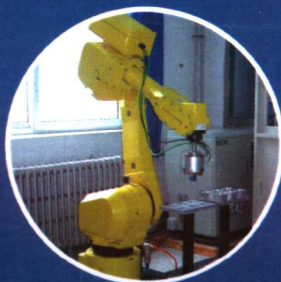


主编 孙萍 崔怡

# 机械类专业实验教程

EXPERIMENT COURSE  
FOR MECHANICAL  
SPECIALITY



中国海洋大学出版社  
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

# 机械类专业实验教程

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 孙 萍 | 崔 怡 |     |
| 编 者 | 杨志强 | 安永恺 | 李志文 |
|     | 杨国海 | 刘松年 | 许 楨 |
| 主 审 | 孟广耀 |     |     |

中国海洋大学出版社

• 青 岛 •

**图书在版编目(CIP)数据**

机械类专业实验教程 / 孙萍, 崔怡主编. —青岛: 中国海洋大学出版社, 2007. 9

ISBN 978-7-81125-067-1

I. 机… II. ①孙…②崔… III. 机械学—实验—高等学校—教材 IV. TH11-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 146844 号

出版发行 中国海洋大学出版社  
社 址 青岛市香港东路 23 号  
网 址 <http://www2.ouc.edu.cn/cbs>  
电子信箱 [hdcbs@ouc.edu.cn](mailto:hdcbs@ouc.edu.cn)  
订购电话 0532-82032573(传真)  
责任编辑 李建筑  
印 制 文登市印刷厂有限公司  
版 次 2007 年 10 月第 1 版  
印 次 2007 年 10 月第 1 次印刷  
成品尺寸 185mm × 260mm  
印 张 14.75  
字 数 341 千字  
定 价 38.00 元

邮政编码 266071

电 话 0532-85902505

# 前 言

机械类专业实验的目的是,加深学生对该类课程的理解,培养学生的实验基本技能和分析问题、解决问题的能力,以及使学生掌握运用实验手段研究机械类专业技术问题的方法,启发其创新思维。除保留必要的理论验证性实验项目外,我们增加了一些可直接服务于生产实际的综合性、设计性实验项目,以期更好地理论联系实际;同时为学生提供大型先进仪器设备进行使用和操作,使其提前对社会的实际需求和先进的仪器设备有一定的感知。

我们根据课程实验教学大纲的要求,结合本校实验室的仪器设备情况,确立了实验项目,并在参阅仪器设备说明书的基础上,编写了本书。全书分三部分:第一部分为误差和实验数据处理,第二部分为专业基础课实验,第三部分为专业课实验。本书内容经过三年的试用,效果良好。

本书由青岛理工大学机械工程学院实验室组织编写,参加编写的人员有:孙萍(第一部分,第二部分的第一章、第四章、第六章)、李志文(第二部分的第二章)、杨志强(第二部分的第三章)、安永恺(第二部分的第四章)、崔怡(第二部分的第五章,第三部分的第四章)、杨国海(第二部分的第七章),许桢(第二部分的第二章,第三部分的第一章、第二章、第八章)、刘松年(第三部分的第三章、第四章、第五章、第六章、第七章、第九章)。全书由孙萍、崔怡主编、统稿,孟广耀教授主审。

恳请读者提出宝贵意见。

编者

2007年8月

# 学生实验守则

一、实验前必须做好充分准备,预习实验指导书,复习与本次实验有关的理论,写好预习报告,经教师检查合格后方可进行实验。

二、学生进入实验室后,应保持室内安静和整洁。注意安全,未经教师同意不准动用仪器设备。

三、在实验中要集中精力,认真观察,如实记录各种实验数据,不许凑数或抄袭别人的实验数据。实验报告应及时完成并上交。

四、严格遵守操作规程,爱护国家财产。做完实验要认真如实地填写仪器设备使用记录本;违章损坏仪器设备者,要按学校有关规定进行赔偿。

五、做完实验,原始数据须经教师检查合格后,方可停止实验;将实验仪器摆放整齐,实验台恢复初始位置,方可离开实验室。

六、学生违犯实验室规章制度或影响其他同学进行实验,教师有权停止其实验,对情节严重经教育不改者,可由学院给予纪律处分。

七、因故未做实验者,应在两周内向教师提出并补做实验,否则过时一律不补。实验成绩不合格者,不得参加该课程考试。

# 目 次

## 第一部分 误差和实验数据处理

|                |     |
|----------------|-----|
| 第一章 测量误差的定义和分类 | (3) |
| 第二章 实验数据的处理方法  | (5) |

