

机械制造工艺学 实验指导书

东南大学 张思 主编

机械工业出版社

416
260

机械制造工艺学实验指导书

东南大学 张 思 主编



机械工业出版社

本书是为机械制造工艺学课程的实验而编写的，书中包含了机床主轴回转误差的测试与评定、加工精度的统计分析、镗削加工中的振型耦联颤振与消振、工艺系统动态特性参数的测定、机械装配精度以及计算机辅助工艺过程编制等六个实验的基本实验原理和方法。

本书可供各机械制造类专业选用，亦可供机械加工、装配工艺人员和工艺试验室的研究人员参考。

机械制造工艺学实验指导书

东南大学 张 思 主编

*

责任编辑：王世刚 版式设计：张世琴

责任印制：王国光

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $3 \frac{3}{4}$ · 字数 84 千字

1991 年 10 月北京第一版 · 1991 年 10 月北京第一次印刷

印数 0,001—6,500 · 定价：1.50 元

*

ISBN 7-111 02836-8/TH·296（课）

前 言

为适应全国高等工科院校机械制造工艺与设备专业的教学需要,高等工业学校机械制造类专业教材编审委员会早已将《机械制造工艺学实验指导书》列入教材编审规划。由于全国各高校机械类专业现已开设的机械制造工艺学实验,内容上相差较大,各校实验室条件也参差不齐,因此,的确需要编写一本能满足大多数学校的要求,对促进机械制造工艺学的实验教学又确有帮助的实验指导书。我们在反复听取了教材编审委员及有关高校教师的意见,并于1988年9月我们又将编写的初步意见(内容、计划)向全国120余所院校的机械制造工艺教研室(组)发函,进一步征求意见的基础上,编写了此书。

“机械制造工艺学”课程的实验,目的是使学生经过试验实践,进一步掌握工艺基本理论,熟悉工艺试验的方法与技能,并掌握有关试验仪器的使用与实验数据的处理方法。

本书是按“机械制造工艺学”课程的主要内容并兼顾大多数院校的实验室条件而编写的。内容包括机床主轴回转误差的测试与评定、加工精度统计分析、镗削加工中的振型耦联颤振与消振、工艺系统动态特性参数的测定、机械装配精度及计算机辅助工艺过程编制等六个实验。其中实验二、三、四已有很多学校开设多年,有较好的基础;实验五是配合《机械制造工艺学》重要的基本内容之一——装配工艺而设的,通过这一实验可以有效地增加学生对机械装配精度的感性知识;实验一是为了适应工艺学中主轴回转误差这一内容而设置的;实验六是为了适应工艺学中计算机辅助制造这一新的发展方向而设置的,有条件的学校可以逐步开出。

考虑到各校实验室条件的不同,多数实验的指导书中都列出了两种或两种以上的实验方法及其原理与实验步骤,供各校选用。

本书未能尽收目前各校已开出的全部实验,在未编入本书而已有学校开出的实验中,不少是很有意义的实验,如齿轮误差综合分析、表面残余应力测量、电加工等,希望今后逐步创造条件,有更多的学校开设起来,以便本书修订时进行增改。

在本书编写中,充分注意运用电子计算机这一现代手段来处理实验过程或结果,各校可以根据各实验的要求与步骤,编写相应的计算程序,如不自行编写,我们愿提供含有实验一、二、四、六所用程序的软盘,将在本书出版前后向各校征订。

为了锻炼学生的独立工作能力,实验报告的内容与形式不作统一规定,由学生自行写出报告。

本书为高等院校机械制造工艺与设备专业“机械制造工艺学”课程的配套辅助教材,并可作为其它专业“机械制造工艺学”课程或中等专业学校相应专业相应课程的配套教材。

本书由东南大学机械工程系机制教研室的教师分工编写,实验一由陆锡楣编写,实验二由杨玉编写,实验三由孙庆鸿编写,实验四由张思编写,实验五由程序编写,实验六由吴锡英编写。本书由张思主编,大连理工大学机械工程系陈懋圻主审,并经教材编审会工艺教材编审组审查通过。

本书在编写过程中,得到了全国各兄弟院校的同行们的大力支持,并提出了许多宝贵的

IV

建议和意见，在此致以衷心的感谢。

限于编写者的水平，书中若有缺点或错误，诚恳地欢迎读者提出批评与指正。

编者

1990.10

目 录

实验一	机床主轴回转误差的测试与评定	1
实验二	加工精度的统计分析	11
实验三	镗削加工中的振型耦联颤振与消振	20
实验四	工艺系统动态特性参数的测定	28
实验五	机械装配精度	38
实验六	计算机辅助工艺过程编制(CAPP)	47

实验一 机床主轴回转误差的测试与评定

一、目的与要求

主轴回转误差的测试方法很多,敏感方向不同的机床主轴,其测试方法也不一样。下面将分别介绍车床类(固定敏感方向)和镗床类(回转敏感方向)主轴回转误差的三种测试实验,以供选做。学生通过实验应达到以下目的:

