



普通高等教育“十三五”规划教材
高等院校大学物理实验立体化教材

大学物理实验

(提高部分)

- 总主编 朱基珍
- 主 编 肖荣军
- 副主编 张秀彦 黄 刚



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等教育“十三五”规划教材
高等院校大学物理实验立体化教材

大学物理实验

(提高部分)

总主编	朱基珍				
主 编	肖荣军				
副主编	张秀彦	黄 刚			
参 编	杨 浩	莫 曼	卢 娟	莫济成	
	禰汉元	方志杰	周 江		

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 提 要

本套教材是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会制定的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》，借鉴国内外近年来物理实验教学内容和课程体系改革与研究成果，结合广西科技大学大学物理实验教学中心多年来的教改成果、课程建设的实践经验编写而成的。本套教材体现分层教学、开放教学、研究性教学、成果导向教学的实验教学新要求，为非物理类专业大学物理实验教材。全套共分为两册，第一册《大学物理实验(基础部分)》，适用于基础实验教学；第二册《大学物理实验(提高部分)》，适用于提高型、研究型实验教学。

全书通过穿插内容，把物理学的发展简史呈现出来，反映了物理实验在物理学发展中的作用，并对目前先进测量技术作了介绍。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验. 提高部分/朱基珍总主编;肖荣军主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2018.1
ISBN 978-7-5680-3686-3

I. ①大… II. ①朱… ②肖… III. ①物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 325948 号

大学物理实验(提高部分)

Daxue Wuli Shiyan (Tigao Bufen)

朱基珍 总主编

肖荣军 主 编

策划编辑:周芬娜 王汉江

责任编辑:王汉江

封面设计:原色设计

责任校对:何 欢

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13.25

字 数:343千字

版 次:2018年1月第1版第1次印刷

定 价:38.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换

全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务

版权所有 侵权必究

前 言

《大学物理实验》分基础和提高两册,与课程网站上的微课教学资源配合使用,通过混合式教学设计,实现物理实验的分层次、线上线下相结合的混合式教学。全套教材适合高等院校非物理类专业的本科学生使用,也可作为实验技术人员和有关教师的参考用书。

本册为提高部分,共分5章。第1章对物理实验与计算机的应用、课程网站的应用作介绍;第2章介绍定性与半定量实验;第3章为综合性实验;第4章为设计性实验;第5章为研究性实验。对于设计性与研究性实验,书中只给定了其实验任务、实验要求、实验条件和参考资料,具体的实验设计和实验研究由学生在探索中完成,并可从课程网站的教学资源中获得设计引导或研究引导。

教材体现“成果为本”的新教学理念,每个实验都进行了“成果导向教学设计”,从“知识”和“能力”两个方面设计教学目标,引导学生的学习,以达到预期学习成果。

本套教材图、表、公式的编号为便于查阅分两种编号方式:一为以实验为主的编号方式,其图、表、公式编号采用“ $\times-\times-\times$ ”,如实验3-1中图、表、公式采用“3-1- $\times$ ”,其中,“3-1”表示实验3-1,“ $\times$ ”表示图、表、公式的顺序号。二为除实验以外其他章节的图、表、公式编号方式采用“ $\times.\times.\times$ ”,如第2章2.1节中图、表、公式采用“2.1. $\times$ ”,其中“2.1”表示节,“ $\times$ ”表示顺序号。

朱基珍教授负责全套教材的审定,肖荣军主持本书的编写和统稿工作。杨浩负责第1章的编写;莫曼负责第2章的编写;肖荣军负责第3章实验3-1至实验3-12及拓展阅读3、拓展阅读4的编写;张秀彦负责第3章实验3-13至实验3-24的编写;其他参编人员负责第4章、第5章的编写。