## 第二部分 专业基础课实验

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 第一章 《机械制造基础》实验              | (13)  |
| 实验一 焊缝检验                    | (13)  |
| 第二章 《机械工程材料》实验              | (29)  |
| 实验一 铁碳合金平衡组织观察              | (29)  |
| 实验二 机械工程材料综合实验              | (34)  |
| 2-1 碳钢的热处理和硬度测试             | (34)  |
| 2-2 金相试样的制备                 | (37)  |
| 2-3 碳钢热处理后的组织观察及合金钢、铸铁的组织观察 | (39)  |
| 实验三 基于扫描电镜的材料观察与分析          | (47)  |
| 实验四 定量金相分析                  | (49)  |
| 第三章 《机械原理》实验                | (54)  |
| 实验一 机构运动简图测绘与分析             | (54)  |
| 实验二 机构运动参数测定及分析             | (55)  |
| 实验三 刚性转子动平衡                 | (62)  |
| 实验四 机构创新设计                  | (71)  |
| 第四章 《机械设计》实验                | (77)  |
| 实验一 皮带传动实验                  | (77)  |
| 实验二 滑动轴承实验                  | (83)  |
| 实验三 轴系结构设计与组装               | (90)  |
| 实验四 机械传动性能                  | (94)  |
| 实验五 减速器结构分析                 | (100) |
| 第五章 《互换性原理与测量》实验            | (105) |
| 实验一 尺寸测量                    | (105) |
| 1-1 用立式光学计测量轴的直径            | (105) |

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| 1-2 用内径百分表测量孔的直径 .....           | (109)        |
| 实验二 平面度误差测量 .....                | (111)        |
| 实验三 用三坐标测量机测量尺寸误差及形位误差 .....     | (113)        |
| 实验四 齿轮测量 .....                   | (116)        |
| 4-1 齿轮径向综合误差测量 .....             | (116)        |
| 4-2 齿轮齿厚偏差测量 .....               | (118)        |
| 4-3 齿轮公法线平均长度偏差及公法线长度变动的测量 ..... | (120)        |
| 实验五 用针描法测量表面粗糙度 .....            | (121)        |
| <b>第六章 《工程测试技术》实验 .....</b>      | <b>(127)</b> |
| 实验一 传感器原理 .....                  | (127)        |
| 实验二 电桥加减特性 .....                 | (130)        |
| 实验三 梁的振动测试 .....                 | (132)        |
| 实验四 扭矩标定 .....                   | (134)        |
| 实验五 动态应变测量 .....                 | (136)        |
| <b>第七章 《液压传动》实验 .....</b>        | <b>(139)</b> |
| 实验一 油泵性能 .....                   | (139)        |
| 实验二 溢流阀性能 .....                  | (143)        |
| 实验三 节流调速回路性能 .....               | (148)        |
| 实验四 液压基本回路的设计组装与分析 .....         | (154)        |

