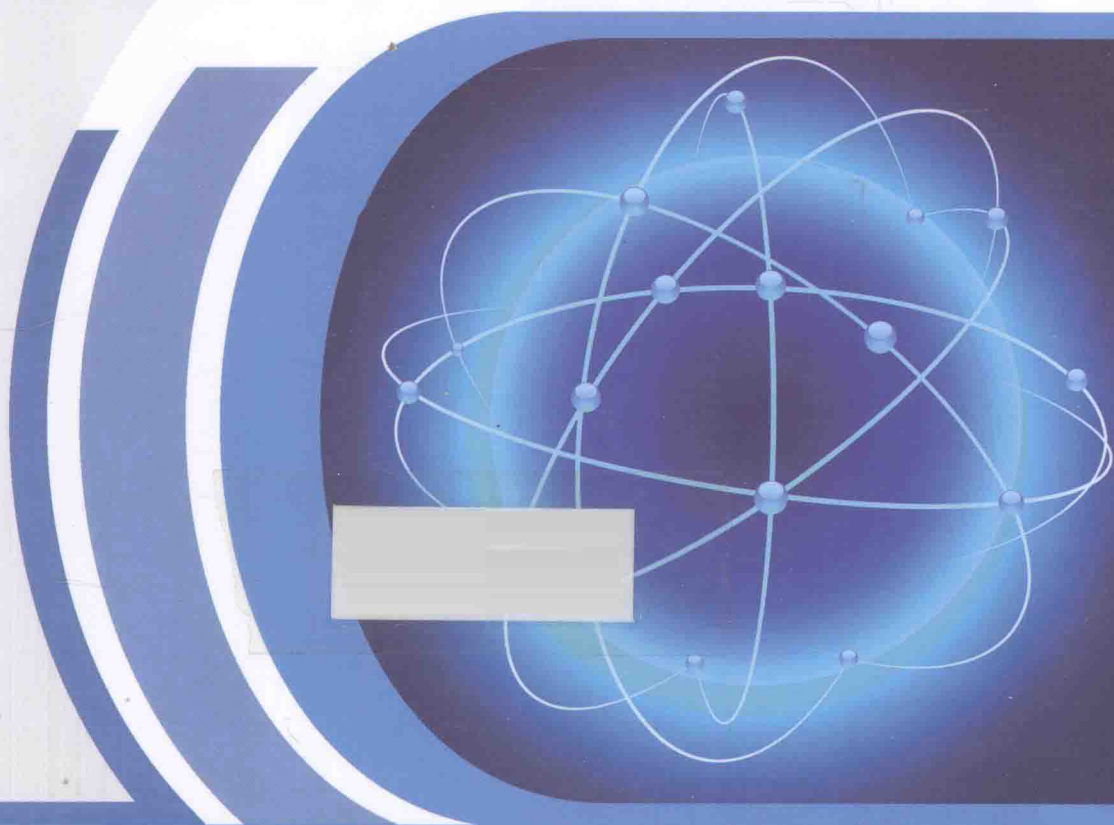


热能工程专业 实验实训教程

宋福元◎主编



HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

热能工程专业实验实训教程

主 编 宋福元
副主编 杨龙滨 张国磊 孙宝芝
主 审 李彦军

哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本书是高等院校能源与动力类及相关专业学生学习《锅炉原理》《热交换器原理与设计》《制冷工程》《空气调节》后必修的一门实验实训课程。本书以强化基础,突出能力培养,注重实用为原则,并且具有一定的深度。

本书包括锅炉原理综合实验、换热器综合性能实验、制冷技术实验、空调技术实验、常用热工仪器仪表的使用,热工设备及热力系统实训等内容。

本书可作为高等院校相关专业实验实训教材,也可供自学者和相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热能工程专业实验实训教程/宋福元主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 2012. 4

ISBN 978 - 7 - 5661 - 0340 - 6

I. ①热… II. ①宋… III. ①热能 - 实验 - 高等学校
- 教材 IV. ①TK11 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 058266 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心
开 本 787mm × 960mm 1/16
印 张 11
字 数 231 千字
版 次 2012 年 5 月第 1 版
印 次 2012 年 5 月第 1 次印刷
定 价 24.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

