



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 (高职高专教育)  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

DIANZI JISHU  
SHIXUN JIAOCAI

# 电子技术 实训教材

高安芹 杨露露 主 编  
朱传琴 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

General Education



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 (高职高专教育)  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

DIANZI JISHU  
SHIXUN JIAOCAI

# 电子技术 实训教材

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 主 编 | 高安芹 | 杨露露 |
| 副主编 | 朱传琴 |     |
| 编 写 | 姜淑香 | 吴延荣 |
| 主 审 | 高建国 | 王桂海 |



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>



## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育)。全书由基础篇、实验篇、仿真篇、设计篇和竞赛篇组成,主要内容包括:电子技术实验和实训基础知识、常用元器件简介和电子技术测量技术;选编了8个模拟电子技术基础实验和7个数字电子技术基础实验;介绍了Multisim2001软件和电子线路的仿真技术;论述了电子电路设计的基本方法和七个电子技术设计训练课题;并且介绍了大学生电子竞赛的有关知识,包含了从选题到方案选择,直到成品制作和文档编写的全部内容。

本书可作为高职高专院校电力技术类专业的实践教学用书,也可作为大学生电子设计竞赛的参考书,同时还可作为从事相关工作的工程技术人员参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电子技术实训教材/高安芹,杨露露主编;姜淑香,吴延荣编. —北京:中国电力出版社,2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专教育  
ISBN 978-7-5083-5862-8

I. 电... II. ①高... ②杨... ③姜... ④吴... III. 电子技术—高等学校:技术学校—教材. IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第103179号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2007年8月第一版 2007年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15.5印张 369千字

印数 0001—3000册 定价 24.80元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前言

本书是高职高专电子技术系列教材中一本全新的实践教学教材，是普通高等教育“十一五”国家级规划教材（高职高专教育）。

本书注重实用性和可操作性，既着眼于电子技术的基本技能和能力的培养，又努力反映新技术，采用新器件，力求贴近工程，逐步地把学生引入工程实践的大门。本书具有以下特点：

1. 实用性。教材以满足电子技术（模拟电子技术、数字电子技术）的实验、课程设计、课程实习和大学生电子竞赛需要为原则，从实际使用角度选择教学内容，提出实训要求。例如，对于常用元器件简介方面的内容，以必需和够用为尺度，学生只要知道“干什么用，如何用，用时要注意什么”即可。

2. 系统性。本书内容由浅入深，从理论到实践，从元器件到单元电路直到系统设计，循序渐进；同时为适应全国大学生电子竞赛的需要，本书增加了大学生电子竞赛从选题到方案选择、直到成品制作和文档编写的知识，内容丰富而全面。

3. 灵活性。尽管本书是“电子技术”课程体系的一部分，但它与传统的课程教材有很大的区别。每篇各成体系，都尽可能保持其独立性和完整性，前后衔接自然，可集中教学，也可根据教学实际情况选择各篇章分散教学，以适应不同的教学对象。

4. 使用范围广。本书适用于高职高专电子、电气、自动控制、机电一体化等专业，也可作为本科相应专业的实践教学教材，同时也可作为大学生电子设计竞赛的参考书，对工程技术人员、电子爱好者也具有很好的参考价值。

全书共分十章。第一章由山东建筑工程学院吴延荣编写，第二、三、四、七章和第八章课题一、二、三、四由山东电力高等专科学校高安芹编写，第五章和第八章课题五、六、七由山东电力高等专科学校杨露露编写，第六章由山东科技大学姜淑香编写，第九、十章由山东电力高等专科学校朱传琴编写。全书由山东电力高等专科学校高建国教授和山东科技大学王桂海教授担任主审，两位教授在百忙中对书稿进行了非常认真的审查，并提出了许多宝贵意见和建议，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，难免会有错误和不足之处，恳请读者批评、指正，并提出宝贵意见，以便修订时改进。联系电话：0531—82999441，E-mail: gaq1970@126.com。

编者

2007.4

# 目 录

## 前言

## 第一篇 基 础 篇

|                   |    |
|-------------------|----|
| 第一章 电子技术实验和实训基础知识 | 1  |
| 第一节 电子技术实验的目的和要求  | 1  |
| 第二节 电子测量的基础知识     | 3  |
| 第三节 电子工艺基础知识      | 9  |
| 第二章 常用元器件简介       | 20 |
| 第一节 常用无源电子元件      | 20 |
| 第二节 常用半导体器件       | 27 |
| 第三节 典型集成电路        | 34 |
| 第三章 电子技术测量技术      | 49 |
| 第一节 常用电子仪器的使用     | 49 |
| 第二节 电子电路基本电量的测量技术 | 60 |
| 第三节 常用元件测量技术      | 64 |
| 第四节 二极管和三极管的测试    | 68 |