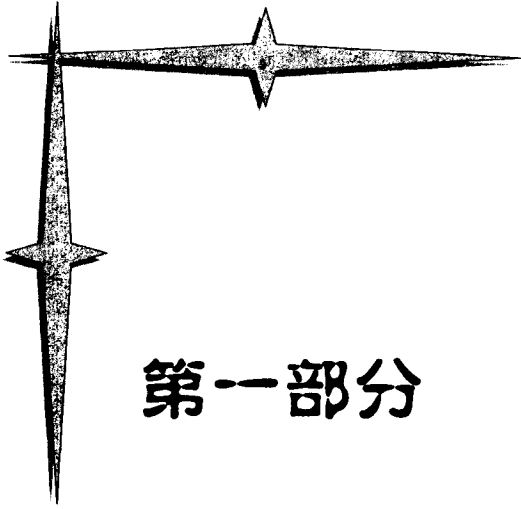
### 第三部分 专业课实验

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| <b>第一章 《电气控制与 PLC》实验 .....</b>    | <b>(165)</b> |
| 实验一 低压电器工作原理 .....                | (165)        |
| 实验二 PLC 软件上机操作与编程 .....           | (166)        |
| 实验三 PLC 的三相电机控制实验 .....           | (167)        |
| 实验四 PLC 控制系统设计实验 .....            | (169)        |
| <b>第二章 《微机控制技术》实验 .....</b>       | <b>(171)</b> |
| 实验一 工控机控制系统接口实验 .....             | (171)        |
| 实验二 XY 平台运动控制系统实验 .....           | (173)        |
| <b>第三章 《数控技术与数控机床》实验 .....</b>    | <b>(176)</b> |
| 实验一 数控车床的编程及操作 .....              | (176)        |
| 实验二 数控加工中心的编程及操作 .....            | (179)        |
| 实验三 数控线切割机床的编程及操作 .....           | (181)        |
| <b>第四章 《特种加工与自动化制造技术》实验 .....</b> | <b>(185)</b> |
| 实验一 快速原型制作 .....                  | (185)        |
| 实验二 模块化生产系统实验 .....               | (188)        |
| 2-1 机械安装调试 .....                  | (188)        |
| 2-2 气动技术 .....                    | (189)        |

## 目 次

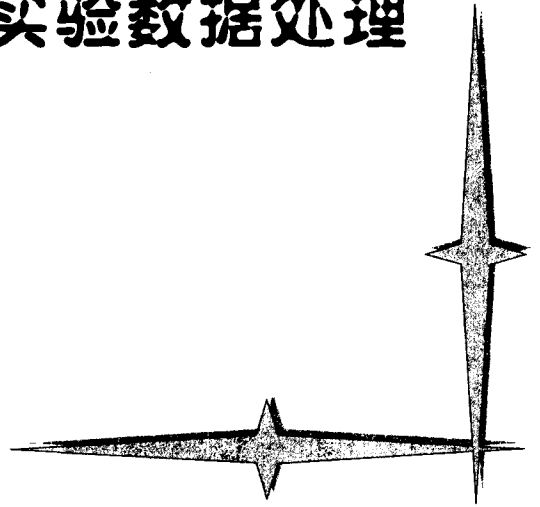
---

|                                             |              |
|---------------------------------------------|--------------|
| 实验三 电火花加工技术·····                            | (191)        |
| <b>第五章 《机械制造工艺学》实验·····</b>                 | <b>(193)</b> |
| 实验一 加工误差统计分析·····                           | (193)        |
| 实验二 切削用量对零件表面质量的影响·····                     | (197)        |
| 实验三 螺纹加工仿真及误差分析·····                        | (198)        |
| <b>第六章 《机械制造装备设计》实验·····</b>                | <b>(201)</b> |
| 实验一 车床主轴箱结构分析·····                          | (201)        |
| 实验二 复杂刀具认识·····                             | (204)        |
| 实验三 夹具装夹实验·····                             | (208)        |
| <b>第七章 《CAD/CAM》(《模具 CAD/CAM》) 实验 ·····</b> | <b>(211)</b> |
| 实验一 基于网络化的 CAD/CAM 系统在数控车床中的应用 ·····        | (211)        |
| 实验二 基于网络化的 CAD/CAM 系统在数控加工中心的应用 ·····       | (214)        |
| <b>第八章 《机电一体化系统设计》实验·····</b>               | <b>(216)</b> |
| 实验一 交流伺服电机与工控机接口实验·····                     | (216)        |
| 实验二 基于 PLC 的交流伺服电机控制实验 ·····                | (220)        |
| 实验三 工业机器人编程与操作·····                         | (221)        |
| <b>第九章 《模具制造工艺学》实验·····</b>                 | <b>(223)</b> |
| 实验一 复杂刀具认识·····                             | (223)        |
| 实验二 夹具装夹实验·····                             | (223)        |
| 实验三 模具型腔加工·····                             | (223)        |
| <b>第十章 《模具快速成型技术》实验·····</b>                | <b>(225)</b> |
| 实验一 快速原型制作·····                             | (225)        |



# 第一部分

## 误差和实验数据处理





# 第一章 测量误差的定义和分类

机械量测量是我们定量研究客观世界中机械运动规律和相互作用的唯一的手段,所以机械量测量是否准确,将直接影响我们对客观世界的认识水平。

## 一、误差的定义

任何待测机械量都有其自身所特有的机械性质,反映这些特性的机械量所具有的客观的真实数值称为真值。实验的目的就是希望通过实验来确定待测机械量真值。

但是,在实验测量中,由于受到测量仪器、测量方法、测量时间、观测者的感觉器官的分辨率以及环境条件的限制,测量的结果只能是被测机械量的近似值,也就是说机械量的测量值和真值之间总存在差异。