本书编写过程中得到了广西教育厅、广西科技大学的大力支持及经费资助,在此表示感谢。

由于我们的水平和条件有限,书中难免存在着不完善和不妥之处,真诚地希望各位读者提出建议并指正。

编 者

2017年10月

目 录

第1章 物理实验与计算机应用	(1)
1.1 计算机在物理实验数据处理中的应用	(1)
1.2 虚拟实验技术在物理实验中的应用	(16)
实验 1-1 虚拟仿真系统实验	(16)
实验 1-2 虚实结合综合光学实验	(19)
实验 1-3 非线性混沌实验	(24)
拓展阅读 1 虚拟技术简介	(30)
第2章 定性与半定量实验	(32)
2.1 在物理实验课程中引入定性与半定量实验教学的必要性与可行性	(32)
2.2 定性与半定量实验的教学项目	(34)
实验 2-1 受迫振动与共振实验	(34)
实验 2-2 光通信及互感现象	(37)
实验 2-3 尖端放电与静电电动机、静电除尘	(41)
实验 2-4 磁悬浮实验	(46)
实验 2-5 水波实验	(49)
拓展阅读 2 真空与真空镀膜技术简介	(53)
第3章 综合性实验	(55)
实验 3-1 液晶电光效应实验	(55)
实验 3-2 全息照相实验	(58)
实验 3-3 声波测距实验	(63)
实验 3-4 材料热膨胀系数的测试	(67)
实验 3-5 光电通信传输特性测量	(70)
实验 3-6 光敏电阻基本特性的测量	(73)
实验 3-7 电子荷质比的测量	(78)
实验 3-8 单结晶体管振荡器	(82)
实验 3-9 可控硅调光电路	(87)
实验 3-10 万用电表组装实验	(92)
实验 3-11 用感应法测量螺线管磁场	(94)
实验 3-12 综合光学实验平台——夫琅禾费单缝衍射、圆孔衍射综合实验	(98)
实验 3-13 太阳能电池基本特性测量	(105)
实验 3-14 集成电路温度传感器的特性测量	(109)
实验 3-15 动态法测量金属的杨氏模量	(113)
实验 3-16 模拟法测绘静电场	(116)

实验 3-17	综合光学实验平台——杨氏双缝干涉实验	(119)
实验 3-18	综合光学实验平台——双棱镜干涉实验	(123)
实验 3-19	综合光学实验平台——菲涅耳双镜干涉实验	(125)
实验 3-20	综合光学实验平台——劳埃德镜干涉实验	(126)
实验 3-21	整流、滤波和稳压电路	(128)
实验 3-22	微小伸长量的多途径测量	(130)
实验 3-23	双光栅测量微弱振动位移量	(133)
实验 3-24	光杠杆法测量微小伸长量	(136)
拓展阅读 3	等离子体技术简介	(140)
拓展阅读 4	显微技术简介	(142)
第 4 章	设计性实验	(144)
4.1	设计性实验的教学要求	(144)
4.2	设计性实验的举例	(146)
4.3	设计性实验的教学项目	(150)
实验 4-1	电阻测量设计	(150)
实验 4-2	驻波实验研究与简单乐器的设计	(151)
实验 4-3	用恒力矩转动法验证平行轴定理	(154)
实验 4-4	波长的相对测量实验设计	(155)
实验 4-5	空气折射率测量设计	(156)
实验 4-6	综合光学实验平台——由物像放大率测目镜焦距	(158)
实验 4-7	综合光学实验平台——薄透镜焦距的测量(自准法、贝塞尔法、物距-像距法)	(159)
实验 4-8	综合光学实验平台——透镜组节点和焦距的测定	(160)
实验 4-9	综合光学实验平台——自组投影仪	(161)
实验 4-10	综合光学实验平台——光的偏振实验设计	(163)
实验 4-11	综合光学实验平台——测自组望远镜的放大率	(167)
实验 4-12	综合光学实验平台——自组带正像棱镜的望远镜	(168)
实验 4-13	根据“不确定度均分”原则进行的实验设计	(169)
实验 4-14	用分光计测定液体折射率的实验设计	(170)
实验 4-15	用折射极限法测定三棱镜的折射率	(171)
实验 4-16	接地电阻测量设计	(172)
实验 4-17	酒精浓度仪的研究与设计	(174)
实验 4-18	照度计的研究与设计	(175)
实验 4-19	电容传感器实验	(176)
实验 4-20	电涡流传感器实验	(177)
实验 4-21	传感器的设计实验	(179)
实验 4-22	光敏传感器实验	(180)
实验 4-23	细丝直径测量设计	(181)
实验 4-24	智能建筑综合设计平台实验	(182)
拓展阅读 5	微波技术简介	(184)

拓展阅读 6 传感器技术简介	(186)
第 5 章 研究性实验	(188)
5.1 研究性实验的教学要求	(188)
5.2 研究性实验的教学课题	(191)
实验 5-1 电子秤的研究	(191)
实验 5-2 全息技术研究	(192)
实验 5-3 直流电源参数及输出伏安特性	(194)
实验 5-4 用感应式落球法测量液体的粘滞系数的实验研究	(194)
实验 5-5 综合光学实验平台—— θ 调制	(196)
实验 5-6 用拉脱法测定液体表面张力系数的实验研究	(198)
实验 5-7 稳压二极管反向伏安特性研究	(200)
拓展阅读 7 全息技术简介	(202)