## 第二篇 实 验 篇

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第四章 模拟电子技术基础实验           | 71  |
| 实验一 单管放大电路的测试            | 71  |
| 实验二 负反馈放大电路的测试           | 74  |
| 实验三 集成运算放大器参数的测试         | 77  |
| 实验四 集成运算放大器的线性应用——模拟运算电路 | 82  |
| 实验五 集成运算放大器的非线性应用——电压比较器 | 85  |
| 实验六 RC 桥式正弦波振荡电路的测试      | 88  |
| 实验七 集成功率放大器的测试           | 89  |
| 实验八 直流稳压电源的测试            | 92  |
| 第五章 数字电子技术基础实验           | 97  |
| 实验一 TTL 集成与非门的测试         | 97  |
| 实验二 简单组合逻辑电路的设计          | 101 |
| 实验三 集成触发器的测试             | 102 |



|     |             |     |
|-----|-------------|-----|
| 实验四 | 计数器、译码、显示电路 | 106 |
| 实验五 | 555 定时器及其应用 | 111 |
| 实验六 | D/A 转换器的测试  | 115 |
| 实验七 | A/D 转换器的测试  | 118 |

### 第三篇 仿 真 篇

|     |                   |     |
|-----|-------------------|-----|
| 第六章 | 电子电路的仿真与设计        | 121 |
| 第一节 | 计算机辅助分析与仿真概述      | 121 |
| 第二节 | Multisim 用户界面概貌   | 122 |
| 第三节 | Multisim 元器件与元器件库 | 128 |
| 第四节 | 电路图的输入和编辑         | 130 |
| 第五节 | 虚拟仪器及其使用          | 133 |
| 第六节 | 应用实例及实训习题         | 135 |

### 第四篇 设 计 篇

|     |                  |     |
|-----|------------------|-----|
| 第七章 | 电子电路设计的基本方法      | 151 |
| 第一节 | 电子电路设计基础知识       | 151 |
| 第二节 | 模拟电子系统设计的方法      | 152 |
| 第三节 | 数字电子系统设计的方法      | 154 |
| 第四节 | 电子电路的组装和调试       | 156 |
| 第五节 | 电子电路的故障分析与排除     | 159 |
| 第八章 | 电子技术设计训练         | 164 |
| 课题一 | 直流电压表、电流表和欧姆表的设计 | 164 |
| 课题二 | 函数发生器的设计         | 166 |
| 课题三 | 声光控制楼道灯开关电路的设计   | 168 |
| 课题四 | 语音报警电路的设计和训练     | 170 |
| 课题五 | 数字定时抢答器设计和训练     | 173 |
| 课题六 | 数字电子时钟的设计        | 176 |
| 课题七 | 交通灯控制电路的设计和训练    | 178 |

### 第五篇 竞 赛 篇

|     |                 |     |
|-----|-----------------|-----|
| 第九章 | 全国大学生电子设计竞赛基础知识 | 183 |
| 第一节 | 全国大学生电子设计竞赛简介   | 183 |
| 第二节 | 电子竞赛中常用开关电路     | 184 |
| 第三节 | 测量放大器           | 187 |

|             |                       |            |
|-------------|-----------------------|------------|
| 第四节         | 半导体显示器件及光电耦合器 .....   | 189        |
| 第五节         | 常用驱动电路 .....          | 192        |
| 第六节         | 步进电机及其驱动电路 .....      | 194        |
| 第七节         | 半导体存储器 .....          | 196        |
| 第八节         | 可编程逻辑器件 .....         | 202        |
| <b>第十章</b>  | <b>电子竞赛设计过程 .....</b> | <b>209</b> |
| 第一节         | 电子竞赛设计过程 .....        | 209        |
| 第二节         | 电子竞赛设计报告编写 .....      | 216        |
| 第三节         | 电子竞赛设计报告示例 .....      | 217        |
| 第四节         | 电子竞赛实训练题 .....        | 231        |
| <b>参考文献</b> | <b>.....</b>          | <b>237</b> |

## 第一篇 基础篇

### 第一章 电子技术实验和实训基础知识

#### 第一节 电子技术实验的目的和要求

《电子技术》是高等学校理工科各专业一门实践性很强的专业基础课。电子技术实验作为该课程的重要教学环节，对培养学生理论联系实际的学风，培养学生研究问题和解决问题的能力，培养学生的创新能力和协作精神，提高学生针对实际问题进行电子设计制作的能力具有重要的作用。

电子技术实验教学对学生能力培养包括两个方面：一是训练学生使用各种仪器设备对电子电路、系统测试分析的能力；二是培养学生设计、调试电子电路和系统的能力。因而在改革电子技术实验体系的基础上，需要按照电子技术能力培养的目标调整实验内容，把电子技术能力培养的目标消化在具体的实验内容中。通过该课程的实验和实训环节，使学生得到基本实践技能的训练，学会常用仪表、电子仪器等基本实验设备的测量原理及使用方法，加深和扩大理论知识；学会运用所学理论知识判断和解决实际问题；树立严谨求实的作风，为今后从事生产工作及科学研究打下基础。