我们把测量值  $N_i$  与被测机械量的真值  $N_0$  之差的绝对值  $\Delta N_i$  定义为测量的绝对误差,简称误差。即

$$\Delta N_i = |N_0 - N_i| \quad (1-1-1)$$

我们也可用相对误差来表示,即绝对误差与被测量值的比值

$$E_r = \frac{\Delta N}{N} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

## 二、误差的分类

根据实际测量过程中对测量误差的来源的综合分析,我们将测量误差分为系统误差和偶然误差两类。

### 1. 系统误差

系统误差的特点:在相同条件下(指观测者、测量仪器和测量方法等完全相同),多次测量同一待测机械量时,测量的误差始终保持恒定,或按照一定的规律变化。

系统误差的主要来源:

(1) 仪器误差:由于实验仪器本身的设计缺陷,或没有严格按照规定条件使用仪器,而给测量结果带来的误差。

(2) 理论或方法误差:由于测量所依据的理论公式本身的近似性,或实验条件和测量方法不能达到理论所规定的要求而给测量结果带来的误差。

(3) 环境误差:测量过程中,由于测量现场周围的温度、气压、电磁场等环境条件发生变化(偏离规定条件)而产生的误差。

(4) 人为误差:由于测量者缺乏必要的基本训练、实验经验不足或不正确的读数习惯而给测量结果带来的误差。

实验中系统误差的发现和清除有时比较简单,有时相当复杂和困难,但原则上讲总可以通过改善(或校准)仪表、改进测量方法、修正测量结果、改善实验环境以及通过训练纠正观测者本身的习惯偏向等方法来减少系统误差,直到其对实验测量结果的影响可以忽略不计为止。

### 2. 偶然误差

在实验中即使消除了系统误差,实验者在相同条件下对同一物理量进行多次测量时,各次测量值也往往不相同,即测量值仍存在误差。

这类误差主要是由于观测者在对测量数据进行接近于、或低于测量工具最小分辨率的一位估读时,感官分辨能力有限,以及环境条件无规律的起伏变化所造成的。尽管,低于测量工具最小分辨率的一位估读的数值是不准确的,但是,这一位估读的测量数值却是有着特殊意义的。

偶然误差的特点是,对多次测量中某一次测量值而言,测量结果的绝对误差的大小完全不可预料,即完全是偶然的(随机的),因而也将这类误差称为随机误差。

对一个特定机械量的测量过程而言,偶然误差的“偶然性”并不意味着测量结果是完全无规律的。当进行多次测量时,由偶然误差影响产生的测量结果服从统计规律,因此可用概率统计的方法来处理偶然误差。

由于偶然误差是由某些不能完全控制的偶然因素所引起的,所以不能通过改善仪器、改进测量方法等办法来减小和消除它,但由于其遵从单峰性、对称性、有界性和抵偿性的统计规律,故可适当增加测量次数,取其算术平均值使测量值更接近真值。

## 第二章 实验数据的处理方法

实验数据处理是指从原始数据的记录、整理,到应用有效数字和误差理论计算得出实验结果,并分析判断结果的准确程度这一完整的过程。把实验数据所反映的物理现象的内在规律提炼出来,是机械实验中数据处理的最终目的。

### 一、列表法

列表法就是将实验数据中的自变量、因变量的各个数据及计算过程和最后结果,按一定的格式有序地排列出来。

#### 1. 列表的作用

在记录和处理测量数据时,我们常常将数据列成表格形式,数据列表可以简单而明确地表示出有关机械量之间的对应关系,便于随时检查测量结果是否合理、及时发现和分析实验中存在的各种问题。

数据列表还可以提高处理数据的效率,减少和避免错误。根据需要,把计算的某些中间项列出来,可以随时从对比中发现运算是否有错,随时进行有效数字的简化,避免不必要的重复运算,利于计算和分析误差,以及必要时可对原始数据和计算数据随时查对。

#### 2. 列表法的基本要求

(1) 栏目要简明:便于记录和处理实验原始数据,便于确定有关机械量之间的数学关系。

(2) 分栏要清楚:便于填写中间计算量、实验结果和复核实验数据。

(3) 单位要科学:测量机械量的单位要写在标题栏中,一般不要重复地记在各个记录数据上。在名称栏中标入测量符号的同时,对于数值过大或过小的测量数据一般应以 $10^n$ 或 $10^{-n}$ 表示。