第 1 章 物理实验与计算机应用

现代科学技术的发展,为改进普通物理实验教学创造了很好的条件。同时,利用计算机对实验教学进行辅助,很大程度上改善了实验教学的效果,也为实验教学新模式的构建提供了最有力的支持。利用计算机,可以实现按教学需要实时监控教学质量,促进教学质量的提高。计算机模拟仿真实验、用微机控制实验过程和采集实验数据等计算机辅助系列,在物理实验中被广泛地运用,如“虚拟示波器”、“虚实结合综合光学实验”等。

1.1 计算机在物理实验数据处理中的应用

物理实验中的数据处理是实验的一个重要组成部分和关键环节。将计算机引入到实验数据处理中,不但可以提高处理效率,同时还能避免在处理过程中计算错误的发生,实现数据图表化、误差分析标准化。

一、数学计算软件在物理实验中的应用

所谓“万物皆数”,一切知识的根基都来自于数学。在科学研究和工程应用过程中,往往需要大量的数学计算,传统的纸笔已经不能从根本上满足海量计算的要求。当实验数据处理需要复杂计算且要求较高时,往往使实验者要花费大量时间在数据处理过程上。而使用数学计算软件(如 Matlab、Mathematica 等)来对实验数据进行数值计算则可以有效地减轻计算工作量,提高工作效率。现代数学计算软件具有编程简单、易于学习、能快速进行复杂运算的特点,无论是在校学生,还是工程技术人员和科研人员,都可以快速学习 Matlab、Mathematica 等软件的使用并用它们来解决各种数值计算问题。

1. Matlab 简介

Matlab 软件的出现是和科学计算紧密联系在一起。20 世纪 70 年代,Clever Moler 在线性代数课程教学中为了让学生能使用 Fortran 的 Linpack、Eispack 子程序库,又不至于在编程上花费太多时间,而开发了 Matlab 软件。1984 年 MathWorks 公司成立,Matlab 正式向市场推出,同时开发者也继续进行着软件的研究和开发工作。到目前为止,Matlab 已经发布了 7.0 版本,MathWorks 公司又实现了一次技术层面上的飞跃。

Matlab 的特点在于强大的数值计算和可视化软件能力,它最初主要用于方便矩阵的存取,其基本元素是无需定义维数的矩阵。经过十几年的完善和扩充,现在已发展成为线性代数课程的标准工具,也成为其他许多领域课程的使用工具。Matlab 不仅在数学方面,而且在物理、统计、工程、金融等方面都有强大的工具箱可以使用。

2. 数学计算软件 Matlab 的使用

由于篇幅所限,这里主要介绍 Matlab 在物理实验数据处理中可能会用到的一些基本命

令,至于 Matlab 的高级命令和 Mathematica 的使用方法,请读者自行查阅相关书籍。

(1) Matlab 的界面

Matlab 窗口顶部的标准菜单可以用于做文件管理和文件调试等工作;右边有一个下拉列表框,它可以选择和设置当前工作路径;左下方是历史命令窗口;右边是 Matlab 最重要的窗口:命令窗口。Matlab 的界面见图 1.1.1。