实验教学是热能工程及相关专业方向的重要教学环节,它不仅帮助学生理解实验原理、熟练掌握实验方法,而且有助于提高学生学习基本理论的兴趣,同时在以后的工程实践中具有广泛地应用。掌握相关的实验原理、方法和技巧是该专业学生必备的基本知识。

本书在编写过程中吸取了北京航空航天大学、华北电力大学、天津商业大学等兄弟院校的实验教学经验,并结合了我院热能工程专业长期教学经验。本书编写的内容考虑以下方面:一方面是与锅炉原理、热交换器、制冷技术、空调工程等课程内容的相关性;另一方面是实际应用性,同时也考虑到对学生理论应用能力、动手能力、综合实践等能力的培养。

本书可作为本科、专科热能工程专业方向专业课的实验教材,同样也可作为建筑环境与设备工程、制冷空调等专业的实验教材,并可作为能源动力类技术工作者的入门参考书。

本书由宋福元任主编,杨龙滨、张国磊、孙宝芝任副主编。李彦军负责主审工作。陈跃进、李晓明参加了部分章节的编写工作,王乃义进行了通篇审核工作。

本书的编写得到哈尔滨工程大学动力学院副院长高峰、实验中心主任陆勇以及热能工程专业其他老师的大力支持,同时,参考或引用了国内一些专家学者的论著,在此谨表谢意。

编 者

2012 年 1 月于哈尔滨工程大学

目 录

第1章 测量的基本知识	1
1.1 测量的基本概念	1
1.2 测量仪表的组成和质量指标	2
1.3 测量误差	6
第2章 实验数据的数学处理	8
2.1 实验数据的列表表示法	8
2.2 图线表示法	9
2.3 数据的线性化处理	16
第3章 锅炉的热工实验	21
3.1 燃料成分工业分析实验	21
3.2 煤的发热量测定实验	30
3.3 自然循环锅炉锅内过程实验	40
3.4 过热器流量偏差实验	43
3.5 直流锅炉锅内过程实验	46
3.6 燃油锅炉热平衡实验	48
3.7 燃气锅炉热平衡实验	54
第4章 换热器实验	60
4.1 水-水换热器性能综合实验	60
4.2 气-气热管换热实验	69
第5章 制冷实验	74
5.1 制冷循环系统演示实验	74
5.2 制冷压缩机性能实验	78
第6章 中央空调综合实验	88
6.1 实验目的	88
6.2 实验装置	88
6.3 实验内容	91
6.4 实验步骤	91
6.5 实验记录	94
6.5 实验数据计算	96

第7章 热工设备结构与操作运行	99
7.1 锅炉系统、制冷系统管路的安装	99
7.2 热交换器	102
7.3 水泵	109
7.4 风机	112
7.5 阀门	115
7.6 锅炉运行与操作	123
7.7 制冷机组操作运行	131
附录1 GB/T 19700—2005 船用热交换器热工性能试验方法	146
附录2 不同条件下的成年男子散热、散湿量	154
附录3 中央空调操作指南	155
附录4 饱和水蒸气压力表(按压力排列)	162
附录5 铜—镍铜热电偶分度特性表	164
附录6 镍铬—考铜热电偶分度特性表	165
附录7 镍铬—铜镍(镍铜)热电偶分度表	166
参考文献	167

第1章 测量的基本知识

1.1 测量的基本概念

测量就是用实验的方法,把被测量与选定的测量单位进行比较,求取两者的比值,从而得到被测量的数值(比值乘以单位)。测量方法就是实现被测量与测量单位的比较,并给出比值的方法。

1.1.1 被测参数

我们称需要检测的物理量为被测量参数或被测量。在热能与动力工程的测量中,经常涉及到的被测参数有温度、压力、流量、转速、位移、扭矩、振动等。

按照被测量参数随时间变化的关系可将其分为静态参数与动态参数。

1. 静态参数

被测参数在整个测量过程中的数值大小不随时间变化的量称为静态参数。例如环境大气压力,压缩机及内燃机稳定工况下的转速等。严格地讲,这些参数的数值并非绝对恒定不变,只是随时间变化非常缓慢而已,在进行测量的时间间隔内其数值大小变化甚微。