1. 初步掌握主轴回转误差的测试原理和测试方法。
2. 了解主轴回转误差的评定方法以及总误差运动圆图象、平均误差运动圆图象和随机误差运动圆图象的绘制。

二、车床类主轴回转误差的测试与评定方法之一

(一) 测试原理

理想回转轴的轴线在空间的位置是固定不变的,但由于各种因素的影响,如机床的振动、轴承的误差、传动系统齿轮的误差、轴组件的不平衡等,使回转轴线在空间的位置随时间而变化,它相对理想回转轴线(中心)的位移值,即为回转轴的误差运动值。

主轴回转误差的测试方法不同,其基本测试原理也不尽相同,本实验是根据最小二乘法原理,应用微机从测试信号中剔除基波(由测量球的偏心所产生的)信号,从而求得误差运动值,具体介绍如下。

如图 1-1 所示,把装有测量球 3 的摆动装置 2 与机床主轴 1 连接,摆动装置用来调整测量球对主轴回转中心的偏心量。传感器的检测头 4 通过联接杆固定在车床刀架上,当主轴回转时,传感器的输出信号 $S_y(t)$ 由三部分信号组成,可用下式表示:

$$S_y(t) = \Delta H(t) + e \sin(\omega t + \varphi_0) + \delta(t) \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi_t) \quad (1-1)$$

式中

$\Delta H(t)$ ——测量球在敏感方向的形状误差;

$e \sin(\omega t + \varphi_0)$ ——测量球的几何中心相对主轴回转中心的偏心量 e 在敏感方向上的分量;

$\delta(t) \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi_t)$ ——主轴误差运动值在敏感方向上的分量;

$\delta(t)$ ——主轴误差运动值的大小;

φ_t ——在 t 时刻,误差运动方位对偏心方位的相位角;

φ_0 ——初相位角。

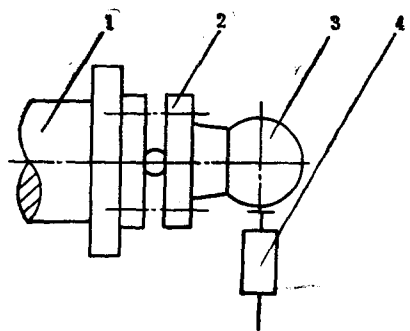


图 1-1 主轴回转误差测量原理之一

1—机床主轴 2—摆动装置 3—测量球 4—检测头

当采用高精度的测量球时, 式 (1-1) 中的 $\Delta H(t)$ 项可以略去不计, 故得下式:

$$S_y(t) = e \sin(\omega t + \varphi_0) + \delta(t) \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi_1) \quad (1-2)$$

式 (1-2) 中各项的波形如图 1-2 所示, 其中 $\delta(t) \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi_1)$ 项是要求的测试结果, 即主轴误差运动的波形, $e \sin(\omega t + \varphi_0)$ 项称为基波, 应从测试信号中剔除。

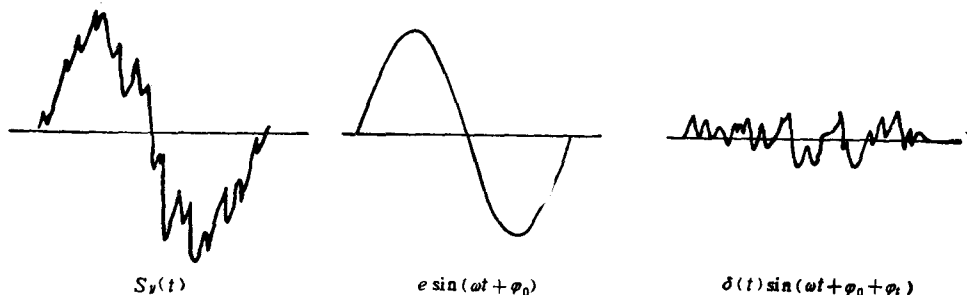


图1-2 测得的波形成分

式 (1-2) 经三角代换并考虑到坐标位置后得:

$$S_y(t) = A_0 + A \sin \omega t + B \cos \omega t + \delta(t) \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi_1) \quad (1-3)$$

式中 $A = e \cos \varphi_0$, $B = e \sin \varphi_0$ 。

式 (1-3) 表明, 传感器的输出信号 $S_y(t)$, 由确定的基波信号和随机的误差运动信号叠加而成, 如图 1-3 所示。因此, 从传感器的输出信号中剔除基波信号后, 就可以得到随机的误差运动信号。

令 $E(t) = \delta(t) \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi_1)$

则式 (1-3) 为:

$$S_y(t) = A_0 + A \sin \omega t + B \cos \omega t + E(t)$$

所以

$$E(t) = S_y(t) - (A_0 + A \sin \omega t + B \cos \omega t) \quad (1-4)$$

应用微机进行数据处理时, 需把模拟信号 $S_y(t)$ 经过“采样”, “量化”成为数字信号序列, 由下式表示:

$$S_y(t_i) = A_0 + A \sin \omega t_i + B \cos \omega t_i + E(t_i)$$

所以

$$E(t_i) = S_y(t_i) - (A_0 + A \sin \omega t_i + B \cos \omega t_i) \quad (1-5)$$