(4) 数据要真实:表中的实验数据必须是原始记录数据(即直接从实验测量工具上读出的数据),要正确地记录测量结果的有效数字位数,实验原始数据不得随意涂改,更不得随意编造。

### 二、图示法

图示法就是把一组具有特定对应关系的测量数据用曲线直观地描绘出来,从曲线可以看出机械量之间的变化规律、找出对应函数关系,求得经验公式。

#### 1. 图示法的优点

图示法的最大优点是能直观地显示相关机械量之间的对应关系。图示法中的实验曲线是依据大量的实验数据,按一定的规则绘制而成的,所以曲线本身就具有多次测量求平

均的作用,并可帮助我们发现和剔除个别的误差特别大的可疑数据。对于某些特定的情况,我们可以由实验曲线直接推测出待进行实际测量的其他部分的数据。

## 2. 作图规则

(1) 选用合适的坐标纸:作图必须使用规定的标准坐标纸,我们最常用的是线性坐标纸,其他还有双对数型、单对数型和极坐标型坐标纸。

所使用坐标纸的大小是根据测量数据的有效数字位数及测量数值的范围而确定的,一般原则是保持实验原始数据的有效数字位数,并能包括所有的测量数据点。在允许的情况下,可以适当放大比例。

(2) 确定坐标轴及其分度值:通常以横轴表示自变量,纵轴表示因变量。画出坐标轴的方向,标明其代表的机械量的符号和机械量的单位,并在坐标轴上标明等间距的分度值。

选取坐标分度值时要注意:① 坐标分度值的有效数字位数不低于实验测量值的有效数字的位数。② 为了便于在坐标图上读数,标定坐标分度时,应取 10 个、20 个、50 个小格代表该机械量的一个分度单位,而凡取 3, 6, 7, 9 个小格代表一个分度单位或用测量数据标定分度单位都是错误的。③ 尽量使实验曲线充满整个图纸,以提高整个坐标图的分辨率,而不要使实验曲线偏于坐标图纸的一边或一角。除特殊需要外,坐标的原点不一定选为  $x=0, y=0$  点,可选小于数据中最小值的某一整数作为起点。

(3) 标定实验数据点:一定要用符号(+, ×, ⊙, …)将测量数据点准确地标定在已确定坐标轴及其分度值的坐标纸上,代表实验点的符号(+, ×, ⊙, …)要用直尺、细硬铅笔仔细画出,并使测量数据点准确地落在“+”、“×”的交叉点处。

在一张图纸上要画数条实验曲线时,各条曲线应用不同形式的符号标定以示区别。

不能只用“·”来标定实验数据点,因为,在绘制实验曲线时,用“·”来标定的实验数据点会被覆盖!

(4) 绘制实验曲线:绘制实验曲线要用直尺、曲线板、细硬铅笔,根据不同情况把测量点连成代表机械实验规律的直线或光滑曲线,要使所画的实验曲线穿过尽可能多的测量数据点,不在线上的测量数据点也应均匀地分布在所绘实验曲线的两侧,对于个别偏离实验曲线较大的测量数据点,可以视情况舍弃或重新测量核对该测量数据点,更重要的是不能因为只照顾了极个别的测量误差较大的测量点,而忽略了大多数测量点所代表的实验规律。

(5) 实验曲线的名称:注明实验曲线的名称,并用文字加以适当的说明。

## 三、图解法

利用根据作图法绘制的实验曲线,我们还可以用解析几何的方法,进一步求出实验曲线的方程和某些有关的机械参数,这种方法称为图解法。

实验关系曲线中最简单的形式为直线,如果从实验数据画出的实验曲线是一直线,则说明自变量  $x$  与因变量  $y$  之间的关系为

$$y=kx+C \quad (1-2-1)$$

式中,  $k, C$  为常量。

## 第二章 实验数据的处理方法

(1) 求斜率  $k$ : 在实验数据线(直线)两端任选  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$  两点(注意, 一定不能用数据点!), 其  $x$  坐标值最好是整数(即应选在实验数据线与坐标线相交处的点), 用与数据点不同的符号标明, 并在旁边注明其坐标值。为了减小相对误差(使结果得到足够多的有效数字位数), 所选两点相距应尽量远些。这样所求斜率为