2. 动态参数

随时间不断改变自身量值的被测量称为动态参数,例如非稳定工况或过渡过程的压缩机、内燃机的转速;机械设备的振动加速度、燃烧爆炸过程的压力波、加热及冷却过程的温度等,均属于动态参数。这些参数随时间变化的函数可以是周期函数、随机函数等。

1.1.2 测量过程

所谓测量过程,就是将被测物理参数信号转换成可供识别记录的物理量,并与相应的测量单位进行比较的过程。这种转换有机械量向机械量转换,机械量向电量转换,电量向电量转换等多种形式。例如弹簧管式压力表把压力变化转换成弹簧管变形的位移,测量过程中振动传感器将振动或位移信号转换成电信号,热电偶利用其热电效应把温度转换成电势信号等。

1.1.3 一次仪表和二次仪表

测量仪表根据其在测量过程中所起的作用不同而分为一次仪表和二次仪表。

传感器又称为一次仪表。一次仪表是在测量过程中直接感受被测参数并将其转换成某一信号(能量)的仪表。例如压力表中的弹簧管、热电偶测温仪表中的热电偶。

二次仪表是接受一次仪表的输出信号,并将其放大或转换成其他信号,最后显示出测量结果的仪表。如压力表中的杠杆传动机构、指针和标尺,热电偶测温仪表中的电位差计(或毫伏表)。

1.1.4 测量方法的分类

1. 按照获得测量参数结果的方法不同,通常把测量方法分为直接测量法和间接测量法

直接测量是指被测量数值可直接由测试设备上获得,而不需对所获值进行运算的测量。比如:用水银温度计测温,用万用电表测量电压、电流、电阻值等。

被测量的数值不能直接由测试设备上获得,而是通过测量得到的数值同被测量间的某种函数关系经运算而获得的这样一种测量叫间接测量。例如,对一台汽车发动机的输出功率进行测量时,总是先测出发动机转速 n 及输出扭矩 M ,再由关系式 $N_c = K \times M \times n$, K 为常数,计算出其功率值。

2. 测量仪表测量值的读出方式

测量仪表测量值的读出方式可分为直读法、零位法。

在直读法中,被测量的数值是用仪表指示件的位移量来表示的,如压力表的指针偏转表示了被测压力的大小;水银温度计的液面高度表示了被测对象的温度。这类方法比较简单,但精度低。

零位法又称平衡式或补偿式测量法,这种方法是用仪表的零位指示来检测测量系统的平衡状态,从而用已知的标准量确定被测量的值。如用电位差计测量电势,用平衡电桥测量电阻,用天平称重等。这种方法精度高,但较之直读法复杂些。

1.2 测量仪表的组成和质量指标

1.2.1 仪表的组成和分类

仪表的种类繁多,其原理和结构各异,但就其基本功能来看,一般可以分为三个基本部分。

1. 感受器

它直接与被测对象相联系,感受被测量的变化,并将感受到的被测量的变化转换成相应的信号输出。例如热电偶,它把对象的被测温度转换成热电势信号输出。

2. 显示器

仪表通过它向观察者反映被测量的变化。根据显示器的显示方式,显示器可分为模拟式显示、数字式显示和屏幕式显示三种。

3. 传送器

连接感受器与显示器之间的环节称为传送器。在测量中其作用是将感受件输出的信号,根据显示器的要求(放大、转换等)传送到显示器。

根据仪表的不同功用,仪表可分为多种形式:按被测参数分类,有压力、温度、湿度、流量、液位等仪表;若按显示记录形式及功能分类,有指示仪表、记录仪、积算仪、调节仪等;按工作原理分类,有机械式、电子式、气动式和液动式仪表;按仪表的精度等级分类,有标准表、一级范型表、二级范型表、实验室用表、工程用表;按装置地点分类,有就地安装和盘用仪表;按使用方法分类,有固定式和携带式仪表等。

1.2.2 测量仪表的技术指标

1. 测量仪表的精度

不同的测量装置,虽然衡量它们的指标是不相同的,但都有以下几个共同的指标可用来评价其优劣。

(1)准确度 它表明仪表指示值与测量对象的真正值的偏离程度,反映了测量装置的系统误差大小。如,若说某转速表的准确度为 2 r/min ,则是指用该表测量转速时,它的指示值与真值偏离在 2 r/min 之内。