一个完整的实验过程应包括实验准备、实验操作和实验报告的编写等环节。不论是验证性实验还是设计性实验，各环节的完成质量都会直接影响到实验的效果。

##### 一、实验准备

实验准备的第一个环节即为实验预习。预习是保证实验能否顺利进行的必要步骤，是提高实验质量和效率的可靠保证。要高质量地完成实验，很重要的一个环节就是在实验前必须认真预习准备。本课程的实验可分为基本操作和实验数据分析系列实验、简单电子技术设计实验、电子综合实验三类。预习的要求有所不同，但总的要求是通过预习，做到心中有数，即要明确“进实验室要做什么？如何做？按理论分析预期有怎样的结果？”

##### 1. 基本操作和实验数据分析系列实验

这类实验是在教师指导下进行，即验证性实验。学生如能认真地按照指导书的要求去做，就能顺利完成实验，达到预期效果。实验前应做到：

- (1) 认真阅读指导书，明确实验的目的、要求、要测量的电量，阅读有关的书籍、资料，复习实验原理涉及的有关理论；
- (2) 熟悉实验线路、方法、步骤，准备好数据原始记录表格；
- (3) 认真思考、解答自测题，按理论分析预测估算实验结果；
- (4) 记住实验中应注意的事项。

##### 2. 简单电子技术设计实验

这类实验是在给定条件下，学生自己组织实验，旨在培养学生应用基本理论解决实际问



题以及独立工作的能力。因此,任务书通常只给出实验目的,任务要求,可供选择使用的部分仪表、仪器、元件等,要求预习时完成以下准备工作。

(1) 根据实验项目的要求、任务,查询有关的书籍、资料,拟定出实验电路、实验方法以及实验步骤。

(2) 根据有关理论,估算并选定实验电路中各元件的参数。

(3) 根据实验测试内容的要求以及实验室的条件,选择仪表、仪器。

(4) 慎重考虑在实验过程中可能出现的问题。

(5) 设计数据记录表格,准备好原始记录表。

(6) 综合上述各项工作,作出该实验项目完整的实验任务书。

### 3. 电子综合实验

综合性实验的目的是为了更好地培养学生的自学能力,独立进行测试工作和解决实际问题的能力,培养学生综合应用电子技术理论知识,采用现代设计手段,设计具有一定复杂程度的完整的电子系统的能力。

(1) 深入理解实验题目所提出的任务与要求,阅读有关的技术资料,学习相关的理论知识。

(2) 进行电路方案设计,并对设计方案进行可行性论证。

(3) 拟订原理电路,确定接线图。

(4) 根据有关理论,估算并选定实验电路中各元件的参数。

(5) 根据实验测试内容的要求以及实验室的条件,选择仪表、仪器。

(6) 使用仿真软件进行电路性能仿真和优化设计,进一步确定所设计的电路原理图和元器件。

(7) 综合上述各项工作,作出该实验项目完整的实验任务书。

写出预习报告,其中应包含以上所有内容。

## 二、实验操作

在完成理论学习、实验预习等环节后,就可进入实验操作阶段。实验时要做到以下几点。

(1) 实验开始前,指导教师要对学生的预习报告做检查,要求学生了解本次实验的目的、内容和方法。只有通过预习要求后,方能允许进行实验操作。

(2) 认真听取指导教师对实验装置的介绍,或通过 CAI 课件了解本次实验所用实验设备、仪器的功能与使用方法。

(3) 按确定的实验线路图接线。一般情况下,接线次序为:先主电路,后控制电路;先串联后并联;实验电路走线、布线应简洁明了、便于测量;导线的长短粗细要合适、尽量短、少交叉,防止连线短路。所有仪器设备和仪表都要严格按照规定的接法正确接入电路(例如,电流表及功率表的电流线圈一定要串接在电路中,电压表及功率表的电压线圈一定要并接在电路中)。

(4) 实验电路通电。完成实验系统接线后,必须进行复查,按电路逐项检查各仪表、设备、元器件的位置、极性等是否正确。确定无误后,方可通电进行实验。实验中如有异常现象(例如有声响、冒烟、打火、焦臭味及设备发烫等)应立即切断电源,分析原因,查找故障。

(5) 测量数据,观察现象。接通电源后,先将设备大致调试一遍,观察各被测量的变化情况和出现的现象是否合理,若不合理,应切断电源,查找原因,进行改正;若无问题,则读取数据。仪表读数时,思想要集中,姿势要正确。对于数字式仪表,要注意量程、单位和