式中 $i = 1, 2, 3, \dots, N$

N ——基波一个周期 (主轴一转) 的采样点数。

式 (1-5) 可改写成:

$$E(nT) = S_y(nT) - (A_0 + A \sin \omega nT + B \cos \omega nT) \quad (1-6)$$

式中 $n = 1, 2, 3, \dots, N$

T ——采样时间。

式(1-6)中, $S_y(nT)$ 为传感器输出信号的数字序列, 当确定了待定系数 A_0 、 A 、 B 之

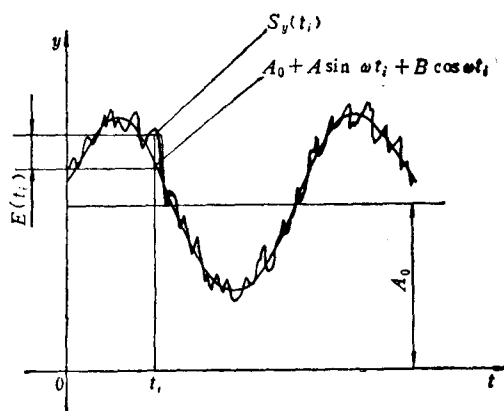


图1-3 叠加波形

后, 就可以求得误差运动数字序列 $E(nT)$, 从而可以求得主轴的误差运动值 E :

$$E = K [E(nT)_{\max} - E(nT)_{\min}] \quad (1-7)$$

式中 K ——测试系统的定标系数。

系数 A_0 、 A 、 B 的确定, 通常是根据最小二乘法原理, 即

$$\sum_{n=1}^N [E(nT)]^2 = \text{最小}$$

$$\text{令 } F = \sum_{n=1}^N [E(nT)]^2 \quad (1-8)$$

要使 F 达到最小值, 则应满足:

$$\frac{\partial F}{\partial A_0} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial A} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial B} = 0 \quad (1-9)$$

将式 (1-6) 代入式 (1-8), 再根据式 (1-9) 进行运算, 即可得到下列各式:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_y(nT) \\ A &= \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N S_y(nT) \sin \omega nT \\ B &= \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N S_y(nT) \cos \omega nT \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

将 $\omega = 2\pi/T_0$ 代入式 (1-10) 得:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_y(nT) \\ A &= \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N S_y(nT) \sin \frac{2\pi n}{T_0} T \\ B &= \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N S_y(nT) \cos \frac{2\pi n}{T_0} T \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

式中 T_0 ——基波周期。

采样时间 T (s) 及主轴每转采样点 N 的确定, 必须满足采样定理, 即满足:

$$T \leq \frac{30}{n_0 N_0}; \quad N \geq 2N_0 \quad (1-12)$$

式中 n_0 ——主轴转速, 单位为 r/min ;

N_0 ——主轴每转峰数。

计算结果可以用误差运动圆图象来表示, 即将主轴每转误差运动值的数字序列, 以各自的相位顺序叠加到基圆上, 就得到误差运动圆图象, 如图 1-4 所示。在图 1-4 中, 图 a 为一转误差运动圆图象; 图 b 为总误差运动圆图象, 它包含着主轴 10 转的误差运动; 图 c 为平均误差运动圆图象, 它是在主轴 10 转范围内对误差运动取平均值所得到的圆图象, 是总误差运动圆图象的平均轮廓线, 反映了误差运动对加工表面圆度的影响; 图 d 为随机误差运动圆图