(2)精密度 它表明仪表指示值的分散性,即用同一测量装置对同一对象在短时间内做多次重复测量所得结果的分散程度。例如,某一转速表精密密度为 2 r/min ,是指用该转速表多次测量的数据的分散程度少于 2 r/min 。由误差理论的分析可知,精密度体现了随机误差在测量中的影响。

(3)精确度(精度) 它是准确度和精密度的综合反映,习惯上用精度这一概念来综合表示测量误差的大小。

值得指出的是:一测量系统准确度高,精密度未必就高,反之亦然。而精度才是可综合反

映精密度与准确度的一个指标。为了便于理解,我们以射击这一事件为例来说明,如图 1.1 所示,在图中:(a)表示准确度高而精密度低,简言之,准而散;(b)表示准确度高而精密度高,即密而偏;(c)表示精度高,即准而密。

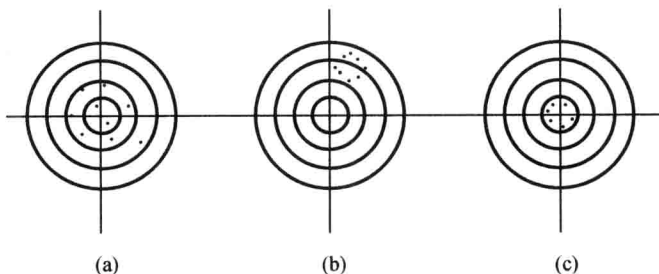


图 1.1 准确度、精密度与精确度的概念模型

(4) 仪表精度 精度等级 = (测量中最大可能产生的绝对误差/仪表满量程刻度值) × 100%

一台仪器的精度通常反映了该仪器所能允许的误差大小,每一种测量仪器都标注了自己的精度等级,一般热工与电子仪表将精度分为 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0 七级。

2. 测量仪表的静特性

静态特性是指被测量量不随时间变化或随时间变化很缓慢时测量仪器的输出特性,一台测量装置的静态特性常用以下几个指标来衡量。

(1) 灵敏度 是指单位输入量所引起的输出量的大小。如水银温度计输入量是温度,输出量是水银柱高度,若温度每升高 1℃,水银柱高度升高 2 mm,则它的灵敏度可以表示为 2 mm/℃。一台测量仪器的静态灵敏度是由静态标定来确定的,即由该装置的实测输入、输出关系来确定,这种关系曲线叫标定曲线。而灵敏度可以定义为标定曲线的斜率。

$$\text{灵敏度} = \Delta y / \Delta x$$

式中 Δy ——输出信号的变化量;

Δx ——引起输出信号变化的被测参数变化量。

(2) 线性度 我们希望仪器的输出量与输入量间出现线性关系,但实际中标定曲线往往不是理想的直线,线性度就是用来指示标定曲线偏离直线的程度。线性度的表示方法通常是在标定曲线的坐标原点与对应于最大输入量的输出量间连一直线,以此作为基准直线,如图 1.2 所示,然后求出实际标定曲线同该基准直线间的最大偏差值,线性度表示为

$$\text{线性度} = (\Delta y_{\max} / y_{\max}) \times 100\%$$

式中 $y_{\max}$ ——仪表最大量程。

(3) 变差(滞后) 在外界环境条件不变的情况下,使用同一仪表对被测参数进行正反行程(即逐渐由小到大再由大逐渐到小)测量时,对相同的被测参数值,仪表的指示值却不相同,这种差异的程度由变差予以表征,其值如图 1.3 中 $y_{\max}$ 所示。

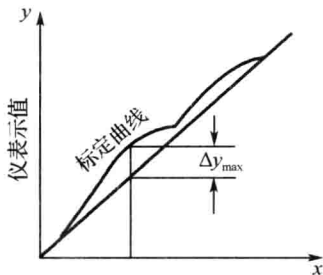


图 1.2 仪表线性度表示法

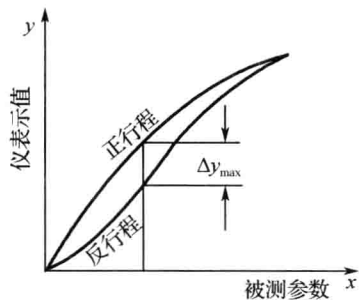


图 1.3 仪表变差表示法

$$\text{变差} = (\Delta y_{\max} / y_{\max}) \times 100\%$$

(4) 零漂 零漂表示传感器在零输入的状态下,输出值的漂移,一般分为:

①时间零漂(时漂) 时间零漂一般是指在规定的时间内,在室温不变的条件下零输出的变化。对于有源的传感器,则指的是在标准的电源条件下,零输出的变化情况。

②温度漂移(温漂) 绝大部分传感器在温度变化时特性会有所变化,一般用零点温漂和灵敏度温漂来表示这种变化的程度,即温度每变化 1°C ,零点输出(或灵敏度)的变化值。它可以用变化值本身,也可用变化值与满量程输出之比来表示。

3. 测量仪表的动态特性

在测量迅速变化的物理量时,就要研究测量仪表对被测量的动态响应能力,我们称之为动态特性。

任何一台测量设备由于存在着机械惯性或电惯性,动态输出量与静态输出量间往往存在着失真现象。在理想的情况下,动态特性应与静态特性一致。由动态响应特性所决定的输出,原则上可以从理论上来解决,即利用相应的物理定律建立微分方程,将输入、输出量联系起来,然后通过给定的初始条件下求解该方程,从而求出在任意输入信号 $X(t)$ 作用下,测量装置的输出信号 $Y(t)$ 。一般而言,输入信号和输出信号之间的关系,经过适当的简化,可得到下列形式的常系数微分方程:

$$(a_n D^n + a_{n-1} D^{n-1} + \cdots + a_1 D + a_0) y = (b_n D^n + b_{n-1} D^{n-1} + \cdots + b_1 D + b_0) x$$

式中 y ——输出量;

x ——输入量;

t ——时间;

a 及 b ——常系数;

D —— d/dt , 是微分算符。

通过系统参数和输入 x 找出 y 。

微分方程的解可以写成:

$$y_0 = y_{01} + y_{02}$$

式中 y_{01} ——通解部分;

y_{02} ——特解部分, 或称积分解。

1.3 测量误差

在实际测量工作中, 无论测量仪器多么完善, 误差总是存在的。下面讲述误差的种类、性质, 如何对所测得的数据进行处理、加工, 从而求得测量的最可靠值, 并估计其精确程度。

1.3.1 真值与测量值

某一时刻某一物理量客观存在的量称为真值, 用 X 表示。通过测量仪表对该物理量检测得到的结果称为测量值, 用 L 表示。

严格地讲, 客观存在的物质时刻都在变化之中, 而且由于测量中总是存在误差, 所以实际上真值 X 是难以测量到的。因此, 在实际应用中一般就把相对高一级仪表测量得到的值近似看作真值(也称相对真值)。例如国家各级计量站所提供的标准质量在某种程度上就可作为真值看待。

1.3.2 误差分类

1. 根据定义, 误差可作如下划分

(1) 绝对误差 测量值与被测量的真值之差称为绝对误差, 记作

$$\delta = L - X$$

式中 L 是测量值, X 是真值, 从式中可见绝对误差 δ 是有正负的。在实际问题中, 由于 X 一般是未知的, 通常用高一级仪器的指示值 X_0 来代替真值。这样一来, 绝对误差又可以写成

$$\delta = L - X_0$$

(2) 相对误差 除了绝对误差外, 我们常用到相对误差 γ 的概念。相对误差是绝对误差与真值之比, 记作

$$\gamma = (\delta/X) \times 100\%$$

同绝对误差中的问题一样,相对误差表达式在实际应用中写作

$$\gamma = (\delta/X_0) \times 100\%$$

2. 根据误差来源的性质,可以将误差分为系统误差、粗大误差和随机误差

在讨论误差问题时,我们引进一个概念:等精度测量。所谓等精度测量是指用同一仪器设备,采用同一方法,由同一观测者在环境条件不变的条件下所进行的测量。

(1)系统误差 系统误差具有这种特点,在做等精度测量时,误差呈现出绝对值与符号保持恒定的规律性,这种误差的影响程度可以确定,并采用控制或修正的方法加以消除。例如,压力表指针的零位不准,射击时枪的准星偏离等。这种误差产生的原因是多方面的,我们举几个例子来说明系统误差产生的原因。仪器本身安装不当,如把水银温度计倒挂,这样附加了重力对液柱的影响;环境影响,如大气压、气温的变化造成仪表读数的漂移;测量方法不正确,如对某些指针式仪表来说,观测者视线的角度不正确会造成读数误差。有些高精度的万用表在指针后面装有反光镜,就是为了消除视线的角度不正确造成的读数误差。