小数点位置；对于指针式仪表，要求眼、针、影成一线，及时变换量程，使指针指示于误差最小的范围内。变换量程要在切断电源的情况下操作。

(6) 将所有数据记在原始记录表上，数据记录要完整、清晰，力求表格化，一目了然，合理取舍有效数字。要尊重原始记录，实验后不得涂改，养成良好的记录习惯，培养工程意识。交实验报告时，要将原始记录一起附上。

(7) 完成本次实验全部内容后，应先断电，暂不拆线，待认真检查实验结果无遗漏和错误后，方可拆除接线。整理好连接线、仪器工具，使之物归原位。

(8) 实验过程中应特别注意人身安全与设备安全。改接线路和拆线一定要在断电的情况下进行。绝对不允许带电操作。使用仪器仪表要符合操作规程，切勿乱调旋钮、挡位。发现异常情况，立即切断电源，查找故障，排除后再继续进行。

### 三、实验报告的编写

实验报告是实验成果的书面总结，编写实验报告是一项重要的基本训练，必须认真完成，报告应按学校规定的格式编写，一般应包括以下主要内容。

(1) 实验目的及任务。

(2) 实验电路及使用的设备。

(3) 实验数据。

(4) 数据处理。数据的整理、误差估算，按任务要求进行计算，得到实验结果，绘制表示实验结果的实验曲线等。

(5) 结论与分析讨论。通过实验得出的结论，对实验中发生的现象、问题、事故等的分析讨论；并讲述实验的收获体会以及对改进实验的建议等。

第(4)、(5)两项是编写报告的重点内容，是培养学生分析和解决实际问题以及独立工作能力的重要手段，所以应尽最大努力，认真独立地编写实验报告。

## 第二节 电子测量的基础知识

广义上，电子测量是泛指以电子技术为手段而进行的测量，即以电子技术理论为依据，以电子测量仪器和设备为工具，对电量和非电量所进行的测量。从狭义上讲，电子测量则是利用电子技术对电子学中有关的电量所进行的测量。

### 一、电子测量的特点

#### 1. 测量频率范围宽

被测信号的频率范围除测量直流外，测量交流信号的频率范围最低可以在  $10^{-6}$  Hz 以下，最高至 THz ( $1\text{THz}=10^{12}\text{Hz}$ ) 以上。

#### 2. 量程范围宽

测量范围的上限值与下限值之间相差很大，仪器具有足够宽的量程。如数字万用表对电阻测量小到  $10^{-5}\Omega$ ，大到  $10^8\Omega$ ，量程达到 13 个数量级；电压测量由纳伏 (nV) 级至千伏 (kV) 级电压，量程达 12 个数量级；而数字式频率计，其量程可达 17 个数量级。

#### 3. 测量准确度高

电子测量的准确度比其他测量方法高得多。例如，用电子测量方法对频率和时间进行测量时，可以使测量准确度达到  $10^{-13}\sim 10^{-14}$  的数量级。采用电子测量技术，长度测量和力学

测量的最高精度可达  $10^{-9}$  数量级。

#### 4. 测量速度快

由于电子测量是通过电子运动和电磁波传播进行工作的, 具有其他测量方法通常无法类比的高速度, 这也是它广泛地用于各个领域的重要原因之一。

#### 5. 易于实现遥测、遥控

电子测量可以通过电磁波等进行信息传递, 很容易实现遥测、遥控。

#### 6. 易于实现测量过程的自动化和测量仪器智能化

由于大规模集成电路和微型计算机的应用, 使电子测量及应用拓展了广阔的空间。例如, 在测量过程中能够实现程控、遥控、自动转换量程、自动调节、自动校准、自动诊断故障和自动恢复, 对于测量结果可进行自动记录, 自动进行数据运算、分析和处理等。

### 二、电子测量方法

电子测量根据被测参数、测量环境的不同等, 有以下三种测量方法。

#### 1. 直接测量

直接测量是指用现有的仪器, 直接测量出某一待测未知量量值的方法, 或者是将未知量与同类的量在仪器中比较, 从而直接获得未知量数值的方法。例如, 用电压表直接测量电压。直接测量的优点是测量过程简单快速, 在一般测量中普遍采用。

#### 2. 间接测量

测量某未知量  $y$ , 必须先通过与未知待测量  $y$  有确切函数关系的其他变量  $x$  (或  $n$  个变量  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) 进行直接测量, 然后再通过函数

$$y = f(x) \text{ 或 } y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

计算出待测量  $y$ , 这种测量称为间接测量。

例如, 在直流电路中, 电功率  $P$  的测量, 可直接测出负载的电流  $I$  和电压  $U$ , 再根据功率  $P = IU$  的函数关系, 便可间接地求得负载消耗的电功率  $P$ 。