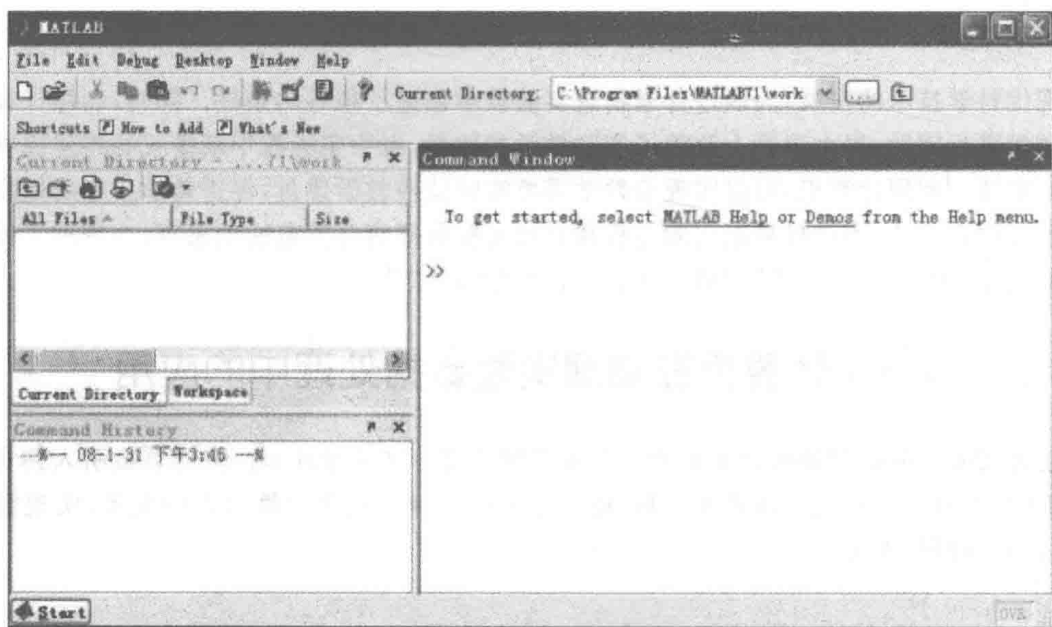


图 1.1.1 Matlab 界面图

命令窗口位于 Matlab 界面右边。命令在双大于号“>>”提示符后面输入。读者可以在这里尝试输入一些实际的基本命令。例如,我们想得到 433 乘以 15 的结果,就可以在提示符后面输入 $433 * 15$,然后按 Enter 回车,即可得到结果如下:

```
>> 433 * 15
```

```
ans =
```

```
6495
```

即 433 乘以 15 的结果为 6495。

(2) Matlab 中的变量定义

与其他任何计算机语言一样,Matlab 也可以定义变量。如果想要使用自己定义的变量名,例如变量叫 x ,假设要让它等于 5 乘以 6,则可以在命令窗口输入下面命令

```
>> x = 5 * 6
```

```
x =
```

```
30
```

定义变量以后,就可以对它进行引用。假设我们还要计算 x 乘以 3.56 的结果,并把结果赋给 y ,那么可以输入

```
>> y = x * 3.56 % 将 x * 3.56 的结果赋给 y
```

```
y =
```

```
106.8000
```

注意在刚才输入的内容中,“% 将 $x * 3.56$ 的结果赋给 y ”表示对输入内容的注释。

Matlab中的注释都是以%号开始的。它的作用在于使得计算过程更容易让他人读懂,Matlab在处理时会自动将注释部分忽略。

在 Matlab 中,为了方便使用者进行数学运算,还附带了许多基本的或是常见的数学量和函数。例如要使用圆周率时只需输入 pi 即可。

```
>>r= 2;           % 定义半径等于 2
```

```
>>S= 2* pi* r^2    % 计算圆面积
```

```
S=
```

```
25.1327
```

如果要求平方根,则可以用 sqrt 函数。例如:

```
>>x= sqrt(15)
```

```
x=
```

```
3.8730
```

由于本书篇幅有限,所以不再在这里对 Matlab 中包含的其他函数进行介绍,感兴趣的读者请自行查看 Matlab 的帮助文档或是相关手册对其内置函数进行进一步的了解。

(3) 矩阵的创建

在 Matlab 里的数据分析是按列矩阵进行的。不同的变量存储在各列中。通过这种存储方式 Matlab 很容易对数据集进行统计分析。矩阵是二维数字数组,要在 Matlab 中创建矩阵,输入的行各元素之间用空格或逗号分隔,行末用分号进行标记。

考虑下面例子:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -1 & 6 \\ 7 & 11 \end{bmatrix}$$

这个矩阵在 Matlab 中可以使用下面命令输入

```
>>A= [- 1,6;7,11]
```

```
A=
```

```
- 1    6
```

```
7    11
```

(4) 矩阵的基本操作

Matlab 中提供了完善的矩阵操作算符,基本上所有能想到的矩阵运算都可以在 Matlab 中得到实现。考虑矩阵

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 \\ -1 & 7 & 4 \end{bmatrix}$$

在 Matlab 中输入

```
>>B= [2,0,1;- 1,7,4]
```

```
B=
```

```
2    0    1
```

```
- 1    7    4
```

在需要对矩阵 $\mathbf{B}$ 进行数量相乘时可以通过引用矩阵名称进行计算

```
>>C= 2* B
```

```
C=
```

```
4    0    2
```

```
- 2   14    8
```

如果两个矩阵行数和列数都相等,那么可用“+”、“-”运算符来对它们进行相加减操作:

```
>>D=[0,1,8;2,2,1];
```

```
>>B+D
```

```
ans=
```

```
2 1 9
```

```
1 9 5
```

```
>>C-D
```

```
ans=
```

```
4 -1 -6
```

```
-4 12 7
```

矩阵转置可以对矩阵的行和列进行交换。在 Matlab 中使用单引号'来进行转置操作。

```
>>E=B'
```

```
E=
```

```
2 -1
```

```
0 7
```

```
1 4
```

(5) 矩阵乘法

在数学中我们知道,两个矩阵 **A** 和 **B**,如果 **A** 是一个 $m \times p$ 矩阵,而 **B** 是 $p \times n$ 矩阵,那么将它们相乘可以得到一个 $m \times n$ 矩阵。在 Matlab 中如果要进行矩阵乘法运算,可以采用运算符“*”。请注意,进行矩阵乘法运算时,需要保证矩阵维数的正确性,否则 Matlab 会提示错误。