(2)粗大误差 又称过失误差,这显然是一种不能容忍的误差,因为它同测量要求本身是不相容的,完全是测量者粗心大意所致,如在测量中测错、记错。含有粗大误差的测量值称为坏值,是应予以删除的值。

(3)随机误差 对某物理量进行等精度测量时,多次测量的误差的绝对值时大时小,符号时正时负,无确定规律,这种误差叫随机误差,又称偶然误差。这种误差是多方面复杂的因素所引起的,比如环境、仪器、测量者工作状态的波动,因而它既不能预计也不能消除。单次偶然误差虽然没有规律性,但随着测量次数的增加,误差平均值趋近为零。

应当指出,在实际的测量中,系统误差和随机误差往往都是同时存在的,它们之间也没有绝对的界限,尤其在系统误差不易发现时,往往会被当成随机误差来对待,因此对具体问题要具体分析。

第2章 实验数据的数学处理

除某些观察实验外,对某一物理过程的实验研究,其直接结果是取得一系列的原始数据。一般地说,这些数据必须经过适当中间环节的处理、计算和转换,才能得到所需要的、表征研究过程的变量之间的依从关系。例如,在传热实验中,当用电加热器加热并用热电偶测量表面温度时,实验测量得到的原始数据将是一系列的加热器端电压和电流值以及相应状态下的热电势值。它们不能直接显示出人们所需要的结果。也就是说,不能用这些测得的原始数据直接表征所研究过程的变量依从关系。只有将热电偶的热电势转换成相应的温度,并经过计算将热电偶的端电压和电流值折算成功率率,进而折算成热流时,才能得到我们所预期的实验数据——温度和热流。

将预期的实验数据进行整理,首先应对所研究的现象进行理论分析。不过,这里不涉及这方面的内容,只是概括地阐明如何进行实验数据的整理。通常,可采用三种形式来表示实验数据之间的依从关系,即列表表示法、图线表示法和数学表达式表示法。而图线表示法和数学表达式表示法是密切相关的,因此,这里就不将图线表示法和数学表达式表示法分成单独的两节来讨论。

2.1 实验数据的列表表示法

这里不妨将列表表示法稍加扩充,不只限于表示实验的最后结果。用表格表示实验数据,有三种类型的表格:记录原始数据的表格;由原始数据进行中间处理的表格;最终表征过程参数依从关系的表格。

原始数据的记录表格是后两种表格的依据。因此,必须在实验中,根据实验设计所确定的参数数目、参数变化范围严格地设计原始数据记录表格。设计和填写这种表格,必须注意如下事项。

2.1.1 项目的完整性

表格中一定要有充分和必要的项目,全面地记录实验的工作状态(工况)和全部实验数据,并应包括实验日期、起止时间以及参加人员名单。同时根据需要,记录下大气温度和压力等环境参数,因为遗漏任何一项记录数据,都可能导致整个实验的失败。

2.1.2 单位的完整性

在表格的各个项目中,都必须注明使用的单位。没有单位的物理量是一个没有任何意义的数字。

2.1.3 有效数字的合理性

有效数字的位数取决于测量的准确度。盲目地增加有效数字的位数,并不能提高实验数据的精确程度,而某些初次参加实验的人员却常常忽视这一点。比如某一量的测量值记录为8.6573,而其测量准确度为1%,因此,小数点后第二位已经不可靠,小数点后第三位就是无效数字。因此,实验数据的真值将在8.64和8.66之间,可见,合理的测量数据应取为8.65,这一数据才是与整个实验精度相适应的数据。

实验数据的中间处理表格的设计,应以便于数据整理为目的,表格应清楚地表明由原始数据到最后实验数据的处理过程。在表格中应特别注意中间计算和转换过程中单位的变换。

最后的实验数据表格是实验研究的精华,因此,必须简明地表明实验研究的结果。在表格中应明显地表示出控制过程发展的物理量与随之而变化的物理量之间的依从关系。有时,表格本身尚不能充分地表达全部实验结果,因此,还需要一些附加的说明列于表首或表尾。