间接测量比较复杂, 一般在直接测量很不方便, 误差较大或缺乏直接测量的仪器、方法时才采用。尽管如此, 间接测量在工程测量中不失为一种有效的测量方法。

#### 3. 组合测量

在比较复杂的参数或某个实验中, 往往直接测量、间接测量多次混合使用, 也就是组合测量。

### 三、实验测量误差

#### 1. 测量误差

测量目的在于获得被测量的真实值, 简称真值。真值, 是指在一定的时间和空间、技术、环境等条件下, 被测量本身所具有的真实数值。

测量误差  $\Delta x'$  是测量值  $x$  与真值  $A_0$  之差, 即

$$\Delta x' = x - A_0 \quad (1-1)$$

所有测量的结果都会有误差。研究误差的目的, 是为了正确认识误差的性质、分析误差产生的原因及其发生规律, 寻求减小或消除测量误差的方法, 识别出测量结果中各种性质的误差, 学会数据处理的方法, 使测量结果更接近于真值。

#### 2. 测量误差的来源

产生测量误差的来源主要包括以下几个方面。

(1) 仪器误差：由于测量仪器及其附件的设计、制造、检定等不完善，以及仪器使用过程中老化、磨损、疲劳等因素而使仪器自身所携有的误差。

(2) 影响误差：由于各种环境因素（温度、湿度、振动、电源电压、电磁场等）与测量所要求的条件不一致而引起的误差。

(3) 理论误差和方法误差：由于测量原理、近似公式、测量方法不合理而造成的误差。

(4) 人身误差：由于测量人员感官的分辨能力、反应速度、视觉疲劳、固有习惯、缺乏责任心等原因，而在测量中使用操作不当、判断出错或数据读取疏失等引起的误差。

(5) 测量对象变化误差：测量过程中由于测量对象自身变化而使得测量值不准确，如引起动态误差等。

### 3. 测量误差的表示方法

测量误差有绝对误差和相对误差两种表示方法。

#### (1) 绝对误差。

由测量所得到的测量值  $x$  与其真值  $A_0$  之差，称为绝对误差，即

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1-2)$$

式中， $\Delta x$  为绝对误差。因此  $\Delta x$  既有大小，又有符号和量纲。

其中的真值  $A_0$  是一个理想的概念，一般来说是无法得到的，所以实际应用中通常用十分接近被测量真值的实际值  $A$  来代替真值  $A_0$ 。实际值也称为约定真值，它是根据测量误差的要求，用高一级以上的测量仪器或计量器具测量所得到的值作为约定真值，即实际值  $A$ 。因而绝对误差更有实际意义的定义，即

$$\Delta x = x - A \quad (1-3)$$

绝对误差表明了被测量对象的测量值与被测量对象实际值间的偏离程度和方向。

与绝对误差的绝对值大小相等，但符号相反的量值，称为修正值，用  $C$  表示为

$$C = -\Delta x = A - x \quad (1-4)$$

测量仪器的修正值可以通过上一级标准的检定给出，修正值可以是数值表格、曲线或函数表达式等形式。在日常测量中，利用其仪器的修正值  $C$  和已检定仪器的示值  $x$ ，可求得被测量的实际值为

$$A = x + C \quad (1-5)$$

#### (2) 相对误差。

绝对误差虽然可以表明测量结果偏离实际值的情况，但不能完全科学地说明测量的质量（测量结果的准确程度），不能评估整个测量结果。因为一个量的准确程度，不仅与它的绝对误差的大小有关，还与这个量本身大小有关。当绝对误差相同时，这个量本身的绝对值越大，则准确程度相对越高，因此测量的准确程度需用误差的相对值来说明。

1) 相对误差  $\gamma$ 、实际相对误差  $\gamma_A$ 、示值相对误差  $\gamma_x$ 。

绝对误差与被测量对象的真值之比，称为相对误差（或称为相对真误差），用  $\gamma$  表示为

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

相对误差只有大小和符号，没有单位。由于真值是不能确切得到的，通常用实际值  $A$  代替真值  $A_0$  来表示相对误差，用  $\gamma_A$  表示为

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中,  $\gamma_A$  称为实际相对误差。

在误差较小、要求不太严格的场合, 也可以用测量值  $x$  代替实际值  $A$ , 称为示值相对误差  $\gamma_x$ , 即

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-8)$$

当  $\Delta x$  很小时,  $x \approx A$ , 有  $\gamma_x \approx \gamma_A$ 。

**【例】** 在多级弹导火箭的射程为 10000km 时, 其射击偏离预定点不超过 0.1km。优秀射手能在距离 50m 远处准确地射击, 偏离靶心不超过 2cm, 试问哪一个射击精度高?

**解** 火箭的命中目标的相对误差为  $\gamma_1 = \frac{0.1\text{km}}{10000\text{km}} \times 100\% = 0.001\%$

射手的命中目标的相对误差为  $\gamma_2 = \frac{2\text{cm}}{50 \times 10^2\text{cm}} \times 100\% = 0.04\%$