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (1-2-2)$$

其单位由  $x, y$  的单位来决定。

(2) 求截距  $C$ : 假如实验数据线的  $x$  坐标的原点取为“0”, 则将所作的直线延长令其与  $y$  轴相交, 该交点的  $y_0 = C$ 。

若  $x$  轴原点不是“0”, 则可由下式计算出截距:

$$C = y|_{x=0} = \frac{x_2 y_1 - x_1 y_2}{x_2 - x_1} \quad (1-2-3)$$

图解法实例: 求电容式位移传感器灵敏度  $S = \frac{\Delta V}{\Delta X}$  ( $\text{mV} \cdot \text{mm}^{-1}$ ), 保留小数点后三位数字。

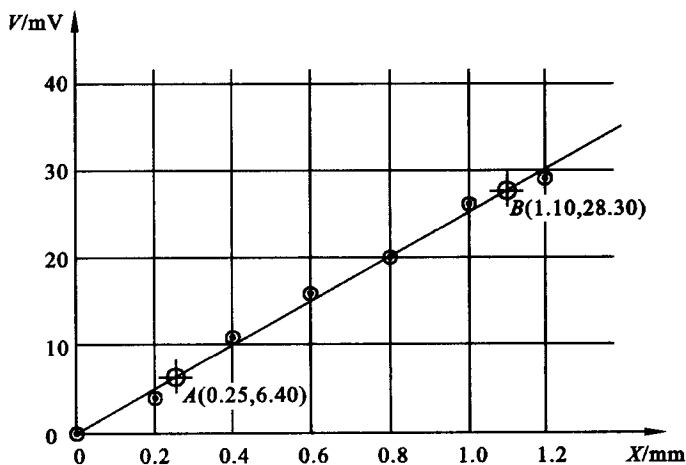


图 1-2-1 电容式位移传感器位移与电压的实验关系曲线

在实验曲线上取  $A(0.25, 6.40)$  和  $B(1.10, 28.30)$  两点, 得

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta X} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{28.30 - 6.40}{1.10 - 0.25} = 25.765 \text{ mV} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$C = y|_{x=0} = \frac{x_2 y_1 - x_1 y_2}{x_2 - x_1} = \frac{1.10 \times 6.40 - 0.25 \times 28.30}{1.10 - 0.25} = -0.041 \text{ mm}$$

图解法是回归分析的简便方法之一, 由于作图时完全凭经验画直线, 主观性较大, 精度较低, 但此法非常简单, 精度要求不高时可采用。

### 四、回归分析

回归分析是处理变量之间相互关系的一种数理统计方法。回归分析应用数学的方法, 对大量的观测数据进行处理, 从而得出比较符合事物内在规律的数学表达式。由实验数据得到的经验方程称为回归(拟合)方程, 并由此求出方程的待定系数。

在回归分析中,为了得出经验方程的系数,通常采用最小二乘法。最小二乘法是一种解决怎样从一组测量数据中得到最可信赖值的方法,回归分析是最小二乘法的一个应用特例。得到经验回归方程后,还应进行相关显著性检验,判定所建立的经验方程是否有效。

### 1. 一元线性回归方程

一元线性回归方程为

$$\hat{y} = bx + a \quad (1-2-4)$$

式中, $a$ 、 $b$  称为回归系数, $b$  是回归直线的斜率, $a$  是回归直线的截距。

一元线性回归的原理:若能找到一条最佳的拟合直线,那么各测量值与这条拟合直线上各对应点的值之差的平方和应该是最小的,在此条件下求解回归系数  $a$  和  $b$ 。

一组测量数据,自变量  $x_i (i=1, 2, \dots, N)$ , 因变量  $y_i (i=1, 2, \dots, N)$ ,

$$\begin{cases} b = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N x_i) (\sum_{i=1}^N y_i)}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N x_i)^2} = \frac{l_{xy}}{l_{xx}} \\ a = \bar{y} - b\bar{x} \end{cases} \quad (1-2-5)$$

$$(1-2-6)$$

式中,

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1-2-7)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (1-2-8)$$

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N x_i)^2 \quad (1-2-9)$$

$$l_{xy} = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N x_i) (\sum_{i=1}^N y_i) \quad (1-2-10)$$

$$l_{yy} = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N y_i)^2 \quad (1-2-11)$$