由于计算机已广泛地进入实验研究,因此原始数据、中间数据处理和最后的数据表格都可由计算机按预先编制的程序进行,并可将最后数据之间的依从关系绘制成,各种图线或拟合成相应的数学表达式。

列表表示法是最简单的实验数据表示法,只要将根据原始数据整理的最后实验结果列出数据表格即可。但是,这种方法的缺点之一是不能形象地看出过程的发展趋势;另一个缺点是不如数学表达式表示的实验结果更便于计算机计算,但这个缺点不是绝对的,往往有些实验数据呈现了复杂的依从关系,有时甚至无法用简单函数来表达最后结果,这时采用列表法可能更便于表达实验的结果;列表法的第三个缺点是实验结果表达的间断性无法引用两实验点之间的数据,如果需要取得两点间的中间数据,就必须借助于插值法。常见的插值法有线性插值、差分插值、一元拉格朗日插值多项式、差商插值多项式、二元拉格朗日插值多项式、埃尔米特插值多项式以及样条插值等方法。在一般工程中,当自变量间隔和因变量阶跃不太大时,都采用线性插值。

2.2 图线表示法

图线表示法是把实验数据之间的相互关系用图线表示出来。这种图线是根据在坐标图

中的实验点用适当的方法建立起来的。这里所采用的坐标图,一般常见的有直角坐标、半对数坐标、全对数坐标以及极坐标等。这种方法的优点是能从图线上可形象地看到各参数之间的关系和发展趋势,并可将实验结果适当外延。另外,在用图线来平滑实验点的过程中,可适当消除部分随机误差。当然,这种方法也避免了表格法中实验结果间断的缺点。下面对图线法的一些基本知识加以说明。

2.2.1 标度尺与比例尺的选择

标度尺是指图上单位线性长度或单位角度所代表的物理量。比例尺是指各坐标轴标度尺之间的比例。在作图表示实验结果时,必须首先选择适当的标度尺和比例尺。标度尺和比例尺的选择有一定的独立性,但两者又存在一定的关系。否则,不能恰当地描述实验数据的依从关系,甚至会引起误解。这里先举一例加以说明,例如,某一实验最后整理出来的结果是:当自变量 x 为 1, 2, 3 和 4 时,函数 y 值分别为 8.0, 8.2, 8.3 和 8.0, 并选择轴标度尺为:图上每单位长度代表一个单位的 x 值。而 y 轴标度尺为:图上每单位长度代表两个单位的 y 值。这时,上述实验结果表示在 $x-y$ 坐标图上,如图 2.1(a) 所示。根据图上表示的实验结果,人们有理由把这些实验点连成一平行于 x 轴的直线,并可得出结论:实验证明 y 值与 x 值无关。但是,如果改换一下标度尺,使 x 轴坐标的标度尺不变,而 y 坐标轴的标度尺改为:图上每单位长度代表 0.2 个单位的 y 值。改换 y 轴标度尺之后,实验数据表示在图上,如图 2.1(b) 所示。根据图上实验点的位置,人们又有理由将实验结果连成抛物线,并认为实验证明 y 值受 x