因此, 火箭的射击精度 (十万分之一) 比射手的射击精度 (万分之四) 高。

2) 满度相对误差 (引用相对误差)  $\gamma_m$ 。

实际测量中, 也常用测量仪器在一个量程范围内出现的最大绝对误差  $\Delta x_m$  与该量程的满刻度值 (该量程的上限值与下限值之差)  $x_m$  之比来表示相对误差, 称为满度相对误差 (或称引用相对误差), 用  $\gamma_m$  表示为

$$\gamma_m = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\% \quad (1-9)$$

由式 (1-9) 可知, 通过满度误差实际上给出了仪表各量程内绝对误差的最大值

$$\Delta x_m = \gamma_m x_m \quad (1-10)$$

电工仪表就是按引用误差  $\gamma_m$  之值进行分级的。 $\gamma_m$  是仪表在工作条件下不应超过的最大引用相对误差, 它反映了该仪表的综合误差大小。我国电工仪表共分七级: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 及 5.0。如果仪表为 S 级, 则说明该仪表的最大引用误差不超过 S%, 即  $|\gamma_m| \leq S\%$ , 则仪表在该测量点的最大相对误差  $\gamma_x$  可表示为

$$\gamma_x = \frac{x_m}{x} S\% \quad (1-11)$$

因为  $x \leq x_m$ , 故当  $x$  越接近于  $x_m$  时,  $\gamma_x$  越接近 S%, 其测量准确度越高。因此, 在使用这类仪表测量时, 应选择适当的量程, 使示值尽可能接近于满度值, 指针最好能偏转在不小于满度值三分之二以上的区域。

#### 4. 测量误差的分类

根据测量误差的性质, 测量误差可分为随机误差、系统误差、粗大误差三类。

##### (1) 随机误差。

随机误差是指在同一测量条件 (指在测量环境、测量人员、测量技术和测量仪器) 下, 多次重复测量同一量值 (等精度测量) 时, 每次测量误差的绝对值和符号都以不可预知的方式变化的误差, 称为随机误差。

随机误差的产生原因是对测量值影响微小但却互不相关的大量因素共同造成。这些因素主要是噪声干扰、电磁场微变、零件的摩擦和配合间隙、热起伏、空气扰动、大地微震、测量人员感官的无规律变化等。

随机误差  $\delta_i$  是测量结果  $x_i$  与  $\bar{x}$  之差,  $\bar{x}$  是在重复性条件下, 对同一被测量进行无限多

次测量所得结果的平均值, 即

$$\delta_i = x_i - \bar{x} \quad (1-12)$$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (n \rightarrow \infty) \quad (1-13)$$

其意义表明随机误差是测量值与数学期望值之差, 它表明了测量结果的分散性。

随机误差愈小, 精密度愈高。

#### (2) 系统误差。

系统误差是指在同一测量条件下, 多次重复测量同一量时, 测量误差的绝对值和符号都保持不变, 或在测量条件改变时按一定规律变化的误差, 称为系统误差。

系统误差是由固定不变的或按确定规律变化的因素造成的, 这些因素主要有测量仪器、环境、测量方法和测量人员方面的因素等。

系统误差 ( $\epsilon$ ) 的定量定义: 在重复性条件下, 对同一被测量进行无限多次测量所得结果  $x_1, x_2, \cdots, x_n$  ( $n \rightarrow \infty$ ) 的平均值  $\bar{x}$  与被测量的真值  $A_0$  之差, 即

$$\epsilon = \bar{x} - A_0 \quad (1-14)$$

在去掉随机因素 (即随机误差) 的影响后, 平均值偏离真实值的大小就是系统误差。系统误差越小, 测量就越准确。所以, 系统误差经常用来表征测量准确度的高低。

#### (3) 粗大误差。

粗大误差是一种显然与实际值不符的误差, 又称疏失误差, 简称粗差。产生粗差的原因有:

1) 测量操作疏忽和失误, 如测错、读错、记错以及实验条件未达到预定的要求而匆忙实验等。

2) 测量方法不当或错误, 如用普通万用表电压挡直接测高内阻电源的开路电压, 用普通万用表交流电压挡测量高频交流信号的幅值等。

3) 测量环境条件的突然变化, 如电源电压突然增高或降低, 雷电干扰、机械冲击等引起测量仪器示值的剧烈变化等。

含有粗差的测量值称为坏值或异常值, 在数据处理时, 应予以剔除掉。

### 四、测量数据处理

#### 1. 有效数字的处理

##### (1) 数字修约规则。

小于 5 舍去, 末位不变; 大于 5 进 1, 在末位增 1。等于 5 时, 取偶数, 则当末位是偶数, 末位不变; 末位是奇数, 在末位增 1。

例如, 将下列数据舍入到小数第二位。

$$12.4344 \rightarrow 12.43 \quad 123.116 \rightarrow 123.12$$

$$25.3250 \rightarrow 25.32 \quad 17.6955 \rightarrow 17.70$$

##### (2) 有效数字。

若截取得到的近似数, 其截取或舍入误差的绝对值不超过近似数末位的半个单位, 则该近似数从左边第一个非零数字到最末一位数为止的全部数字, 称为有效数字。

例如: 3.142

四位有效数字, 极限误差  $\leq 0.0005$

8.700

四位有效数字, 极限误差  $\leq 0.0005$



$$8.7 \times 10^3$$

二位有效数字, 极限误差  $\leq 0.05 \times 10^3$

$$0.0807$$

三位有效数字, 极限误差  $\leq 0.00005$

测量结果(或读数)的有效位数应由该测量的不确定度来确定, 即测量结果的最末一位应与不确定度的位数对齐。例如, 某物理量的测量结果的值为 63.44, 测量扩展不确定度  $U=0.4$ , 测量结果表示为  $63.4 \pm 0.4$ 。

### (3) 近似运算法则。

保留的位数原则上取决于各数中准确度最差的那一项。

加法、减法运算: 以小数点后位数最少的为准(各项无小数点则以有效位数最少者为准), 其余各数可多取一位。

乘除法、乘方、开方运算: 以有效数字位数最少的数为准, 其余参与运算的数字及结果中的有效数字位数与之相等或多保留一位有效数字。

## 2. 测量数据的表示方法

### (1) 列表法。

根据测试的目的和内容, 设计出合理的表格, 把测量数据列入其中, 然后再进行其他处理, 就是列表法, 如表 1-1 所示。列表法简单、方便, 数据易于参考比较, 但要进行深入的分析, 表格就难以胜任了。它对数据变化的趋势不如图示法明了和直观, 但列表法是图示法和经验公式法的基础。

表 1-1

测量数据表

| X | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Y | 8.0 | 8.2 | 8.3 | 8.1 | 8.0 |

### (2) 图示法。

图示法的最大优点是形象、直观, 从图形中可以很直观地看出函数、数据的变化规律, 如递增或递减、最大值和最小值及是否有周期性变化规律等。但是, 图形只能得出函数的变化关系或变化趋势, 而不能进行数学分析。

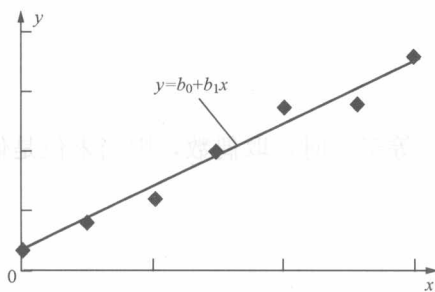


图 1-1 实验数据的数学模型

作图方法一般是先按成对数据  $(x, y)$  描点, 再连成曲线。但要注意连出的曲线光滑匀整, 并尽量使曲线与所有点接近, 不强求通过各点, 要使位于曲线两边的点数尽量相等, 如图 1-1 所示。

### (3) 经验公式法。

经验公式法就是通过对实验数据的计算, 采用数理统计的方法, 确定它们之间的数量关系, 即用数学表达式表示各变量之间的关系。有时把这种经验公式称为数学模型。

根据变量个数的不同及变量之间关系的不同, 分为一元线形回归(直线拟合)、一元非线性回归(曲线拟合)、多元线性回归和多项式回归等。其中一元线形回归最常见, 也是最基本的回归分析方法。而有些一元非线性回归可采用变量代换, 将其转化为线性回归方程来求解。

### 第三节 电子工艺基础知识

电子工艺基础知识是工科电类各专业的实践训练的基础,主要任务是通过对电子产品制造工艺理论和实践的学习,掌握电子产品生产的工艺技术、主要设备的工作原理及基本应用操作,掌握电子产品生产工艺流程和工艺规范,能够进行产品工艺文件的编制和基本工艺技术管理,同时培养学生理论联系实际、根据实际条件确定生产工艺方案的基本技能。

#### 一、焊接技术

焊接是制造电子产品的重要环节之一,好的焊接工艺和质量,是电子产品达到预定设计要求的基本保证。在电子产品制造过程中,使用最普遍、最有代表性的是锡焊方法,它是将焊件、焊料共同加热到锡焊温度,其中焊件不熔化,而焊料熔化并浸润焊接面,依靠二者原子的扩散形成焊件的连接。这里主要介绍锡焊技术。

##### 1. 焊接材料

焊接材料包括焊料和焊剂(又叫助焊剂)。掌握焊料和焊剂的性质、成分、作用原理及选用知识,是电子工艺技术中的重要内容之一,对于保证产品的焊接质量具有决定性的影响。

(1) 焊料。焊料是易熔金属,它的熔点低于被焊金属。一般要求焊料具有熔点低、凝固快的特点,熔融时应该有较好的润湿性和流动性,凝固后要有足够的机械强度。按照组成成分,常用的有锡铅焊料、银焊料、铜焊料等多种。目前在一般电子产品的装配焊接中,主要使用铅锡焊料,俗称为焊锡。