将式(1-2-6)代入式(1-2-4),可得回归直线的另一种形式:

$$\hat{y} - \bar{y} = b(x - \bar{x}) \quad (1-2-12)$$

由此可见,回归直线式(1-2-4)通过点 $(\bar{x}, \bar{y})$ ,明确这一点对回归直线的作图是很有帮助的。

回归分析举例:测量扭矩标定装置在一定载荷(扭矩  $N \cdot m$ )下的仪器输出值(光点高度  $mm$ ),记录以下结果,试得出它们之间的内在关系,即扭矩标定系数( $N \cdot m \cdot mm^{-1}$ )。

表 1-2-1

| 载荷( $N \cdot m$ ) | 0   | 9.8  | 19.6 | 29.4 | 39.2 | 49.0 |
|-------------------|-----|------|------|------|------|------|
| 输出(mm)            |     |      |      |      |      |      |
| 加载                | 0   | 15.0 | 30.0 | 45.0 | 60.0 | 75.0 |
| 卸载                | 0.5 | 15.5 | 30.5 | 45.5 | 60.0 |      |

## 第二章 实验数据的处理方法

(1) 把数据点在坐标纸上,  $x$  轴为仪器输出(mm),  $y$  轴为标定扭矩( $\text{N} \cdot \text{m}$ ), 这种图叫散点图(略)。由表 1-2-1 数据看出, 扭矩( $\text{N} \cdot \text{m}$ )与仪器输出的光点高度(mm)大致成线性关系。

(2) 列表计算:

表 1-2-2

| 序号       | $x/\text{mm}$ | $y/\text{N} \cdot \text{m}$ | $x^2/\text{mm}^2$ | $y^2/(\text{N} \cdot \text{m})^2$ | $xy/\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}$ |
|----------|---------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|
| 1        | 15.0          | 9.8                         | 225.0             | 96.04                             | 147.0                                        |
| 2        | 30.0          | 19.6                        | 900.0             | 384.16                            | 588.0                                        |
| 3        | 45.0          | 29.4                        | 2 025.0           | 864.36                            | 1 323.0                                      |
| 4        | 60.0          | 39.2                        | 3 600.0           | 1 536.64                          | 2 352.0                                      |
| 5        | 75.0          | 49.0                        | 5 625.0           | 2 401.0                           | 3 675.0                                      |
| 6        | 60.0          | 39.2                        | 3 600.0           | 1 536.64                          | 2 352.0                                      |
| 7        | 45.5          | 29.4                        | 2 070.25          | 864.36                            | 1 337.7                                      |
| 8        | 30.5          | 19.6                        | 930.25            | 384.16                            | 597.8                                        |
| 9        | 15.5          | 9.8                         | 240.25            | 96.04                             | 151.9                                        |
| 10       | 0.5           | 0                           | 0.25              | 0                                 | 0                                            |
| $\Sigma$ | 377.00        | 245.00                      | 19 216.00         | 8 163.40                          | 12 524.40                                    |

$$\sum_{i=1}^N x_i = 377.00 \text{ mm}$$

$$\sum_{i=1}^N y_i = 245.00 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$N = 10$$

$$\bar{x} = 37.70 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = 24.50 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i^2 = 19\,216.00 \text{ mm}^2$$

$$\sum_{i=1}^N y_i^2 = 8\,163.40 (\text{N} \cdot \text{m})^2$$

$$\sum_{i=1}^N x_i y_i = 12\,524.40 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}$$

$$\frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2 = 14\,212.90 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N y_i \right)^2 = 6\,002.50 (\text{N} \cdot \text{m})^2$$

$$\frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N x_i \right) \left( \sum_{i=1}^N y_i \right) = 9\,236.50 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}$$

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2$$

$$l_{yy} = \sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N y_i \right)^2$$

$$l_{xy} = \sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N x_i \right) \left( \sum_{i=1}^N y_i \right)$$

$$= 5\,003.10 \text{ mm}^2$$

$$= 2\,160.90 (\text{N} \cdot \text{m})^2$$

$$= 3\,287.90 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}$$

$$b = \frac{l_{xy}}{l_{xx}} = 0.6572 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = -0.2764 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\hat{y} = 0.6572 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-1} x - 0.2764 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### 2. 回归方程的相关显著性检验

常用  $r$  检验法——拟合程度的测定, 来进行相关显著性检验。

变量  $y$  的各个观测点聚在回归直线  $\hat{y} = bx + a$  周围的紧密程度, 称为回归直线对样