

高等院校精品课程实验教材
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)

朱基珍 主编
黄 刚 黄榜彪 副主编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

高等院校精品课程实验教材
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)

主 编	朱基珍		
副主编	黄 刚	黄榜彪	
参 编	禰汉元	周 江	莫济成
	肖荣军	张秀彦	刘青正

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 提 要

《大学物理实验》分“基础部分”和“提高部分”两册,配合使用,实现物理实验的分层教学。本册为提高部分,适合高等院校非物理类专业的本科各专业学生使用,也可作为实验技术人员和有关教师的参考用书。在内容编排上主要体现教学方法的层次化,本书分为5章。第1章对物理实验与计算机的应用作介绍;第2章介绍定性与半定量实验;第3章为综合性实验篇;第4章为设计性实验篇;第5章为研究性实验篇。对于设计性和研究性实验,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探索完成,并可从课程网络教学资源中获得设计引导和研究引导。

全书通过穿插“拓展阅读”内容,使读者对现代测量技术有概要性的了解。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验(提高部分)/朱基珍 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2010.10
ISBN 978-7-5609-6531-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 172830 号

大学物理实验(提高部分)

朱基珍 主 编

策划编辑:冯传禄

责任编辑:冯传禄

封面设计:潘 群

责任校对:周 娟

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉楚海文化有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:12.25

字 数:308千字

版 次:2010年10月第1版第1次印刷

定 价:24.00元

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

本套教材是根据教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导委员会《非物理类学科大学物理实验课程教学基本要求》的要求,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,结合广西工学院多年来的教改成果、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“拓展阅读”内容,把物理学的发展简史呈现出来,也反映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。为方便教学,本套书提供配套的光盘。

教学中实际采用的教材包括三大部分,即纸质教材、网络教学资源及教学管理系统、光盘。三部分教材相辅相成,各有侧重,构成了立体教材,满足网络化、分层次、开放式的实验教学需要,并对实验教学实现自动化、网络化的管理。

纸质教材:包括基础和提高两部分,分为两册。在内容编排上主要体现教学方法的层次化,如分必做内容、选做内容,分常规性实验教学、设计性实验教学和探究性实验教学等。纸质教材中,对设计性实验和探究性实验,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探索完成,可从网络教学资源中获得设计引导和研究引导。

光盘:内容包含教学大纲、实验课件、绪论课课件、实验教案、实验操作讲解视频短片(包括“等厚干涉及其应用”、“迈克尔逊干涉仪测激光波长”、“示波器的使用”、“分光计测三棱镜折射率”、“夫兰克-赫兹实验”、“直流电桥测电阻”、“霍尔效应”、“固体线热膨胀系数的测定”、“拉伸法测定金属丝杨氏弹性模量”、“用刚体转动惯量测量仪测刚体转动惯量”、“用落球法测定液体黏滞系数”、“长度测量和固体密度测定”、“光栅的衍射”、“电表的扩程、改装与校准”、“用感应法测螺线管磁场”等共计 15 个实验项目)。对设计性实验和探究性实验有相应的设计引导和研究引导;对《大学物理实验(基础部分)》的第 1、第 2 章,附有复习提要及习题的参考答案;对《大学物理实验(提高部分)》中第 1 章例题中相应的最小二乘法处理实验数据附有程序;另外,还提供可用于网络化教学的物理实验练习题模块。具体使用方法请在打开相应光盘目录后查看该目录下的 readme.doc 文件。

网络教学资源及教学管理系统:对于物理实验课程,我们建设了教学和管理网站,并科学合理地组织了大量的教学资源,使之能在教学中发挥应有的作用。网站内容包括教学录像、课件、电子教材、仪器介绍、基础实验操作预习视频短片、近代物理板块等。内容组织形式:① 按教学顺序组织教学资源,实现了网上预习、学习、复习,网上答疑,网上专题讨论等互动学习功能;② 按知识的模块化进行编排,如分为传感器、全息照相、光学综合实验、核磁共振及虚实结合等多个系列实验,以方便学生对各模块知识的查询;③ 按教学方法的层次化编排,以获得各类实验的教学指导。管理功能:① 对实验教学状态实现实时监控,促进教学质量的提高;② 对人员、设备、教室实现自动化和网络化管理;③ 网上自动分组、网上考勤、网上成绩统计及成绩查询、网上实验预约、操作考试自动抽签系统等。总之,通过对教学内容的合理组织,利用管理系统,能在网上完成实验分组、人员设备的教学管理、网上预习、学习与复习、网上实验预约、网上考勤、操作考试自动抽签、成绩录入和统计、师生网上互动、教师教学工作量自动统