(2) 助焊剂。金属同空气接触以后,表面会生成一层氧化膜。温度越高,氧化就越严重。这层氧化膜会阻止液态焊锡对金属的润湿作用,犹如玻璃沾上油污就会使水不能润湿一样。助焊剂就是用于清除氧化膜、保证焊锡润湿的一种化学溶剂。它不像电弧焊中的焊药那样参与焊接的冶金过程,仅仅起到清除氧化膜的作用。所以,不要企图用助焊剂清除焊件上的各种污物。

##### 2. 焊接工具

手工焊接主要使用电烙铁,焊接过程中,还会使用某些辅助性的工具。

(1) 电烙铁。根据用途、结构的不同,电烙铁可分为以下种类:

- 1) 按加热方式分类有直热式、感应式等;
- 2) 按烙铁的发热能力(消耗功率)分类有 20、30、...、500W 等;
- 3) 从功能分有单用式、两用式、调温式、恒温式等。

此外,还有特别适合于野外维修使用的低压直流电烙铁和气体燃烧式烙铁。

最常用的是单一焊接使用的直热式电烙铁,它又可以分为内热式和外热式两种。

1) 内热式电烙铁。内热式电烙铁的发热元件装在烙铁头的内部,从烙铁头内部由里向外传热,所以被称为内热式电烙铁,其外形和结构如图 1-2 所示。它具有发热快、体积小、重量轻和耗电低等特点。它发热速度快,一般通电两分钟就可以进行焊接。

2) 外热式电烙铁。外热式电烙铁的发热元件包围在烙铁头外面,有直立式、Γ 形等不同形式,其中最常用的是直立式,其外形和结构见图 1-3。外热直立式电烙铁的规格按功率

分有 30、45、75、100、200、300W 等,以 100W 以上的最为常见;工作电压有 220V、110V、36V 三种,最常用的是 220V 规格的电烙铁。

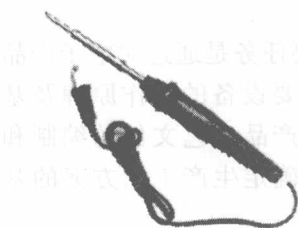


图 1-2 内热式电烙铁的外形与结构

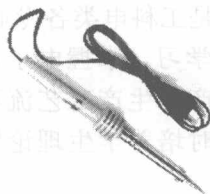
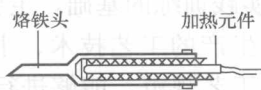
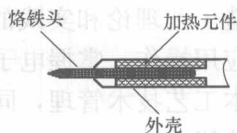


图 1-3 外热式电烙铁的外形与结构



使用电烙铁时应注意:当烙铁头出现氧化层、表面凹凸不平时,需要修整。一般是将烙铁头取下,用细锉刀修平,最后用细砂纸打磨光滑。尤其注意,不要过度修整而缩短烙铁头的使用寿命。

修整过的烙铁头应该在松香水中浸蘸一下,立即镀锡,然后在湿布上反复摩擦。应该记住,新的电烙铁通电以前,一定要先浸松香水,否则烙铁头表面很容易生成难以镀锡的氧化层。

(2) 辅助工具。在焊接或维修电子产品的过程中,有时候还会用到一些辅助工具,如镊子、螺丝刀、剥线钳、吸锡器等。其中,吸锡器是常用的拆焊工具,当需要把元器件从电路板上拆卸下来时,可以帮助拆焊或解焊,如图 1-4 所示。吸锡器实际上是一个小型手动空气泵,压下吸锡器的压杆,就排出了吸锡器腔内的空气;释放吸锡器压杆的锁钮,弹簧推动压杆迅速回到原位,在吸锡器腔内形成空气的负压力,就能够把熔融的焊料吸走。在电烙铁加热的帮助下,用吸锡器很容易拆焊电路板上的元器件。另外还有两用电烙铁,如图 1-5 所示。



图 1-4 吸锡器



图 1-5 两用电烙铁示意图

### 3. 手工焊接技术

(1) 焊接前的准备——镀锡。镀锡指一般在装配以前需对焊接表面进行可焊性处理,也叫“搪锡”。镀锡实际就是用液态焊锡对被焊金属表面浸润,形成一层既不同于被焊金属又不同于焊锡的结合层。这是焊接之前一道十分重要的工序,尤其是对于一些可焊性差的元器件更为重要。

(2) 手工烙铁焊接的基本技能。使用电烙铁进行手工焊接,需要一定的技术要领,一般从四个方面提高焊接的质量:材料、工具、方法、操作人员。

焊接操作的正确姿势:为减少焊剂加热时挥发出来的化学物质对人的危害,减少有害气体