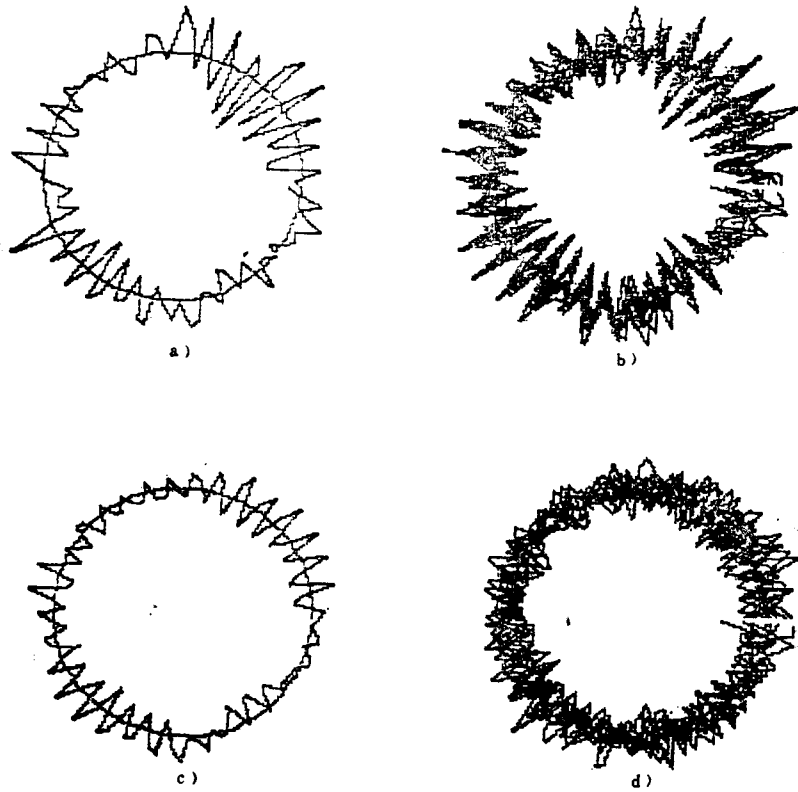


图1-4 误差运动圆图象

a) 一转内误差运动圆图象 b) 总的误差运动圆图象 (10转) c) 平均误差运动圆图象 d) 随机误差运动圆图象

象，它是总误差运动相对平均误差运动的偏移所形成的圆图象，反映了误差运动对加工表面粗糙度的影响。

(二) 测试系统及仪器设备

测试系统框图如图1-5所示。当主轴回转时，DWY-3型振动位移测量仪输出模拟信号 $S_y(t)$ ，与主轴转速同步的同步脉冲信号由另一传感器（如涡流测振仪）输出，两路信号同时送至光线示波器SC16的两个通道，并以适当的走纸速度予以记录。然后，对记录纸上的 $S_y(t)$ 信号曲线，按照已确定的主轴每转的采样点进行人工采样，得到一组 $S_y(t)$ 信号的数字序列，以键盘输入方式把该数字序列顺序输入“紫金II”型微机的内存，运行软件进行数据处理，打印输出结果。系统中的电子示波器用来观察波形和监视实验过程。

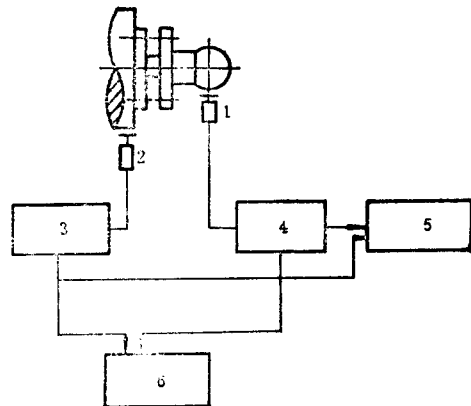


图1-5 测试系统框图

1、2—检测头 3—涡流测振仪 4—DWY-3型
振动位移测量仪 5—SC16光线示波器 6—双线
电子示波器

数据处理软件的程序框图如图 1-6 所示。

实验中所需的仪器设备

有:

1. 车床一台;
2. 摆动装置 (含高精度钢球) 一副;
3. DWY-3 型振动位移测量仪 (或 WFC-III 涡流测振仪) 一台;
4. 传感器 (如涡流测振仪、光电转速仪等) 一台;
5. SC16 光线示波器一台;
6. 双线 (踪) 电子示波器一台;
7. 紫金 II 型微机一台。

(三) 实验步骤

1. 将带有测量球的摆动装置安装在被测主轴上; 将 DWY-3 型振动位移测量仪的检测头通过连接杆安装在车床的方刀架上; 将另一传感器的检测头对准主轴上“标记”位置安装。

2. 按图 1-5 所示的测试系统接线, 经指导教师检查认可后接通电源。

3. 按仪器说明书把各仪器的按键或旋钮置于所需要的位置。

4. 调整摆动装置上的四只螺钉, 使测量球的安装偏心量约为误差运动估计值的 3~4 倍; 调整两传感器检测头的工作间隙, 直至传感器正常工作为止。在调整 DWY-3 型测量仪检测头的工作间隙时, 应与调整测量球的安装偏心交替进行 (注意: 检测头的极板应对准测量球的最大截面位置)。

5. 选定主轴转速, 启动机床, 从电子示波器观察输出波形是否正常, 然后停掉机床。

6. 启动 SC16 光线示波器, 调整两路光点, 使之在合适的位置。

7. 按照 DWY-3 型振动位移测量仪的说明书, 把有关按键及开关置于规定的位置, 使之输出定标信号, 然后对 SC16 光线示波器选择合适的走纸速度, 记录测试系统的定标信号。