计等功能。大学物理实验教学课程网站在实验教学和管理中发挥着重要的作用。

朱基珍教授主持全书的编写、统稿和审定工作,黄榜彪教授级高级工程师负责全书审稿工作,禤汉元负责配套光盘的制作工作,所有主编、副主编及参编人员均参加了本教材的编写工作和核对工作。

本书在编写过程中得到了广西教育厅、广西工学院领导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

2010年6月

目 录

第 1 章 物理实验与计算机应用篇	(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.....	(15)
实验 1-1 虚拟仿真系统实验	(15)
实验 1-2 虚拟仿真示波器的调节与使用	(19)
实验 1-3 虚实结合综合光学实验	(23)
拓展阅读 1 虚拟技术简介	(28)
实验 1-4 虚实结合红外扫描成像实验	(30)
实验 1-5 非线性混沌实验	(33)
实验 1-6 高温超导转变温度的测定	(38)
拓展阅读 2 低温技术简介	(44)
第 2 章 定性 & 半定量实验篇	(46)
2.1 在物理实验课程中引入定性 & 半定量实验教学的必要性与可行性.....	(46)
2.2 定性 & 半定量物理实验项目.....	(48)
实验 2-1 受迫振动与共振实验研究	(48)
实验 2-2 转动液体内部压强分布实验研究	(50)
实验 2-3 光通信及互感现象	(52)
实验 2-4 尖端放电与静电电动机、静电除尘	(56)
实验 2-5 感应电流的热效应	(59)
实验 2-6 通电断电自感实验	(61)
拓展阅读 3 真空与真空镀膜技术简介	(65)
实验 2-7 频闪法测转速的实验探索	(67)
实验 2-8 磁悬浮实验	(70)
实验 2-9 声聚焦实验	(72)
实验 2-10 神奇的辉光球	(74)
实验 2-11 激光监听	(76)
实验 2-12 霍尔传感器测磁场分布的应用探索	(78)
拓展阅读 4 显微技术简介	(82)
第 3 章 综合性实验篇	(84)
实验 3-1 液晶电光效应	(84)
实验 3-2 多种衍射综合实验	(87)
实验 3-3 光纤通信综合实验	(92)
实验 3-4 声速测量	(96)
实验 3-5 电容式传感器实验	(100)
拓展阅读 5 传感器技术简介	(104)

实验 3-6 电涡流传感器实验	(106)
实验 3-7 迈克尔逊干涉仪综合实验	(109)
实验 3-8 全息照相实验	(115)
实验 3-9 双棱镜干涉实验	(120)
实验 3-10 声波测距实验	(124)
实验 3-11 核磁共振实验	(127)
拓展阅读 6 磁共振简介	(137)
第 4 章 设计性实验篇	(140)
4.1 设计性实验的教学要求	(140)
4.2 设计性实验的举例	(142)
4.3 设计性实验项目	(145)
实验 4-1 孔明灯的研究与设计	(145)
实验 4-2 电阻测量设计	(147)
实验 4-3 驻波实验研究与简单乐器的设计	(148)
实验 4-4 平行轴定理验证设计	(149)
实验 4-5 酒精浓度仪的研究与设计	(150)
实验 4-6 光照强度计的研究与设计	(152)
实验 4-7 电感式接近开关的设计及应用	(153)
实验 4-8 波长的相对测量实验设计	(154)
拓展阅读 7 微波技术简介	(156)
实验 4-9 根据“不确定度均分”原则进行的实验设计	(158)
实验 4-10 薄片厚度测量专题设计	(158)
实验 4-11 折射率测量专题设计	(159)
实验 4-12 用分光计测定液体折射率的实验设计	(160)
实验 4-13 用极限折射法测定三棱镜的折射率	(161)
实验 4-14 接地电阻测量设计	(162)
实验 4-15 利用光杠杆法测量薄片厚度的实验设计	(163)
实验 4-16 光的偏振实验设计	(163)
拓展阅读 8 等离子体技术简介	(165)
第 5 章 研究性实验篇	(167)
5.1 研究性实验的教学要求	(167)
5.2 研究性实验的教学课题	(169)
实验 5-1 锥体上滚实验与“怪坡”之谜研究	(170)
实验 5-2 气垫导轨上研究物体的碰撞	(171)
实验 5-3 热电偶测温实验研究	(172)
实验 5-4 伯努利方程应用研究	(173)
实验 5-5 电磁驱动实验研究	(175)
实验 5-6 学生兴趣制作研究与实践	(176)
实验 5-7 迈克尔逊干涉仪综合应用研究	(177)