考虑下面两个矩阵

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 5 \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 4 & 1 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$$

要让矩阵 **A** 和矩阵 **B** 相乘,在 Matlab 中可以输入

```
>>A=[1,1;2,5];
```

```
>>B=[4,1;3,1];
```

```
>>A*B
```

```
ans=
```

```
7 2
```

```
23 7
```

在 Matlab 中还可以对矩阵进行数组乘法操作。数组乘法运算符为“.*”。注意数组乘法运算符和矩阵乘法运算符的区别。数组乘法实际上是把两矩阵的元素与元素相乘。例如

$$\mathbf{A}.*\mathbf{B} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} .* \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} \times b_{11} & a_{12} \times b_{12} \\ a_{21} \times b_{21} & a_{22} \times b_{22} \end{bmatrix}$$

```
>>A.*B
```

```
ans=
```

```
4 1
```

```
6 5
```

(6) 使用 Matlab 进行线性函数拟合

当实验所测量到的数据满足类似 $y = ax + b$ 的线性相关关系时,可以使用 Matlab 中的 `polyfit(x,y,n)` 函数来求得 a 和 b 的值。`polyfit(x,y,n)` 函数中的 n 表示需要 Matlab 求出的多项式的次数,对于 $y = ax + b$ 形式的方程, $n=1$ 。`polyfit(x,y,n)` 函数使用最小二乘法来对数据进行计算拟合。可以通过下面这个简单的例子来学习使用该函数。

例 1 假设已知某导体电阻随温度变化的数据如表 1.1.1 所示。这里假设温度 t 的误差很小,可以忽略,数据点的分散主要是由电阻 R 的误差引起的。

表 1.1.1 电阻随温度变化实验数据

$t/^{\circ}\text{C}$	17.8	26.9	37.7	48.2	58.3
R/Ω	3.554	3.687	3.827	3.969	4.105

设导体电阻和温度的关系式为

$$R_t = R_0 + R_0 \alpha t$$

将上式与 $y = ax + b$ 比较,可得到

$$y = R_t, \quad a = R_0 \alpha, \quad x = t, \quad b = R_0$$

接下来将根据已有数据用 Matlab 来计算出 $a = R_0 \alpha$ 和 $b = R_0$ 的数值。首先在命令窗口把实验数据输入 Matlab:

```
>>x=[17.8,26.9,37.7,48.2,58.3]           % 输入温度 t
x=
    17.8000    26.9000    37.7000    48.2000    58.3000
>>y=[3.554,3.687,3.827,3.969,4.105]       % 输入电阻 R_t
y=
    3.5540    3.6870    3.8270    3.9690    4.1050
```

然后可以调用 `polyfit(x,y,n)` 函数让 Matlab 计算拟合数据的多项式的系数。由于现在希望产生的是一个一次多项式,所以可以用下面形式调用 `polyfit` 函数。

```
>>m=polyfit(x,y,1)           % 对实验数据进行 1 阶多项式最小二乘拟合
m=
    0.0135    3.3175
```

即根据数据拟合得到的 $a = R_0 \alpha = 0.0135$ 和 $b = R_0 = 3.3175$, 导体电阻和温度关系为

$$R_t = 0.0135t + 3.3175$$

(7) 绘制函数图形

在例 1 中,假设在得到导体电阻与温度关系的关系式后,想要把对应的图形在坐标系中绘制出来,那么利用 Matlab 中的 `plot` 函数。依次输入命令

```
>>t=[17:0.1:59];               % 建立水平坐标轴
>>R=m(1)*t+m(2);               % 产生 R_t=0.0135t+3.3175 函数
>>plot(x,y,'o',t,R),xlabel('温度(^{\circ}\text{C})'),ylabel('电阻(\Omega)'),grid on, ...
axis([17 59 3.5 4.2])          % 绘制图形
```

得到的结果图形如图 1.1.2 所示。图中的 $\circ$ 表示对应的原始数据点位置,直线表示用 `polyfit` 函数拟合得到的结果。可以看到,原始数据与拟合直线结果还是相当接近的。

