL K-1 RET
N18000 NORMAL J-1 RET
N19000 NORMAL I-1 RET
N90000 ABS RET
N91000 INC RET
IF (Q100 & 262144 > 0)
I422=Q119/30
ENDIF
RETURN
CLOSE

```

```

: 准备进入缓存1000
: G00快速方式(N0隐含)
: G01线性插补方式
: G02顺时针圆弧模式
: G03逆时针圆弧模式
: G04暂停2秒
: P参数指定否?
: PMAC指定以毫秒停顿

: G17指定XY平面
: G18指定ZX平面
: G19指定YZ平面
: G90绝对方式
: G91相对方式
: S参数指定否?
: #4手动速度为cts/msec

```

运动程序1001包括M-代码子程序

```

OPEN PROG 1001 CLEAR
N03000 CMD "#4J+" RET
N04000 CMD "#4J-" RET
N05000 CWD "#4J" RET
CLOSE

```

```

: 准备进入缓存1001
: 启动主轴顺时针(闭环)
: 启动主轴逆时针(ditto)
: 停止主轴

```

: 运行程序

G 代码、M 代码指令说明

功能 准备代码(G代码)

类型 运动程序

语法 G(数值)

(数值)是一个浮点型常数或一表达式,其范围在0.000到999.999,指定要跳转到的程序段号及行号。

注释 PMAC将该指令解释为CALL10n0.((data')*1000)指令, n是(data)的百位, (data')是(data)去掉小数点后的值(即数字上的乘100), 那么, 该指令使运动程序跳转(及返回)到10n0, 及指定在(程序10n0用于实现满足程序设计者的要求的预备代码), 对应于行号N0到N9999, (data)的值从0.0到99.999。

该结构允许通过编写运动程序10n0的子程序, 实现用于机床工具应用的G代码用户化, 与CALL和RE(类似)一样, 参数可由其后的含一组或多组(letter)(data)传递给该子程序。

多数用户只使用0-99范围内的G代码, 只允许使用PROG 1000, 允许(data')等于(data)未直接指定行号。

例子 G01 跳转到PROG 1000的N1000
 G12 跳转到PROG 1000 的N12000
 G115 跳转到PROG 1010的N15000

G01, 线性插补模式:

该代码在PMAC中是通过用LINEAR命令来实现的。它的最简单的实现是N01000 LINEAR
RET。如果要求速率修调, 而它应该在RAPID模式里是无效的, 子例程将设置时基资源地址变量给包
含外部信息的寄存器(例如, I193=1833)。

G02, 平面顺时针圆弧模式:

该代码在PMAC中是通过用CIRCLE1命令来实现的。最简单的实现是N02000 CIRCLE1
RET。如果要求速率修调, 而它本应该在RAPID模式里是无效的, 子例程将设置时基资源地址变量给
容纳外部信息的寄存器(例如, I193=1833)。

G03, 平面反时针圆弧模式:

该代码在PMAC中是通过用CIRCLE2命令来实现的。最简单的实现是N02000 CIRCLE2
RET。如果要求速率修调, 而它本应该在RAPID模式里是无效的, 子例程将设置时基资源地址变量
给容纳外部信息的寄存器(例如, I193=1833)。

G04, DWELL命令:

该代码要求使用READ命令。不同的G代码在一个P之后或在一个X之后有一个保持时间。PMAC相应
地使用一个READ (P) 或READ (X) 命令就可以分别进行处理。P值将放在Q116里, 而X值将放在Q1
24中。时间的单位也必须被考虑。PMAC的保持时间的单位是毫秒。如果G04的单位是秒, 传递的
值必须乘以1000。一个典型的实现是N04000 READ (P) DWELL (Q116 X 1000) RET。

G09, 确切的停止:

在一些类型的G代码中, 该代码将在两个运动中导致停止, 以便在运动之间没有执行角度/角度混合。
在PMAC中, 通过执行一个短暂的保持可以实现该代码。一个典型的实现为N09000 DWELL10 RET。

G17, G18, G19, 用于选择平面:

这些代码将选择执行圆弧插补和刀具半径补偿的平面。G17选择XY平面, G18选择ZX平面, G19选择
YZ平面。在PMAC中, 这是通过执行NORMAL命令来完成的, NORMAL命令指定了垂直于该平面的
矢量(并且并不限制这些选择)。这些代码的标准的PMAC实现将是:

```
N17000 NORMAL K-1
RET
N18000 NORMAL J-1
RET
N19000 NORMAL I-1
RET
```

G90, 绝对运动模式:

该代码在PMAC中是通过用ABS命令来实现的。没有轴跟随的ABS命令将使坐标系中的所有的轴都处
于绝对运动模式下。一般是通过G90000 ABS
RET语句实现。如果一种G代码的格式中使G90让圆周运动中心矢量也是绝对的(这不是标准的!),
那么在这个程序中将加上一个ABS (R) 命令。

G91, 增量运动模式:

该代码在PMAC中是通过用INC命令来实现的。没有轴跟随的INC命令将使坐标系中的所有的轴都处
于增量运动模式下。一般是通过G91000 INC
RET语句实现。如果一种G代码的格式中使G90和G91都影响圆周运动中心矢量的模式(这不是标准的
!), 那么在这个程序中将加上一个INC (R) 命令。