实验 5-8 网上教学资源开发研究	(178)
实验 5-9 “历史上最美的”物理实验研究	(178)
实验 5-10 陀螺进动实验研究	(179)
实验 5-11 电子秤的研究	(181)
实验 5-12 全息技术研究	(182)
拓展阅读 9 全息技术简介	(184)

第 1 章 物理实验与计算机应用篇

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。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或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。

1. 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,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,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,已经发布了 Matlab 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处理能力,它最初主要用于方便矩阵的存取,其基本元素是无须定义维数的矩阵。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,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;右下方是 Matlab 最重要的窗

口——命令窗口。Matlab 的界面如图 1-0-1 所示。

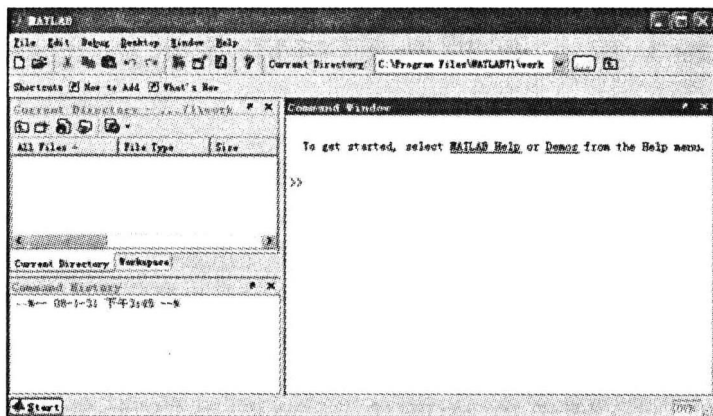


图 1-0-1 Matlab 界面图

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 键回车,即可得到如下结果:

```
»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 x ,假设要让它等于 5 乘以 6,则可以在命令窗口输入

```
»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 中的注释都是以符号 % 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。

Matlab 为了方便使用者进行数学运算,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 π 即可。

```
»r=2;                %定义半径等于 2
```

```
»S=pi * r^2          %计算圆面积
```

```
S =
```

```
12.566
```

如果要求平方根,则可以用 `sqrt()` 函数。例如:

```
>>x=sqrt(15)
x=
    3.8730
```

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 的帮助文档或相关手册对其内置函数作进一步的了解。

(3) 矩阵的创建。

在 Matlab 里的数据分析是按面向列矩阵进行的,不同的变量存储在各列中。通过这种存储方式,Matlab 很容易对数据集合进行统计分析。矩阵是二维数组,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:

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

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 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

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

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 B 进行数量相乘时可以通过引用矩阵名称进行计算,即

```
>>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加减操作:

```
>>D=[0,1,8;2,2,1];
>>B+D
ans=
     2     1     9
     1     9     5
>>C-D
ans=
```

$$\begin{bmatrix} 4 & -1 & -6 \\ -4 & 12 & 7 \end{bmatrix}$$

矩阵转置就是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,即

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

```
E=
```

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

(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“*”来表示矩阵相乘。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

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

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=
```

$$\begin{bmatrix} 7 & 2 \\ 23 & 7 \end{bmatrix}$$

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

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

$$\text{设数组 } A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 4 & 1 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$$

要让数组 A 和数组 B 相乘,在 Matlab 中可以输入

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

```
ans=
```

$$\begin{bmatrix} 4 & 1 \\ 6 & 5 \end{bmatrix}$$

(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 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。可以通过下面的简单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而变化的数据如表 1-0-1 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(此处所用数据与《大学物理实验(基础部分)》51 页例 2-8 相同)。

表 1-0-1 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 $y = R_t$, $a = R_0 \alpha$, $x = t$, $b = R_0$ 。

接下来根据已有数据用 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,即

```
>>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)           %对实验数据进行一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 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(°C)'),ylabel('电阻(Ω)'),grid on,...
axis([17 59 3.5 4.2])       %绘制图形
```

得到的图形如图 1-0-2 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。

(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。对于一阶多项式最小二乘拟合,相关系数 γ 定义为

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

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

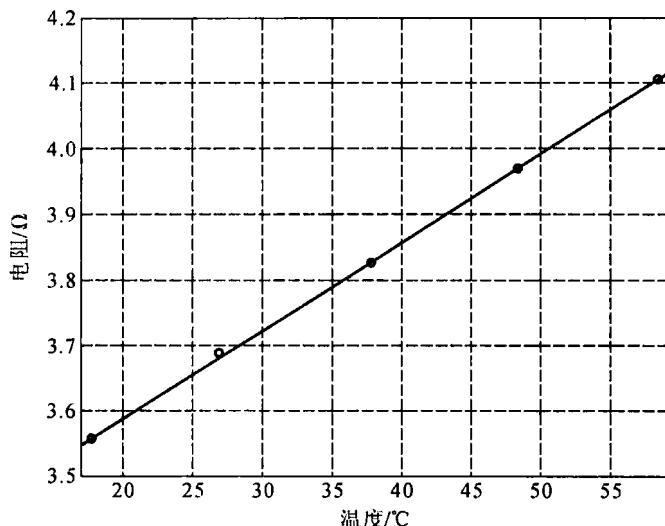


图 1-0-2 例 1 中通过数值拟合得到的直线图

附近,用一阶多项式做最小二乘拟合比较合理;反之,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,不适合用一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 deltax 中