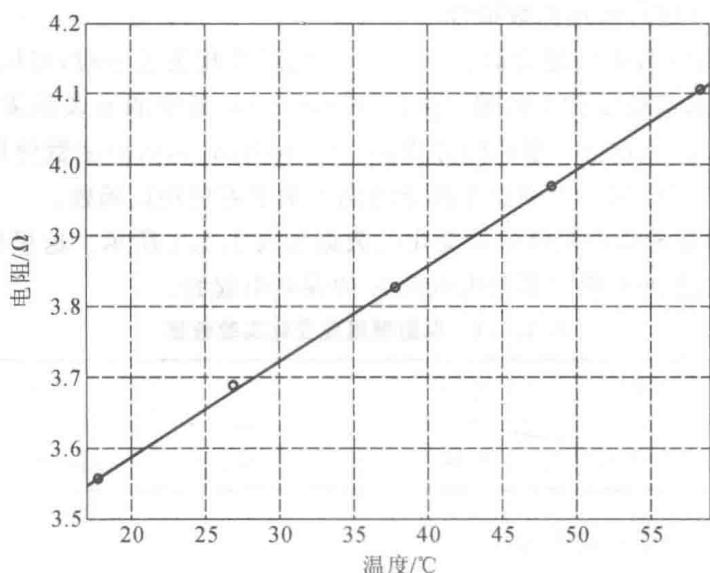


图 1.1.2 例 1 中通过数值拟合得到的直线图

(8) 在 Matlab 中计算相关系数 γ

在得到系数 a 和 b 后,通常用相关系数 γ 来检验结果是否合理。对于 1 阶多项式最小二乘拟合,相关系数 γ 定义为

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{[(\bar{x})^2 - \bar{x}^2][(\bar{y})^2 - \bar{y}^2]}}$$

相关系数 γ 的值在 -1 到 $+1$ 之间,如果 $|\gamma|$ 接近 1,就说明实验数据点能聚集在一条直线附近,用 1 阶多项式做最小二乘拟合比较合理;相反,如果 $|\gamma|$ 接近 0 而远小于 1,那就说明试验点分布不能聚集在直线附近,不适合用 1 阶多项式做最小二乘拟合,应当用其他函数重新试探进行拟合。

例 1 中的相关系数在 Matlab 中可以用如下命令进行计算:

```
x=[17.8,26.9,37.7,48.2,58.3]; % 输入温度为 x
y=[3.554,3.687,3.827,3.969,4.105]; % 输入电阻为 y
xa=mean(x); % 温度均值  $\bar{x}$ 
ya=mean(y); % 电阻均值  $\bar{y}$ 
deltax=x-xa; % 计算  $(x_i - \bar{x})$ ,  $i=1, \dots, 5$ , 并将结果存于数组 deltax 中
deltay=y-ya; % 计算  $(y_i - \bar{y})$ ,  $i=1, \dots, 5$ , 并将结果存于数组 deltay 中
Lxx=deltax*deltax'; % 计算  $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ 
Lyy=deltay*deltay'; % 计算  $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ 
Lxy=deltax*deltay'; % 计算  $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ 
gamma=Lxy/sqrt(Lxx*Lyy) % 计算相关系数  $\gamma$  并显示
```

按例 1 中原有数据最终计算到得的相关系数为 $\gamma = 0.9999$,说明得到的数据变化符合线

性关系,采用 1 阶多项式做最小二乘拟合是合理的。

二、最小二乘法处理实验数据示例

下面将以固体线热膨胀系数的测定和霍尔效应为例,介绍使用 Matlab 对其实验数据用最小二乘法进行处理的方法和过程。

1. Matlab 中对测定固体线热膨胀系数的实验数据处理过程

(1) 实验原理

在一定温度范围内,原长为 l_0 的固体受热后伸长量 Δl 与其温度的增加量 Δt 近似成正比,与原长 l_0 也成正比。通常定义固体在温度每升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,在某一方向上的长度增量 $\Delta l/\Delta t$ 与 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (由于温度变化不大时长度增量非常小,实验中取室温) 时同方向上的长度 l_0 之比,叫做固体的线热膨胀系数 α ,即

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t} \tag{1.1.1}$$

或
$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta t \tag{1.1.2}$$

实验证明,不同材料的线热膨胀系数是不同的。本实验要求对实验室配备的实验铁棒、铜棒、铝棒分别进行测量并计算其线热膨胀系数。

(2) 在 Matlab 中最小二乘法处理实验数据

在一次实验中所测量到的铝棒实验数据如表 1.1.2 所示。这里假设温度 t 的误差很小,可以忽略,数据点的分散主要是由固体伸长量 Δl 的误差引起的。本实验中所使用铝棒长度 $l_0=0.4\text{ m}$ 。

表 1.1.2 铝棒的线热膨胀系数测量数据表

温度/ $^{\circ}\text{C}$	21.3	40.0	50.0	60.0	70.0
千分表读数/mm	0.0000	0.1709	0.2625	0.3552	0.4481