8. 计算定标系数 K 。

9. 改变 SC16 光线示波器的走纸速度, 使记录下来的波形便于人工采样。

10. 检查测试系统中各仪器是否处于正常的工作状态, 启动机床, 当主轴转速稳定后, 用 SC16 光线示波器同时记录主轴 10 转的测试信号和同步脉冲信号。

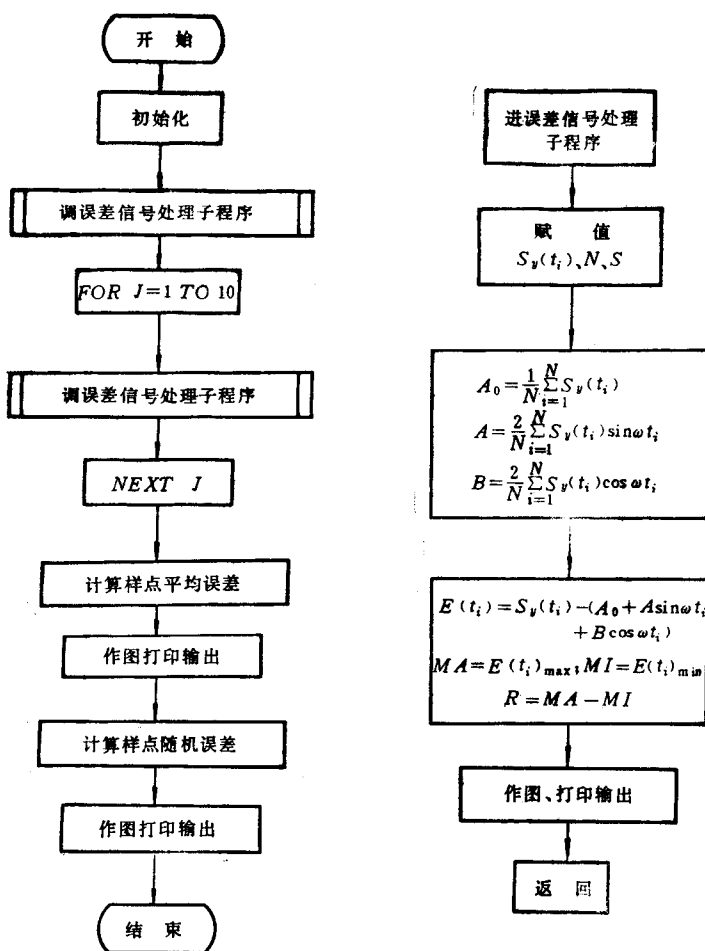


图 1-6 数据处理程序框图

11. 对记录下来的测试信号波形, 计算可见的峰数, 然后按式 (1-12) 确定主轴每转的采样点数。

12. 根据主轴每转的采样点数, 对所记录的测试信号进行人工采样, 按同一基准线进行量化, 并顺序记录量化所得的数值, 得到一组测试信号数列。

13. 把测试信号数列通过键盘人工输入到紫金 II 型微机的内存。

14. 把主轴误差运动计算程序从磁盘输入紫金 II 型微机。

15. 根据主轴每转采样点数修改程序中有关语句。

16. 运行程序, 打印出计算结果及圆图象。

改变主轴转速, 重复有关实验步骤, 测得不同主轴转速的误差运动圆图象和数值。

三、车床类主轴回转误差的测试与评定方法之二

(一) 测试原理

和“方法一”相同, 将装有测量球 3 的摆动装置 2 与机床主轴 1 联接, 摆动装置用来调整测量球对主轴回转中心的偏心量。在主轴尾部装上传盘 6, 与主轴同步旋转, 在转盘上装有紫外线感光记录纸。传感器的检测头 4 通过联接杆固定在车床刀架上, 如图 1-7 所示。

当主轴回转时, DWY-3 型振动位移测量仪 9 的输出信号 $S_y(t)$ 如同式 (1-1) 所列, 它由三部分信号组成, 即

$$S_y(t) = \Delta H(t) + e \sin(\omega t + \varphi_0) + \delta(t) \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi_i) \quad (1-13)$$

当采用高精度测量球时, 式 (1-13) 中的 $\Delta H(t)$ 项可略去不计, 故得下式:

$$S_y(t) = e \sin(\omega t + \varphi_0) + \delta(t) \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi_i) \quad (1-14)$$

式 (1-14) 中各项波形如图 1-2 所示, 其中 $\delta(t) \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi_i)$ 项是要求的测试结果, 即主轴误差运动的波形, $e \sin(\omega t + \varphi_0)$ 项称为基波, 应从测试信号中剔除。本方法中是通过带阻滤波器 11 剔除基波, 带阻滤波器的中心频率应与主轴的回转频率相一致。

将剔除基波后的回转误差信号输入光线振子记录仪 7, 当振子的线圈中输入回转误差信号电流后, 则线圈在磁场中受力转动, 而带动振子上的小镜偏转, 偏转角度与输入电流成正比。小镜的偏转, 使反射光线在记录纸上的光点产生位移, 由于紫外线感光记录纸与主轴同步回转, 所以就能在记录纸上描绘出主轴误差运动圆图象。

涡流测振仪 8 输出与主轴转速同步的脉冲信号, 用来记录主轴的转数, 将该信号输入光线振子记录仪, 可控制记录圆图象的圈数。图 1-8 为所记录的圆图象。

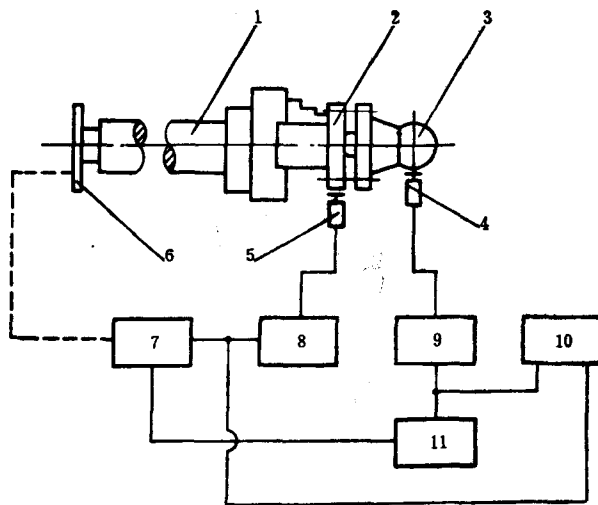


图1-7 主轴回转误差测试系统

1—机床主轴 2—摆动装置 3—测量球 4、5—检测头
6—转盘 7—光线振子记录仪 8—涡流测振仪 9—DWY-3
型振动位移测量仪 10—双线电子示波器 11—带阻滤波器