Lxx=deltax * deltax';                         %计算  $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ 

Lyy=deltay * deltax';                         %计算  $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ 

Lxy=deltax * deltax';                         %计算  $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ 

gama=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,采用一阶多项式做最小二乘拟合是合理的。

2. 最小二乘法处理实验数据示例

下面以固体线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 对测定固体线膨胀系数实验数据的处理

(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°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, 叫做固体的线膨胀系数 α , 即

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t} \quad (1-0-1)$$

或
$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta t \quad (1-0-2)$$

实验证明, 不同材料的线膨胀系数是不同的。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, 并计算其线膨胀系数。

(2) 在 Matlab 中用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 1-0-2 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。本实验中所使用金属棒长度 $l_0 = 0.4\text{ m}$ 。

表 1-0-2 固体线膨胀系数测量数据表

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

对数据进行一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为 $a = l_0 \alpha = 9.2 \times 10^{-6}$

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(1-0-2)得到对应金属棒的线膨胀系数为

$$\alpha = \frac{a}{l_0} = 2.2997 \times 10^{-5}$$

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:

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

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

$$\Delta l \text{ 的总不确定度为 } U_{\Delta l} = \sqrt{U_{\Delta A}^2 + U_{\Delta B}^2} = 1.5617 \times 10^{-6}$$

根据不确定度的传递关系, 拟合直线的斜率 a 和截距 b 的不确定度分别为

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

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

Matlab 中输入下面命令后,得到 $\Delta l-t$ 曲线如图 1-0-3 所示。

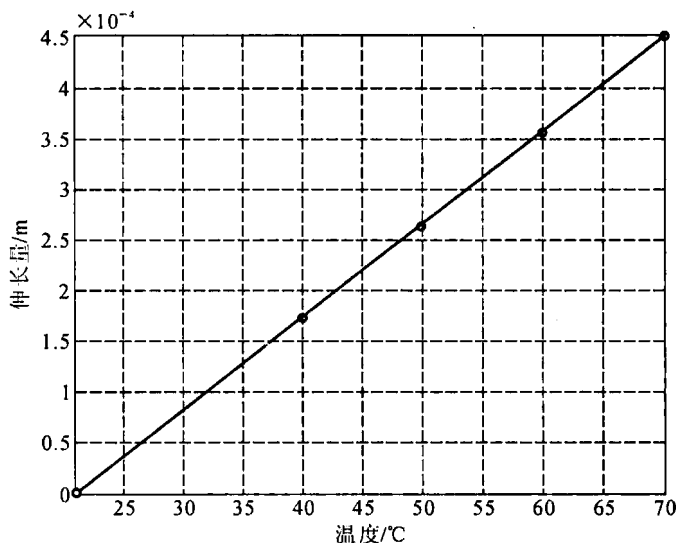


图 1-0-3 金属棒伸长量随温度变化改变关系图

```
>>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])
```

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

$$\frac{U_a}{a} = \frac{U_\alpha}{\alpha} = \frac{4.1612 \times 10^{-8}}{0.0092} = 0.45\%$$

$$U_\alpha = \frac{U_a}{a} \alpha = 1.0403 \times 10^{-7}$$

即测量结果可以表示为

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

(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  $\gamma$ 
xa=mean(x);
ya=mean(y);
deltax=x-xa;
deltay=y-ya;
Lxx=deltax * deltax';
Lyy=deltay * deltay';
Lxy=deltax * deltay';
gama=Lxy/sqrt(Lxx * Lyy)
%输出求到的金属棒对应线膨胀系数  $\alpha$ 
alpha=m(1)/0.4
%求伸长量  $\Delta l$  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)
%求线膨胀系数  $\alpha$  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 用最小二乘法对霍尔效应实验数据的处理

(1) 实验原理。

将一块半导体或导体材料,沿 Z 方向加以磁场 B ,沿 X 方向通以工作电流 I_s ,则在 Y 方向产生电动势 U_H ,这现象称为霍尔效应。 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_s 和磁感应强度 B 成正比,与板的厚度 d 成反比,即

$$U_H = R_H \frac{I_s B}{d} \quad (1-0-3)$$