对数据进行 1 阶多项式最小二乘拟合。先在 Matlab 中输入数据:

```
>>deltal=[0.0000,0.1709,0.2625,0.3552,0.4481];
>>x=[21.3,40.0,50.0,60.0,70.0];
>>y= deltal* 0.001;    % 将 deltal 单位换算成米 (m)
>>m= polyfit(x,y,1)

m=
    1.0e- 003*
    0.0092    - 0.1966
```

即拟合得到的直线斜率

$$a = l_0\alpha = 9.2 \times 10^{-6} (\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1})$$

接下来计算相关系数,可得到 $\gamma = 1.0000$ (format long 环境下显示 γ 数值为 0.99999167814688)。 γ 值的计算结果表示数据基本沿直线分布,之前求到的 $a = l_0\alpha = 0.0092$ 值可用。

由式(1.1.2)得到对应铝棒的线热膨胀系数

$$\alpha = \frac{a}{l_0} = 2.2997 \times 10^{-5} (^{\circ}\text{C}^{-1})$$

接下来对测量结果进行不确定度评定。首先,计算测量值 Δl 的不确定度:

$$U_{\Delta l A} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2}{n-2}} = 8.1317 \times 10^{-7} (\text{m})$$

$$U_{\Delta l B} = \frac{\Delta_{\text{千分表}}}{3} = \frac{4 \times 10^{-6}}{3} = 1.3333 \times 10^{-6} (\text{m})$$

Δl 的总不确定度为

$$U_{\Delta l} = \sqrt{U_{\Delta l A}^2 + U_{\Delta l B}^2} = 1.5617 \times 10^{-6} (\text{m})$$

根据不确定度的传递关系,拟合直线结果的斜率 a 和截距 b 的不确定度分别为

$$U_a = U_{\Delta l} \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} = \frac{U_{\Delta l}}{\sqrt{n[\overline{x^2} - (\bar{x})^2]}} = 4.1612 \times 10^{-8} (\text{m} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$$

$$U_b = U_{\Delta l} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} = \sqrt{\overline{x^2}} \cdot U_a = 2.1262 \times 10^{-6} (\text{m})$$

Matlab 中输入下面命令后得到 $\Delta l-t$ 关系,如图 1.1.3 所示。

```
>>t=[21:0.1:70];
```

```
>>Dl= m(1)* t+ m(2);
```

```
>>plot(x,y,'o',t,Dl),xlabel('温度(°C)'),ylabel('伸长量(m)'),...grid on,  
axis([21 70 0 0.45* 0.001])
```

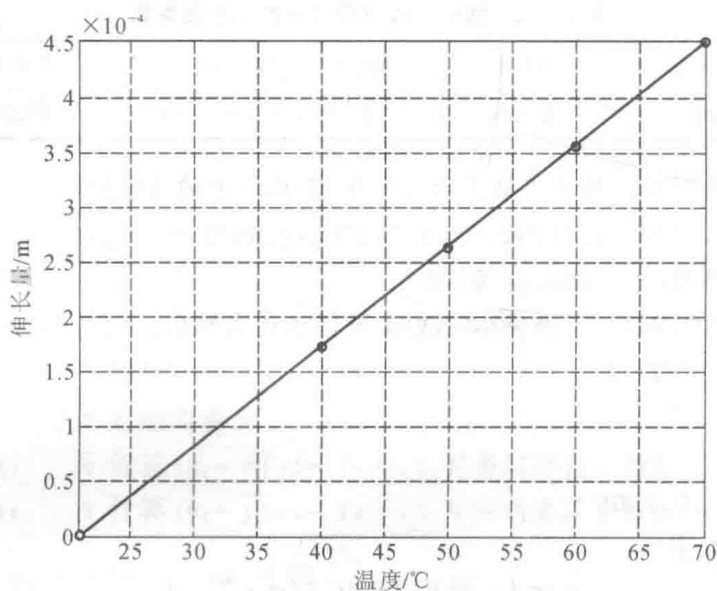


图 1.1.3 铝棒伸长量随温度变化改变关系图

由 $a = l_0 \alpha$ 可知, a 与待测量 α 的相对不确定度相等,即

$$\frac{U_a}{a} = \frac{U_a}{a} = \frac{4.1612 \times 10^{-8}}{9.2 \times 10^{-6}} = 0.45\%$$

$$U_\alpha = \frac{U_a}{a} \alpha = 1.0403 \times 10^{-7} (^\circ\text{C}^{-1})$$

即测量结果可以表示为

$$\begin{cases} \alpha = \alpha \pm U_{\alpha} = (2.30 \pm 0.01) \times 10^{-5} (^{\circ}\text{C}^{-1}) \\ U_r = 0.45\% \end{cases} \quad (P = 68.3\%)$$