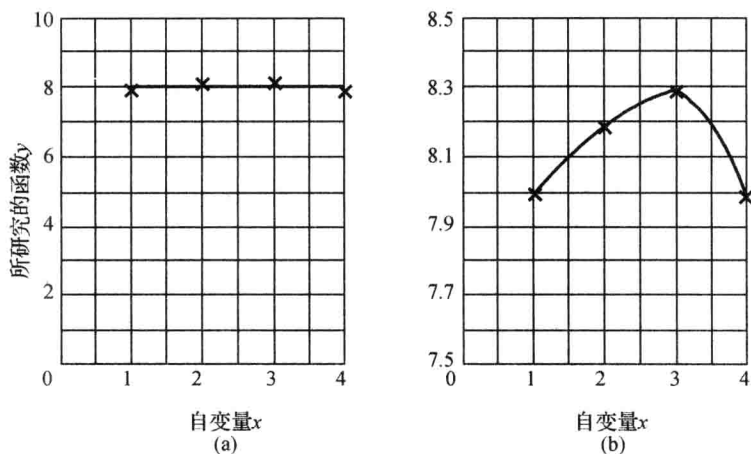


图 2.1 标度尺选择对表示实验结果的影响

(a) 直线关系; (b) 抛物线关系

值的影响,并在 $x=3$ 处出现 $y_{\max}$ 。同样的实验数据,却得出了不同的结论,那么哪一个结论正确呢?回答是两个结论都可能正确。这是否说明实验结果与所选择的标度尺有关呢?显然,回答是否定的。从表面上看,上述矛盾是由于选择不同的标度尺引起的。但是,标度尺的选择,实际上是与实验误差的估计密切相关的。

仍以上例来说明如何正确选择标度尺。如果已知 y 的测量误差 $\Delta y = \pm 0.2$, x 值的测量误差 $\Delta x = \pm 0.05$, 则上例的测量结果应为:当 $x_1 = 1 \pm 0.05, x_2 = 2 \pm 0.05, x_3 = 3 \pm 0.05, x_4 = 4 \pm 0.05$ 时, $y_1 = 8.0 \pm 0.2, y_2 = 8.0 \pm 0.2, y_3 = 8.3 \pm 0.2, y_4 = 8.0 \pm 0.2$ 。这时,如果把误差带也同时表示在图上,则图 2.1(a) 变成图 2.2(a), 并且图 2.1(b) 变成图 2.2(b)。这样,从图 2.2 可以清楚地看到:不论选择什么样的标度尺,其实验结论都是一样的。根据图 2.2(a) 及图 2.2(b), 有理由认为把实验结果连成平行于 x 轴的直线是正确的。如果设法采取措施来减小值的测量误差,那么,这些数字的意义就不同了。如果 y 值的测量误差不是 0.2, 而是 0.02, 则 $x_1 = 1 \pm 0.05, x_2 = 2 \pm 0.05, x_3 = 3 \pm 0.05, x_4 = 4 \pm 0.05$ 时, $y_1 = 8.0 \pm 0.02, y_2 = 8.2 \pm 0.02, y_3 = 8.3 \pm 0.02, y_4 = 8.0 \pm 0.02$, 仍按上述两种标度尺把这些数据分别画在图上,如图 2.3(a) 和图 2.3(b) 所示。这时,实验结果就不是直线,而应是具有最大值的曲线形式。从以上讨论可以得出如下结论:第一,标度尺要选择适当,否则就会出现图 2.2(b) 那样的情况,以如此长的一个矩形来代表一个实验“点”,显然是不合理的;第二,标度尺的选择与测量误差的大小有密切关系。可以根据误差带选择标度尺和 $x-y$ 轴的比例,当 x 轴上的误差带与 y 轴上的误差带所构成的矩形接近正方形时,可以认为比例尺的选择是适宜的。

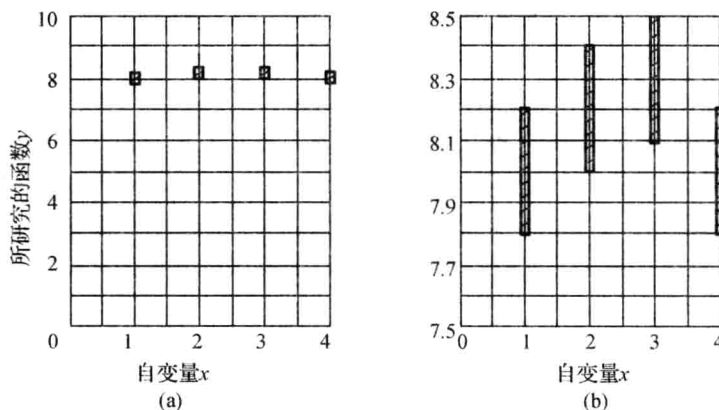


图 2.2 根据测量误差表示实验结果

(a) 大的 y 轴标度尺; (b) 小的 y 轴标度尺

下面讨论这个正方形的大小。一般情况下,测量误差带在图纸上大致占据 $1 \sim 2 \text{ mm}$ 是合适的。比如测量温度沿杆长的分布,温度的测量范围是 $0 \sim 100^\circ\text{C}$, 其测量误差为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, 杆