实验中对主轴回转误差的评定是采用同心圆包络法，具体方法是：用预先刻制有不同半径的同心圆透明板，来复盖找出包容总误差运动圆图象的最大内接圆和最小外接圆，这就是半径差最小的两个同心圆，它们的半径差代表了总回转误差值，如图 1-9 所示。复盖时，要求这两个同心圆对总误差运动圆图象都有两个以上的接点，并且这些接点在圆周方向应交叉排列。这种方法快速简便，但比较粗略。

(二) 测试系统及仪器设备

测试系统框图见图 1-7 所示。当主轴回转时，DWY-3 型振动位移测量仪 9 的输出信号 $S_y(t)$ 经带阻滤波器 11 后得主轴回转误差信号；另一路传感器经涡流测振仪 8，输出与主轴转速同步的脉冲信号，用来控制圆图象的圈数，两路信号同时输入光线振子记录仪 7，通过紫外光线（图中以虚线表示），在记录纸上记录得到误差运动圆图象。系统中的电子示波器 10 用来观察波形和监视实验过程。

系统中的光线振子记录仪，可用 SC16 或 SC10 光线示波器和记数控制装置代替。

实验中所需的仪器设备和工具有：

1. 车床一台；
2. 摆动装置（含高精度钢球）一副；
3. DWY-3 型振动位移测量仪（或 WFC-Ⅲ型涡流测振仪）一台；
4. 带阻滤波器一台；
5. 涡流测振仪或光电转速仪一台；

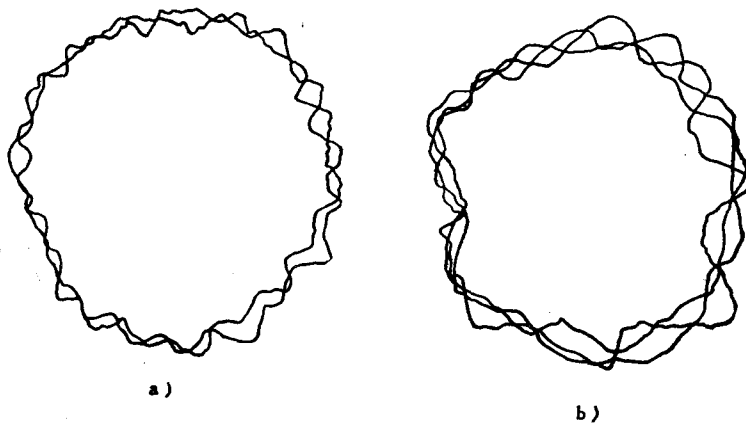


图1-8 误差运动圆图象

a) 二转误差运动圆图象 b) 三转误差运动圆图象

6. 光线振子记录仪一台；
7. 双线（踪）电子示波器一台；
8. 转盘一个；
9. 同心圆透明板一块。

(三) 实验步骤

1. 将带有测量球的摆动装置安装在被测主轴上，将转盘安装在被测主轴尾部，将 DWY-3 型振动位移测量仪的检测头通过连接杆安装在车床的方刀架上；将另一传感器的检测头对准主轴上“标记”位置安装。

2. 按图 1-7 所示的测试系统接线，经指导教师检查后，方可接通电源。

3. 按仪器说明书把各仪器的按键或旋钮置于所需要的位置。

4. 调整摆动装置上的四只螺钉,使测量球的安装偏心量约为回转误差估计值的3~4倍;调整两传感器检测头的工作间隙,直至传感器正常工作为止。在调整DWY-3型测量仪检测头的工作间隙时,应与调整测量球的安装偏心交替进行(注意:检测头的极板应对准测量球的最大截面位置)。

5. 选定主轴转速,启动机床,从电子示波器观察输出波形是否正常,然后停掉机床。

6. 启动光线振子记录仪,调整光点位置,使其落在记录纸合适的位置上。

7. 按照DWY-3型振动位移测量仪的说明书,把有关按键及开关置于规定的位置,使之输出定标信号,然后启动光线振子记录仪,记录系统的定标信号。

8. 按照记录10圈圆图象,确定光线振子记录仪的记数开关位置。

9. 检查测试系统中各仪器是否处于正常的工作状态,启动机床,当主轴转速稳定后,启动光线振子记录仪记录。

10. 计算定标系数。

11. 用同心圆透明板,按照同心圆包络法,求出主轴总回转误差。

改变主轴转速,重复有关实验步骤,测得不同主轴转速下的误差运动圆图象和回转误差数值。

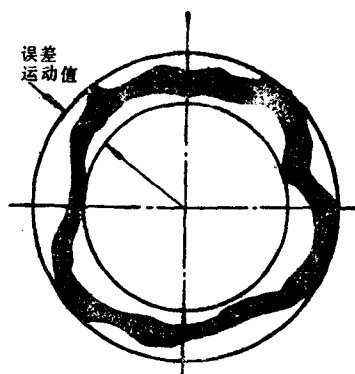


图1-9 评定回转误差的同心圆包络法

四、镗床类主轴回转误差的测试与评定

(一) 测试原理

镗床类主轴是一种刀具回转型主轴,其敏感方向是在回转的。在这类主轴回转误差的测试方法中,双向测试法虽在测试原理上存在一定的误差,但由于使用仪器比较简单,至今仍被广泛应用。

应用双向测试法时,仍如图1-1所示,测量球通过摆动装置与机床主轴连接,与图中不同之处,只是在测量球最大截面周围相互垂直地安装两个位移传感器检测头,当主轴回转时,信号经过两路放大器输入到示波器的X、Y坐标输入端,如图1-10所示。

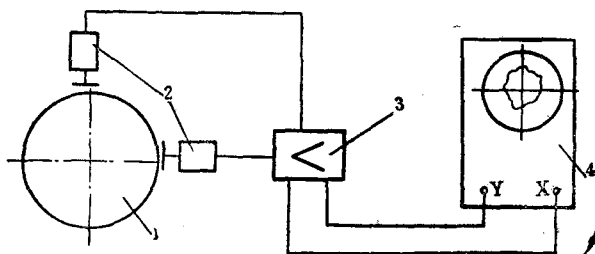


图1-10 双向测试法系统框图

1—测量球 2—检测头 3—双通道放大器 4—电子示波器

由于采用高精度的测量球,其圆度误差可以忽略不计,因此传感器的输出信号 $S_x(t)$ 、 $S_y(t)$ 由两部分组成,可用下式表示:

$$\left. \begin{aligned} S_x(t) &= e \cos \omega t + \delta(t) \cos(\omega t + \varphi_t) \\ S_y(t) &= e \sin \omega t + \delta(t) \sin(\omega t + \varphi_t) \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

式中 $e \cos \omega t$ 、 $e \sin \omega t$ ——测量球的几何中心相对主轴回转中心的偏心量 e 分别在 X 轴和 Y 轴上的分量；

$\delta(t) \cos(\omega t + \varphi_t)$ 、 $\delta(t) \sin(\omega t + \varphi_t)$ ——主轴的误差运动值分别在 X 轴和 Y 轴上的分量；

$\delta(t)$ ——主轴误差运动值的大小；

φ_t ——在 t 时刻，误差运动对偏心方位的相位角。

它们之间的关系由图1-11表示。当主轴以角速度 ω 回转时，在示波器屏幕上将描绘出圆图象，该图形的瞬时半径为 R ：

$$R = \sqrt{e^2 + \delta^2(t) + 2e\delta(t)\cos\varphi_t} \quad (1-16)$$

瞬时误差为 ΔR ：

$$\Delta R = R - e \quad (1-17)$$

双向测试法在原理上存在一定的误差，由图1-11可知，在示波器屏幕上的光点位置是 R 的端点，圆图象是 R 端点的轨迹，而不是主轴回转中心的轨迹，而且，瞬时误差 ΔR 也不等于误差运动 $\delta(t)$ 在径向的分量，因此产生了原理误差。只有在 $\varphi_t = 0^\circ$ 或偏心 $e = 0$ 时，示波器屏幕上的圆图象才能完全反映主轴的误差运动值，才能使瞬时误差 ΔR 等于误差运动 $\delta(t)$ （这时 $\delta(t)$ 始终在半径方向）。但是事实上，在任何时候都存在 $\varphi_t \neq 0^\circ$ （即误差运动 $\delta(t)$ 与偏心 e 同相位）是不可能的；又若使偏心 $e = 0$ （实际上很难调整到），则在示波器屏幕上就不可能形成圆图象，双向测试法就不能用来测试回转敏感方向主轴的回转误差值。

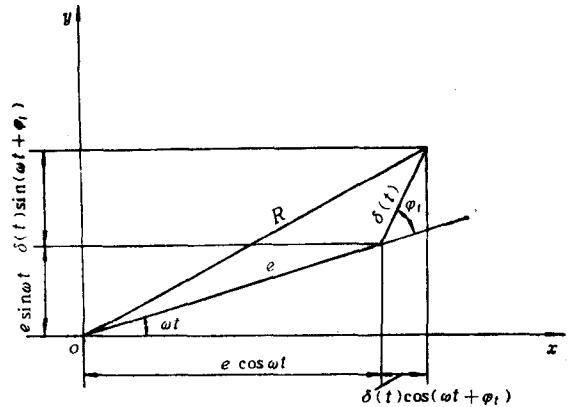


图1-11 $\delta(t)$ 的矢量图

双向测试法必定存在偏心 e ，但是为了减小原理误差，应选取合适的偏心量，使偏心量 e 与被测主轴的误差运动值 δ 有一个适当的比例，一般取下列范围，即

$$\frac{e}{\delta} = 4 \sim 8 \quad (1-18)$$

按式 (1-18) 选取偏心量，可使原理误差约小于主轴误差运动值的10%。

还应指出，当偏心 e 的大小或方向改变时，同一个回转轴将得到不同的圆图象和 ΔR 值，应用双向测试法时必须注意这一点。另外，当需要误差运动圆图象与加工表面的形状相对应时，测量球的偏心方位与加工时的刀尖方位必须相一致。

实验中对主轴回转误差的评定是采用同心圆包络法，具体方法参阅“方法之二”中对主轴回转误差的评定。

(二) 测试系统及仪器设备

双向测试法的测试系统比较简单，如图1-10所示。当主轴回转时，布置在测量球最大截面周围并相互垂直的两个检测头拾取信号，经双通道放大器把信号输送到示波器的 X 、 Y 输入端，在示波器的屏幕上即出现误差运动圆图象。

实验中所需的仪器设备有:

1. 镗床一台 (或用立式铣床代替);
2. 摆动装置 (含高精度测量球)一副;
3. 位移测量仪两台或双通道位移测量仪一台, 如WFC-Ⅲ型涡流测振仪、DWY-3型振动位移测量仪等;
4. 电子示波器 (具有X轴连续调节) 一台, 如SR2型电子示波器等;
5. 照相机一台;
6. 同心圆透明板一块。

(三) 实验步骤

1. 将带有测量球的摆动装置安装在被测主轴上; 将传感器的检测头借助千分表架(或专用工具) 安装在机床的工作台上, 并使两个检测头相互垂直地安装在测量球的最大截面周围。

2. 按图1-10所示的测试系统接线, 经指导教师检查认可后接通电源。

3. 按仪器说明书把各仪器的按键或旋钮置于所需要的位置。

4. 调整摆动装置上的四个螺钉, 使测量球的安装偏心量约为误差运动估计值的4~8倍; 调整两传感器检测头的工作间隙, 直至传感器正常工作为止。工作间隙的调整应与调整测量球的安装偏心交替进行 (注意: 检测头的极板应对准测量球的最大截面位置)。

5. 使传感器输出定标信号, 分别输入示波器的X轴和Y轴, 调整X、Y两通道的“增幅”和“衰减”旋钮, 使X、Y两通道达到相同的放大比, 并且大小适中。然后应注意保持所有旋钮的位置不变。

6. 记录示波器屏幕上定标信号的长度 (参照示波器屏幕上的方格), 计算定标系数。

7. 选定主轴转速, 启动机床, 从电子示波器观察输出的圆图象是否正常。

8. 根据主轴10转的时间, 选择相应的照相速度, 从示波器屏幕上拍摄多圈圆图象 (注意: 应同时拍摄示波器屏幕上的方格)。

9. 对放大后的总误差运动圆图象照片, 应用同心圆透明板, 按照同心圆包络法求出主轴的总误差运动值。

改变主轴转速, 重复有关实验步骤, 测得不同主轴转速的误差运动圆图象和数值。

五、实验报告内容

1. 实验名称;
2. 实验内容;
3. 测试系统框图及仪器设备的型号;
4. 数据记录: 如采样点的计算、采样数列、定标系数等;
5. 实验结果: 误差运动圆图象及回转误差值;
6. 结果分析。
 - (1) 从得到的回转误差圆图象分析产生的可能因素。
 - (2) 分析所应用的测量方法存在什么问题。
 - (3) 从测得的误差运动值预估在加工零件时将产生的误差形式和大小。

实验二 加工精度的统计分析

一、目的与要求

1. 通过本实验使学生掌握加工精度统计分析的基本原理和方法；运用此方法综合分析零件尺寸的变化规律；了解以微型计算机为核心的数据采集与计算系统。
2. 学习设计实验线路，正确选择与使用有关仪器。
3. 正确使用计算机进行采样与运算，并绘制点图、实验分布曲线图以及累积频率分布图等。
4. 绘制 $\bar{x}-R$ 质量控制图。
5. 确定本工序的精度系数 C_p ，并分析本工序加工稳定性。

二、基本原理

(一) 加工误差及其变化规律

在已调整好的机床上加工一批工件，以其加工顺序或时间为横坐标，以工件尺寸为纵坐标，作出点图（见图2-1），它反映了工件尺寸的变化规律。

由各种工艺因素所产生的加工误差，可分为两大类，即系统误差和随机误差。

系统误差包括：因调整等因素引起的常值系统误差 Δ_s 和因刀具磨损、机床热变形等引起的有规律变化趋势的变值系统误差 Δ_{so} 。

随机性误差 Δ_{re} 是由尺寸分散造成的，亦称瞬时尺寸分散。至于整批零件尺寸的分散尚应包含有规律地变化着的系统误差。

研究加工精度问题时，应该考虑到系统误差和随机误差是同时存在的，是混在一起的，这就使我们难以用分析计算法来进行研究。因此，在生产实际中常用统计分析法来研究加工精度问题。

(二) 分布曲线法

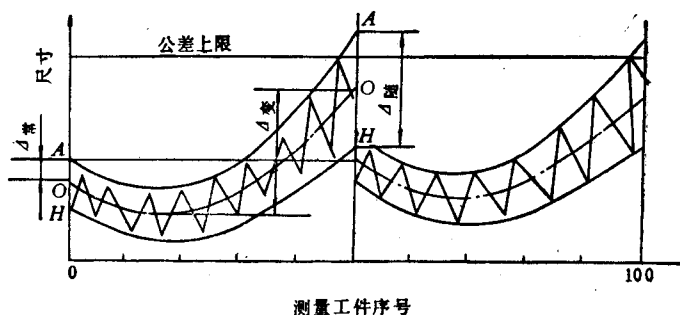


图2-1 工件尺寸变化图

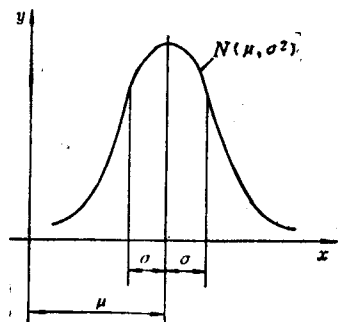


图2-2 理论正态分布曲线