(3) Matlab 处理程序

% 输入数据

```
x= [21.3,40.0,50.0,60.0,70.0];
```

```
deltal= [0,0.1709,0.2625,0.3552,0.4481];
```

% 长度单位换算

```
y= deltal* 0.001;
```

% 进行拟合

```
m= polyfit(x,y,1)
```

% 求拟合相关系数 γ

```
xa= mean(x);
```

```
ya= mean(y);
```

```
deltax= x- xa;
```

```
deltay= y- ya;
```

```
Lxx= deltax* deltax';
```

```
Lyy= deltax* deltax';
```

```
Lxy= deltax* deltax';
```

```
gama= Lxy/sqrt(Lxx* Lyy)
```

% 输出求到的铝棒对应线热膨胀系数 α

```
alpha= m(1)/0.4
```

% 求伸长量 Δl 的总不确定度

```
yr= m(1)* x+ m(2);
```

```
v= y- yr;
```

```
sigmav2= v* v';
```

```
n= 5;
```

```
uya= sqrt(sigmav2/(n- 2))
```

```
uyb= 0.004e- 3/3
```

```
uy= sqrt(uya^2+ uyb^2)
```

% 求斜率 a 和截距 b 的总不确定度

```
ua= uy* sqrt(1/(Lxx))
```

```
ub= uy* sqrt((x* x')/(n* Lxx))
```

% 输出 U_r

```
ur= ua/m(1)
```

% 求线热膨胀系数 α 的不确定度

```
deltaalpha= alpha* ua/m(1)
```

% 输出图形

```
t= [20:0.1:70];
```

```
Dl= m(1)* t+ m(2);
```

```
plot(x,y,'o',t,Dl),xlabel('温度(℃)'),ylabel('伸长量(m)'),...
grid on,axis([20 70 0 0.45* 0.001])
```

2. Matlab 中最小二乘法对霍尔效应实验数据的处理过程

(1) 实验原理

将一块半导体或导体材料,沿 Z 轴方向加以磁场 B ,沿 X 轴方向通以工作电流 I_s ,则在 Y 轴方向产生电压差 U_H ,这种现象称为霍尔效应。 U_H 称为霍尔电压。

实验表明,在磁场不太强时,霍尔电压 U_H 与电流强度 I 和磁感应强度 B 成正比,与板的厚度 d 成反比,即

$$U_H = R_H \frac{I_s B}{d} \tag{1.1.3}$$

或
$$U_H = K_H I_s B \tag{1.1.4}$$

该实验中利用式(1.1.4),实现了利用霍尔效应对磁场的测量。实验方法是在已知霍尔元件灵敏度 K_H 的前提下,将霍尔元件放置于待测磁场的相应位置,然后控制工作电流 I_s ,记录产生的霍尔电压 U_H ,然后再根据式(1.1.4)即可求出对应的磁感应强度 B 。

(2) 在 Matlab 中最小二乘法处理实验数据

假设某台仪器所使用霍尔元件灵敏度 $K_H=27.0\text{ mV} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$,然后在一次实验中所测量到的实验数据如表 1.1.3 所示。这里假设工作电流 I_s 的误差很小可以忽略,数据点的分散主要是由霍尔电压 U_H 的误差引起的。

表 1.1.3 霍尔效应实验数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
I_s/mA	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
U_H/mV	2.24	4.50	6.75	8.99	11.25	13.48	15.71	17.94

尝试对数据进行 1 阶多项式最小二乘法拟合。先在 Matlab 中输入数据:

```
>>x=[1.00,2.00,3.00,4.00,5.00,6.00,7.00,8.00];
>>y=[2.25,4.50,6.75,8.99,11.25,13.48,15.71,17.94];
>>m= polyfit(x,y,1)
m=
    2.2429    0.0146
```

即拟合得到的直线斜率

$$a = K_H \cdot B = 2.2429(\text{mV} \cdot \text{mA}^{-1})$$

然后计算相关系数。在 Matlab 的默认显示精度下得到相关系数 $\gamma=1.0000$ (如果之前有用 format long 命令提高显示精度可看到实际数值为 0.99999714323644)。 γ 值的计算结果表示数据基本沿直线分布,之前求到的 $a = K_H \cdot B = 2.2429$ 可用。

由此可得磁感应强度

$$B = \frac{a}{K_H} = 0.0831\text{ (T)}$$

在 Matlab 中绘制出 U_H-I_s 关系,如图 1.1.4 所示。

接下来对测量结果进行不确定度评定。首先,计算测量值霍尔电压 U_H 的不确定度: