



ISBN 978-7-5349-9651-1



9 787534 996511 >

定价：7.13 元



普通高中教科书

通用技术

选择性必修

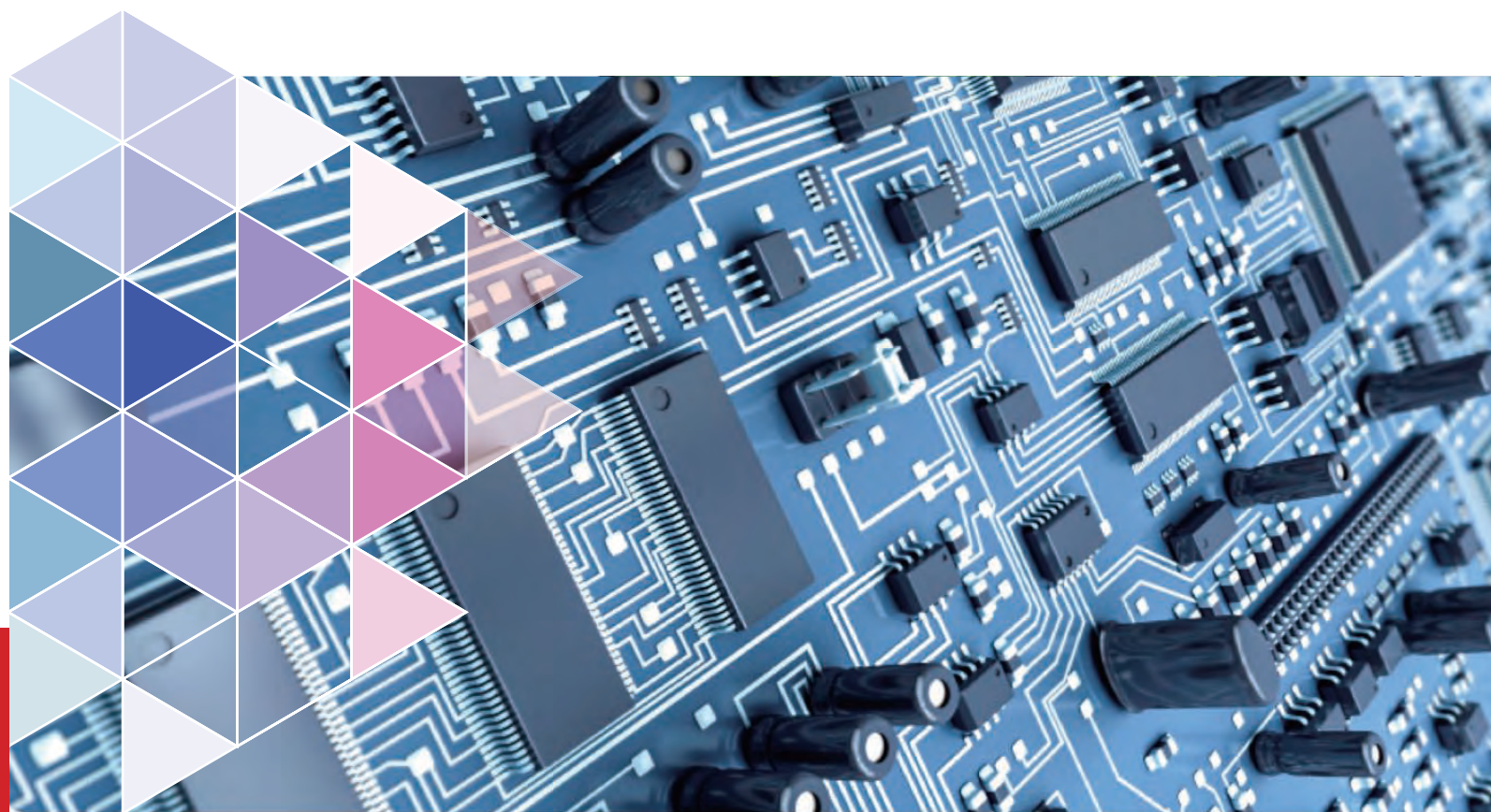
电子控制技术

普通高中教科书

# 通用技术

## 电子控制技术

河南省基础教育教学研究室 组编  
河南科学技术出版社



河南科学技术出版社

河南科学技术出版社

普通高中教科书

# 通用技术

## 电子控制技术

河南省基础教育教学研究室 组编  
河南科学技术出版社

河南科学技术出版社  
· 郑州 ·



总主编：傅水根  
本册主编：王天曦  
核心编者：王豫明  
责任编辑：邓 珺  
美术编辑：张 伟  
责任校对：徐小刚

普通高中教科书·通用技术（选择性必修）

电子控制技术

高中二年级

河南省基础教育教学研究室 组编  
河南科学技术出版社

★

河南科学技术出版社出版发行

（郑州市郑东新区祥盛街 27 号）

邮政编码：450016 电话：（0371）65737028

河南日报报业集团有限公司彩印厂印刷

全国新华书店经销

★

开本：890mm×1 240mm 1/16 印张：6.25 字数：150 千字

2020 年 3 月第 1 版 2020 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5349-9651-1

定价：7.13 元

著作权所有，请勿擅用本书制作各类出版物，违者必究  
如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版社联系调换

电话：（0371）65788609 65721407

# 前言

尊敬的老师们，亲爱的同学们：

你们好！

新版的“通用技术”系列教材与大家见面了。这套新教材是在习近平新时代中国特色社会主义思想和社会核心价值观指导下，遵循教育部2017年新颁布的课程标准编写的。

高中阶段为什么要开设通用技术课程呢？

通用技术是与专业技术有所区别的技术，在当代技术体系中较为基础，在日常生活与生产中应用较为普遍。通用技术课程以立德树人、提高学生的技术学科核心素养为主旨，是一门来自生活与生产、面向全体学生、立足实践、注重创新、体现综合、科学技术与人文相统一的课程，着眼于培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人。每本教材的编写，都有高中教师的积极参与。

纵观我国科技的发展，从群钻的发明、人工合成牛胰胰岛素，到治疗疟疾的青蒿素，再到为世界粮食安全做出重大贡献的超级水稻，以及为我国通信安全做出重大贡献的量子通信卫星，都说明我们中国人在科技领域开始走在世界的前列。要使我国由制造大国转变为制造强国，为中华民族的振兴和世界的繁荣做出更大的贡献，我们的基础教育和高等教育还需要深化改革，以培养出更多高素质、强能力和富于创造性的年轻一代。

当前，我国社会主义建设进入新时代。应用本套教材，我们将深刻理解技术，初识并感受设计的魅力，体验设计的创造乐趣；我们将认识设计中采用的CAD/CAM等软件和图样表达技术，在物化过程中采用的车工、铣工、钳工等常规制造工艺技术，先进的数控加工技术、激光雕刻技术、三维打印技术、机器人技术、无人机技术和智能家居技术等，会接触到互联网、大数据、云计算、物联网、人工智能和绿色生态技术。从难以忘怀的学习和历练中，同学们会受到创新意识、工程思维、工程素养和工匠精神的感染与熏陶，提高服务国家和人民的社会责任感，增强勇于探索的创新精神和解决复杂问题的能力。

通过情景导入、思维导图和设计任务引领，本教材充分展现“做中学”与“学中做”这一教育改革理念，并为此特意增添了“做中学”栏目。这里的“学”是在核心素养指导下，亲身经历将创意转化为设计的过程，培养学生在实践基础上的动手能力、实践能力或物化能力；而其中的“做”，就是“设计结合实践”。这种

“做”不是盲目的，而是在完成具体项目的复杂过程中，以学生为中心，以教师为主导，体现出团队的合作与交流，旨在实现从思维创意到设计，再到产品物化的不间断的、系统的、完整的迭代与优化。在学生的亲身经历和体验中，既有丰富、活跃、探究式的深度学习与能力转化过程，也有进一步思考与挖掘技术背后隐含的设计思想、思维方法和价值观等问题。

学生亲身经历的、与“项目”或“任务”密切关联的实践活动，在人才培养中具有非常重要的多种转化功能，即将知识转化为能力，将潜力转化为实力，将自疑转化为自信，将历练转化为素质，将聪明转化为智慧。那么，如何实现这些转化呢？那就是在实践中观察，在观察中思考，在思考中领悟，在领悟中成长。

本教材将“技术意识、工程思维、创新设计、图样表达、物化能力”这一核心素养贯穿始终，力求在实践中做到：符合现代科技发展的实际情况；体现学科交叉与融合的时代特征；与丰富的生活紧密联系，结构合理，满足学生多样化发展的需要；立足融合科学、工程、数学、技术、人文和社会的视野，体现劳动教育，突出创新精神、创新思维、实践能力和工程素养的培养。

在科技发展日新月异的今天，具备良好的核心素养、知识视野、实践能力和创新思维，是未来攻坚克难，成为国家栋梁的必备基础。我们会发现，身边到处充满着技术与设计的应用，到处展现着创造与发明的魅力，到处都有新时代青年施展才华的舞台。

本分册是以控制系统的思想和方法为基础，运用电子电路实现信号采集、处理和驱动执行的技术，是实现自动化、智能化的技术基础。通过本课程学习，同学们可以初步了解电子控制系统的应用和构成，学习电子电路的基本知识及其在电子控制技术中的应用，学会简单电子控制装置的设计、组装和调试的知识与技能，以及尝试解决更为有趣、丰富的技术与工程问题，为适应未来生活、进一步专业学习和发明创造奠定基础。

只要勤于思考，勇于实践，及时总结，不断创新，相信每一位同学都能学好电子控制技术这门课程。

尽管本套教材的编者付出了极大努力，但囿于编者水平，仍会存在不足甚至错误之处，恳请广大师生在教与学的过程中，运用批判性思维方法，积极思考，发现问题，提出宝贵意见，以便在修订时加以改进与完善。

编者

2019年3月



# 目 录

<b>第一章 电子控制基础</b> .....	1
第一节 电子控制技术概述 .....	2
一、什么是电子控制技术 .....	3
二、电子控制技术大家庭 .....	3
三、无处不在的电子控制技术 .....	3
第二节 电子元件与电路图 .....	5
一、电子元件及其检测 .....	6
二、电子电路入门 .....	10
三、电子电路的实现 .....	12
第三节 电子制作入门 .....	15
一、电路板组装 .....	15
二、电子焊接 .....	17
第四节 电子工具软件与平台 .....	21
一、虚拟电子实验室(台)与仿真软件 .....	21
二、图形化电子设计软件——Fritzing .....	22
三、软、硬件协同的创客电子平台——Arduino .....	22
<b>第二章 电子控制的核心技术——数字电路与模拟电路</b> .....	26
第一节 数字信号与模拟信号 .....	27
一、数字与模拟 .....	27
二、数字化的真谛——“0”和“1”的世界 .....	30
三、数字信号与模拟信号的优势与局限性 .....	31
四、数字与模拟转换的作用与实现 .....	32
第二节 晶体二极管与晶体三极管 .....	34
一、晶体二极管 .....	35
二、晶体三极管 .....	37
三、三极管的放大与开关应用 .....	39
第三节 数字电路的基本单元——门电路 .....	41
一、基本门电路 .....	41

二、基本门电路的复合——与非门和或非门	46
第四节 数字集成电路及其应用	49
一、认识集成电路	49
二、集成门电路	50
三、数字电路应用设计	52
<b>第三章 电子控制的信息采集与执行——传感器与继电器</b>	<b>54</b>
第一节 传感器概述	55
一、电五官	56
二、传感器的作用	56
三、传感器的种类	57
四、传感器的发展趋势	58
第二节 几种常用传感器	61
一、温度传感器	61
二、光传感器	65
三、声传感器	66
第三节 继电器	68
一、继电器与电磁继电器	69
二、电磁继电器的主要技术参数与选择	72
三、电磁继电器模块制作	73
<b>第四章 电子控制系统及其应用</b>	<b>76</b>
第一节 开环电子控制装置的制作与调试	77
一、项目简介与电路原理	77
二、制作与调试	80
第二节 闭环电子控制系统的制作与调试	82
一、项目简介与电路原理	82
二、制作与调试	84
第三节 电子控制系统的组成与分析	89
一、电子控制系统的三大组成部分	89
二、用方框图分析电子控制系统	91
<b>附录 部分中英文词汇对照表</b>	<b>93</b>

# 第一章

## 电子控制基础

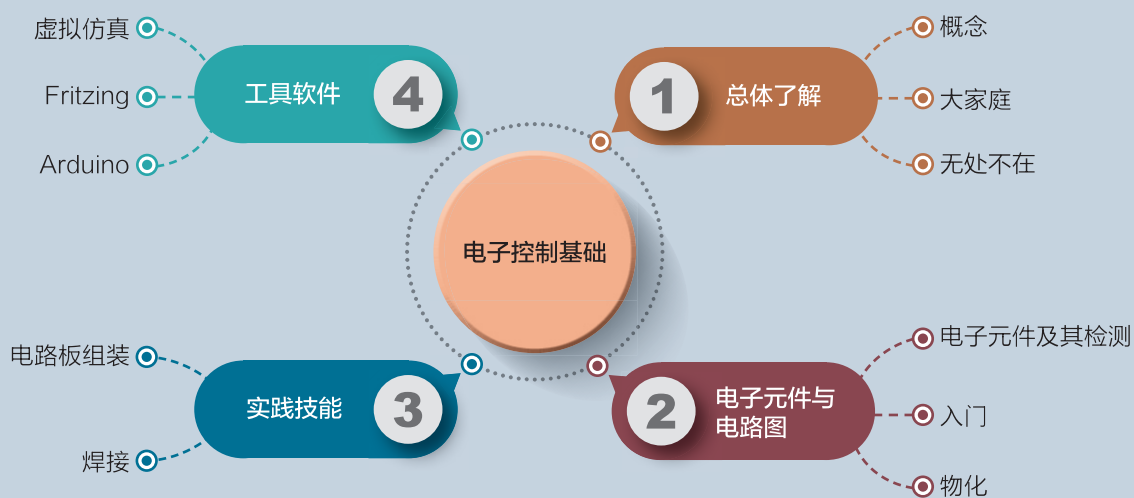
### 导 言

电子控制的基础是现代应用最广泛的电子技术。

电子技术及其延伸的电子信息技术诞生仅一百多年，已经发展成当今世界最活跃、应用最广泛、最具代表性的改变世界的技术。从人们的衣食住行到通信娱乐，从工农业生产、国防建设到文化教育，电子技术广泛应用于数码产品、人工智能、大数据、云计算、机器人、移动通信、物联网等，已全面进入人类活动的各个领域。了解并掌握一定程度的电子技术已经成为现代人必备的基本素养。

本章将带你走进丰富多彩而又无限宽广的电子世界。在这个世界中，只要你想的到的，都可以借助现代高科技工具，用大脑思考，用双手制作，实现创意设计，获得成功、体验乐趣。

### 思维导图





# 第一节 电子控制技术概述



## 学习目标

- 1. 了解什么是电子控制技术。
- 2. 理解电子控制技术对人类社会的影响。



## 案例分析

### 门锁的前世今生

门锁能保证人们正常安全生活的控制需求（图1.1、图1.2）。

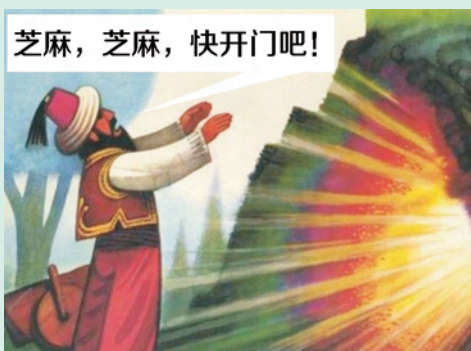


图 1.1 民间故事中人们设想通过咒语开门



图 1.2 现实生活中通过门锁实现对门的控制



图 1.3 早期的人工控制  
——门闩



图 1.4 进一步发展机械控制  
——金属锁



图 1.5 现代电子控制  
——指纹锁

图1.3~图1.5展示了门锁从古至今的发展变化，请同学们比较机械门锁与电子门锁控制方式及使用功能的差别；了解门锁的最新技术，设想未来门锁的发展趋势。

什么是电子控制技术？它由哪些部分组成？怎么学习电子控制技术？许多耳熟能详的热门技术，如计算机控制、智能控制、无人机、智能机器人等与电子控制技术有怎样的关系呢？

## 一、什么是电子控制技术

电子控制技术，顾名思义，是一门运用电子技术实现控制功能的技术。关于控制的基本概念和原理，我们在《技术与设计2》中已经有了一定的了解，本课程在此基础上深入探讨电子控制技术。

电子技术是近代发展最迅速、应用最广泛、对人类社会影响最大的基础科技，已经成为近代科学技术发展的一个重要标志。电子技术与控制技术的融合，既是电子技术最重要的一个应用领域，也是传统控制技术得以快速向现代控制技术发展的核心驱动。

## 二、电子控制技术大家庭

自动控制、数字控制、计算机控制及智能控制等令人眼花缭乱、目不暇接的控制技术的新发展，都与包括微电子、光电子及纳电子等在内的现代电子技术的发展密切相关。另外，现在风光无限的机器人与机器人技术、无人机等，其实都是电子控制技术在其领域的一种延伸和应用（图1.6）。

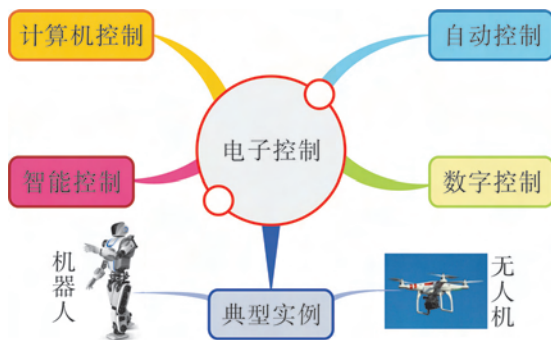


图 1.6 电子控制技术概念延伸示意图

## 三、无处不在的电子控制技术

现代电子控制技术应用广泛性可以用“无处不在”来概括。

(1) 实例1：生活中的电子控制技术随处可见，从居家到出行（图1.7、图1.8）。



图 1.7 生活中常见的电子控制电器装备

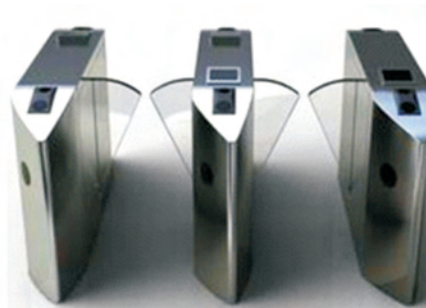


图 1.8 地铁入口的门闸

(2) 实例2：现代农业工厂化种植与养殖，需要控制温度、湿度、病虫害，进行实时监控等（图1.9）。

(3) 实例3：自动化电子生产线及无人工厂，大量自动化机器与机器人需要复杂的工艺流程控制和精密的协调配合（图1.10）。

(4) 实例4：航天工程中高精度、高可靠性的电子控制技术是其成功的基本保障（图

1.11)。

(5) 实例5：“长眼睛”的导弹全靠精准的电子控制，复杂的电子控制系统一般是人难以想象的（图1.12）。

还有教育、科研、交通、通信、娱乐等几乎人类社会各个领域都能找到电子控制的身影，所以说电子控制无处不在。



图 1.9 现代化种植大棚



图 1.10 自动化电子生产线



图 1.11 “天宫”二号与“神舟”十一号的空间对接模拟图



图 1.12 国产车载导弹



### 探究与交流

活动主题：寻找生活中的电子控制技术。

在生活中能见到各种各样电子控制技术应用实例，请你通过实际观察、调查问询或网络查询，去寻找这些实例，并且运用《技术与设计2》中所学知识，分析它们的几大组成部分，把你的结果填写在表1.1中。

表 1.1 寻找生活中的电子控制技术

应用电子控制技术的产品名称	功能	控制对象	检测传感器	控制器	执行器
例：自动门	感知到有人后自动开门	门的开关	红外传感器	电子电路	电动机及相应机械装置





### 活动延伸

你最想实现的电子控制系统是什么样的？请大胆想象，写出该系统组成、可实现的功能及对社会生活生产的意义。

## 第二节 电子元件与电路图



### 学习目标

1. 认识常用的电子元件，并学会用万用表进行检测。
2. 掌握识读电子电路图。



### 案例分析

#### 电子产品中的电子元件

电子产品（图1.13）已经在我们的生活、学习中应用得越来越广泛，但你知道它们是怎样工作的吗？为什么通过手机能和远在大洋彼岸的亲友通话，而且还能看到清晰的图像？收音机里的声音是怎样发出的？电脑神奇的功能是靠什么实现的？

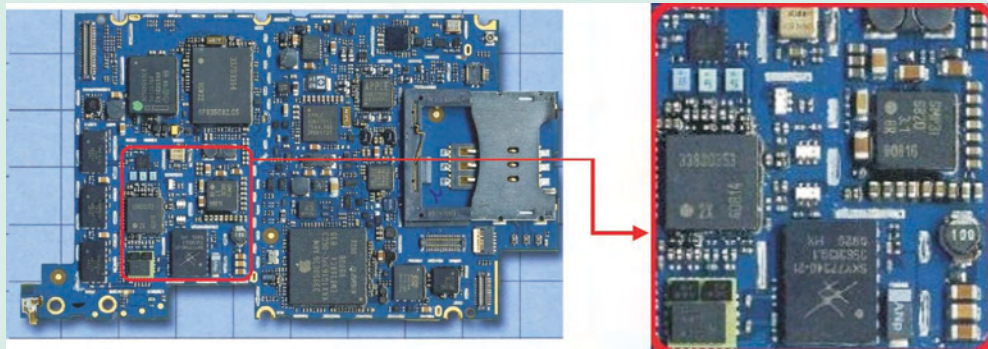
如果你有机会看到这些电器的内部，那些奇形怪状、形形色色的被称为电子元件的东西，正是这些神奇功能的基础。



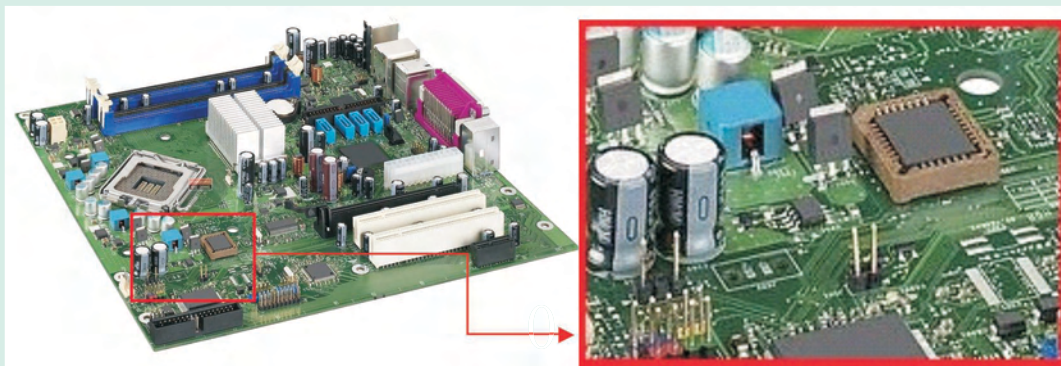
图 1.13 常用电子产品

图1.14是两种目前使用很广泛的电子产品的核心部件——安装有电子元件的手机和台式计算机的电路板实体图：看得清的是大小不一、形状各异的电子元件排列在电路板上；看不清的是电子元件相互间的连接。电子元件只有按一定的电路原理图连接起来，才能构成电子产品，发挥复杂而奇妙的功能。

想想看，用什么方法能把这些错综复杂的电路用简单明了的方式表示出来呢？要认识和了解一个电子产品，我们应该从哪里入手呢？



a. 手机的电路板实体图



b. 台式计算机的电路板实体图

图 1.14 电子产品的核心部件——电路板组件

## 一、电子元件及其检测

电子元件是电路中具有独立功能的基本单元，是组成电子产品的基础，在各类电子产品中占有重要地位。














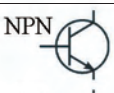



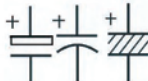






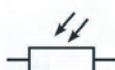

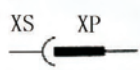
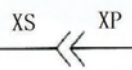





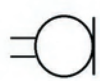






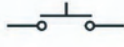
### （一）常用电子元件的外形、图形与文字符号

电子元件种类繁多，表1.2中介绍的是部分常用电子元件的图形符号与文字符号，后面章节中将介绍的传感器、继电器及集成电路等的符号，都是电子电路常用的图文符号。

图形符号是电子技术交流语言的词汇。词汇不准确甚至错误，就无法正确交流。就像说话要学习普通话一样，图形符号要用国家标准符号。但为了交流，我们要兼顾习惯性用法，也需要了解其他国家和地区的电子元件图形符号。

在电路图中，为了准确标示每一个元件的信息，除了图形符号外，还要加上文字符号，如用 $R$ 表示电阻、 $C$ 表示电容、 $S$ 表示开关等。如果一个电路中有多个同一种元件，则在文字符号中再附加数字序号，如 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ …… $R_n$ 。

表 1.2 部分常用电子元件的图形符号与文字符号

名称及外形	文字符号	图形符号		名称及外形	文字符号	图形符号	
		国标优选	其他兼容			国标优选	其他兼容
电阻器 	R			二极管 	VD		
电位器 	R <sub>p</sub>			发光二极管 	VD		
电容器 	C			三极管 	VT	 NPN  PNP	 NPN  PNP
极性电容器 	C			热敏电阻 	R <sub>T</sub>		
电感线圈 	L			光敏电阻 	R <sub>L</sub>		
连接器 (插头/插座) 	X 插头: XP 插座: XS			照明灯 	EL		
电池 	GB			传声器 (话筒) 	BM		
开关 	S			蜂鸣器 	HA		
自动复位的手动按钮开关 	SB						



### 小贴士

#### 电子元件、器件和元器件

早期，人们把电阻器、电容器、电感器、开关和连接器等称为元件 (component)，而把半导体二极管、三极管和集成电路等称为器件 (device)，



把二者之和称为元器件。随着电子技术的普及和发展，技术术语趋向通用和简化，现在往往用电子元件的称呼取代电子元器件，有时也把电子元器件称为电子零件。



### 实践与体验

1. 利用课余时间，找出一两件废旧电器，拆开观察：
  - (1) 识别其中的电子元件，分析哪些是普通元件，哪些是贴片元件？
  - (2) 如果还有些自己不认识的电子元件，可查阅有关书刊、网络资料或请教相应的专业人士。
2. 根据观察及了解的情况，写出实践考察报告。
3. 把电子垃圾收集后集中处理，以免污染环境。



### 阅读材料

#### 贴片元件

片式元件又称贴片元件，是一种无引脚或短引脚、可以直接贴装到印制电路板上的SMT（表面贴装技术）专用元件（图1.15）。与普通元件相比，贴片元件的体积、质量大幅度减小（图1.16），是电子产品小型化的前提。贴片元件可以直接安装在印制电路板上，所有焊点均在一个平面上。当然也可以与普通元件混装在一块印制电路板上。



图 1.15 贴片元件

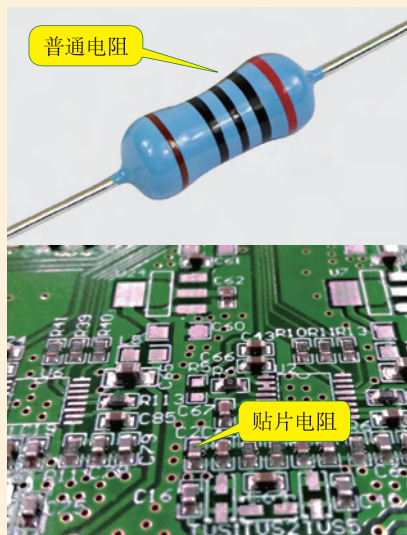


图 1.16 普通电阻  
与贴片电阻对比

## (二) 电子元件的检测

电子制作中一般使用万用表对元件进行简单检测。由于元件种类繁多、功能原理各异，检测方法也各不相同。以下举例介绍几种元件的简单检测方法。

### 1. 电阻器

使用万用表的电阻挡很容易检测固定电阻器，但是要注意，测量时不要用双手拿电阻和测试笔（图1.17），否则会影响测量结果。

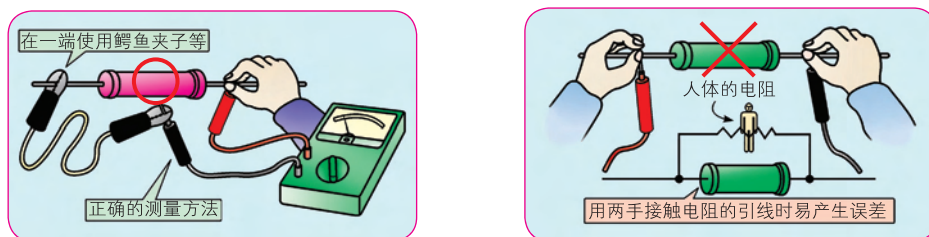


图 1.17 电阻器检测

### 2. 无极性电容器

通常无极性电容器的电容小于 $0.1\mu\text{F}$ ，使用万用表只能检测电容器内部是否有漏电、短路或击穿现象。测量时，可选用万用表“ $R \times 20$ ” $\text{k}\Omega$ 挡，用两支表笔分别任意接电容器的两个引脚，阻值应为无穷大。若测出阻值为零，则说明电容器漏电损坏或内部击穿（图1.18）。

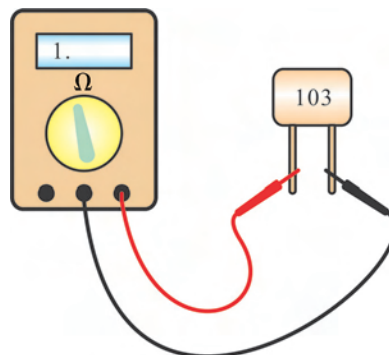


图 1.18 无极性电容器检测

### 3. 电解电容器

如果使用带电容器测量功能的数字万用表，可直接检测电解电容器；否则可拨至合适的电阻挡，红表笔和黑表笔分别接触被测电容器的两极（电容器要先短接放电），这时显示值将从“000”开始逐渐增加，直至显示溢出符号“1”（图1.19）。若始终显示“000”，说明电容器内部短路；若始终显示溢出，则是电容器内部为极间开路。检测电解电容器时需要注意，红表笔（带正电）接电容器正极（长引脚），黑表笔接电容器负极（短引脚）（图1.19）。

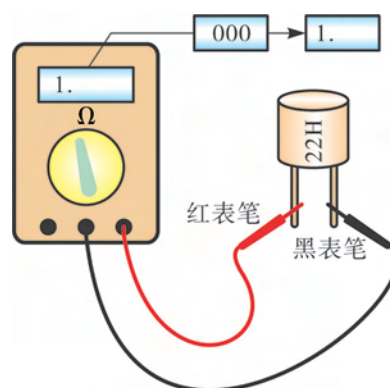


图 1.19 电解电容器检测



## 实践与体验

1. 在下面三种情况下测量自己两手之间的电阻值：①两手干燥；②一只手干，一只手湿；③两手都湿。

比较测量结果，想一想，测量结果说明什么问题？对实际操作电器和使用万用表有什么指导意义？测量中有没有安全问题？

2. 测量实验室提供的电阻、电容样品，并报告检测结果。

## 二、电子电路入门

### (一) 电子电路与电路图

电流流过的回路叫作电路 (electric circuit)，通常由电源、用电器、开关、导线等四个部分组成。图1.20a是由电池、导线、开关和灯泡组成的简单电路，接通开关，灯泡就亮。在这个电路中，电源是电池，用电器是灯泡，电流从电池出发，经过导线、开关和灯泡，回到电池，组成一个完整的导电回路。图1.20b是用电子元件图形符号代替实物，表达电路中各部分连接关系的图样，称为电路图。

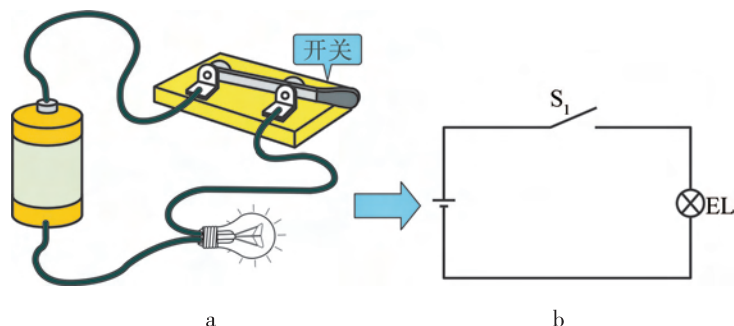


图 1.20 用图形符号表示实物

现在我们把图1.20a电路中的灯泡换成发光二极管 (LED)，再加上一个电阻，构成图1.21a所示的电路，这是一个接通开关LED灯就亮的简单开关控制电路，由电子元件发光二极管与电阻作为用电器，这种含有电子元件的电路称为电子电路 (electronic circuit)。图1.21b是用电子元件图形符号代替实物的电子电路原理图，通常也简称为电路图。

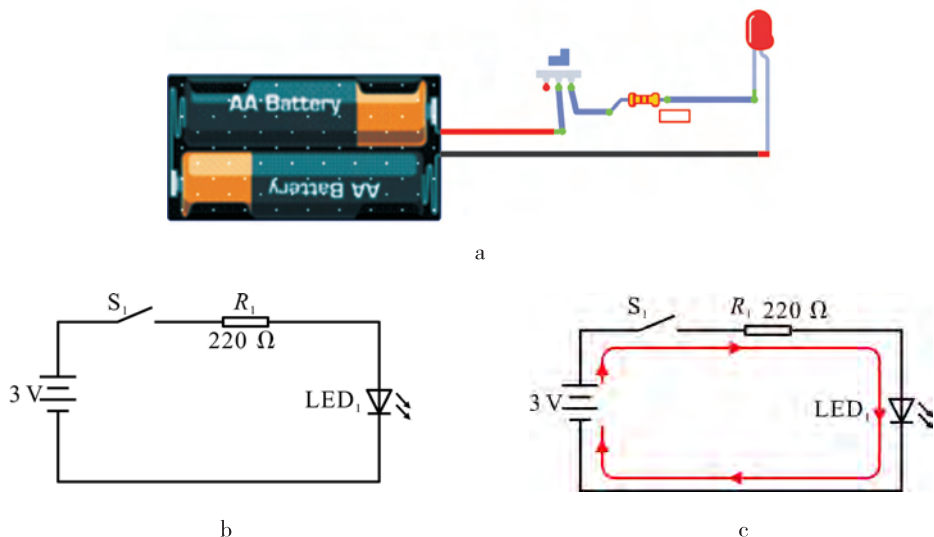


图 1.21 实物布线图到电路原理图

实际电子电路可能包含几十、几百乃至成千上万个电子元件，它们在电路中都是相互连接的，各自发挥作用，共同完成电路所体现的功能。

不管是几个元件构成的简单电路，还是成千上万个元件构成的复杂电路，它们都遵循着一个基本的闭合原则，形成一个电流从电源出发，经过所有的元件，最终回到电源的完

整通路（图1.21c）。

## （二）电路图入门

电路图是电子技术的核心，学习电路图包括读图和画图两项基本要求，其中识读电路图是关键一步，而画电路图就顺理成章了。下面我们通过一些实例来了解识读电路图的基本规则。

### 1. 电路图的识读顺序——从左到右/自上而下

图1.22所示是一种简单的助听器电路图，这是半导体元件发明后最初的应用之一。电路图的顺序一般是根据信号的传递顺序或电流的流动方向，从左到右或自上而下展开的。图1.22中左边是电路的输入（话筒接受声音信号），经过三极管VT放大后的声音信号从右边插座XS（使用时插入耳机）输出。电源可以在左边也可以在右边，但直流电源正负极约定俗成是上正下负。

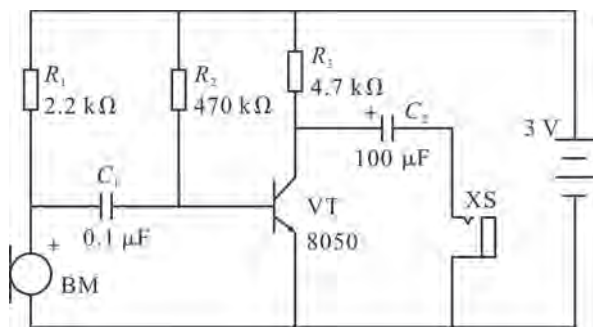


图 1.22 一种简单的助听器电路

### 2. 电路工作的动力——电源表达方式

电源是电路图中必不可少的基本元素。图1.22的助听器电路图中，电源是一组电池（两个1.5 V电池串联），用电池符号和电压数值表示。随着电子技术的发展，不仅电池多种多样，而且大量电路中是通过电源转换器从交流电源获得直流供电的，电源表达方式也改为由电源端与接地端分开的方式，其中图1.23a是电源端，文字符号 $V_{CC}$ 有时也标为 $E$ ，实际电路中往往都是直接用电源电压数值表示，例如3 V、5 V、12 V等；图1.23b是接地端的两种常用图形符号，如果没有说明，二者是通用的，计算机画图时还会加文字符号GND。



图 1.23 电源图形符号

在电子电路中，接地并不是真正地接到大地上，大多数情况是表示电路中的一个公共连接点，如直流电源的负极。也可以把电路图中接地连接点分散，如图1.24中a、b、c电路图是完全等效的，其中图1.24a是传统表达方法，图1.24b是近年习惯画法，图1.24c则多用于数码电子产品电路图中。

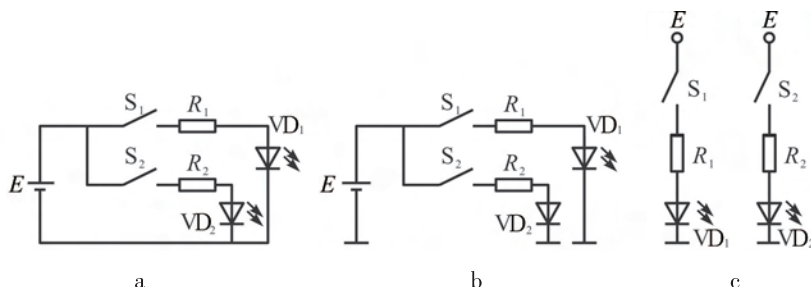


图 1.24 电路图的几种表达方式

前面图1.22所示的助听器电路图，现在通常画成图1.25所示的形式。

考考你：图1.25与图1.22除了电源表达形式不同外，还有哪些不同？

### 3. 电路图的关键——连接

所有电子电路都是由各种电子元件按一定要求相互连接而成的，是通过导线、印制电路板上的铜箔等导体实现的，而在电路图中则通过细实线表示连接关系。

当电路比较复杂而发生连接线十字交叉时，是否连接是用小圆点的有无来区别的（图1.26a）。如果是T形交接则不用小圆点也不会误解，但一些仿真软件在做电路仿真时，T形交接无小圆点容易出错，因而有些电路图特别是用计算机设计绘图时，T形交接处也加小圆点（图1.26c），例如本书图4.7。

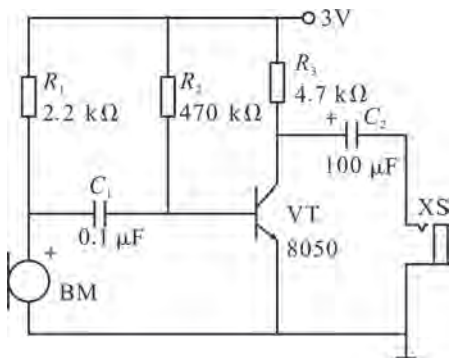


图 1.25 助听器电路图

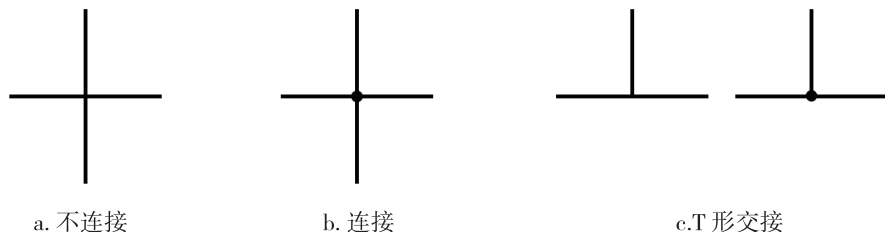


图 1.26 连接线交叉

考考你：连接与不连接的图形表达除了上图所示外，还有其他方式吗？



### 实践与体验

1. 画出教室电灯控制的电路图。如果想在两个位置（例如前后两个门）都安装控制灯的开关，应该怎样设计电路？试画出电路图。
2. 找一两种家用电器，分析电器设备电路图，找出你所知道的元件。

## 三、电子电路的实现

电路原理图是从实际电路中抽象出来的图样表达工具，如何把符号化的电路图物化成物理实体呢？以下是初学阶段的常用工具和实践方法。

### 1. 电子实验教学仪器

有很多教学仪器厂生产电子实验箱和实验台，这些实验仪器根据教学要求，把典型电路按照电路原理图接好元件，实验时只需按实验指导书中的说明，用连接线插入相应插孔即可实现一定功能的电路（图1.27）。



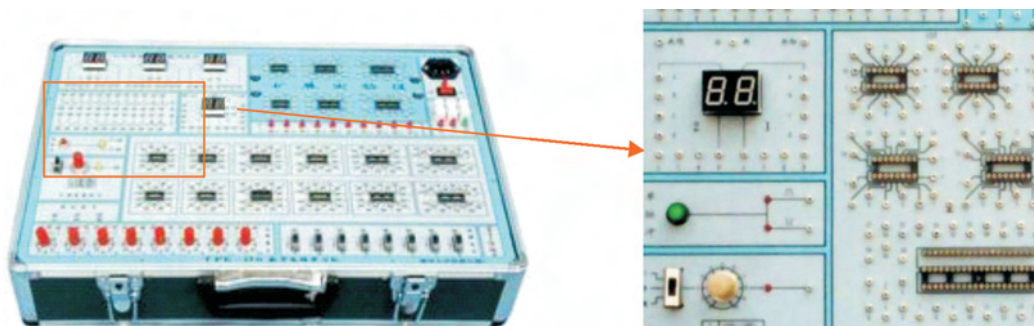


图 1.27 电子实验教学仪器

## 2. 面包板

面包板（图1.28）是一种专门为电子实验设计制造的产品，元件采用插接方法连接，在电子电路实验中应用很方便。

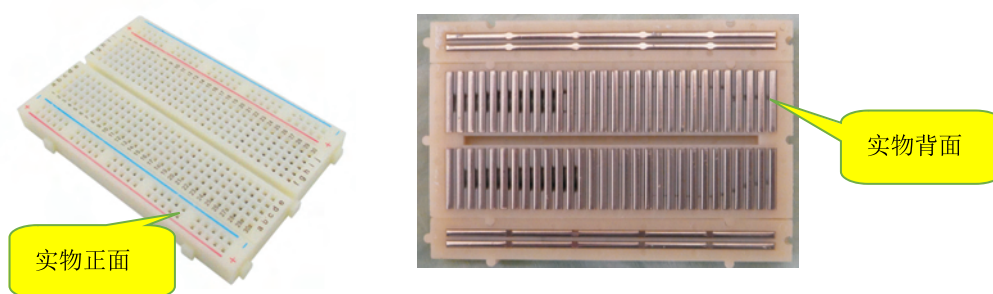


图 1.28 面包板的一种

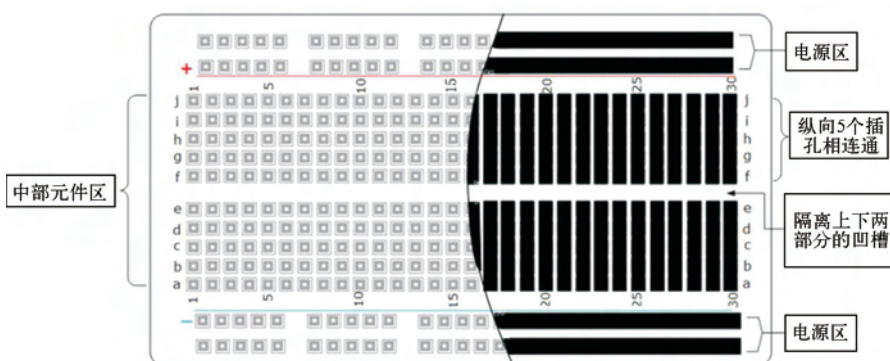


图 1.29 面包板的内部连接

面包板上小孔孔心的距离与集成电路引脚的间距相等。板中间槽两边的插孔，每5个一组相通，如图1.29所示。双列直插式集成电路的引脚可分别插在两边，如图1.30所示。每个引脚相当于接出4个插孔，它们可以作为与其他元件连接的端子，方便接线。面包板上下两边各有两条每5个一组相通的插孔，各组之间是完全相同的。两边的这两条插孔一般可用作公共信号线连接点，接地线和电源线。

需要注意的是，不同品牌产品的中间竖条都是一样的，而两边的横条插孔的组数及各组之间连通情况则不尽相同，需要查看说明书，或者用万用表测量确认。

面包板上可直接插接引线直径为0.5 mm左右的电阻、电容、二极管、三极管和双列

直插封装的集成电路，元件相互连接可采用图1.31所示的专用连接线，也可以用直径为0.5mm的单股塑料导线（图1.30）。

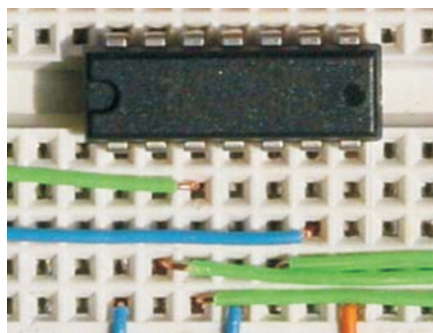


图 1.30 面包板上插接集成电路



图 1.31 专用连接线

专用连接线（也称杜邦线）插拔方便快捷，但连接后的电路比较凌乱，适用于简单电路实验。对于较复杂电路（元件数量超过50个），或需要保留一段时间、多次试验的电路连接，推荐使用单股塑料导线连接。

本书电路实验推荐使用面包板搭建，图1.32是一个电路实例。

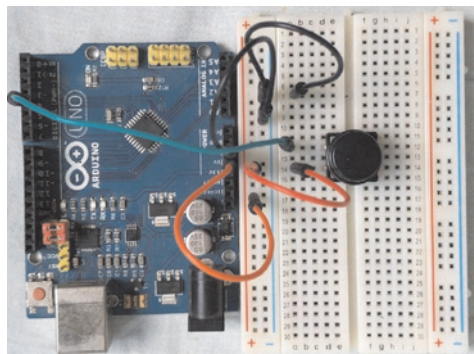


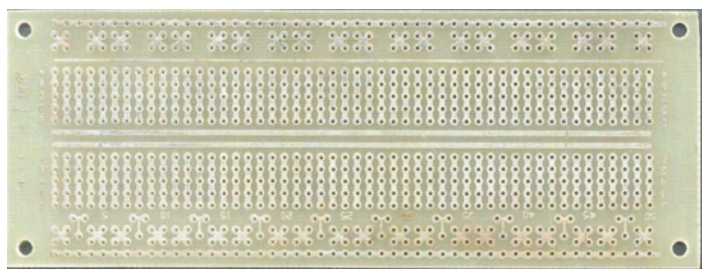
图 1.32 用面包板搭建电路实例

### 3. 制作原型

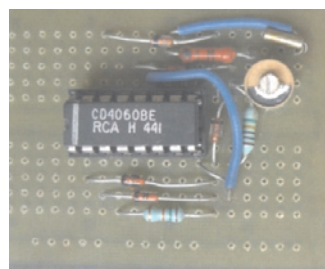
电子技术是实践性很强的一种实用技术，要通过不断实践去掌握。在学习的初级阶段，可以采用电子积木或简单的虚拟电子实验；到了学习的中级阶段就应该使用较复杂的仿真软件，或者采用面包板插接电路，也可以使用合适的电子实验箱；到了学习的高级阶段，应该制作属于自己创新设计的项目原型。

原型制作是自己设计制作印制板（简单电路也可以采用“万能板”，如图1.33a所示），自己焊接安装电子元件，自己调试，完成具有特定功能、可以独立运行或使用的电子装置（图1.33b）。这里之所以称为“电子装置”而不是“电子产品”，是因为作为产品需要执行一系列标准，进行严格的产品测试、鉴定和认证。但是任何一种电子产品都是脱胎于初始的制作原型，今天的“丑小鸭”可能就是明天的“美天鹅”。

制作原型是一种实践性、创造性学习，更是学习电子技术的收获阶段，其很可能是一项新的发明。一种改变生活甚至改变世界的创造可能就在电子原型制作中诞生。



a



b

图 1.33 万能板和用它制作的电子装置



### 活动延伸

1. 了解电子控制技术实验箱，学习它的结构原理和使用方法。
2. 练习用于面包板连接的单股塑料导线的加工方法。

## 第三节 电子制作入门



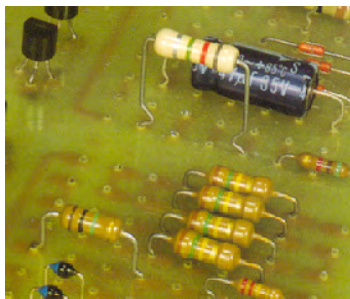
### 学习目标

1. 熟悉印制电路板的组装方式和方法。
2. 掌握手工电烙铁焊接方法。

### 一、电路板组装

#### 1. 印制电路板的插装与贴装

插装与贴装是印制电路板装配的两种基本方式（图1.34）。插装是将带有较长引线的电子元件插入印制电路板上的安装孔内，在电路板的另一面焊接，从而完成元件的固定和电气连接，这是一种传统的印制电路板装配技术。



a. 插装印制电路板



b. 贴装印制电路板

图 1.34 印制电路板的插装与贴装

现代电子产品特别是数字化产品大多采用表面贴装技术。图1.35是两种组装方式结构示意图。

#### 2. 元件插装

电子产品制作中大量使用的是插装元件。安装前需要将元件引线按需要弯成一定形状（图1.36）。图1.36a称为立式安装，优点是节省印制板的面积，缺点是稳定性差。图1.36b称为卧式安装，优、缺点与立式相反。



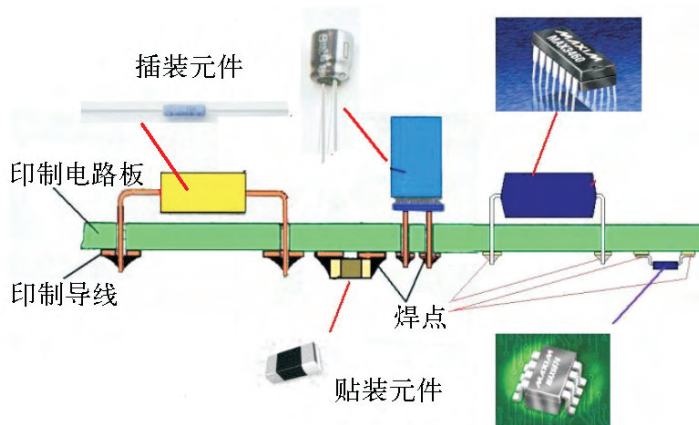


图 1.35 插装和贴装结构示意图

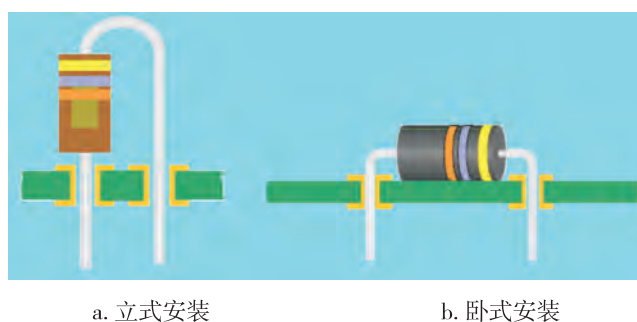


图 1.36 两种插装方式

元件插入印制板后需要固定，以便翻转在焊接面焊接。固定的方法有多种，在手工焊接中最简单的办法是将引线弯曲，如图1.37所示。

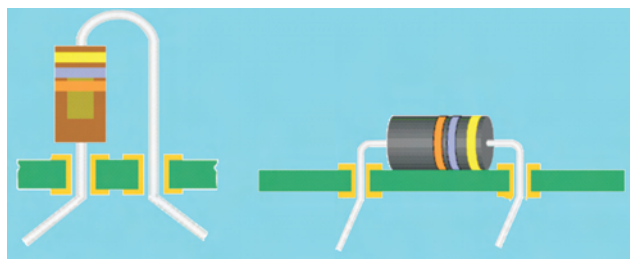


图 1.37 引线弯曲固定示意图



### 小贴士

#### 表面贴装技术

表面贴装技术（SMT）是新一代电子组装技术。它将体积很小的无引线或短引线片式元件直接贴装在印制电路板铜箔上，从而实现了电子产品组装的高密度、高可靠、小型化、低成本，以及生产的自动化。SMT现在已成为现代电子信息产品制造业的核心技术。

现代大量的电子信息产品（如手机、数码相机、笔记本电脑等）都采用SMT制造，SMT已经成为电子产品制造的主流技术。

## 二、电子焊接

### (一) 焊接安全

#### 1. 电烙铁不能漏电

常用的电烙铁使用220 V的交流电源，这是会对人体造成危害的电压。因此，电烙铁头漏电或导线破损都是危险的，使用前要用万用表欧姆挡进行绝缘和电热线圈的检查（图1.38）。

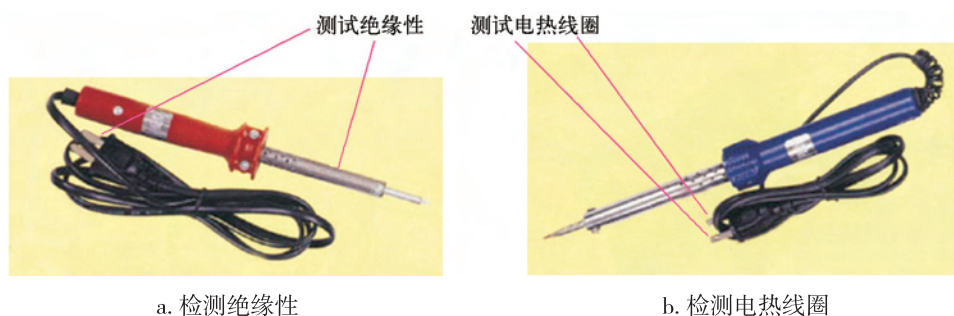


图 1.38 电烙铁安全检测

#### 2. 防止烫伤

电烙铁是电子制作的必备工具，通常使用时电烙铁头表面温度可达400~500 ℃，而人体所能耐受的温度一般不超过60 ℃，直接接触电烙铁头会造成烫伤。工作中已经通电的电烙铁在焊接间隙必须放置在工作台右前方的电烙铁架上。除非确认电烙铁已经充分冷却，否则不要直接用手触摸电烙铁头。熔化状态的焊锡温度在230 ℃以上，电烙铁头上多余的焊锡不能乱甩。电烙铁用毕必须拔出电源插头。

### (二) 焊锡

手工电烙铁焊接常用管状焊锡丝，如图1.39a所示。焊锡丝主体材料是焊料，传统焊料成分一般是含锡量为60%~65%的铅锡合金；内芯的主要成分为松香助焊剂；常用焊锡丝外径为0.5~3.0 mm，内芯有单芯和三芯两种，如图1.39b所示。

随着人类文明的进步，人们的环境保护意识正逐渐增强，无铅焊接材料已成为发展趋势。目前进入实用阶段的无铅焊锡材料是锡银铜合金（95.5%Sn-3.8%Ag-0.7%Cu），其熔点为217 ℃，但焊接工艺性能不如铅锡合金。



图 1.39 手工焊接用焊锡丝

### （三）手工焊接操作要点

#### 1. 焊件表面处理

电子产品制作中会用到各种各样的电子元件和导线，在焊接前一般需要进行表面清理工作，以去除焊接面上的锈迹、油污、氧化层等影响焊接质量的杂质。手工操作时，常用机械刮磨等简单易行的方法（图1.40）。

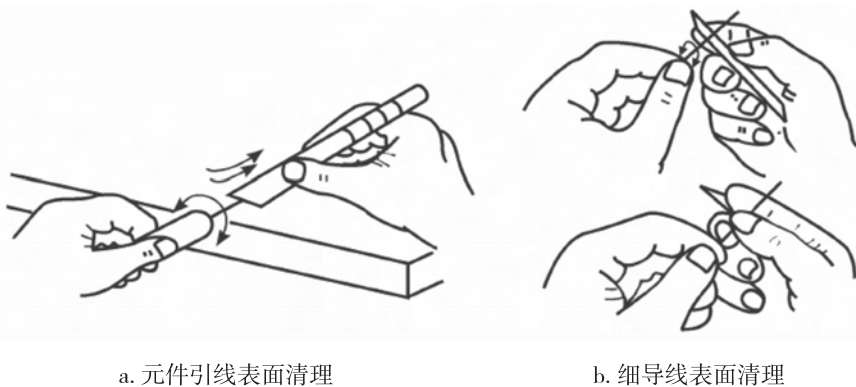


图 1.40 元件表面清洁

#### 2. 预焊

预焊就是将要焊接的元件引线或导线的焊接部位预先用焊锡润湿，也称为镀锡、搪锡或上锡。对手工电烙铁焊接，特别是产品研制工作中的调试及维修，预焊是必不可少的一个步骤。元件引脚及导线的预焊请参考图1.41。

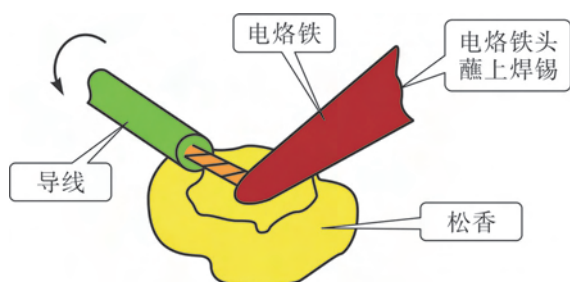


图 1.41 导线预焊

#### 3. 五步焊接法

五步焊接法的步骤如图1.42所示。

（1）准备施焊。准备好焊锡丝和电烙铁。此时特别强调的是电烙铁头要保持干净，之后即可以蘸上焊锡（俗称吃锡）。

（2）加热焊件。将电烙铁接触焊接点，注意要使电烙铁均匀加热焊件各部分，如印制板上的引线和焊盘都应均匀受热。

（3）熔化焊锡丝。当焊件加热到能熔化焊锡丝的温度后，将焊锡丝置于焊点，开始熔化并润湿焊点。

（4）移开焊锡丝。当熔化一定量的焊锡后将焊锡丝移开。

（5）移开电烙铁。当焊锡完全润湿焊点后移开电烙铁。注意：移开电烙铁的方向应该大致与印制电路板成 $45^\circ$ ，并且移开时要果断、快速。



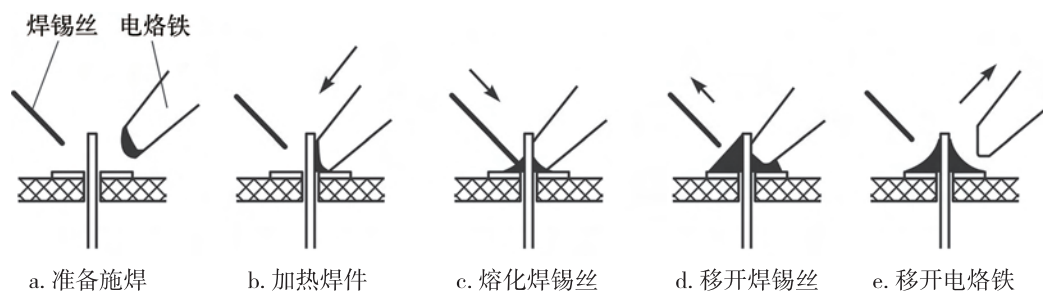


图 1.42 五步焊接法

上述过程，对一般焊点而言需时3~4 s。对于热容量较小的焊点，例如印制电路板上的小焊盘，时间更少。五步法有普遍性，是掌握手工电烙铁焊接的基本方法。特别是各步骤之间停留的时间，对保证焊接质量至关重要，只有通过实践练习才能逐步掌握。

#### (四) 片式元件贴装与焊接

一般电子制作中用到的片式元件可以用手工方法安装，其过程如下：

- (1) 安装前要把电路板上装片式元件的焊盘预焊上一层焊锡。
- (2) 用镊子小心夹持片式元件并按要求的方向贴放到电路板上，注意对准元件引线和焊盘。
- (3) 用工具轻轻按住已经放好的元件，电烙铁保留少量焊锡，电烙铁头放置在焊盘与元件之间，快速焊接。

图1.43所示是片式电容和短引线集成电路焊接点外观。

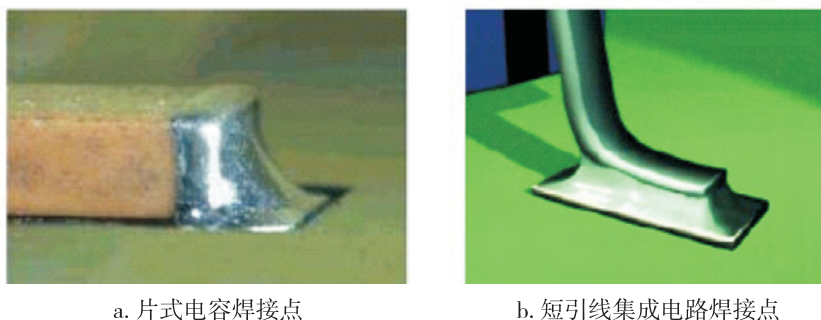


图 1.43 贴装焊接点外观

#### (五) 焊接质量

图1.44、图1.45所示是两种典型焊点的外观要求：

- (1) 焊锡的连接面呈半弓形凹面，焊锡与焊件交界处平滑，接触角要尽可能小。
- (2) 表面有金属光泽（无铅焊接无金属光泽）且平滑。
- (3) 无裂纹、针孔、夹渣。

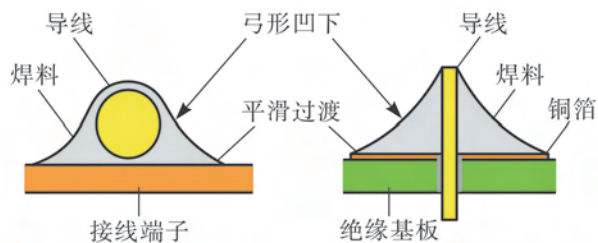


图 1.44 两种典型焊点示意图

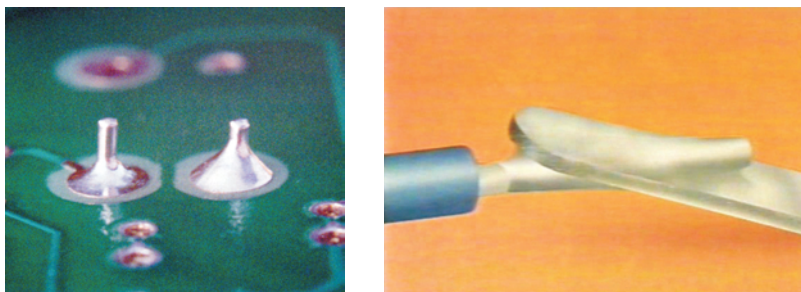


图 1.45 两种典型焊点外观



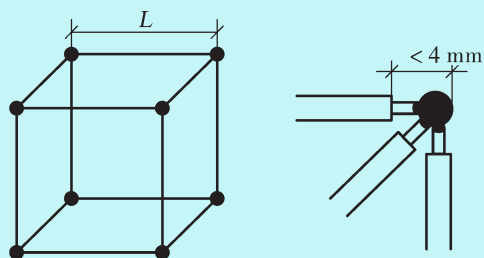
### 实践与体验

1. 练习手工电烙铁五步焊接法，掌握焊接方法。
2. 练习正方体框架焊接（图1.46）。

(1) 材料：直径大于0.6 mm的单股塑料导线。

(2) 要求：

- 1) 正方体框架平直方正。
- 2) 导线及外皮无损伤。
- 3) 焊点光亮、大小适中。
- 4) 尺寸 $L$ 随机确定。



a. 正方体框架

b. 结点示意图

图 1.46 正方体框架焊接示意图



### 活动延伸

自己设计并制作导线焊接造型工艺品（可根据设计需要添加其他材料），工艺要求如下：

1. 作品主要连接必须采用焊接连接。
2. 保证焊接质量与艺术创意相结合。

## 第四节 电子工具软件与平台



### 学习目标

1. 了解电路仿真软件。
2. 尝试 Fritzing 的应用。
3. 认识 Arduino 平台。

### 一、虚拟电子实验室（台）与仿真软件

虚拟电子实验室（台）是一种利用在计算机上运行电路仿真软件来模拟硬件实验的工作平台。仿真软件可以逼真地模拟各种电子元件及仪器仪表，从而不需要任何真实的元件与仪器，就可以进行各种电子电路实验。

虚拟电子实验室（台）可以作为各种电路实验的一种补充与辅助手段，同时在工程实践中还可作为复杂电子系统的设计、仿真与验证的实用手段，实现电子系统的电子设计自动化（EDA）。

虚拟电子实验室（台）的软件有很多种，如虚拟电子实验室——电学电路实验室2.0、模型电路实验室2.0等。针对数字电路，国产化软件“数字电路仿真系统”（图1.47）是一款方便实用、功能强大的数字电路仿真软件，可以完成本书数字电路的有关电路仿真。



图 1.47 数字电路仿真系统的软件封面

在电子设计和实验仿真领域，国外软件有起步早、种类多、功能强的优势，有些软件集成了原理图设计、电路仿真、实验分析和电路板设计等多种功能，并且有不断完善的元件库和齐全的虚拟电子仪器，而且同步推出了中文版，以及面向教育的学生版、教师版等服务。

## 二、图形化电子设计软件——Fritzing

Fritzing是一款面向非电子专业的电子爱好者和青少年创客实践的简易电子设计自动化软件，并且是免费的开源软件。它具有友好的界面、实用的功能和易于上手的使用方式，即使是缺乏电子技术背景但有兴趣尝试的“电子盲”，也可以借助该软件平台设计制作出自己的电子作品，实现创造的梦想。图1.48所示是Fritzing的软件封面和图形化元件库部分截图。



图 1.48 Fritzing 软件封面和图形化元件库部分截图

## 三、软、硬件协同的创客电子平台——Arduino

### 1. 什么是Arduino

Arduino是一个基于开放源码的微控制器软、硬件平台，是面向非电子专业的电子爱好者和青少年创客实践的电子工具，可以用“数字型电子积木”“可编程电子积木”“机器人电子平台”“智能硬件平台”“科技艺术玩具”等几个别称来理解其功能。借助这个工具平台可以使所有想与电子科技互动的人，在短时间之内就可以完成第一个实作范例，进而实现各种奇思妙想。图1.49所示是Arduino的标识。



图 1.49 Arduino 的标识

### 2. Arduino硬件

Arduino硬件其实就是一个以微处理器为核心元件的单片机系统电路板，Arduino官方先后发布了十多个型号的板子，如可以缝在衣服上的LilyPad，可直接插入面包板的Nano，使用最广泛的UNO等，如图1.50所示。对初学者来说，Arduino UNO完全可以满足学习和制作自己的电子作品的需求。

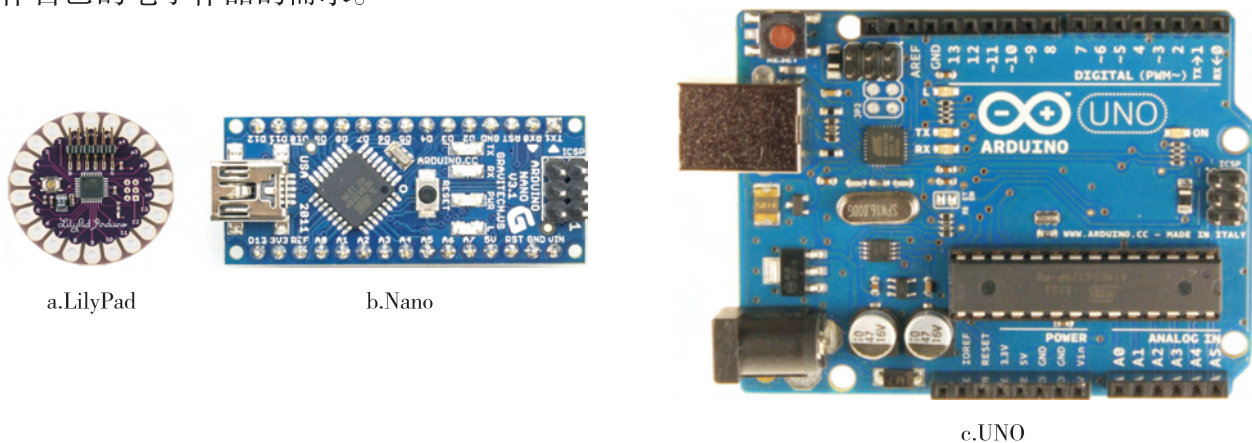


图 1.50 几种不同型号版本的 Arduino 硬件电路板



### 3. Arduino软件和米思奇（Mixly）软件

在Arduino的官方网站可以下载与计算机的操作系统相匹配的Arduino IDE软件，用来编写Arduino的应用程序。该软件下载之后无须安装，解压后即可使用。Arduino IDE除了基本的文本式的编程环境，还有可嵌入Arduino IDE的图形化积木式的编程环境ArduBlock。

米思奇（Mixly）是由我国创客教育专家团队开发的Arduino图形化积木式编程软件（图1.51），由于简单易用、适应性强、功能全和绿色可持续的特色，受到创客的广泛欢迎，也适合本课程使用。



图 1.51 Mixly 软件标识与图形化软件实例

### 4. Arduino主要特色

（1）开源优势。

（2）使用简单。Arduino硬件与计算机（台式机或笔记本）的连接非常简单，采用了当下主流的USB连接，像使用U盘一样把Arduino硬件与计算机直接连起来就可以工作。Arduino的软件开发环境也非常简单，会用计算机就能够掌握。特别是如果使用图形化积木式的编程环境ArduBlock，几乎等同于玩游戏。

（3）易于交流。对于初学者来说，交流与展示是非常能激发学习热情的途径。Arduino已经设计了一个便于交流的框架，一些底层的初始化设计采用了统一的方法，对数字信号和模拟信号使用的端口也做了自己的标定，初学者在交流电路或程序的时候会非常通畅。

（4）资源丰富。Arduino开源和分享的理念使其资源丰富并且会源源不断地更新。

1）软硬件资源：不仅有适用于各种环境的Arduino主板，而且具有如传感器、网络通信接口、开关、显示器、继电器、电机等各种模块（图1.52），以及各种实例代码和使用教程。

2）网络资源：Arduino是网络时代的产物，各种信息资源应有尽有。

3）人脉资源：全球Arduino社区众多好友的支持和分享，各种技术主题的讨论社区，可谓取之不尽、用之不竭的资源。





## 单元小结

电子控制技术是运用电子电路实现控制功能的技术，应用非常广泛。学习和掌握这门技术要从电子实践制作和电子学基础知识入手。

电子元器件是构成电子电路的基本元素，学会简单检测是认识和掌握电子元器件的重要途径；而用各种符号表示电子元器件并把它们绘制成电路图，要熟悉相应的图形和文字符号，并遵从基本规则；至关重要的物化能力则要通过使用面包板和原型制作来实现。

要把纸上或电脑屏幕上的电路图变成实际电子装置，必须动手去做。电子实验与制作并不难，电子焊接也不神秘，足够的时间和正确的训练方法（如“五步法”操作）才可以实现操作的得心应手。

现代电子工具软件和设计制作一体化平台，为学习和应用电子控制技术提供了利器，降低了学习和设计的技术门槛。数字电路仿真系统、Fritzing和Arduino等各司其职，相辅相成。同学们想要学会这些工具不难，熟练掌握则需要实际应用的演练。

## 学习评价

评价内容		评价方式				
		自我评价	小组评价	教师评价		
过程评价	师生互动	听课状态				
		回答问题				
		小组讨论				
	实践活动	寻找身边的电子控制技术				
		识别、检测电子元器件				
		五步法训练实践				
		电子工具软件使用体验				
结果评价	目标实现	知识学习				
		实践考核	导线加工			
			正方体焊接			
	收获反思	收获感悟				
		检查不足				

# 第二章 电子控制的核心技术

## ——数字电路与模拟电路

### 导 言

我们目前处在一个数字时代，而我们的视觉、听觉、嗅觉、触觉等所感知的却常常是一个模拟世界。数字与模拟是我们经常接触到的两种基本信号，根据处理信号的不同，电子电路分为模拟电路与数字电路两个基本分支。

尽管自然界的物理信号是以模拟信号为主，模拟电路具有基础性地位，但随着信息技术的发展，信息的传输、处理和存储更多地依赖数字化，从数码电视、智能手机及各种智能硬件等层出不穷的数字化产品，到数字通信、数字化办公、数字教学等令人眼花缭乱的新名词，再到数字中国、数字经济、数字地球等新概念，数字电路占据越来越重要的位置已是大势所趋。

如何理解数字与模拟？数字化到底有什么好处？数字化的基本原理是什么？我们怎样利用电子技术解决实际问题？本章将带领大家迈进电子电路的大门，了解简单的模拟电路和数字电路，并通过实践案例学习应用它们。

### 思维导图



## 第一节 数字信号与模拟信号



### 学习目标

1. 举例说明什么是数字信号和模拟信号。
2. 理解为什么用“0”和“1”作为数字化标志。
3. 理解数字信号与模拟信号的优势与不足，以及数字信号与模拟信号之间转换的作用。



### 探究与交流

许多表现现代科技的艺术作品，都用数字“0”和“1”作为标志。图2.1a中的图片是位于我国一所著名大学校园中心区的一个题名为“悟”的雕塑。在象征着知识与思考的浮雕上有许多“0”和“1”；图2.1b是寓意为“数字地球”的艺术创作，所有的大陆都是由“0”和“1”组成的。

讨论：

1. 这些“0”和“1”的含意是什么？
2. 数字电路的“数字”与“0”和“1”有什么关系？



a



b

图 2.1 艺术作品中的数字元素

### 一、数字与模拟

#### 1. 生活中的模拟方式和数字方式

一个人来到世界上，就在同模拟和数字打交道。小孩跟着别人学说话、学走路，是一种模拟式学习，也可以说是以一种模拟方式认识世界。儿童掰着手指学数数，1、

2、3……直到任意数目，是一种数字概念的学习，也可以说是以数字方式认识世界（图2.2）。



图 2.2 学数数

我国古代用烽火台传递信息可以看作是以数字方式通信的雏形。它用有无烽火作为有敌情的信号，简单明了，容易识别；我国抗日战争时期敌后根据地人们利用消息树报告“鬼子来了”，则是数字通信方式的近代应用（图2.3）。这两个例子，表示了客观事物存在的两种状态“有”和“无”，不存在模棱两可的不确定状态。

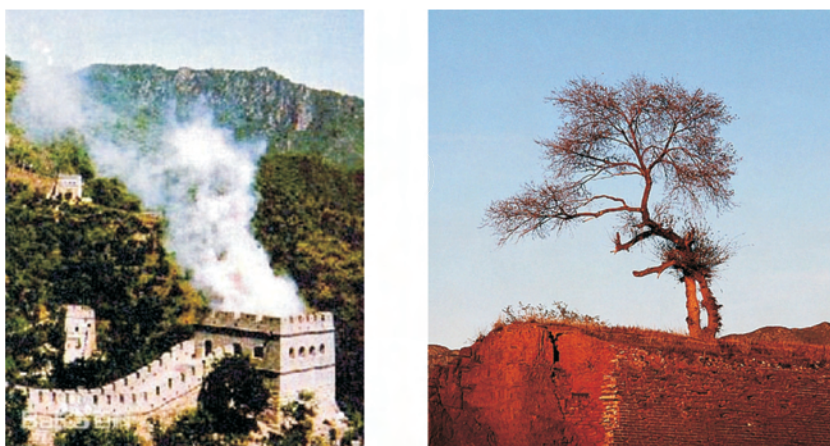


图 2.3 古代的烽火台与近代消息树

再看看我们身边，钟表有传统指针式和数字式两大类。指针式钟表源于利用太阳光的投影来计时的日晷，属于模拟式计时；而数字式钟表则完全是电子时代的产物，精度更高，功能更多（图2.4）。



a. 日晷



b. 模拟式钟表



c. 数字式钟表

图 2.4 钟表



测量体温的体温计有水银温度计和电子温度计。水银温度计是模拟方式的，电子温度计是数字方式的（图2.5）。



a. 水银温度计

b. 电子温度计

图 2.5 体温计



### 案例分析

#### 模拟信号和数字信号

如图2.6、图2.7所示，假设要在相互隔离的两个房间（声音和视线都达不到）传递“6”这个数字，我们用电路传递可以有两种方式：

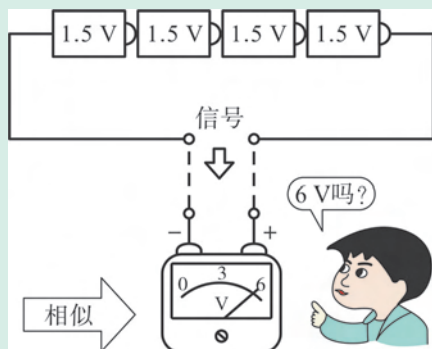


图 2.6 方式 1（模拟信号）

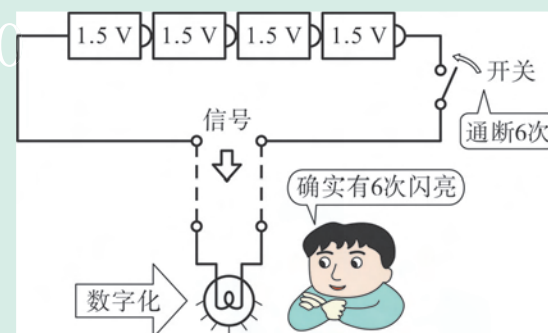


图 2.7 方式 2（数字信号）

(1) 传递数字6（事先约定1V代表1），接受方用电压表测量。

(2) 将电路通断6次，接受方看指示灯亮灭的次数。

请讨论比较两种信息传递方式的优缺点，并填写表2.1。

表 2.1 模拟方式和数字方式的对比

	准确性	稳定性	便捷性	直观性
模拟信号				
数字信号				

## 2. 模拟信号和数字信号的图示及其处理电路

(1) 模拟信号和数字信号。以模拟方式传递的信息称作模拟信号，以数字方式传递的信息称作数字信号。

模拟信号是在给定范围内连续变化的信号，而数字信号则是不连续变化的信号，也称为离散变化的信号。

例如前文的“案例分析”，方式1中以电压数值作为传递数字的方式，如果使用电位器分压方法（图2.8），理论上这种方式可以传递0~6的任意数字，例如3.1、3.14、3.141、3.1416等无穷多个连续的数字，而方式2则只能传递1~6六个不连续的整数。但是受分压电位器解析度、测量和检测仪表精确度及传输线路损耗和干扰等诸多限制，实际上传递数字有限而且不准确；而方式2传输的不连续的几个数字，却可以做到准确无误。

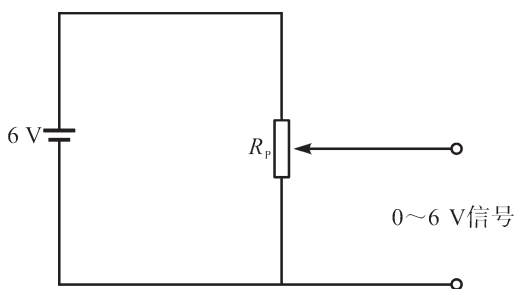


图 2.8 使用电位器分压产生 0~6 V 任意电压信号

(2) 模拟信号和数字信号的图示。用数学语言（图像）来表示模拟信号和数字信号如图2.9所示，模拟信号的图像是连续的曲线，而数字信号的图像则是不连续的波形，如矩形脉冲。

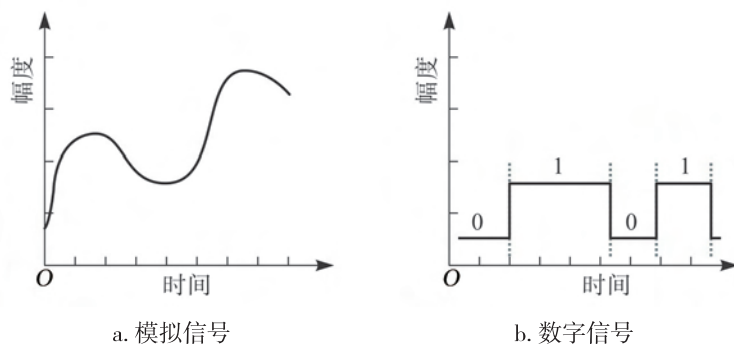


图 2.9 模拟信号和数字信号的图示

(3) 模拟电路和数字电路。用于处理模拟信号的电路，称为模拟电路，例如后面课程将遇到的晶体管和运算放大器放大电路；而用于处理数字模拟信号的电路，称为数字电路，例如后面课程将遇到的门电路和数字集成逻辑电路。现在由于计算机、通信和网络技术都已数字化，因而数字电路应用更为广泛。

## 二、数字化的真谛——“0”和“1”的世界

### 1. “0”和“1”的逻辑状态

在实际生活中，我们经常进行这种认定：如“这个电源插座有电没有？”“明天的会

你能不能参加？”回答为“有”或“没有”，“能”或“不能”两种，不容许模棱两可。这是一种逻辑判断，只存在两种状态。

我们将两个状态之一定为“1”，另一个状态就是“0”。这里的“0”和“1”是指事物的两种状态，如有和无、高和低、是和非，而不是指数学上的0和1。

这种非“0”即“1”、非“1”即“0”、只有“0”和“1”的状态，不涉及“0”和“1”以外的状态，使信息的记录和传播都变得容易而且不会出错。烽火台能在短时间把“有敌情”的警报传输到千里之外，“消息树”能在瞬间把“鬼子来了”的信息传到全村，就是这种非此即彼两种状态的应用。

## 2. “0”和“1”的数字逻辑和逻辑运算 $1+1 \neq 2$

用数学方法描述逻辑状态，称为数字逻辑。在只有“0”和“1”的世界里，可以用下面的数学方式表达“0”和“1”的状态：

如果  $x \neq 1$ ，则  $x=0$ 。

如果  $x \neq 0$ ，则  $x=1$ 。

这两种逻辑状态可以进行逻辑乘与逻辑和的逻辑运算。

逻辑乘：                    逻辑和：

$$0 \cdot 0 = 0 \qquad 0+0 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0 \qquad 0+1 = 1$$

$$1 \cdot 0 = 0 \qquad 1+0 = 1$$

$$1 \cdot 1 = 1 \qquad 1+1 = 1$$

我们注意到逻辑乘的结果与一般数学的乘法计算结果相同，而逻辑和就不同了， $1+1 \neq 2$ ，而是 $1+1=1$ （图2.10）。

这种逻辑运算可以通过电路实现，从而构成数字电路。由0和1组成二进制数制，构成了现代电子计算机技术的基础。

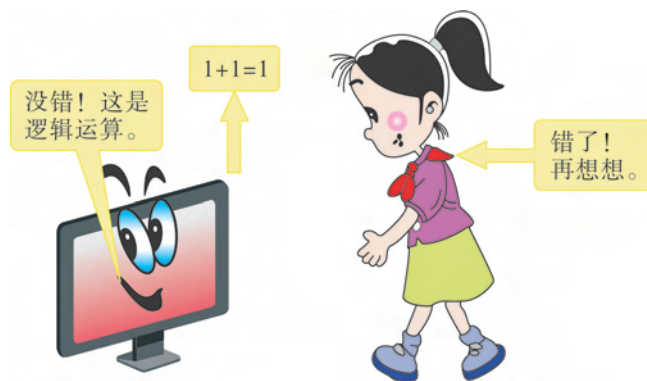


图 2.10  $1+1$  的逻辑运算

## 三、数字信号与模拟信号的优势与局限性

数字信号与模拟信号的优势与局限性的比较见表2.2。

表 2.2 数字信号与模拟信号的比较

信号	内容		实例
数字信号	优势	抗干扰能力强、可靠性高： 数字信号由于状态简单，本身就有较强的抗干扰能力，再加上多种有效技术措施，以及数字系统的高可靠性，可以最大限度保证在信号传输和处理过程中去除干扰，提高系统可靠性	数字通信 数字电视
		易于传输、加工处理和存储： 数字信号只有两个状态，所以数字信号的传输、处理和存储都比较容易，并且可以有多种多样的加工、加密方式方法	5G通信
		易于高集成度、微型化和智能化： 高集成度、低能耗和微型化是数字电路最突出的优点，现在一个芯片上集成晶体管的数量已经超过10亿个，未来芯片会更快更强	手机、 笔记本电脑
		执行精度高、质量好： 数字化本身就是精细化的，最简单的3位半数字万用表精度高于最好的指针万用表，最好的模拟电视清晰度也无法与数字电视相比	数字万用表 数字电视
局限性	温度、压力、电压等自然界信息是计算机不能直接识别的模拟信号； 人们的视、听、嗅、触觉也不只是“0”和“1”； 数字信号的输入和显示硬件比较复杂、操作不直观	—	
模拟信号	优势	简单、直观、容易实现	水银血压计 温度计
	局限性	数字信号的优势就是模拟信号的局限性	—



### 探究与交流

请同学们分组进行以下活动：

1. 问题：为了方便交流，需要把电子控制技术课程的课堂教学和讨论过程通过录像方式全部记录下来，初步确定要摄制40小时视频资料。现在有以下两种方案：

- (1) 采用传统模拟录像机和磁带。
- (2) 用现代数字录像机和数字存储技术。

2. 讨论：

- (1) 两种方案各需要哪些设备？
- (2) 比较二者所用存储载体的数量、体积，说明数字存储的优势。
- (3) 讨论现在除了数字录像机，还有哪些记录和存储设备？

## 四、数字与模拟转换的作用与实现

一方面，自然量都是模拟量，必须转换成数字量后，才能进入数字世界，被机器识别和处理。把模拟量转换成数字量，称为模/数转换（analog to digital converter），缩写为

ADC或A/D。

另一方面，经过机器处理后输出的数字信号，如数字音频播放器，必须把数字信号还原成连续的音频模拟信号，回到真实世界，我们才能听到与记录时相同的语音或音乐。把数字量转换成模拟量，称为数/模转换（digital to analog converter），缩写为DAC或D/A。

由此可见，A/D与D/A是将数字世界与模拟世界联系在一起的不可或缺的桥梁，用技术术语说，是真实世界与机器世界的接口（图2.11）。

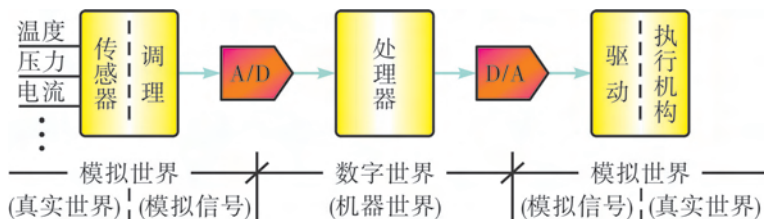


图 2.11 数字 / 模拟信号的转换在信息流中的作用

早期，无论是A/D还是D/A都需要设计复杂的电路才能实现，但随着集成电路技术的发展，这种转换已经有众多不同种类和精度的集成电路来完成，如模拟数字转换器（简称ADC）及数字模拟转换器（简称DAC），需要时只需按设计要求选择合适的集成电路就可以了。图2.12所示是经典的ADC0809和DAC0832芯片（已安装到印制电路板上）。

如果采用微控制器作为信号处理部件，就会更加方便。因为现在的微控制器，即使是低成本的普及型，内部也都集成了A/D和D/A电路，只需选择相应的输入、输出端口，编写相应代码即可，简单方便。

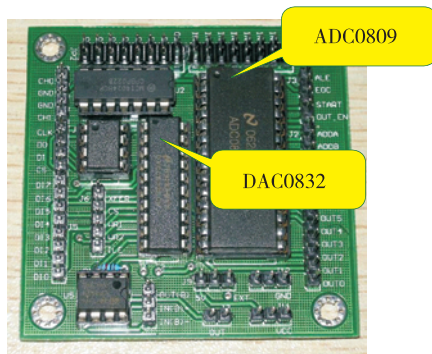


图 2.12 经典的 ADC 和 DAC



### 活动延伸

查阅网络及图书资料，以“声音的记录与播放”为演讲主题，内容可包括声音录放的前世今生、最新声音录放技术中的A/D和D/A实现方式，以及声音录放技术发展对我们生活、学习的影响等。可分组准备，制作演示文稿，进行演讲交流。



## 第二节 晶体二极管与晶体三极管



### 学习目标

1. 了解晶体二极管和晶体三极管的结构与类型。
2. 掌握用晶体三极管的特性曲线分析三极管电路。
3. 了解晶体三极管的放大和开关作用。



### 做中学

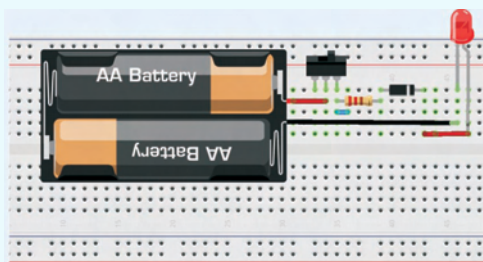
#### 二极管的单向导电特性

在电子电路中常用一种叫作晶体二极管（简称二极管）的元件来控制电流流动方向，类似于我们使用打气筒给自行车轮胎打气时用到的轮胎气门，其作用是只允许空气从打气筒进入轮胎，不允许空气从轮胎倒流入打气筒，这种控制气流单向流动的装置，技术术语上称其为单向阀（图2.13）。

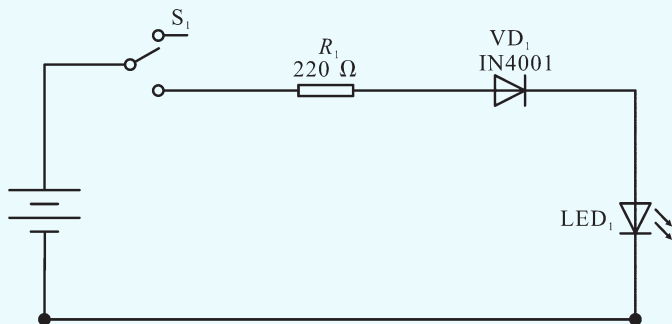


图 2.13 控制气流的单向阀

下面我们通过一个试验来了解二极管的单向导电作用。试验面包板连接与电路原理分别如图2.14a、b所示。



a. 试验面包板连接



b. 电路原理图



c. 正、负极标识

图 2.14 二极管的单向导电实验

试验中所用二极管是标注为 $VD_1$ 的普通二极管，是一种有正、负极性的元件，如图2.14c所示有银白色标识的是负极，另一端为正极。当 $VD_1$ 如图所示连接时，二极管正极接电源正极，负极接电源负极，闭合开关S后电路中有电流流过，可以点亮发光二极管；如果把二极管反过来，闭合开关S后电路中没有电流流过，发光二极管不亮。

单向导电是二极管的基本属性，二极管的多种应用都是由此延伸出来的。

## 一、晶体二极管

### (一) 晶体二极管结构、图形符号与类型

#### 1. 晶体二极管的结构和图形符号

晶体二极管是具有单向导电特性的半导体器件，由一个半导体PN结构成（图2.15a）。

以PN结为管芯，在P型区和N型区的两侧接上电极引线，就制成了晶体二极管，简称二极管。P型区电极引线称为正极或阳极，N型区电极引线称为负极或阴极。晶体二极管的图形符号如图2.15b所示。

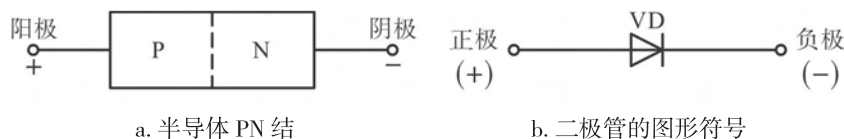


图 2.15 半导体 PN 结与二极管图形符号

#### 2. 二极管的类型

二极管按半导体材料可分为硅二极管和锗二极管两大类。二极管按用途可分为普通二极管和特殊二极管两大类：普通二极管包括整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管、快速二极管等；特殊二极管包括变容二极管、发光二极管、隧道二极管、触发二极管等，其中发光二极管（LED）应用最广泛。

### (二) 二极管的外形与主要参数

#### 1. 常见二极管外形

图2.16所示是几种常用普通二极管外形，通常外形越大，能够承受的电压越高，可以通过的电流越大。

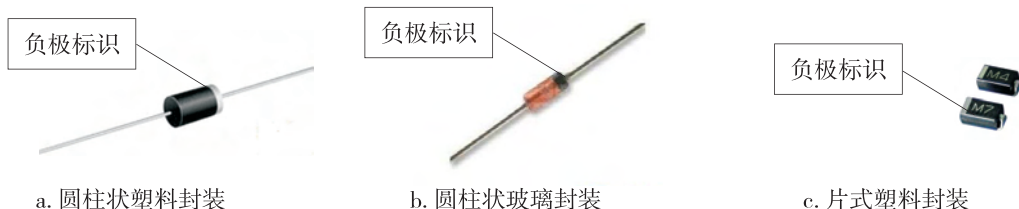


图 2.16 几种常用普通二极管外形

## 2. 二极管主要参数

二极管的性能，通常引用以下几个主要参数表示：

(1) 最大整流电流 ( $I_m$ )。  $I_m$  是二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流，在规定的散热条件下，二极管正向平均电流若超过此值，将因PN结的温度过高而被烧坏。

(2) 反向击穿电压 ( $U_{BR}$ )。 二极管反向电压超过  $U_{BR}$  后反向电流明显增大。

(3) 反向电流 ( $I_S$ )。  $I_S$  是二极管未击穿时的反向饱和电流。  $I_S$  越小，二极管的单向导电性愈好，  $I_S$  对温度非常敏感。

### (三) 二极管的应用

#### 1. 整流电路

二极管最广泛的应用是整流电路。利用二极管的单向导电性，将其作为将高电压交流电转换成低电压直流电的电源转换器（也称适配器，图2.17），是现在工作及家庭各种电子产品少不了的配件。

最简单的整流电路如图2.18所示，称为半波整流电路。通过电源变压器T将单相交流电压  $U_1$  变成所需要的次级电压  $U_2$ ，VD是整流二极管，  $R_L$  是负载电阻。



图 2.17 交直流电源转换器（适配器）

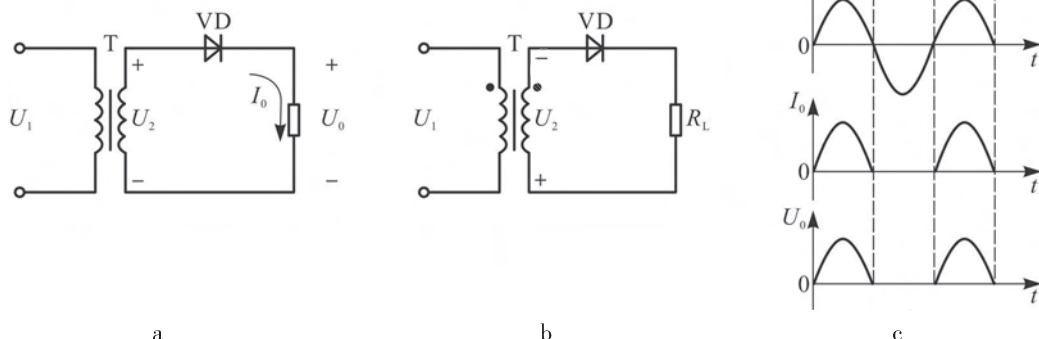


图 2.18 半波整流电路

当电压  $U_2$  为正半周时，二极管正向导通（理想情况下二极管的正向压降为0，如图2.18a），负载电阻  $R_L$  上的电压  $U_0=U_2$ ，流过负载的电流  $I_0=U_0/R_L$ 。

当电压  $U_2$  为负半周时，二极管反向截止（图2.18b），此时  $U_0=0$ ，  $I_0=0$ 。

因此，负载电阻  $R_L$  上得到的是一个半波整流电压，它们的波形如图2.18c所示，该电压极性不变，但大小变化，我们称之为脉动直流电压。

当然，这个电路获得的直流电压脉动大而且效率低，实际中很少用。图2.17中的交直流电源转换器电路要复杂得多，但其基本整流电路原理是一样的。

#### 2. 保护电路与其他应用

二极管常用于保护电路，相关内容见本节有关三极管的应用和第三章传感器与继电器。

除了整流和保护，二极管还有限幅、检波、钳位及开关电路等多种应用，有兴趣的同学可以查阅相关资料学习。



## 探究与交流

实际中应用的整流电路是如图2.19a所示的由4只二极管构成的桥式整流电路。我们把4个二极管的桥式组合称为整流桥，用图2.19b所示的符号表示，并且在实际中把它们封装在一起，变成图2.19c所示的有4个引脚的整流桥组件。

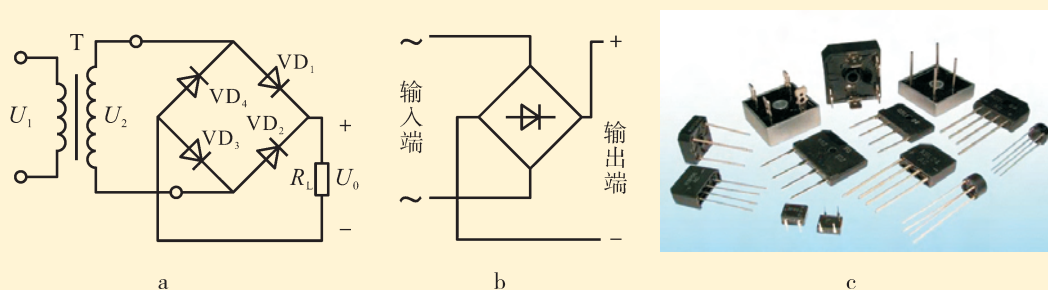


图 2.19 二极管的桥式整流电路

请同学们自己动脑筋，按照半波整流电路的方法：

1. 分析桥式整流电路的工作原理。
2. 画出波形图。
3. 查阅资料，讨论实际二极管桥式整流电路方案。

## 二、晶体三极管



## 做中学

## 晶体三极管的电流放大作用

我们通过试验来认识晶体三极管（简称三极管）。图2.20a是一个晶体三极管的实物图，它有三个管脚，分别称为集电极（c）、基极（b）和发射极（e）。

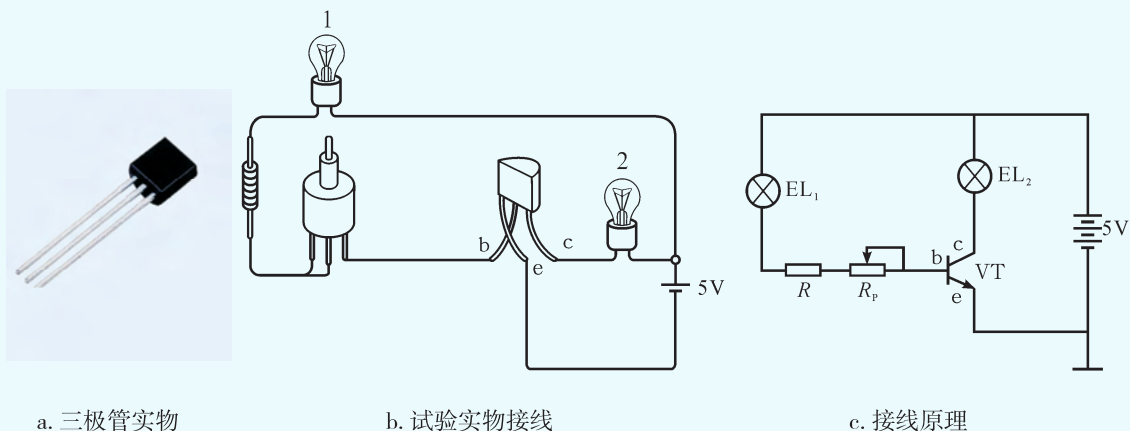


图 2.20 三极管接线图

我们按图2.20b的方法把电源、电阻、变阻器、灯泡和三极管连接起来，在连接电源前把变阻器调到电阻最大的位置。图2.20c是其接线原理图。

准备好以后接上电源，我们看到灯泡1和灯泡2都不亮。然后慢慢调节变阻器，使电阻逐渐减小。当调到一定位置时，我们发现灯泡2渐渐亮起来了，而且电阻越小，灯泡2越亮。但灯泡1始终不亮。灯泡2亮说明它流过了足够量的电流，灯泡1不亮说明它流过的电流很小。如果我们在灯泡1和灯泡2的电路中接入电流表，可以清楚地看到流过灯泡的电流的差别。

这个试验的意义在于我们用晶体三极管实现了以较小的电流控制较大的电流的目的，这正是电子控制的基本要求之一。我们可以说晶体三极管是可以用小电流控制大电流的一种电子元件，或者说晶体三极管具有电流放大功能。

晶体三极管能够以小电流控制大电流是由它的材料和特殊构造决定的。

### （一）晶体三极管的构造和图形符号

将P型半导体和N型半导体按NPN（或PNP）的顺序排列，形成两个PN结，并分别引出电极，就构成了NPN型（或PNP型）晶体三极管（图2.21）。

其中，中间层比两边薄得多。NPN和PNP型三极管除工作时所加的电压极性不同外，其余工作特性完全一样。

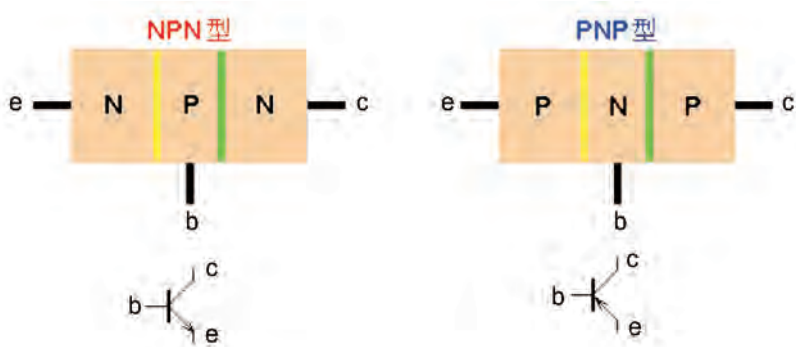


图 2.21 NPN 型和 PNP 型晶体三极管与图形符号

在电路原理图中我们用图形符号代表它们。其中发射极e的箭头方向表示电流流动方向。

### （二）晶体三极管的类型

- （1）按材质分为硅管三极管、锗管三极管。
- （2）按结构分为NPN型三极管、PNP型三极管。
- （3）按功能分为开关型三极管、功率型三极管等。
- （4）按封装分为塑料封装三极管、金属封装三极管、贴片式三极管等（图2.22）。





a. 小功率塑料封装三极管

b. 大功率金属封装三极管

c. 贴片式三极管

图 2.22 常见的几种晶体三极管外形

### 三、三极管的放大与开关应用

#### (一) 三极管的放大作用

晶体三极管在数字电路的应用之一就是对小信号的放大。通过图2.23的分析我们知道，三极管基极b中流过微弱的电流时，可以控制集电极c和发射极e间流过较大的电流。

从三极管输出特性曲线看，工作于放大区的三极管  $I_c = \beta I_b$ ，这就是三极管的电流放大作用。利用三极管的这个作用，我们可以把弱小信号放大到足够大，以满足信号传输、处理和执行的需要。

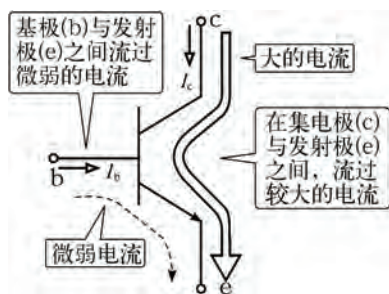
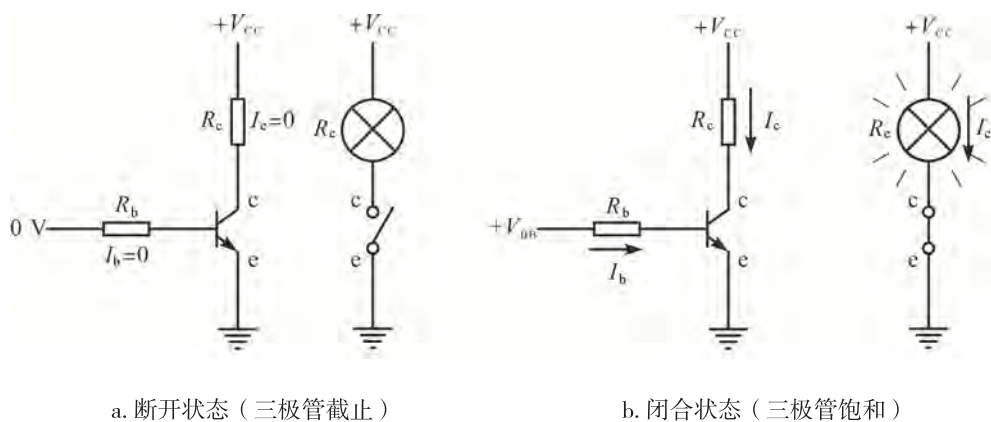


图 2.23 三极管电流放大

#### (二) 三极管的开关作用

##### 1. 晶体三极管组成电子开关

晶体三极管工作在截止和饱和状态时就形成电子开关的作用。图2.24表示利用加到三极管基极上的电压高低控制三极管的截止和饱和这两种工作状态，实现电子开关的功能。



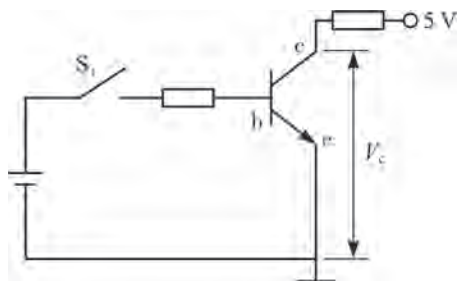
a. 断开状态（三极管截止）

b. 闭合状态（三极管饱和）

图 2.24 电子开关的功能示意图

##### 2. 用三极管开关表示“0”和“1”

如果我们用高电压和低电压表示“1”和“0”，那么利用三极管的开关作用很容易实现这两个状态，如图2.25所示。当开关S<sub>1</sub>不接通、没有基极电流I<sub>b</sub>时，三极管开关处于断开



$S_1$	三极管状态	$V_C$	数字表示
断	截止	5 V	1
通	饱和	0.3 V	0

图 2.25 三极管开关电路

状态，晶体三极管c、e之间没有电流，为截止状态， $V_c=5\text{ V}$ ，可以用数字“1”表示；当 $S_1$ 接通，有基极电流 $I_b$ 流过三极管基极，三极管饱和导通， $V_c$ 接近零，可以用数字“0”表示。

这样，我们通过晶体三极管的开关作用实现了“数字”和“电路”的对接，晶体三极管构成了数字电路的基础。

### 3. 三极管开关应用实例

图2.26所示是利用简单的三极管控制电磁铁电路。

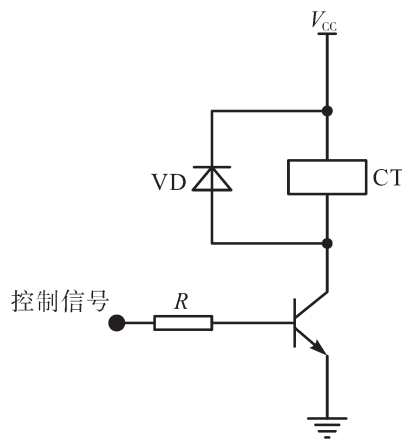


图 2.26 简单的三极管控制电磁铁电路

电磁铁是电子控制中常用的执行机构，如电子门锁、电磁阀都使用电磁铁。由于现在控制系统绝大部分都使用微控制器作为控制部件，其输出端能提供的驱动功率很小（通常为3.3~5 V电压，10 mA以下电流），无法驱动电磁铁（通常电磁铁需要12 V以上电压，1 A以上电流），而一个简单的三极管就可解决该问题。如图2.26所示，来自微控制器的控制信号加到三极管的基极电阻上，当控制信号为低电平时，三极管截止，电磁铁没有电流不工作；控制信号为高电平时，三极管导通，电磁铁获得电流而吸合工作，从而实现了电磁铁的吸合和释放两种工作状态。



#### 活动延伸

寻找一两种使用晶体三极管的电子产品（例如电子门铃、电动玩具等），分析晶体三极管的作用。

## 第三节 数字电路的基本单元——门电路



### 学习目标

1. 了解三种基本门电路的逻辑关系，学会用三要素方法描述它们。
2. 掌握用基本门电路组成复合门电路（与非门、或非门）。
3. 掌握用仿真软件验证门电路逻辑。



### 探究与交流

每天我们都要和门接触，如出家门、进校门、进教室门。商店不开门，我们无法进去购物；教室开门了，我们才能进来上课。

讨论：

1. 门的功能是什么？
2. 一个建筑物中一般有多个门，这些门之间都有一定的关系，例如进了校门才能进教室门，教室一般有2个门，从哪个门都可以进教室等；有不少公共建筑，还在每个楼层专门设有安全门。请归纳不同情况下门与门之间的关系（图2.27）。



a. 校门



b. 教学楼门



c. 家庭防盗门



d. 安全防火门

图 2.27 各种各样的门

### 一、基本门电路

接通开关，电灯亮了；按下按钮，门铃响了。我们同样可以把电路开关理解成控制电路通断的门（图2.28），实际上电路开关的俗称就是“电门”。

在数字电路中实现一定逻辑功能的开关电路，称为门电路。因为数字信号由“0”和“1”组成，所以在门的输入端和门的输出端都是“0”或“1”。



图 2.28 电路中控制通断的“门”——开关实例



实践与体验

1. 一个门用两把锁按图2.29中所示的方式锁住，而且钥匙分别掌握在A、B两个人手中。讨论：什么条件下才能打开门？

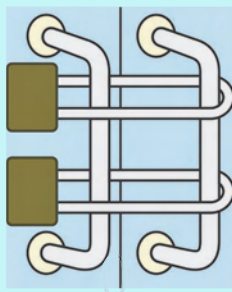


图 2.29 两把锁分别锁门

2. 图2.30中，开关 $S_1$ 、 $S_2$ 控制灯的亮和灭。请依照电路图的接法完成判断（表2.3）。

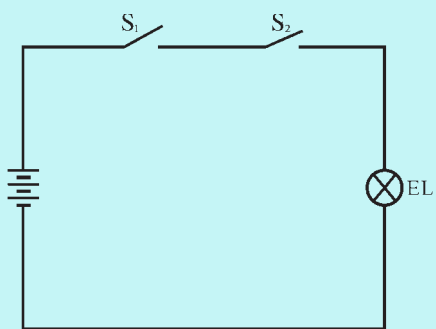


表 2.3 串联开关通断与电灯的关系

状态	$S_1$	$S_2$	EL
1	断	断	灭
2	通	断	灭
3	断	通	灭
4	通	通	亮

图 2.30 两个开关串联控制一个电灯

3. 请再找出两个类似的实例。



## 1. 与门

(1) 与门电路。由上述实践活动实例可知，只有同时具备A、B条件，才会出现预期的结果。我们把这种逻辑关系称为“与逻辑”，把实现“与逻辑”关系的电路称为“与门电路”或“AND电路”，与门电路简称“与门”。

为了方便，我们把与门电路用图2.31所示的图形符号表示。与门电路有一个输出端和两个以上的输入端，通常用A、B……表示输入端，用Y表示输出端。

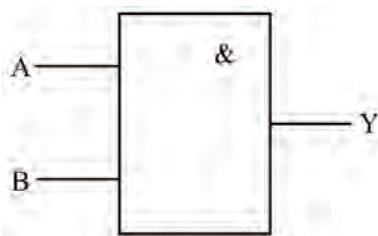


图 2.31 与门电路的表示方法

(2) 与门的描述与表达。门电路可以通过代数式、表格和图形方式来描述，分别称为逻辑表达式、真值表和波形图。这三种描述方式称为逻辑电路的“三要素”。

1) 逻辑表达式：用“代数”表达式来描述输入和输出之间的关系，称为逻辑表达式。与逻辑的运算又叫“逻辑乘”，在逻辑表达式中用“·”表示乘运算。与门电路可表示为 $Y=A \cdot B$ 。

2) 真值表：采用表格可以直观形象地表达门电路的逻辑关系，这就是数字电路中广泛使用的真值表。我们把开关的“通”和灯泡的“亮”规定为“1”，而把开关的“断”和灯泡的“灭”规定为“0”，则图2.31所示的与门可以用表2.4直观地表达出来。

表 2.4 真值表

输入		输出
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

表 2.5 状态表

输入		输出
A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

对与门电路而言，一般用低电平（如0 V）表示0，而用高电平（如5 V）表示1。此外，上面左方表格中的0和1有时也用L（低）和H（高）表示，用H、L表示的逻辑状态也称为状态表，如表2.5所示。

3) 波形图：表格虽然直观，但不够形象。在电路中常用图形来描述电路的电流、电压等电量随时间变化的关系，这种图形称为波形图。如图2.32所示为电路在 $t_1$ 时刻电压由0跳变为5 V， $t_2$ 时刻电压由5 V跳变为0的波形图。

在波形图中，横坐标表示时间，纵坐标表示电压。对于数字电路来说，电压波形顶部表示1，底部表示0，坐标可以省略，但时间必须对应。一般用恒等的时间间隔内输入电平与输出电平的变化表示它们之间的逻辑关系。

图2.33所示是两个输入端与门电路的波形图。

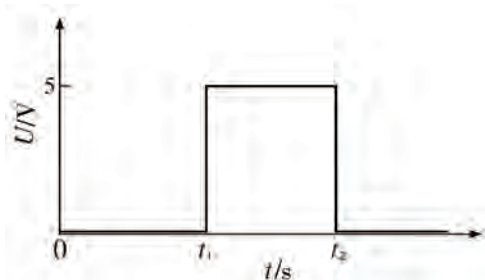


图 2.32 波形图

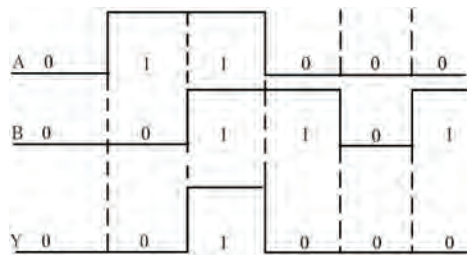


图 2.33 两个输入端与门电路的波形图



实践与体验

1. 写出三个输入端 (A/B/C) 与门的图形符号、逻辑表达式和真值表 (表2.6)。

图形符号：

逻辑表达式：

2. 思考三个以上输入端与门的图形符号、逻辑表达式和真值表应该如何表示。

3. 如图2.34所示，一个门用两把锁按图中所示的方式锁住，钥匙分别掌握在A、B两人手中。

讨论：什么条件下可以将门打开？

4. 在图2.35中，开关 $S_1$ 和开关 $S_2$ 并联控制电灯。请依照电路图分析开关通断和电灯EL亮灭的关系，并完成表格 (表2.7)。

表 2.6 三个输入端的与门真值表

输入			输出
A	B	C	Y
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

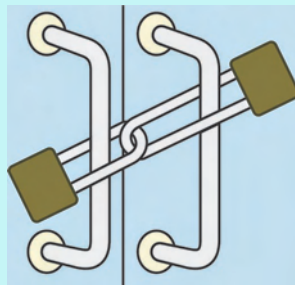


图 2.34 两把锁串起来使用

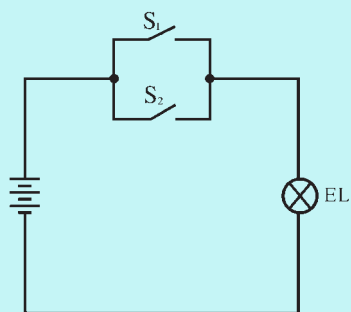


图 2.35 两个开关并联控制一个电灯

表 2.7 并联开关通断与电灯的关系

状态	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	EL
1	断	断	
2	通	断	
3	断	通	
4	通	通	

5. 再找出实际生活中类似的两个实例。

## 2. 或门

(1) 或门电路。由上述实践活动的实例可知，只要具备条件之一，便会出现预期的结果。我们把这种逻辑关系称为“或逻辑”。把能够实现“或逻辑”关系的电路称为或门电路，也称 OR 电路，简称“或门”。

(2) 或门电路的描述与表达。或门用图 2.36 的图形符号表示，或逻辑又称为“逻辑加”。或门和与门一样，有一个输出端，有两个或两个以上输入端。

两个输入端或门逻辑表达式为：

$$Y=A+B$$

注意，这里的“+”不是数字运算中的加号，而是逻辑加运算符号。

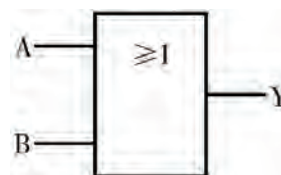


图 2.36 或门的图形符号（逻辑加）



## 实践与体验

1. 比较或门和与门，分析它们之间的差别。
2. 完成或门电路的波形图（图 2.37）和真值表（表 2.8）。

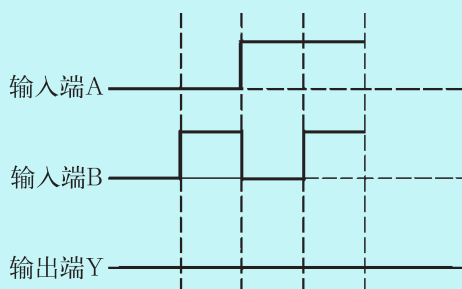


图 2.37 二输入端或门电路波形图

表 2.8 或门电路真值表

输入		输出
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

### 3. 非门

观察图2.38，分析开关的通断和电灯EL亮或灭的关系并填入表2.9。

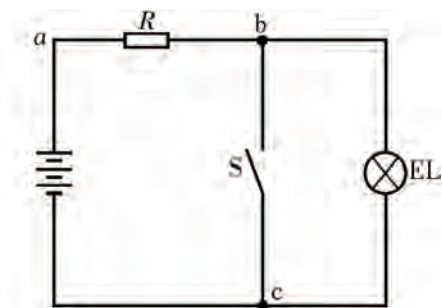


图 2.38 开关与电灯并联对电灯的控制

表 2.9 开关通断与电灯亮灭关系

开关	灯
通	
断	

这种开关的通断与灯的亮或灭是相反关系的逻辑称为“非逻辑”。

注意这个电路中增加了电阻R，这是为了保护电源。否则，S闭合时不仅“短路”了灯，而且“短路”了电源，会造成电源的损坏。实现非逻辑的电路叫作非门电路，也称“反相器”。非门电路也称NOT电路，简称“非门”。

非门只有一个输入端和一个输出端。图2.39是非门的图形符号。非门的输出端加了一个小圆圈，表示该端为输出并表示“非”的运算。

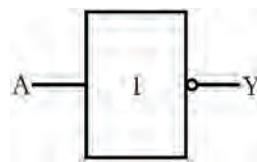


图 2.39 非门的图形符号

非门的逻辑表达式采用在变量的上面加一横线表示“非”运算：

$$Y = \overline{A}$$

读作Y等于非A，或Y等于A反。



#### 实践与体验

试完成非门电路的波形图（图2.40）和真值表（表2.10）。

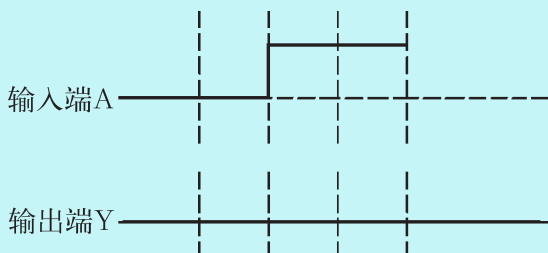


图 2.40 非门电路波形图

表 2.10 非门电路真值表

输入	输出
1	
0	

## 二、基本门电路的复合——与非门和或非门

### 1. 与非门

与非门可以看作与门后面再加上一个非门。图形符号是在与门的输出端加一个表示“非”逻辑的小圆圈，如图2.41所示。



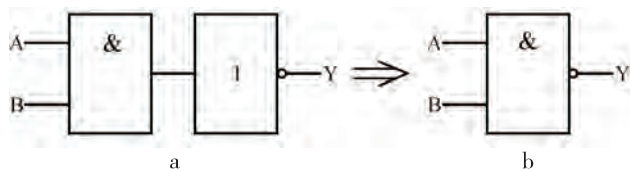


图 2.41 与非门组成和图形符号

同样道理，与非门的逻辑关系也是在与门的逻辑表达式上加上表示“非”的上横杠：

$$Y = \overline{A \cdot B}$$

相应的与非门英文简称NAND（NOT AND）。



### 实践与体验

1. 完成两个输入端与非门的波形图（图2.42）和真值表（表2.11）。
2. 比较与门和与非门的真值表和波形图的规律。

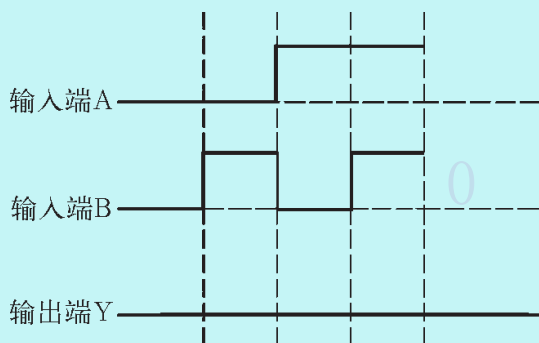


图 2.42 两个输入端与非门的电路波形图

表 2.11 与非门电路真值表

输入		输出
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

3. 画出或写出三个输入端与非门电路的图形符号、逻辑表达式、真值表和波形图。

## 2. 或非门

或非门可以看作一个或门后面加上一个非门组合而成（图2.43）。从与非门的图形符号，我们不难推出或非门的图形符号。或非门也可称为NOR门。或非门的逻辑关系式为：

$$Y = \overline{A + B}$$

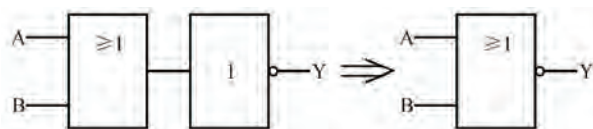


图 2.43 两个输入端或非门的组成和图形符号



### 实践与体验

1. 试完成两个输入端或非门电路的波形图（图2.44）和真值表（表2.12）。
2. 比较或门和或非门电路的波形图和真值表的规律。

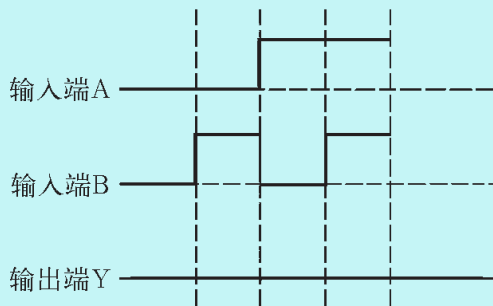


图 2.44 或非门电路波形图

表 2.12 或非门电路真值表

输入		输出
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



### 活动延伸

1. 我们已经学了五种门电路，自己动手把五种门电路的英文名称、图形符号、逻辑表达式、助记口诀汇总到表2.13中。除非门外，其余门均为二输入端门。助记口诀见表下举例（可以根据自己认为最好记的方式总结）。

表 2.13 五种门电路汇总

名称		图形符号	逻辑表达式	助记口诀
中文	英文			
与门				
或门				
非门				
与非门				
或非门				

例如“与门”——“有0出0，全1出1”；“或门”——“有1出1，全0出0”。

2. 从网上寻找并下载电路仿真软件（如数字电路仿真系统2006SE、Multisim10）等，做以上学过的五种门电路试验，除NOR门外，其余门电路选三个输入端，体验仿真软件的便利和功能。

## 第四节 数字集成电路及其应用



### 学习目标

1. 了解集成电路的概念。
2. 了解 TTL 和 CMOS 型集成电路的主要特点。
3. 尝试用集成电路组成实用电路。

### 一、认识集成电路

#### 1. 什么是集成电路

运用一系列精密复杂的技术将一个电路中所需的二极管、三极管及电阻器等元件和相应连接线制作在半导体晶片或介质基片上（通常使用最多的是硅片），构成具有一定功能的电子电路微型模块，叫作“集成电路”（integrated circuit, IC），也就是现代人所熟知的“芯片”。集成电路是信息时代的基石，所有的信息化、数字化和智能化产品都离不开它。

实际应用中需要给做好电路的硅片穿上衣服——加上保护外壳并接好引线，这项工作被称为电子封装。封装以后的集成电路就是我们在电子产品中看到的形形色色的被称为芯片的电子器件（图2.45）。



图 2.45 各种封装的集成电路

现在“IC”已经成为几乎尽人皆知的科技术语。集成电路是应电子器件的小型化和高可靠性的要求而出现的。如今，从玩具到家用电器，从手机、计算机到汽车、飞机、航天器，从无人机、机器人到导弹、航母，所有电子系统都离不开集成电路。



## 探究与交流

围绕“芯片”发展史及其在信息化时代的重大作用，组织一次小型讨论会，内容包括但不限于：

1. 芯片的发明给我们的启示。
2. 有关摩尔定律。
3. 芯片制造简述。
4. 有关“中国芯”与“中国制造2025”及“中国梦”。

## 2. 集成电路的种类

集成电路按照集成度、功能和结构可以分成很多类型。

(1) 按集成度分类。我们经常听到的大规模、超大规模集成电路的说法是按集成度——一片硅片上所集成的电路元件数目分类的（表2.14）。

表 2.14 集成度分类

IC规模	小规模IC	中规模IC	大规模IC	超大规模IC
硅片上元件数	$< 10^2$	$10^2 \sim 10^3$	$10^3 \sim 10^5$	$> 10^5$

实际上，现在集成电路发展的速度用早期的“集成度”已不能确切表达。一片硅片上集成的元件数已经超过10亿（ $10^9$ ）个，而且还在不断增加。

(2) 按功能分类。即从功能上分类可分为模拟集成电路和数字集成电路两类。

1) 模拟集成电路。处理模拟信号的集成电路，也称为“线性集成电路”。按用途，模拟集成电路可分为运算放大器、比较器、换流器、电源用集成电路、定时器用集成电路等。

2) 数字集成电路。即处理数字信号的集成电路。按用途，数字集成电路可分为逻辑集成电路、存储器集成电路、微处理器等。数字集成电路的用途广泛，可用于计算机、办公自动化设备、视听设备、家电产品、通信设备等。

## 二、集成门电路

集成门电路是数字逻辑集成电路中的基础电路，我们已经学习过的几种门电路，都有相应的集成电路。

### 1. 集成门电路外形封装

实际集成门电路都是将多个门电路封装在一个外壳内，用引脚将输入、输出端和电源端引出来（图2.46）。在集成门电路中，每一个单元门电路都由很多个晶体三极管、二极管和电阻等电子元件构成。实际应用中，我们可以把一个门电路或者一个集成电路看成一个整体，而不管内部的电路结构，即把它看成一个“黑箱”。

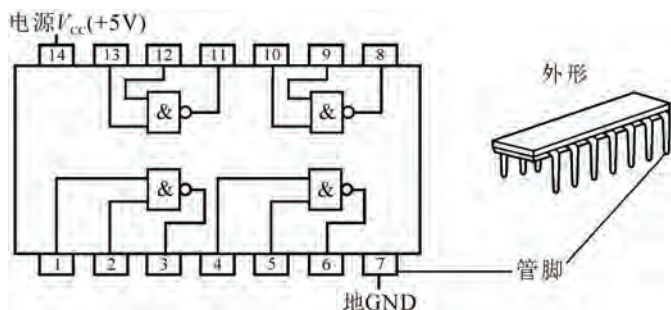


图 2.46 封装在一个外壳中的四个与非门电路（TTL 门电路芯片）

## 2. TTL和CMOS

集成门电路和其他常用数字集成电路一样，按电路结构和制造工艺的不同，可分为TTL和CMOS两种。

TTL是“晶体管—晶体管逻辑”（transistor-transistor logic）的缩写，而CMOS是互补金属氧化物半导体（complementary metal oxide semiconductor）的缩写。这是应用两种不同的电路结构、采用不同的制造工艺，因而具有不同电路性能的两类集成电路。

TTL的特点是使用5 V电源，工作速度比较快，环境适用性强，但本身能耗比较大。

CMOS可以使用3~18 V的电源，工作速度比TTL慢（不过后来也有高速CMOS电路，完全可以和TTL相比），最大优点是本身能耗小，缺点是有点“娇气”，使用中如果不小心会因为静电而烧坏集成电路（表2.15）。

表 2.15 TTL 和 CMOS 的比较

电路	电源	工作速度	消耗功率	抗静电性能
TTL	5 V	快	大	好
CMOS	3~18 V	慢（普通CMOS）	小	差

常用的TTL数字电路是74LS系列，如74LS00、74LS32等。其中，74是这一类集成电路的编号，LS表示低耗能。后面数字是不同功能电路的编号。例如74LS00是4个二输入端与非门，74LS32是4个二输入端或门，等等。

常用的CMOS数字电路是4XXX系列，如4069是6个非门，4001是4个二输入端或非门，等等。这些资料都可以从有关技术资料或厂商提供的说明书中查到（图2.47）。

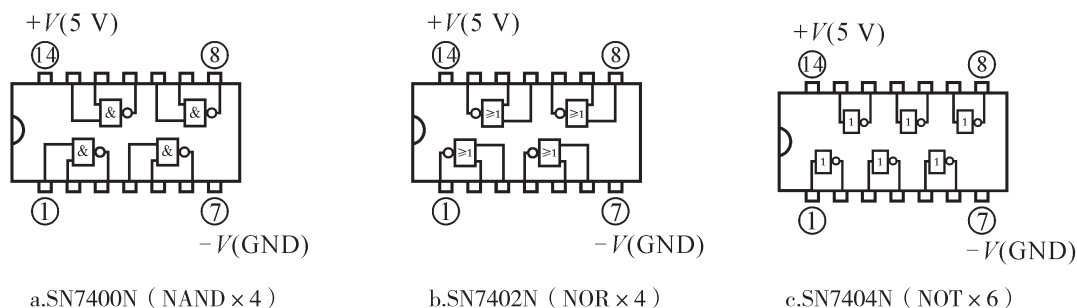


图 2.47 几种数字集成电路





阅读材料

### 集成电路发展的瓶颈及新曙光

集成电路高速发展半个多世纪后，面临如下发展瓶颈：

- (1) 随着电路工作速度的提高，热损耗越来越大。
- (2) 传统工艺的物理极限。
- (3) 线圈和大容量电容器难以集成在硅片中。

2013年，中国科学家首次实现了“量子反常霍尔效应”，为集成电路提速降温带来新曙光，开启了下一次信息革命的大门（图2.48）。

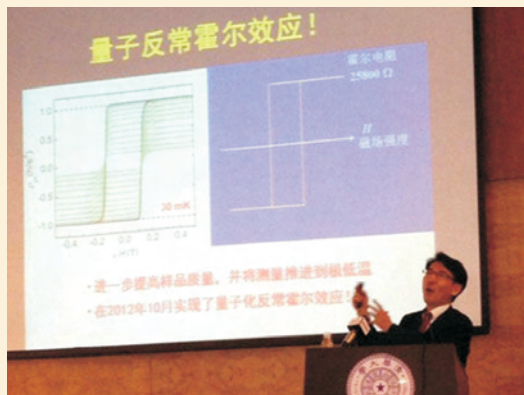


图 2.48 中国科学家发布“量子反常霍尔效应”科学成果

## 三、数字电路应用设计

### 1. 与非门组成自激振荡器

产生方波的自激振荡器，也称多谐振荡器。用2个与非门（或非门）很容易组成自激振荡器。自激振荡器是一种不需要启动，通电以后即可工作的电路。如果振荡频率在音频范围内，振荡波输出可以使压电陶瓷片B发出声音（图2.49）。

- (1) 图中 $D_1$ 、 $D_2$ 用的是TTL电路，也可用CMOS电路。
- (2) 自激电路的振荡频率取决于 $R$ 、 $C$ 的值， $F \approx 1/2.3RC$ ，其中 $R = (R_1 + R_p)$ 。
- (3) 在实验箱上插接所选择的电路，调节电位器 $R_p$ 让压电陶瓷片B发声。
- (4) 调节电位器 $R_p$ ，让压电陶瓷片B发出声音的频率变化。

### 2. 模拟虫叫电路

我们把两个不同频率的振荡器连接起来，让其中频率低的振荡器控制频率高的振荡器，可以产生断续的声音，模拟昆虫的叫声。

- (1) 参考图2.50的电路图，设计模拟虫叫电路。
- (2) 在虚拟电子实验室检验设计。
- (3) 在电子实验箱上接线，听声音并进行调试，达到预期效果。
- (4) 分析产生断续声的原理。

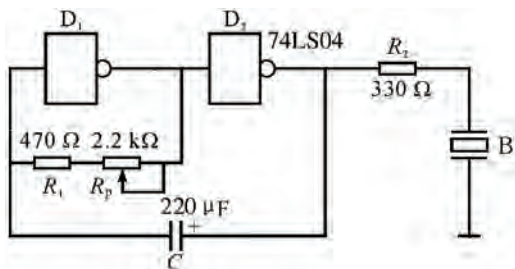


图 2.49 自激振荡器电路

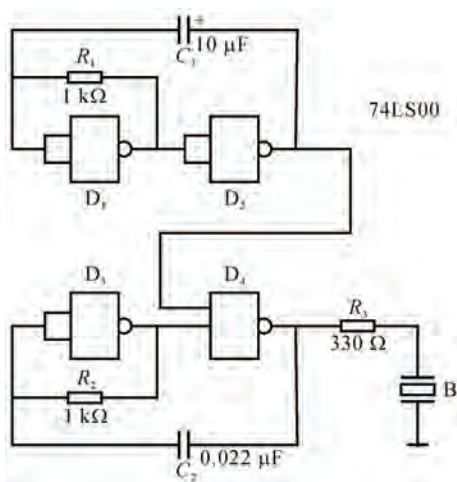


图 2.50 模拟虫叫电路



### 活动延伸

1. 以2~3人为一组，按图2.50自制模拟虫鸣器，并调出最逼真的虫鸣声。
2. 根据模拟虫叫电路的原理，设计一个变调电子门铃电路，并通过试验验证设计的正确性。

## 单元小结

模拟方式和数字方式是人类认识世界的两种基本方式，模拟信号和数字信号各有千秋，相应的电路有模拟电路和数字电路，它们的采集、转换和处理，是连接真实世界和机器世界的桥梁。

传统的二极管、三极管和电路还“宝刀不老”，二极管单向导电和三极管放大开关还有用武之地；二进制、门电路依然是数字逻辑的“鼻祖”，与门、或门和非门是三种基本门电路，与非门和或非门是基本复合门电路，可以通过逻辑表达式、真值表和波形图来描述。

门电路在实际应用中以数字集成电路的形式出现，主要有TTL和CMOS两种。同学们运用数字集成电路可以组成各种实用电路，通过实验和实际电子制作能够更好地学习电子控制技术。

## 学习评价

评价内容		评价方式			
		自我评价	小组评价	教师评价	
过程评价	师生互动	听课状态			
		回答问题			
		有关信号、芯片的讨论			
	实践活动	两种基本信号传输对比与分析			
		二极管与三极管应用实验			
		基本门电路实践与体验			
仿真软件使用体验					
结果评价	目标实现	知识学习			
		实践考核	插接导线加工		
			5种门电路归纳总结		
			数字集成电路应用实践		
	收获反思	收获感悟			
检查不足					

# 第三章 电子控制的信息采集与执行——传感器与继电器

## 导 言

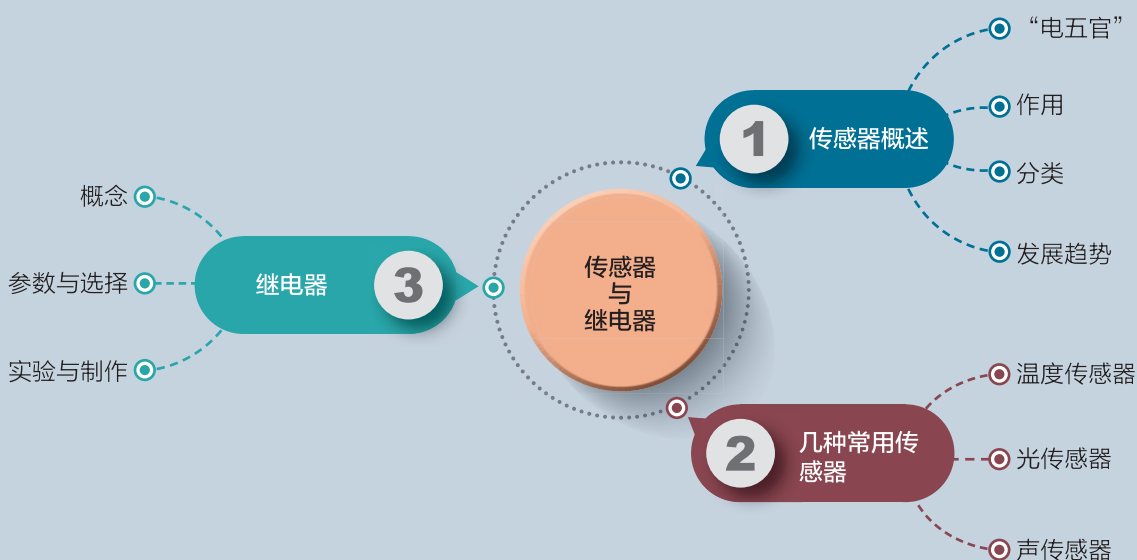
在我们的日常生活中，使用着各种各样的传感器。例如，电冰箱中的温度传感器，空调器中的温度和湿度传感器，照相机中的光传感器，电视机上的红外传感器，扩音、录音系统的声传感器，汽车中的速度传感器，等等。在工矿企业、科研院所、环保医疗、航空航天等领域，传感器几乎无处不在，所起的作用更大、更重要。

传感技术所涉及的学科领域几乎覆盖了整个自然科学。传感器的工作原理千差万别，种类五花八门，具体应用不胜枚举。

继电器虽然不像传感器应用那么广泛，但在电子控制技术大家庭中也是不可或缺的一个成员，在自动化数字控制和智能控制领域更具有不可替代的作用。

本章将通过对最常用、最容易理解的温度传感器、光传感器、声传感器等的介绍，以及对直流电磁继电器的介绍，让同学们对传感器大家族和继电器有一个初步的认识，了解它们在电子控制技术中的作用，并学会识别和简单的应用。

## 思维导图



## 第一节 传感器概述



### 学习目标

1. 理解传感器的含义及其在电子控制中的作用。
2. 了解常用传感器的种类。
3. 了解传感器的发展趋势。



### 探究与交流

很多公共场所都安装了自动门，当人走近时门会自动打开，人进门后门会自动关闭；不少公共卫生间的水龙头能自动开、关水，既方便又节水；在大型仓库和宾馆等场所都有火灾自动报警装置，这些场所一旦出现火灾，报警装置就会自动报警，发出声、光等信号（图3.1）。



图 3.1 自动门、自动水龙头及烟雾报警器探头

讨论：

1. 自动门是通过什么“感知”来人的？自动水龙头为什么会自动出水？火灾报警装置是通过什么“看到”火情的？
2. 你能否再举出几个具有“感知”功能的自控装置的例子并分析其“动作”原因？

## 一、电五官

我们认识周围世界，离不开眼、耳、鼻、舌、身（皮肤）这五官。“看到升旗仪式了”“听到雷声了”“闻到糊味儿了”“这个橘子太酸了”“这个房间太热了”等，都是人体的感知器官采集的信息传递给大脑经过处理后做出的反应。这些信息有的将变成记忆（存储），有的需要立即做出反应。例如，手碰到热水壶，感到烫（信息采集）就会急忙将手缩回（信息处理和输出）。如果人体对温度失去感觉，后果将不堪设想。五官对人体的重要性不言而喻。



图 3.2 “电五官”的作用

人类在生产实践和科学实验中，发明和制造了能替代大脑部分功能的计算机，并称之为“电脑”。同样，人们也在寻找替代人类五官的装置，并发明和制造了能够给电脑提供信息的各种各样的“电五官”（图3.2），它们的正式称呼为传感器。

其实，传感器的英文名称sensor就是源于sense，即“人的感受”“（五官的）感觉”。在某些方面，传感器不但能够实现人的五官功能，而且比人的五官更为精确、范围更宽阔，同时还有更强大的超越人的感觉的功能，如感知磁场、感知核辐射、感知红外线等功能。

在有些领域和行业也把传感器称为变换器、转换器、变送器、检测器、敏感元件等，不过现在只有“传感器”是符合国家标准并被多数人接受的技术名称。

## 二、传感器的作用

现代科学技术的重要特点之一，是电子信息技术已成为主要的技术手段和发展趋势。作为获取外界信息的“电五官”——传感器，必须将感受到的信息变成电信号，才能被电子系统（包括计算机）接收和处理，从而实现对信息的传输、加工、存储和处理功能。感受外界信息并转换成电信号是传感器的基本作用（图3.3）。



图 3.3 传感器的作用



### 三、传感器的种类

传感器作为人类从自然界获取信息的主要工具，种类繁多。最简单而又直观的一种分类方式是模仿人的五官功能进行分类，如表3.1所示。

表 3.1 传感器的分类

人的感觉	人的感官	感觉对象	传感器例子	物理现象
视觉	眼	光	光敏电阻、光电池、光敏半导体	光导效应、光电效应
听觉	耳	声波	电磁传声器、电容传声器	电磁反应、电容量变化
触觉	皮肤	力	应变片、压力传感器	压阻效应、压电效应
		温度	热敏电阻、热电偶、热电阻	材料热效应
嗅觉	鼻	气味	半导体气敏元件	吸附效应
味觉	舌	物质味道	离子电极、酶传感器	电化学反应

在实际应用中，传感器一般是按被检测、控制的自然量来分类的。图3.4列出了很多门类的传感器，但还不能包括所有领域的传感器，更不能包括不断涌现的新型传感器。科学技术的发展未有穷尽，我们的认识必须与时俱进。

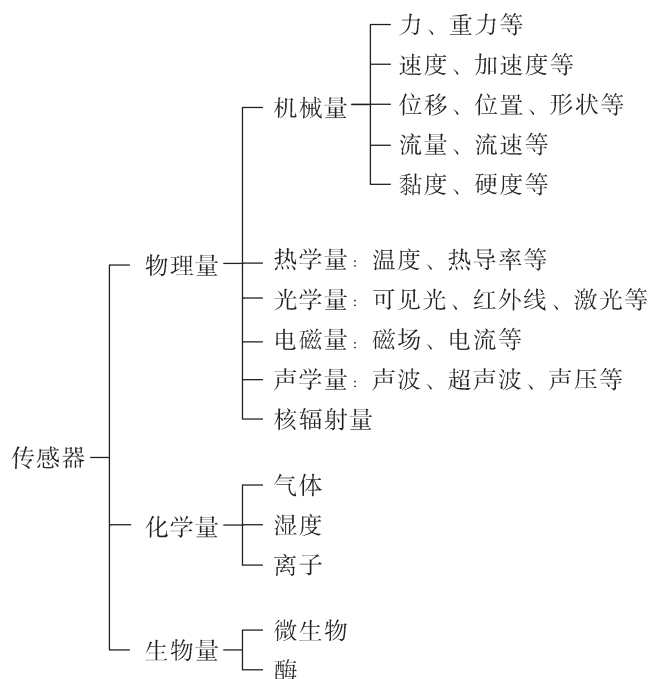


图 3.4 按传感器的应用进行分类



## 阅读材料

### 物联网

物联网通过传感器、计算机和网络等技术对物理世界进行感知和标识，感知的信息依靠网络进行传输和互联，将信息存储和处理后，实现各种具体的应用，其目标是使我们的环境变为智能化世界（图3.5）。简单地说，物联网就是“万物互联，智慧应用”，如智能家居就是物联网在家庭生活中的应用，车联网则是物联网在交通出行领域的应用。物联网被正式列为我国五大新兴战略性产业之一，受到了全社会的持续关注，开始了日新月异的持续发展。



图 3.5 万物互联的物联网及其应用

## 四、传感器的发展趋势

未来传感器的发展趋势可以用“五化一新”来概括，“五化”是指已有传感器的功效智能化、架构集成化、形态微型化、传输无线化和应用网络化，它们相互融合渗透，核心是智能化；“一新”是指不断涌现的新型传感器。

### 1. 传感器的智能化

现代电子技术的发展使传感器向智能化方向发展，使之不仅限于对信息的感知和转换，而是将信息感知、转换和智能处理功能集成在一起，使传感器具有自动选择、自动校正和自动补偿等自适应能力，成为多功能、高性能和高可靠性的智能传感器。智能传感器能完成普通传感器难以胜任的工作，是未来传感器技术发展的主流。

智能化传感器的本质是一种以微处理器为核心的计算机检测系统，是传感器、调理电路、接口电路和微处理器的集成与优化。

智能传感器实例——传感器的综合。把不同原理的传感器组合起来，可以获得单一传感器所不能得到的信息量，完成单一传感器无法实现的功能。例如，要评价苹果的品质，对色、香、味、手感进行综合检测，就需要视觉、嗅觉、味觉和触觉多种传感器对苹果进行综合检测，再将这几种传感器输出的信号统一进行综合分析，得出客观的评价标准。单一的传感器很难做到这一点，普通传感器组合也无能为力，只有智能化传感器才具有这种能力（图3.6）。

### 2. 传感器的无线化和网络化

传感器的无线化和网络化的标志性产品是无线网络传感器，它也是一种含有无线网络通信模块的智能化传感器。

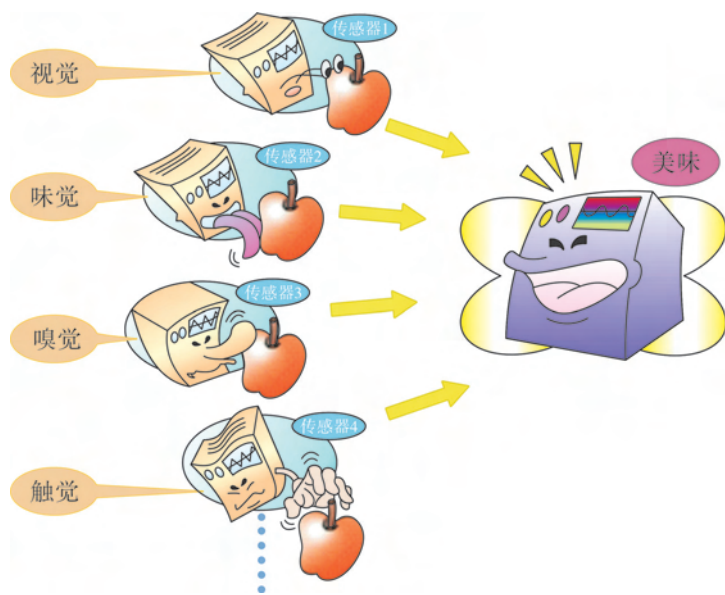


图 3.6 传感器的综合

这种传感器一般集成一个低功耗的微控制器（MCU）及若干存储器、无线电/光通信装置、传感器等组件，通过传感器、动臂机构及通信装置和它们所处的外界物理环境交互。一般说来，单个传感器的功能是非常有限的，但是当它们被大量地分布到物理环境中，并组成一个传感器网络（图3.7），再配置以性能良好的系统软件平台，就可以完成强大的实时跟踪、环境监测、状态监测等功能，是物联网时代的核心技术之一。

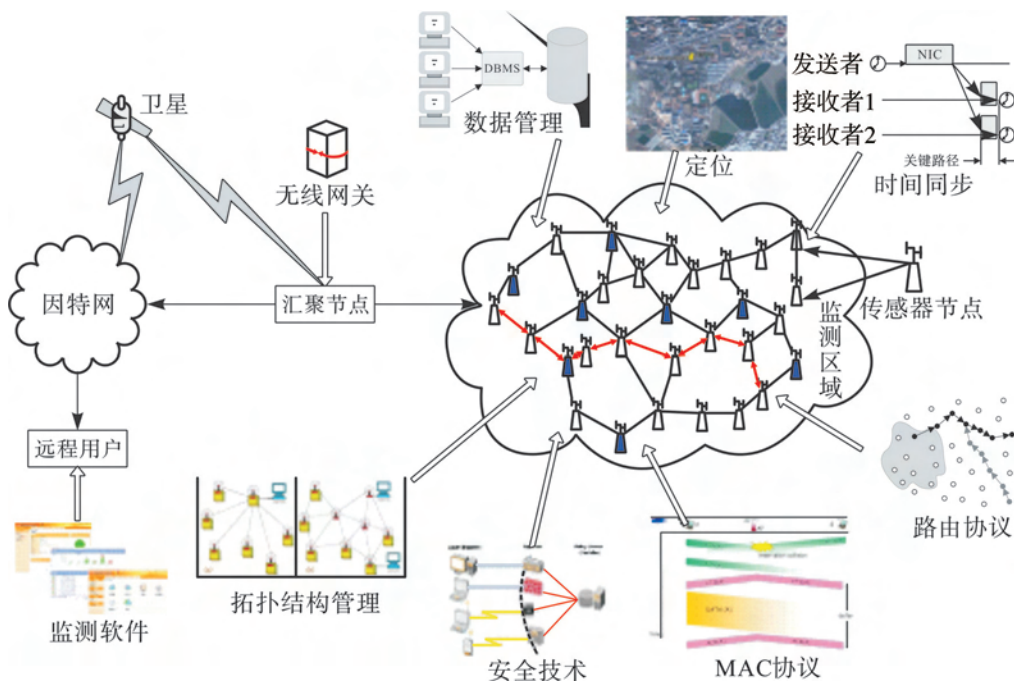


图 3.7 用无线网络传感器构成无线传感器网

### 3. 传感器的集成化与微型化

随着微电子技术、微型计算机技术和网络通信技术的发展，传感器也步入了集成化与微型化发展时代。

采用集成电路与微机电制造技术，可将传感器及相关的多种机、光、电结构和单元电路集成在一块芯片上或一个封装内，包括检测元件、信号的调制、解调电路、信号放大和转换电路、线性化处理、输入和输出电路、通信功能等模块，从而极大地缩小了传感器的体积，形成功能强大、性能优异、使用方便的集成化、微型化传感器。

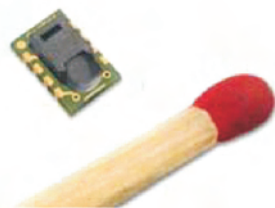


图 3.8 一种多功能环境监测智能传感器

图3.8所示是一种多功能环境监测智能传感器，能同时测量相对湿度、温度和露点等参数，具有高精度、自校准能力，其质量只有0.1 g，体积与一个大火柴头相近。

#### 4. 层出不穷的新型传感器

传感器发展除上述“五化”趋势外，随着现代科技的飞速发展需求，传感器基础研究不断深入，新现象、新原理、新材料推动着新一代智能传感器层出不穷，如仿人仿生传感器、生物传感器、超导传感器、虚拟传感器、纳米传感器及微型陀螺仪等相继加入传感器大家庭，为我们认识世界和创造美好未来提供越来越先进的工具和技术手段。

新型传感器实例——生物传感器（biosensor），是由固定化的生物敏感材料（如酶、微生物、细胞、核酸等生物活性物质）做识别元件，加上适当的理化换能器件（如光敏管、场效应管、压电晶体等）及信号放大装置构成的分析工具或系统。生物传感器能够将生物信息转换为电信号（数字信号），是一种物质分子水平的高效、快速的微量检测与分析方法，在生物技术、医疗、工业控制、食品和药物分析，以及环境保护等研究中有着广泛的应用前景。图3.9所示是一种集成化的生物传感器系统。

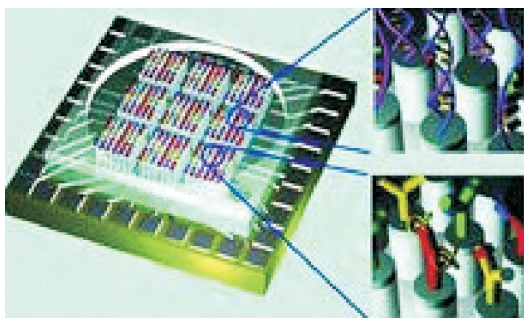


图 3.9 一种集成化的生物传感器系统



#### 小贴士

#### 传感器与人工智能技术链

传感器与大数据、机器学习、人工智能和机器人等前沿关键技术是相互联系在一起的，形成一个大趋势技术链（图3.10）。在这个链条里，各种连接的设备里的传感器会产生大量数据。海量数据支持机器学习，机器学习的结果就是人工智能，而人工智能又指导机器人去更精确地执行任务，机器人的行动又会触发传感器，从而形成一个完整的循环。



图 3.10 传感器与人工智能技术链



### 探究与交流

1. 把自己家中应用传感器的电器都找出来，写出传感器的名称和作用，通过小组讨论或班级演讲等形式进行交流评比。
2. 畅想未来新型传感器的形态和应用，每个小组至少提出一种，进行相互交流探讨。



### 活动延伸

1. 通过查阅资料或请教专业人士，了解现在的手机中使用了哪些传感器？这些传感器的工作原理和作用是什么？
2. 设想手机还可以通过配备传感器从而增加哪些功能？讨论实现的可行性和具体方案。
3. 通过小组讨论进行交流。

## 第二节 几种常用传感器



### 学习目标

1. 掌握温度传感器的识别和检测方法。
2. 掌握光传感器的识别和检测方法。
3. 掌握声传感器的识别和检测方法。

### 一、温度传感器

凡是需要测量温度或者对温度进行控制的地方，都要使用温度传感器，如家庭型电冰箱、空调器、热水器等。温度传感器是应用最广泛、使用数量最多的一种传感器。

温度传感器是怎样“感觉”温度并把温度转换成电信号的呢？让我们先做一个简单的实验。





实践与体验

请同学们分组，将准备的实验材料（普通电阻、热敏电阻和蜡烛）及测试工具（万用表），按图3.11所示分别进行测量并记录下测量结果（表3.2）。

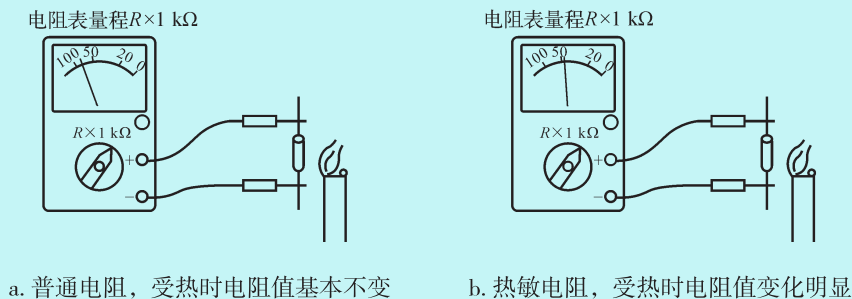


图 3.11 测量两种电阻的电阻值

表 3.2 测量结果

电阻名称	远离蜡烛时的电阻值/ $\Omega$	靠近蜡烛时的电阻值/ $\Omega$
普通电阻		
热敏电阻		

(一) 热敏电阻

1. 电阻值随温度变化

电阻是使用最广泛的一种电子元件。普通电阻的阻值随温度变化很小，如在室温下我们用手触摸普通电阻，几乎看不到阻值的变化。有一类特殊电阻的阻值随温度变化改变很明显。我们通过万用表很容易观察到这两类电阻在温度变化时电阻值改变的现象。这种电阻值随温度明显变化的电阻称为热敏电阻。

利用热敏电阻的电阻值随温度明显变化的特性，可以制成检测温度的热传感器。

2. 热敏电阻的图形符号及外形

图3.12a所示是热敏电阻常见的几种外形，图3.12b所示是热敏电阻的几种图形符号。

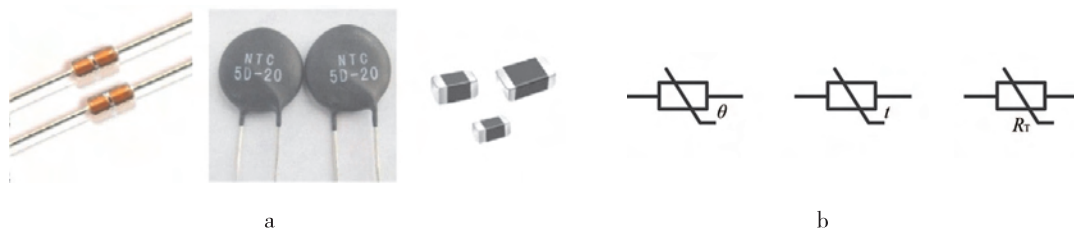


图 3.12 热敏电阻常见的几种外形与图形符号

### 3. 热敏电阻阻值变化转换成电信号

电阻值变化转换为电信号是很容易的。实际上我们用万用表测量热敏电阻时就是把电阻值转换成了电流。同样，如果使通过热敏电阻上的电流保持恒定，热敏电阻上电阻值的变化很容易转变成电阻两端电压的变化。



#### 做中学

#### 热敏电阻的简单识别及测量

有的热敏电阻外形和其他某些电子元件很相似。例如图3.13中形状和大小都几乎一样的两组元件，图3.13a是二极管和圆柱形热敏电阻，图3.13b是电容器和圆片形热敏电阻。



a. 圆柱型



b. 圆片形

图 3.13 两种常用热敏电阻外形

怎样简单判断哪个是热敏电阻呢？

我们利用热敏电阻阻值随温度变化较大的特点很容易进行判别。用万用表的电阻挡测量元件的阻值，然后升高或降低它的温度再进行测量，比较测量结果即可做出判断。

当环境温度比体温低，例如25℃以下时用手接触它（图3.14），观察电阻阻值，如果阻值变化显著，就可判定它是热敏电阻。

实际使用的热敏电阻是以25℃时的阻值为标称电阻值的，而且有一定的误差，例如5%。一个标称10 kΩ的热敏电阻，在25℃条件下测量，阻值为9.5~10.5 kΩ时都是合格品。

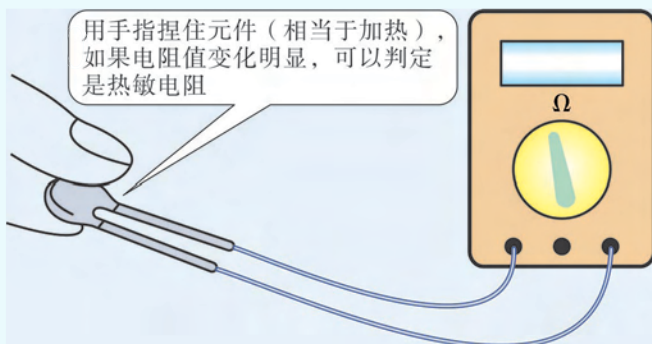


图 3.14 热敏电阻的识别

## （二）其他温度敏感元件

### 1. 热电阻

有一部分金属的电阻值随温度变化比较明显，而且在一定温度范围内温度变化与电阻值变化基本呈线性关系，这些金属便可以作为制作温度传感器的材料，一般称为热电阻。例如，用铂金属线做成的热电阻可以作为温度测量用的传感器。

## 2. 热电偶

热电偶是工业中应用非常广泛的一种温度传感器。它是利用金属的一种热电效应制成的。热电效应是指在两种金属构成的回路中，若两个接点处温度不同，则会在回路中产生电动势。图3.15a所示是实际工业用热电偶的结构，图3.15b是实际工业用热电偶的外形。

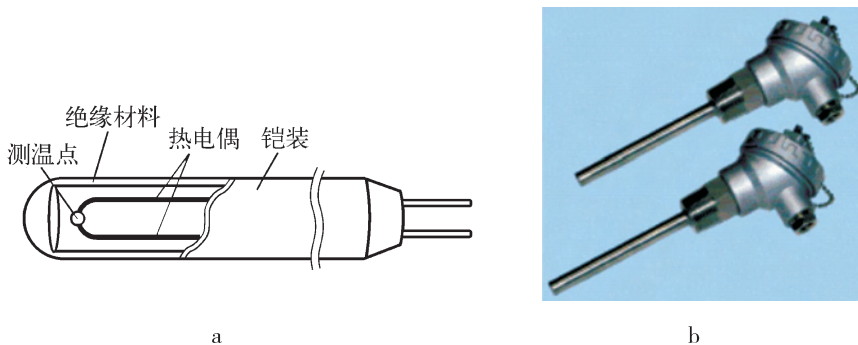


图 3.15 实际工业用热电偶的结构和外形

## 3. 集成温度传感器

LM35是一种把测温传感器与放大电路做在一个硅片上的集成温度传感器，其输出电压与摄氏温标呈线性关系，0℃时输出为0，每升高1℃，输出电压增加10 mV。

在常温下，LM35 不需要额外的校准处理即可达到 ±0.25℃的准确率，具有工作稳定可靠，体积小、灵敏度高、响应时间短、抗干扰能力强等特点。

图3.16a所示是LM35常用的与三极管相同的塑料封装外形，图3.16b是引脚图，在引脚1和3加上4~30 V工作电压，引脚2即可输出反映温度的电压值，因而如图3.16c所示是将数字式万用表直接接入，便可成为最简单的温度测试装置。

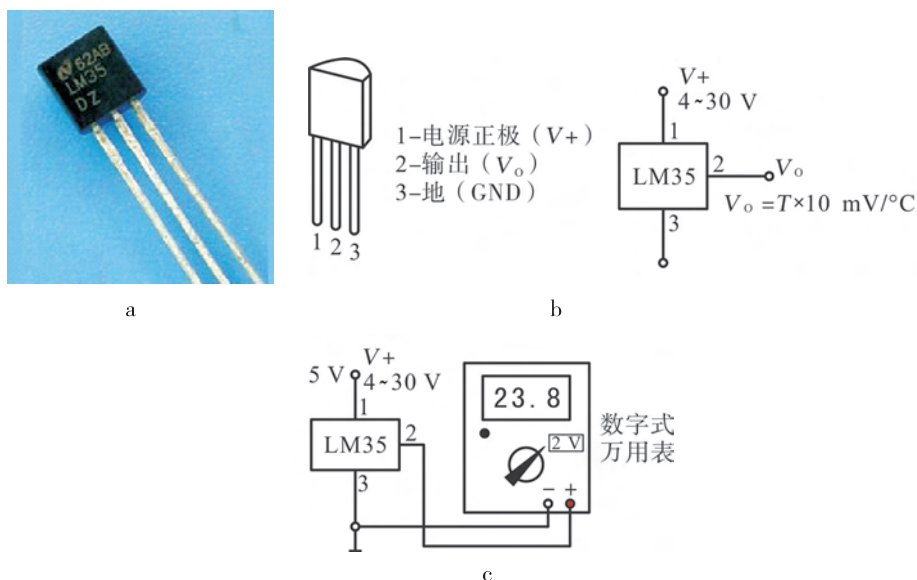


图 3.16 LM35 的封装、引脚及检测

实际应用中，LM35还有其他封装形式，并且这种模拟集成温度传感器还有其他多种品牌和型号。还有集成度更高、功能更强、性能更好的集成温度控制器及智能温度传感器可以选择，需要根据产品和应用需求合理选用。

## 二、光传感器



### 探究与交流

“千里眼”和“顺风耳”这些载于神话小说中的人类梦想现在早已实现。我们在自己家里看大洋彼岸的现场体育比赛，同天涯海角的朋友随时用手机交谈，都已经是极平常的事情了。

讨论：

1. 这些功能是怎样实现的？
2. 试提出具有“千里眼”和“顺风耳”功能的装置的设计构想，并评价其可行性。

光传感器可以将光的有无或亮度的大小等信息变为电信号。

### (一) 光敏电阻

光敏电阻是最简单的一种光传感器。它的工作原理是光导效应。

有一些材料，如硫化镉（CdS）等在受到光照时，它的导电能力会增强，这种现象称为光导效应（图3.17）。用这种光敏材料制成的电阻称为光敏电阻。一般CdS光敏电阻的阻值可以从 $1500\text{ k}\Omega$ （暗电阻）变到几千欧（亮电阻）。

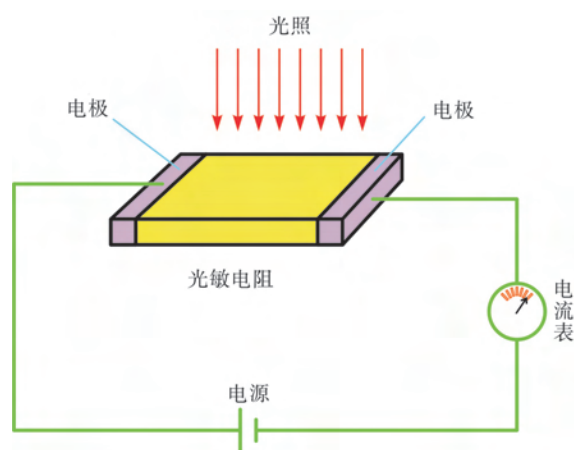


图 3.17 光导效应示意图



### 实践与体验

请同学们按照图3.18所示的电路进行试验，测量CdS光敏电阻的特性。具体步骤如下：

1. 按图3.18将CdS光敏电阻接入电路，并测量其电阻值。
2. 通过移动灯光的远近或遮挡光线，改变光线的亮度，测量光敏电阻阻值的变化。
3. 记录光敏电阻的阻值随光线亮度的改变而变化的情况，并根据测量结果绘制出光敏电阻的光敏特性曲线。

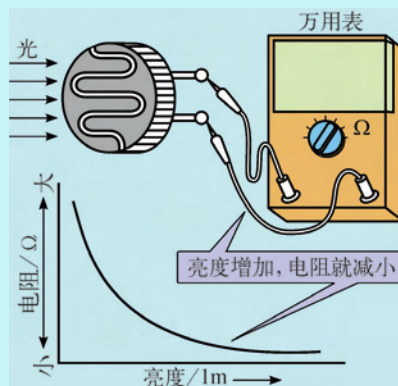


图 3.18 测定光敏电阻的特性

光敏电阻主要用在光的监测控制设备中，例如自动门、路灯、自动照明，以及生产中的安全装置、火警报警等。图3.19是常见光敏电阻的结构、图形符号和外形。

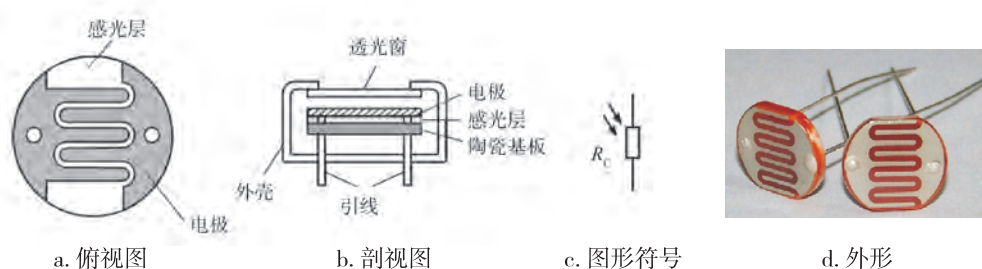


图 3.19 常见光敏电阻的结构、图形符号和外形

## (二) 其他光敏元件

除了光敏电阻，实际应用的还有半导体光敏器件、光电池、红外光敏器件等，这些光敏元件各有特色，应用领域也各不相同。

## 三、声传感器

声传感器种类很多，驻极体话筒就是电子控制中常用的一种。

### (一) 驻极体话筒

驻极体话筒是一种电容式声传感器，由声电转换元件和半导体器件两部分组成（图3.20）。声电转换元件是由带有一定电荷的驻极体振动膜和金属板极组成的电容元件。驻极体受声波作用振动时，电容量改变。根据电容公式 $C=Q/U$ ，在电荷不变时，电容改变可转换成电压的变化，实现声电转换。半导体器件的作用是使传感器输出的电信号容易和信号处理电路配合。驻极体话筒体积小、灵敏度高，广泛用于手机、录音笔、录音机及声控电路等。

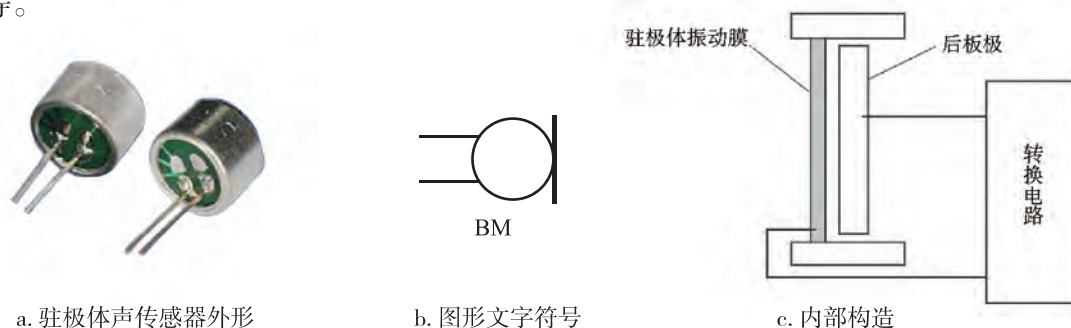


图 3.20 驻极体声传感器外形、图形文字符号和内部构造



## 做中学

### 驻极体话筒检测

以两个引出端的驻极体话筒为例，将数字万用表置于 $20\text{ k}\Omega$ 电阻挡，用红表笔接话筒的输出端引脚（即话筒内部场效应管的漏极D）、黑表笔接其接地引脚



(即与外壳相连的晶体管引脚), 此时万用表应显示出一定的电阻值(如 $1\sim 2\text{ k}\Omega$ ), 如图3.21所示。如果显示的电阻值为零, 说明驻极体话筒内部短路; 如果为无穷大, 说明话筒内部开路, 都是失效状态。

对着话筒吹气, 在吹气时万用表的显示值会产生变化, 变化越大, 话筒灵敏度就越高(实测一只驻极体话筒电阻值变化为 $3\text{ k}\Omega$ 左右)。假如显示值不变或变化很小, 说明话筒损坏或者灵敏度低下, 不能使用。

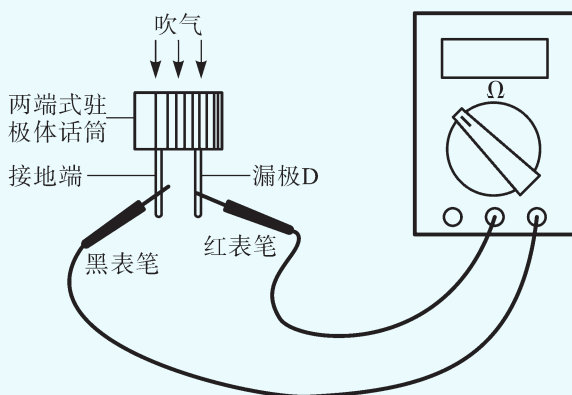


图 3.21 用数字万用表检测驻极体话筒

## (二) 其他声传感器

常用的声传感器还有用于扩音、演唱等要求高保真的电磁式声传感器(又称动圈式话筒), 用于医疗仪器和探测的超声波传感器等。

## (三) 声传感器应用实例——语音识别

随着计算机语言识别技术的发展, 把人的语音通过声传感器送入计算机, 既可以实现将语音输入直接识别为文字, 也可以通过语音操作电脑和其他机器。应用语音识别技术实现人机对话, 使人们的工作方式和生活方式发生新的变化(图3.22)。

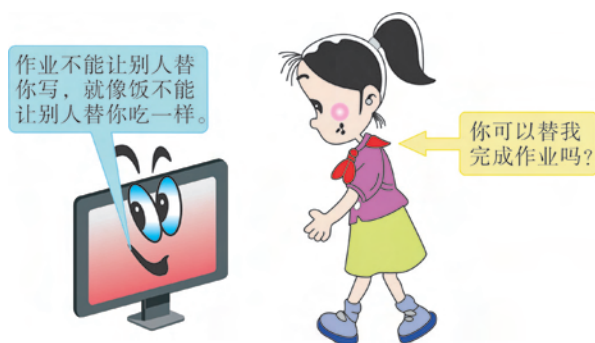


图 3.22 人机对话



### 小贴士

## 人工智能翻译机

目前我国在语音识别领域不仅技术世界领先, 而且已经研制出基于声传感器和微处理器的智能翻译机, 它集多种语言实时互译、外语口语学习、语音查询、娱乐资讯于一身, 成为划时代的高科技智能产品, 图3.23是一种人工智能翻译机。



图 3.23 人工智能翻译机



### 活动延伸

1. 公共场所经常有“长明灯”，这种灯既浪费电又需要经常换灯泡。分小组讨论出几种利用电子技术解决问题的方案，画出电子电路图，并说出方案的优缺点和可行性。

参考方案：

- (1) 定时关灯。
- (2) 根据光线亮度控制开关灯。
- (3) 根据有无人控制开关灯。

2. 了解音乐喷泉、声控玩具的工作原理。

3. 讨论“电脑中医”对患者进行诊断的技术方案，通过收集资料比较“电脑中医”的优势与不足，尝试提出改进方法。

提示：中医诊断，靠“望、闻、问、切”四种方法获取患者的信息，以中医理论为依据，凭借丰富的经验进行诊断。一个经验丰富、医术高超的中医需要几十年的积累。现在已经开发出利用传感器、大数据等技术，将名医经验量化，可为更多人带来优质医疗服务的“电脑中医”。

## 第三节 继电器



### 学习目标

1. 了解继电器的概念、作用和种类。
2. 了解直流电磁继电器的工作原理。
3. 掌握如何选用继电器。



### 探究与交流

日常生活中，如果仔细观察一些家用电器如电冰箱、空调、自动洗衣机（图 3.24）等的工作过程，你会发现，它们不时会发出“咔嗒”的声音，随之而来，这些电器也会转变成另外一种工作方式。

想一想：

1. 这些电器都在什么时间发出这些声音？
2. 发出“咔嗒”声的原因是什么？有什么作用？



图 3.24 家用电器

## 一、继电器与电磁继电器

什么是继电器？简单地讲，继电器就是一种电路的电控开关，是一种具有以小控大（小功率控制大功率）、以弱控强（弱电控制强电）功能的电路开关元件。例如，日常生活中，我们用手通过普通开关控制照明灯，但如果我们想遥控照明灯，或者让照明灯变成自动灯，就需要通过传感器和电子电路来实现开关功能，这时需要使用继电器。特别是在实际工作和生活中，有很多情况我们不能用手去直接控制电路，如高电压、大电流、远距离、跨时空，以及危险环境等。在这些情况下，只有选择合适的继电器，才能保证工作电器的正常运转。

### （一）继电器的作用

如图3.25所示，先做一个电磁继电器的实验，观察电磁继电器驱动电动机的过程，了解继电器的作用。准备直流3 V电磁继电器一个，直流5 V玩具电动机1个，3 V、5 V电源各一个，开关一只。

按照图3.25所示连接电路，接通电源，我们会看到当把开关S合上后，听到继电器内部“啪”的一声响，直流电动机M开始转动。开关断开，电动机转动停止。通过这个实验我们看到：

- （1）继电器是一种电控开关。
- （2）继电器能够以小电流、低电压控制大电流、高电压。

作为开关元件，继电器的输入电路与输出电路之间是完全隔离的，抗干扰能力很强，给人们带来方便和安全。因此它广泛应用于家用电器、工业控制等各种电子设备中。

### （二）继电器的类型

继电器应用广泛，种类很多，从不同的角度可以把继电器分为不同的种类，如图3.26所示。

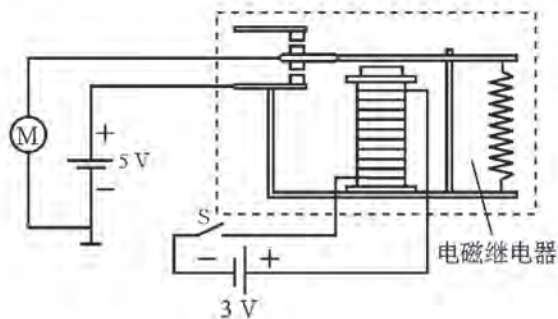


图 3.25 电磁继电器实验

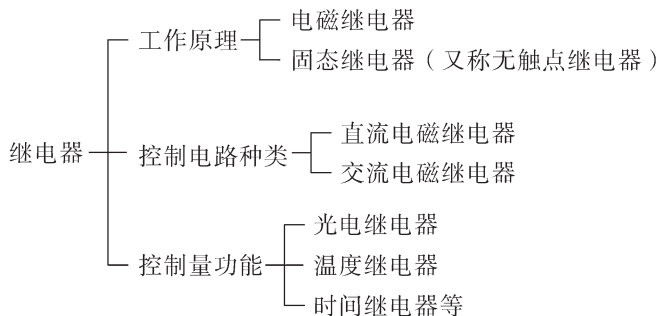


图 3.26 继电器的分类

### (三) 电磁继电器的构造、工作原理与图形符号

#### 1. 电磁继电器的构造

继电器在电子元件中属于结构原理简单明了的种类，图3.27a所示是一种透明外壳的电磁继电器，不仅结构一目了然，而且工作原理通过观察就一清二楚；通过图3.27b更加容易理解电磁继电器的构造。

如图3.27b所示，电磁继电器主要由电磁铁、衔铁、弹簧、触头四部分构成，触头又分为静触头和动触头两种。根据不同的应用场合，触头可以是一组或多组。直流电磁继电器的线圈不通电时静触头1与动触头闭合，线圈通电时静触头1与动触头断开，这种组合称为动断触点或常闭触点；而静触头2与动触头在线圈通断电时动作正好相反，因而把这种组合称为动合触点或常开触点。这种有一个动触头、两个静触头可以转换的结构组成转换触点。静触头可以是一组或多组。

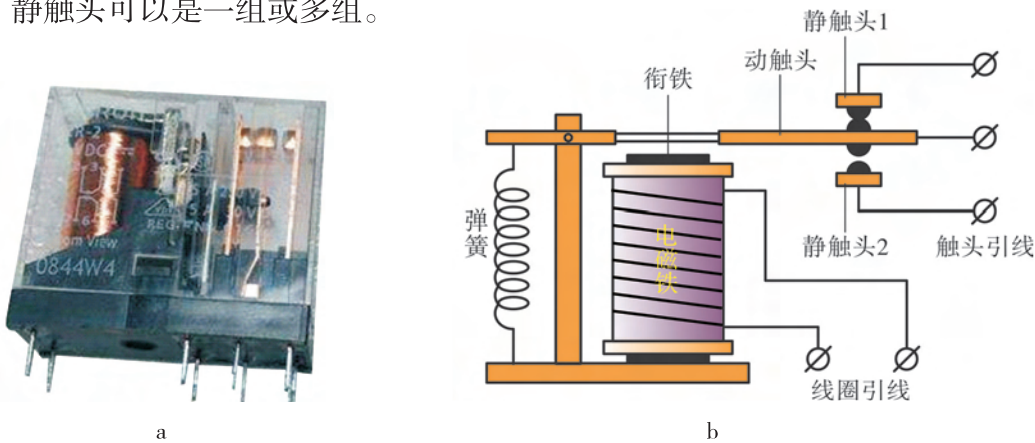


图 3.27 电磁继电器的构造

#### 2. 直流电磁继电器工作原理

图3.28所示是一种利用电磁继电器控制电动机的工作原理。当合上开关 $S_1$ ，电磁铁线圈中有控制电流通过时，铁芯被磁化产生足够大的电磁力，吸动衔铁使动触头与静触头2闭合，如果开关 $S_2$ 是闭合状态，就会接通高压电路使电动机转动；断开开关 $S_1$ ，电磁铁线圈中没有控制电流时，弹簧就把衔铁拉起，动触头与静触头2断开，切断了工作电路，电动机就停止工作。

所以，直流电磁继电器是一种根据外界输入的一定信号来控制输出电路中电流“通”与“断”的器件。这样就可以利用继电器实现以小控大、以弱控强，对各种控制系统的执行机构进行控制。

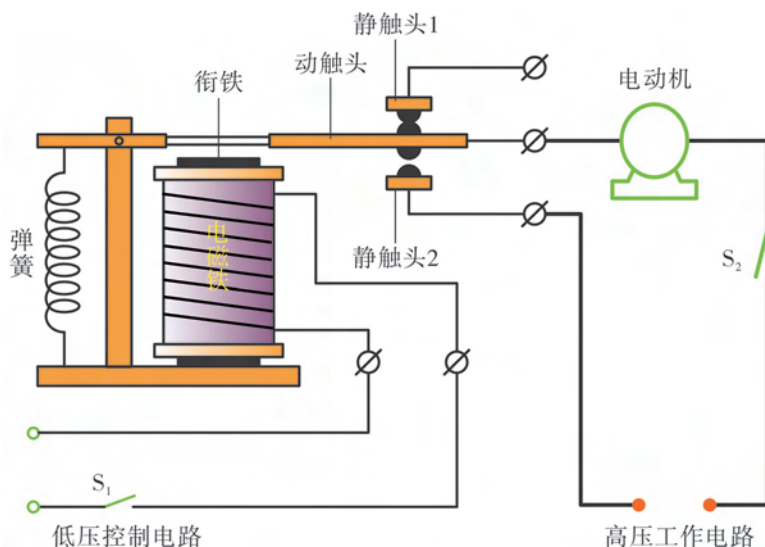


图 3.28 电磁继电器的工作原理

### 3. 电磁继电器的电路符号

电磁继电器的电路符号由线圈和触点两部分组成，如图3.29所示。按照国家标准，线圈用一个长方框符号表示（图3.29a左），同时在长方框内或长方框旁标上继电器的文字符号“K”（也有用“J”的），不过也有直接用电感线圈符号表示的（图3.29a右）。常用继电器的触点有动合和转换三种（图3.29b、c、d），通常在电路图中线圈和触点是不画在一起的，而是按照电路连接的需要，把线圈与各个触点分别画到不同的电路部分中，通过标注文字符号（如K、KA/KB...）实现关联。

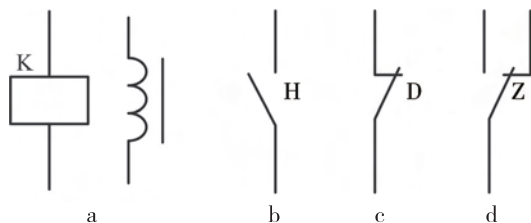


图 3.29 电磁继电器的电路符号



#### 阅读材料

#### 电磁继电器触点的基本形式

电磁继电器的触点有以下三种基本形式：

1. 动合触点（H型）：线圈不通电时两触点是断开的，通电后，两触点就闭合，也称“常开”。用“合”字的拼音字头“H”表示，见图3.29b。
2. 动断触点（D型）：线圈不通电时两触点是闭合的，通电后两触点就断开，也称“常闭”。用“断”字的拼音字头“D”表示，见图3.29c。
3. 转换触点（Z型）：这种触点组共有三个触点，即中间是动触点，两边两个是静触点。线圈不通电时，动触点和其中一个静触点断开和另一个闭合。线圈通电后，动触点就移动，使原来断开的呈闭合状态，原来闭合的呈断开状态，达到转换的目的。这样的触点组称为转换触点。用“转”字的拼音字头“Z”表示，见图3.29d。



## 二、电磁继电器的主要技术参数与选择

电磁继电器的技术参数主要有输入和输出两部分。

### （一）输入参数

（1）工作电压。工作电压是指继电器正常工作时线圈所需要的电压，可以是交流电压，也可以是直流电压。继电器线圈工作电压选择是依据控制电路的工作电压，现在大部分使用微控制器电路的工作电压是直流5 V，因而这种5 V继电器应用比较普遍。

（2）线圈功率。为了使电磁铁有足够的“吸力”，使衔铁动作，就要供给线圈足够的功率，继电器驱动能力越强，要求线圈功率越大。在直流电路中电功率是电压和电流的乘积，一定的电功率可以有不同电压、电流的组合。例如，一种线圈功率为0.36W的电磁继电器，就有多种电压、电流组合（表3.3），并且线圈的直流电阻、电压和电流关系符合欧姆定律。

表 3.3 一种直流电磁继电器线圈规格表（部分）

功耗 / W	电压 / VDC	电流 / mA	电阻 / $(1 \pm 10\%) \Omega$
0.36 (L)	05	71.4	70
	06	60	100
	09	40	225
	12	30	400
	18	20	900
	24	15	1600

（3）继电器的吸合电压与释放电压。为了保证可靠工作，线圈工作电压是大于吸合电压的。通常吸合电压小于额定工作电压的75%。继电器吸合后，由于电磁特性的变化，保持吸合状态需要的电流远小于吸合电流，因而继电器由吸合状态变成释放状态时的电压比较低，为最小工作电压的10%。

### （二）输出参数

（1）触点切换电压和电流。触点切换电压和电流是指继电器允许加载的电压和电流，这是我们选择继电器主要考虑的参数，通常在继电器外壳上都有明确标示，如AC250 V/10 A/DC28 V/10 A。但这个数值是生产厂商按一定标准试验的最大数值，实际应用选择继电器时，为了电路可靠性，要根据继电器的负载情况打一定的折扣。

（2）电磁继电器触点种类和组数。我们知道电磁继电器触点有动断、动合和转换三种，如果实际控制电路中需要同时接通或切断多条电路时，就需要多组触点组合。常见的组合有2组转换、3组转换等。

### （三）选择实例

下面我们通过一个实例介绍如何选择电磁继电器。

一台交流（AC）电压220 V、功率为55 W的普通电风扇，我们想把它改装成遥控电风扇，为了简化，假定只控制电风扇的开与关，需要选择一个电磁继电器。

（1）选择继电器输出参数。通过简单电学计算，AC220 V、55 W的电风扇工作电流为0.25 A，是否选择工作电流比它大一点的触点切换电流就可以了呢？实际上，电动机是一种电感性的负载，它的启动电流远大于工作电流（一般按5~7倍考虑），再加上可靠性因素，应该选触点切换电流大于3 A、AC250 V、单组动断或转换触点的继电器。

（2）选择继电器输入参数。符合上述输出参数的继电器很多，为了简单可靠，我们选择现在很容易获得的DC5 V作为电风扇遥控电路的电源，那么线圈电流约为70 mA。



### 探究与交流

1. 很多电器都没有给出电流值，而只给出功率和工作电压。想一想，怎样知道它的工作电流？
2. 继电器线圈在通过电流时会发热，长期发热不仅消耗能量，而且缩短继电器工作寿命。如果把选择继电器参数、减少发热和控制电路统筹考虑，如何选择继电器线圈工作电压？试以0.36 W、DC5 V与0.36 W、DC48 V对比计算分析。



### 活动延伸

1. 根据所学知识，寻找一下自己家的电器中有哪些使用了继电器？
2. 查找相关资料，详细了解这些继电器的类型、规格和技术参数。

## 三、电磁继电器模块制作

微控制器在电子控制技术中应用越来越普遍，与微控制器配套的各种控制模块层出不穷，由晶体管驱动的电磁继电器模块便是其中之一。

(1) 电磁继电器模块电路如图3.30所示。

(2) 实验元件如表3.4所示。

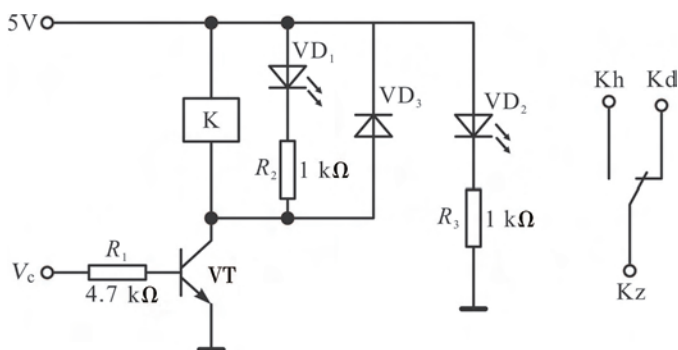


图 3.30 电磁继电器模块电路

表 3.4 电磁继电器模块实验元件

序号	代号	名称	规格/型号	数量	备注	检查
1	VT	三极管	S8050	1	TO92封装	$h_{FE} > 100$
2	VD <sub>3</sub>	二极管	1N4148	1	插装引线	功能
3	VD <sub>1</sub>	发光二极管	红	1	插装引线	功能
4	VD <sub>2</sub>	发光二极管	绿	1	插装引线	功能
5	R <sub>1</sub>	电阻	4.7 kΩ	1	0.25 W插装	功能
6	R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub>	电阻	1 kΩ	2	0.25 W插装	功能
7	K	继电器	SRD-5VDC-SL-C	1	1Z	功能
8	S	拨动开关	—	1	引脚可插入面包板	功能

(3) 电路原理。图3.31所示的是电磁继电器模块的实验电路。为了与数字集成电路和微控制器的工作电压匹配,选择线圈功率为0.36 W、工作电压为DC5 V的小型电磁继电器,其线圈工作电流约为70 mA。但数字集成电路和微控制器的输出电流一般不超过5 mA,因此必须通过放大电路才能使线圈正常工作。在这个电路中,晶体管工作在开关模式,当控制端 $V_c$ 为高电平(5 V)时,三极管VT饱和导通,继电器线圈通电吸合,输出触点状态改变;反之控制端 $V_c$ 为低电平(0 V)时,三极管VT截止,继电器线圈断电释放,输出触点状态恢复原状。发光二极管 $VD_2$ 是电源指示, $VD_1$ 是继电器线圈吸合指示,二极管 $VD_2$ 的作用是保护三极管VT, $R_2$ 、 $R_3$ 是限流电阻,而电阻 $R_1$ 是三极管VT的基极电流配置电阻,在满足微控制器的接口电流驱动能力的同时,确保三极管集电极电流使继电器线圈吸合。

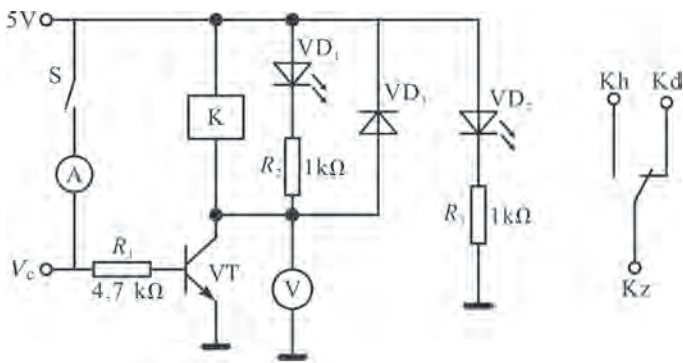


图 3.31 实验电路

(4) 实验方法。

- 1) 检查并检测元件,其中三极管要求放大倍数大于100,其他元件功能完好。
- 2) 在面包板上按图3.31搭接电路,由于继电器输出引脚不能插入面包板,需要用单股导线焊接过渡线,或者使用鳄鱼夹夹线。
- 3) 连接好并检查无误后闭合开关S,观察发光二极管 $VD_2$ 的变化,记录电流表和电压表的显示数据,并注意继电器吸合状态。
- 4) 断开开关S,并观察发光二极管 $VD_2$ 的变化,记录电流表和电压表的显示数据。
- 5) 根据实验数据分析实验中晶体管及继电器状态的变化。



活动延伸

对接微控制器的继电器模块电路既是一种继电器应用的实验电路,也是一个可用于实际电子控制系统的实用电路,可以做成一个电路模块,方便在其他需要继电器驱动的场所直接使用。

尝试按图3.32设计一块印制电路板,将继电器和晶体管驱动及显示电路全部安装到电路板上,并且在输入与输出端配置合适的连接器。

提示:

1. 电路板布局如图3.32所示。
2. 为了实验连接方便,输入端要考虑选择与面包板的连接,输出端选择便于连接较粗导线的接线端子,图3.33中几种连接器可作为参考。

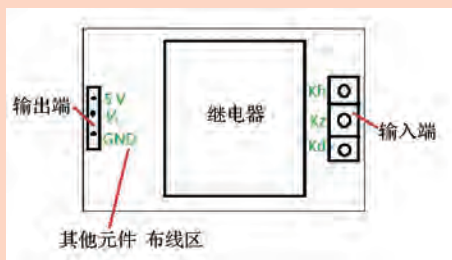


图 3.32 电路板布局

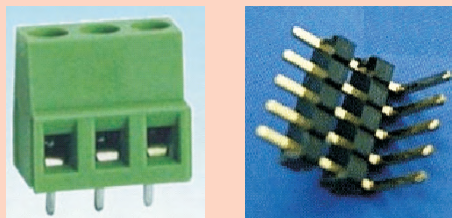


图 3.33 几种连接器

3. 模块电路选择的继电器触点电流可达10 A，因此电路板上相应铜箔要足够宽（建议不小于3 mm）。

## 单元小结

作为信息采集源头的传感技术是电子信息技术的主要组成部分，基本作用是将各种不同的自然量（包括物理量、化学量和生物量）转变成可供识别和处理的电信号，从而达到信息感知和识别的目的。

不同的传感器使用不同的敏感元件，遵循不同的工作原理。比如热传感器，利用热敏电阻、热电阻、热电偶等多种敏感元件感知温度变化；光传感器利用光敏电阻或光敏半导体对光线的敏感反应，达到感知光线变化的目的；声传感器也有相应的敏感元件和工作方式。

相对而言，继电器只是电子控制系统中执行机构的一种，它具有“以小控大”（电流）和“以低控高”（电压）的作用。继电器根据工作原理、控制电路种类和用途分为多种类型，本章仅介绍常用的直流电磁继电器的工作原理、主要参数和简单选择方法。

## 学习评价

评价内容		评价方式			
		自我评价	小组评价	教师评价	
过程评价	师生互动	听课状态			
		回答问题			
		手机中传感器应用讨论			
		有关电脑中医的讨论			
		敏感元件认识与实验			
		热、光、声传感检测与实验			
继电器模块实验					
结果评价	目标实现	知识学习			
		实践考核	继电器模块制作		
	收获反思	收获感悟			
		检查不足			

# 第四章

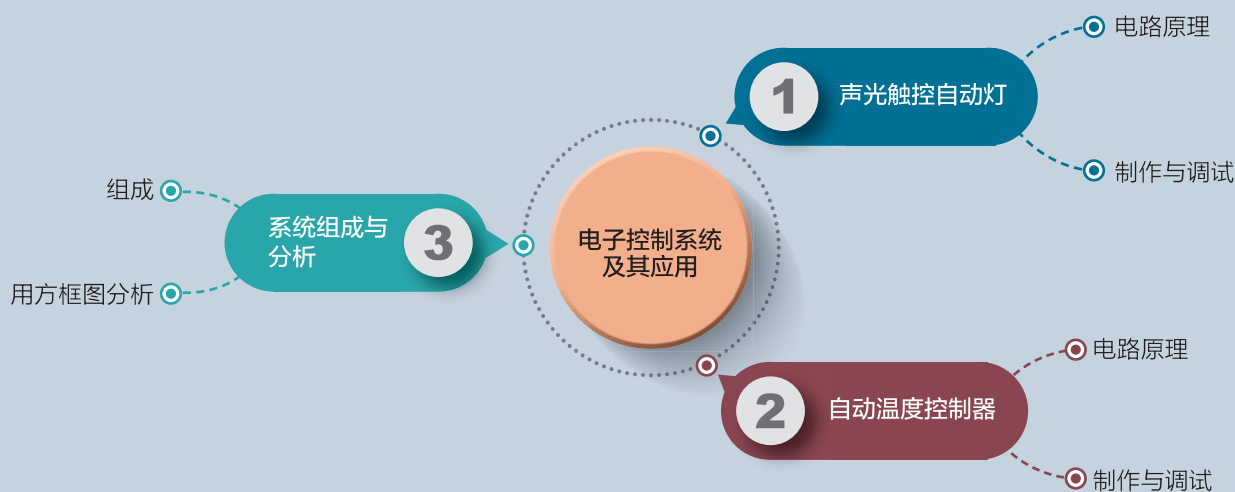
## 电子控制系统及其应用

### 导 言

前面章节中我们已经了解了电子控制技术的概况，分别学习了电子基础、电路、传感器和继电器等方面的入门知识。本章我们将综合运用这些知识，用系统的观念、控制的思维和实践的方法，尝试动手实践解决现实中的有关电子控制的一些技术问题。

“纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行。”实践证明，自己动手进行电子控制装置实验制作是学习电子控制技术必不可少的过程，是把知识转化成能力的最好方法。在实践动手中你能体验到成功的愉悦和创造的乐趣。今天你的一些小制作、小创意，很可能会孕育出未来你报效祖国、造福人类的一项有用的实际产品甚至科技发明。

### 思维导图





# 第一节 开环电子控制装置的制作与调试



## 学习目标

1. 制作简单的开环控制系统。
2. 掌握简单开环控制系统的调试方法。

## 一、项目简介与电路原理

### 1. 项目简介

- (1) 项目名称：声光触控自动灯。
- (2) 制作目的：通过自动灯的制作来了解简单电子控制系统的电路原理和制作方法。
- (3) 设计理念：
  - 1) 节能：需要时自动点亮，过后自动关闭。
  - 2) 绿色环保：LED照明是绿色光源。
  - 3) 人性化：这个灯在晚上除了可以用声音点亮以外，还可以增加一个触摸控制的功能，在夜深人静时轻轻触摸即可使灯被点亮，避免声音干扰他人。
- (4) 技术要求：
  - 1) 声光触控可靠无误。
  - 2) 对光亮和声音反应的灵敏度可以调节。
  - 3) 亮灯1~3分钟后自动关闭。
  - 4) 为了保证安全，试制阶段用发光二极管代替高电压（220 V）电灯。

### 2. 电路原理

实现上述电子控制功能有多种电路选择，图4.1是采用数字门电路的一种简单可靠的方案。

(1) 核心IC。该控制电路核心是CD4069（六非门CMOS数字集成门电路），这是一个包含6个独立非门的14引脚塑料封装集成芯片，6非门与电源对应引脚如图4.2所示，CMOS电路可在3~18V电压下工作，14脚接电源正极，7脚接电源负极。我们用不同的门电路组成信号转换和逻辑判断功能，包括声控电路、光控电路、触摸控制电路、延时电路、继电器驱动电路等。通过声、光和触摸传感器，实现我们所需要的控制功能，由电磁继电器作为电子控制的执行部件，控制灯的亮灭。

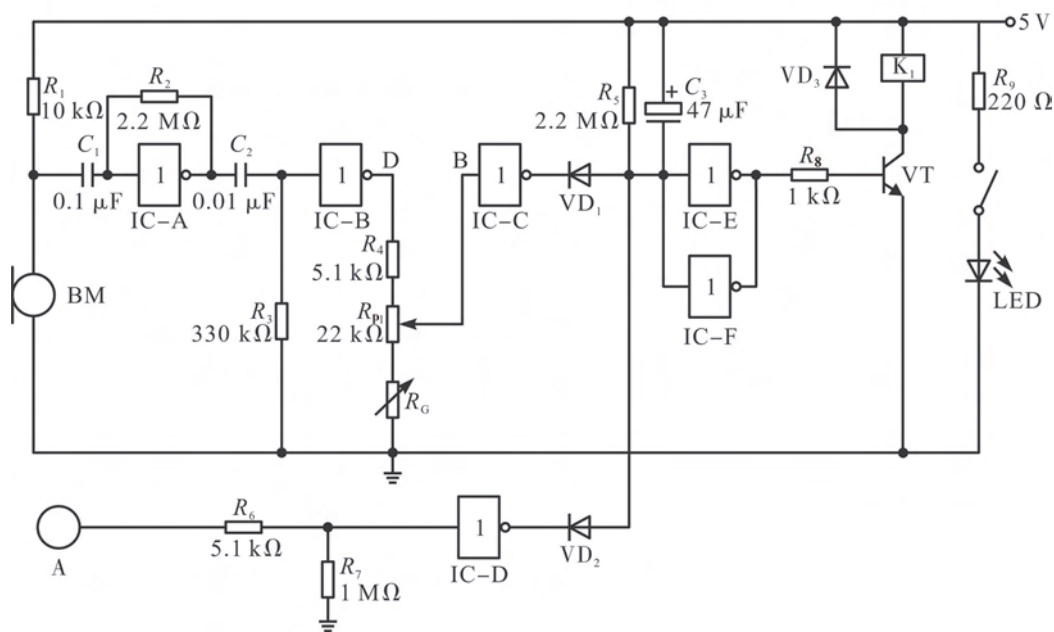


图 4.1 自动灯控制电路

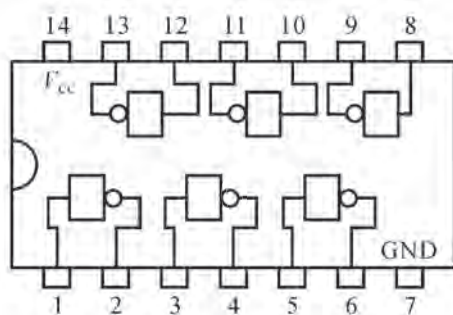


图 4.2 CD4069 功能引脚图

(2) 声控电路。声控电路由驻极体话筒BM，非门IC-A，电阻 $R_1$ 、 $R_2$ ，电容 $C_1$ 、 $C_2$ 组成（图4.3）。有声响时，驻极体话筒将声波信号转换成随声波变化的电压信号，通过电容 $C_1$ 加到非门IC-A的输入端。非门IC-A和电阻 $R_2$ 构成数字门电路的一种特殊应用——电压放大器，其中 $R_2$ 的作用是使非门IC-A在无声响时保持在状态转换区中，这样只要输入电压有很小的变化，就会使输出电压有较大的变化。在图4.1的电路中，有声响时IC-A输入端电压升高，经IC-A放大后，输出变成低电平，再经非门IC-B反相输出高电平，使非门IC-C输出端变为低电平，并使二极管 $VD_1$ 导通。非门IC-E的输出端变为高电平，三极管VT饱和导通，继电器 $K_1$ 吸合，LED灯亮。

(3) 光控电路。光控电路由光敏电阻 $R_G$ 和电阻 $R_4$ 、可调电阻 $R_{p1}$ 及非门IC-C构成（图4.3）。白天光敏电阻 $R_G$ 受光照阻值变小，非门电路IC-C的输入端始终为低电平，输出端为高电平。所以，白天即使有声响继电器也不会吸合，灯就不会亮。夜晚时光敏电阻 $R_G$ 无光照阻值变大，此时若有声响就会有高电平加入非门电路IC-C的输入端，使输出端变为低电平，IC-E的输出端变为高电平，LED灯亮。

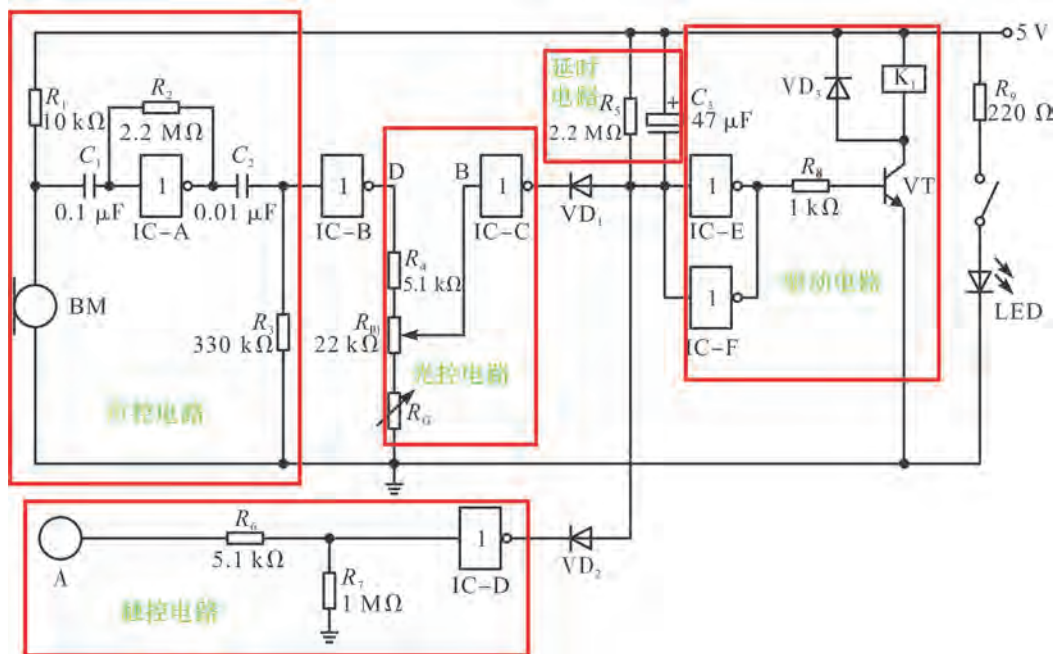


图 4.3 电路功能模块

(4) 触控电路。触控电路由触摸片A、电阻 $R_6$ 、 $R_7$ 、二极管 $VD_2$ 和非门IC-D构成(图4.3)。触摸片A是金属片,没有触摸信号时由于 $R_7$ 接地,IC-D输入端为低电平。当人体碰到它时由人体感应(通常都可达到使CMOS门电路翻转的阈值)使IC-D的输入端变为高电平,输出端为低电平,使二极管 $VD_2$ 导通,通过IC-E输出高电平使三极管VT导通,从而使继电器吸合。

(5) 延时电路。延时电路由电阻 $R_5$ 和电容 $C_3$ 组成。当IC-E的输入端由于控制信号作用变成低电平时,电容 $C_3$ 被充电,当控制信号作用过后IC-C或IC-D输出端恢复为高电平时,IC-E的输入点由于电容 $C_3$ 的作用继续维持低电平;直到 $C_3$ 通过 $R_5$ 放电,该点电位逐渐升高,经过一段时间后,IC-E的输入电平达到一定值后才能使输出变为低电平翻转,这样就使灯在接收到声音信号或触摸控制信号后点亮一段时间才自动熄灭。

(6) 驱动电路。驱动电路由IC-E、IC-F,电阻 $R_8$ ,三极管VT和二极VD<sub>3</sub>等组成。两个门电路IC-E、IC-F并联可增强驱动能力,电阻 $R_8$ 是三极管VT的基极输入电阻,VD<sub>3</sub>是续流二极管,可保护三极管VT;当IC-E、IC-F输出高电压时三极管VT导通,继电器线圈得电,吸合触点;反之,继电器线圈失电,触点断开。

### 探究与交流

上述电路中,声控电路和触摸电路都可以独立控制灯的亮灭,而且声控电路又受光的控制,只有夜间才能起作用。请考虑并回答,这个控制系统触摸电路受光控制吗?白天可以通过触摸打开电灯吗?说出理由来。

## 二、制作与调试

### 1. 元件选择

(1) 元件材料单如表 4.1 所示。

表 4.1 材料单

序号	代号	名称	型号/规格或要求	数量	备注	检查
1	IC	数字集成电路	CD4069	1	DIP封装	
2	VT	三极管	9013 (NPN)	1	TO92封装	
3	BM	驻极体话筒	小型带引脚	1	例如DGO9750CD	
4	$R_C$	光敏电阻	插装引脚式	1	例如GRMG45	
5	$VD_1 \sim VD_3$	二极管	1N4148	3	插装式	
6	LED	发光二极管	5 mm插装式 (绿)	1	实验中替代灯泡	
7	$C_1$	独石电容	0.1 $\mu$ F	1		
8	$C_2$	独石电容	0.01 $\mu$ F	1		
9	$C_3$	电解电容	47 $\mu$ F/16 V	1		
10	$R_1$	电阻	10 k $\Omega$ (1/8 W)	1		
11	$R_2, R_5$	电阻	2.2 M $\Omega$ (1/8 W)	2		
12	$R_3$	电阻	330 k $\Omega$ (1/8 W)	1		
13	$R_4, R_6$	电阻	5.1 k $\Omega$ (1/8 W)	2		
14	$R_7$	电阻	1 M $\Omega$ (1/8 W)	1		
15	$R_8$	电阻	1 k $\Omega$ (1/8 W)	1		
16	$R_9$	电阻	220 $\Omega$ (1/4 W)	3		
17	$R_{P1}$	电位器	3323 22 k $\Omega$	3	顶调	
18	$K_1$	继电器	SRD-05VDC-SL-C	1	DC5 V/1Z	
19	A	金属片	自制	1	见文字说明	

(2) 元件选择与自制说明:

1) 电阻器除 $R_9$ 外, 其余可用1/8~1/4 W普通插接封装。

2) 电位器选择3323单圈顶调封装, 可直接插入面包板 (图 4.4)。

3) 驻极体话筒 (图4.5) 选择带引脚或引线的封装, 如果引脚比较粗或引线不适合插入面包板, 需要用合适的导线加长转接, 注意应使用不同颜色导线区分极性。

4) 触摸片可用薄金属片 (如金属罐头盒盖) 自制, 形状可根据个人爱好选择圆形、方形或其他形状, 面积在1~3 cm<sup>2</sup>, 注意下料时留出焊导线的位置。

5) 使用前应对除集成电路和驻极体话筒之外的元件逐一进行检测。

### 2. 电路连接

(1) 按图4.1在面包板上插接自动灯的控制电路。

(2) 为保护CMOS集成电路, 先在面包板上装集成电路CD4069的引脚1位置做一个记



图 4.4 单圈顶调封装电位器 3323

号，或设定CD4069的引脚1和14（即左端起始）的插孔编号（图4.6），然后开始插接其他元件。

（3）最后插入集成电路CD4069，注意不要用手碰IC的引脚。



图 4.5 带引脚的驻极体话筒

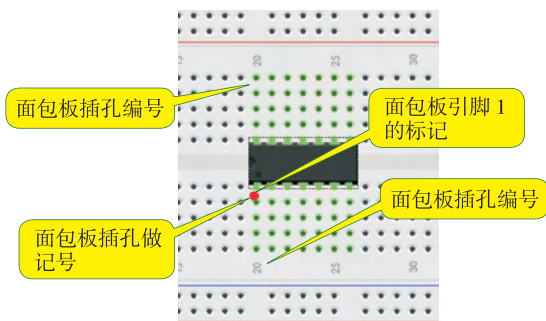


图 4.6 集成电路在面包板上的定位

### 3. 电路调试

电路调试有多种方法，对自动灯电路，我们用“分进合击”的办法，即先分别调试光、声、触摸各部分，再综合起来实现整体控制功能。

（1）光控制部分调试：在D点输出高电平的条件下，调节 $R_{P1}$ ，使B点在有光照（白天）时电压 $\leq 1.65\text{ V}$ ，无光照（遮住 $R_C$ 模仿晚上）时电压 $\geq 2.5\text{ V}$ 。

（2）声控部分的调试。声控部分通过调整 $R_{P1}$ 调节声控的灵敏度，通过直接观察继电器是否吸合来检查声控电路的工作是否正常（检查声控时要使 $R_C$ 处于遮光状态）。

（3）触摸控制部分调试。用手触摸金属片A，IC-D输出由高电平变为低电平，使继电器吸合。

（4）延时电路延时时间由 $C_3$ 与 $R_5$ 参数决定。计算方法为

$$T=2/3RC$$

式中电阻单位为兆欧（ $\text{M}\Omega$ ），电容单位为微法（ $\mu\text{F}$ ），则时间单位为秒（s）。

本例中电阻为 $2.2\text{ M}\Omega$ ，电容为 $47\ \mu\text{F}$ ，时间为 $2.2 \times 47 \times 2 \div 3 \approx 69\text{ (s)}$ 。

如果想改变延时时间，调整电阻与电容或同时改变二者参数均可，但实际应用中采用较大电阻、较小电容比较合理。

（5）综合试验。各部分调试完成后，我们还应该在接近实际使用的条件下进一步调整光控和声控部分，使它们符合实际使用要求。

现在，这个自动灯实验装置就完成了。当然，这只能算是实验制作，要真正变成实用电器，还必须有电源和外壳，灯一般也采用 $220\text{ V}$ 供电的照明灯具。



#### 活动延伸

本节课我们制作的电子控制项目“声光触控自动灯”控制对象是灯的开关，实际上只要对电路进行适当的修改，就可以用于其他控制对象，例如，声、光控玩具，包括声控机器猫、机器狗等；声、触摸控制防盗报警装置；视力保护报警器和亮度测试仪。



1. 请同学们组建项目小团队。
2. 每个团队自选一个或两个项目。项目应用本节课所学，具有实际应用价值。例如，为幼儿园小朋友升级玩具、为需要帮助的老人设计制作报警装置等。
3. 设计相应实现方案，选择合适元件，搭建实验电路，进行相关制作试验，进一步理解和掌握电子控制系统的设计和制作方法。

## 第二节 闭环电子控制系统的制作与调试



### 学习目标

1. 制作简单的闭环控制系统。
2. 掌握简单闭环控制系统的调试方法。

闭环电子控制系统是在开环电子控制系统基础上增加反馈环节而构成的。它不仅控制精度高，而且能定量控制，实现控制系统自动化。电冰箱、空调器、恒温箱、智能洗衣机、水位监控设备等一般都采用闭环电子控制系统。

让我们来尝试设计并动手制作一个简单的自动温度控制器，从中体会闭环控制系统的结构和工作原理。

### 一、项目简介与电路原理

#### 1. 项目简介

- (1) 名称：自动温度控制器。
- (2) 目的：通过制作自动温度控制器，进一步巩固和掌握《技术与设计2》中所介绍的系统、控制与反馈方面的知识，体验设计制作电子控制系统的程序、方法和步骤。
- (3) 技术要求：

- 1) 自动温度控制器能将控制对象温度自动保持在50~85℃。当温度低于50℃时能启动加热装置加热，当温度升高到85℃时则停止加热。
- 2) 自动温度控制器应当设计简单、工作可靠。

#### 2. 电路原理

自动温度控制器电路原理如图4.7所示。

图4.7中 $R_T$ 是负温度系数热敏电阻，25℃时阻值为5kΩ，随着温度的升高电阻值变小。 $IC_1$ 是低电压运算放大器LM324，在这个控制电路中用作电压比较器。当 $U_A > U_C$ 时，运

算放大器 $IC_1$ -A输出端D为高电平；反过来 $U_A < U_C$ 时，输出端D为低电平。 $IC_2$ 是四个2输入与非门CC4011，其中 $IC_2$ -A和 $IC_2$ -B做反相缓冲器， $IC_2$ -C和 $IC_2$ -D组成一个基本的RS触发器。电阻 $R_7$ 和三极管VT、二极管VD构成继电器驱动电路。温度的下限值由电位器 $R_{P1}$ 设定，上限值通过电位器 $R_{P2}$ 设定。

当控制对象温度降低时，负温度系数热敏电阻 $R_T$ 阻值增大，C点电压 $U_C$ 降低，而A点电压 $U_A$ 由 $R_{P1}$ 调整后是固定的，当 $U_C$ 降低小于 $U_A$ 时，比较器 $IC_1$ -A输出端D为高电平， $IC_2$ -A为低电平， $IC_2$ -C为高电平，F点为高电平，此时三极管VT导通，继电器得电吸合，动合触点闭合，电热器开始加热， $LED_1$ 是加热指示灯。随着加热，控制对象温度升高，热敏电阻 $R_T$ 阻值减小， $U_C$ 升高，当 $U_C > U_B$ 时，比较器 $IC_1$ -B输出端E为高电平， $IC_2$ -B为低电平，RS触发器翻转，F点为低电平，三极管VT截止，继电器失电释放，电热器停止加热。如此周而复始，使控制对象温度保持在设定的温度上下限区间内。

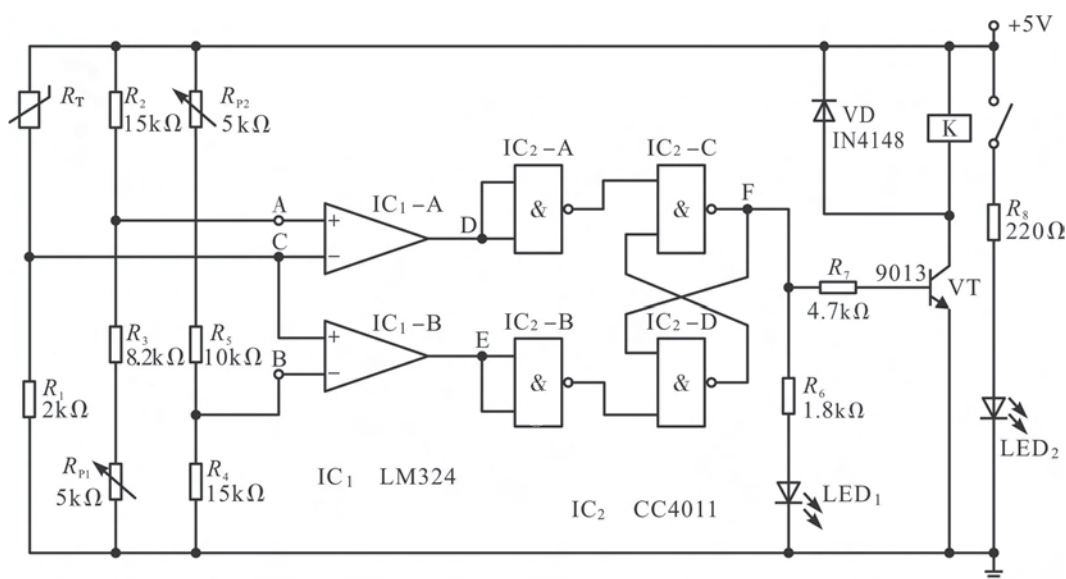


图 4.7 自动温度控制器电路原理



## 阅读材料

### 运算放大器

集成运算放大器是典型的模拟集成电路，简称“运放”，是一种具有很大开环增益的直接耦合多级放大电路，电路符号如图4.8所示，图4.8a是国标符号，图4.8b是习惯画法。它有两个输入端和一个输出端。 $U_+$ 、 $U_-$ 分别代表同相输入端和反相输入端， $U_0$ 为输出电压。

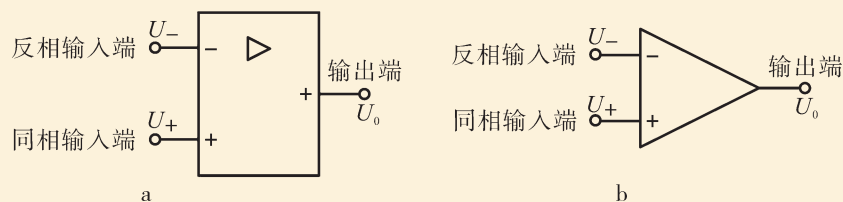


图 4.8 运算放大器的电路符号

运放用途很多，电压比较器是其中之一，作用是比较两个电压的大小(用输出电压的高电平或低电平，表示两个输入电压的大小关系)：

当“ $U_+$ ”输入端电压高于“ $U_-$ ”输入端时，电压比较器输出为高电平；当“ $U_+$ ”输入端电压低于“ $U_-$ ”输入端时，电压比较器输出为低电平。

本节温度控制器的实验中， $IC_1-A$ 、 $IC_1-B$ 就是比较器，输入电压 $U_A$ 和 $U_B$ 就是参考电压， $U_C$ 是所要检测的输入电压。当 $U_A > U_C$ 时， $IC_1-A$ 输出高电平；当 $U_C > U_B$ 时， $IC_1-B$ 输出高电平。

### RS触发器

RS触发器是数字电路中一种常用触发器电路，有基本RS触发器、同步RS触发器及主从RS触发器等几种形式。把两个与非门的输入、输出端交叉连接，即可构成基本RS触发器，其逻辑电路、逻辑符号如图4.9所示，真值表如表4.2所示。它有两个输入端 $R_D$ 、 $S_D$ 和两个输出端 $Q$ 和 $\bar{Q}$ 。

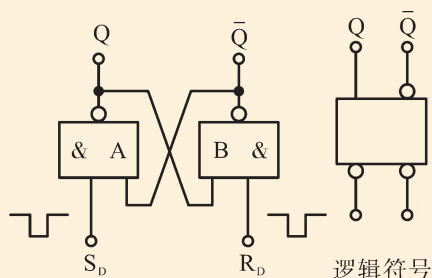


图 4.9 基本 RS 触发器逻辑电路、逻辑符号

表 4.2 真值表

$R_D$	$S_D$	$Q_{n+1}$
0	1	0
1	0	1
1	1	$Q_n$
0	0	不定

基本RS触发器的触发信号是低电平有效，属于电平触发方式，具有置位、复位和保持（记忆）的功能。

在本项目应用中，由 $IC_2-C$ 和 $IC_2-D$ 组成一个基本的RS触发器，当 $IC_2-A$ 为低电平，RS触发器置位（ $Q=1$ ）， $IC_2-C$ （F）为高电平； $IC_2-B$ 为低电平，RS触发器复位（ $Q=0$ ）， $IC_2-C$ （F）为低电平。利用RS触发器的记忆功能，可保证温度控制器工作的稳定性。

## 二、制作与调试

前面给出的电路方案，只是设计的初始方案，能不能实现预期目标，还需要经过制作和调试才能确定。

### 1. 元件准备

按表4.3准备元件。

表 4.3 温度控制电路元件

序号	代号	名称	规格/型号	数量	备注	检查
1	IC <sub>1</sub>	运算放大器	LM324	1	DIP封装	
2	IC <sub>2</sub>	数字集成电路	CC4011	1	DIP封装	
3	VT	三极管	S9013	1	TO92封装	
4	R <sub>p1</sub> , R <sub>p2</sub>	电位器	5 kΩ/3296 W	2	顶调精密多圈	
5	VD	二极管	1N4148	2		
6	LED <sub>1</sub>	发光二极管	3 mm圆形绿色	1	插接封装	
	LED <sub>2</sub>	发光二极管	5 mm圆形白色	1	插接封装	
7	R <sub>T</sub>	NTC热敏电阻	BT502F3274A	1	绝缘引线型	
8	R <sub>1</sub>	电阻	2 kΩ	1		
9	R <sub>2</sub> , R <sub>4</sub>	电阻	15 kΩ	2		
10	R <sub>3</sub>	电阻	8.2 kΩ	1		
11	R <sub>5</sub>	电阻	10 kΩ	1		
12	R <sub>6</sub>	电阻	1.8 kΩ	1		
13	R <sub>7</sub>	电阻	4.7 kΩ	1		
14	R <sub>8</sub>	电阻	220 Ω	3	插接封装1/4 W	
15	K	继电器	线圈DC5V	1	1H/1Z	

元件说明:

(1) LM324是4个运算放大器封装在一起(图4.10), 本项目只要其中2个, 因而也可用双运算放大器LM358。

(2) CC4011是CMOS双输入4与非门(图4.11), 也可用同类型号CD4011。

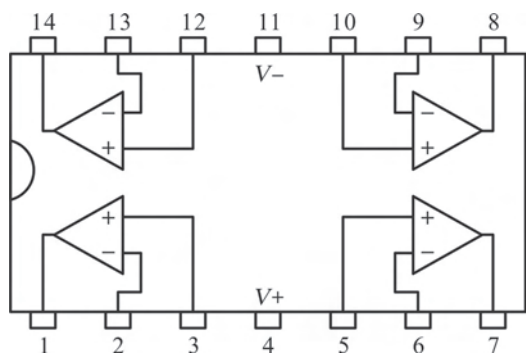


图 4.10 LM324

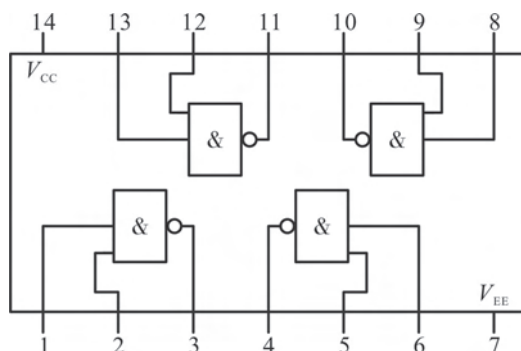
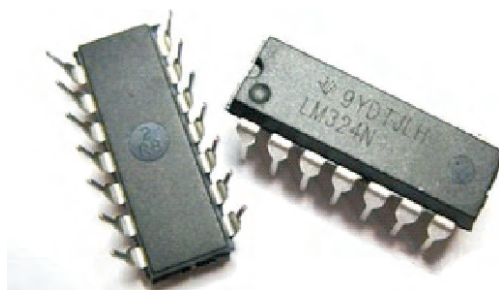


图 4.11 CC4011

(3) 继电器可选择线圈电压为5 V、一组触点的微型直流电磁继电器，如果选择的继电器封装引脚不能插入面包板，需要焊接相应转接线，可使用不同颜色导线区别线圈与触点引脚。

(4) 热敏电阻要选择引线长一些的，实验时要贴在实验杯上，因而要焊接一定长度的转接线，焊接操作时要注意保护引线根部（图4.12），焊接要用热缩套管保护。

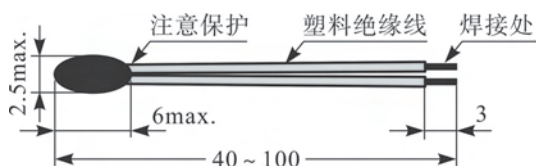


图 4.12 保护引线根部（单位：mm）

(5) 电阻器未标示功率的可选择1/8~1/4 W 插接封装形式。

(6) 3296W是可直接插入面包板的顶调精密多圈电位器（图4.13），也可选择同类封装的，但注意要“顶调”“多圈”，否则会造成调节操作困难。

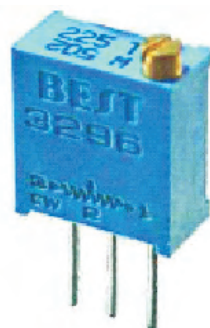


图 4.13 顶调精密多圈电位器

## 2. 搭接电路

在面包板上按图4.7搭接温度控制器电路，应注意以下问题：

(1) 安装CMOS数字集成电路CC4011时不要用手触摸引脚，同时要在其他元件插好后再插入，以防静电损坏电路。

(2) 插装前要把元件引线适当剪短，防止插接后引线之间短路。

(3) 试验中，继电器的负载端用发光二极管点亮与否来检验触点是否闭合，模拟加热器的的工作。

## 3. 温度控制器调试

控制电路板制作好并经过检查没有错误以后，就可以进行仿真调试了（图4.14）。

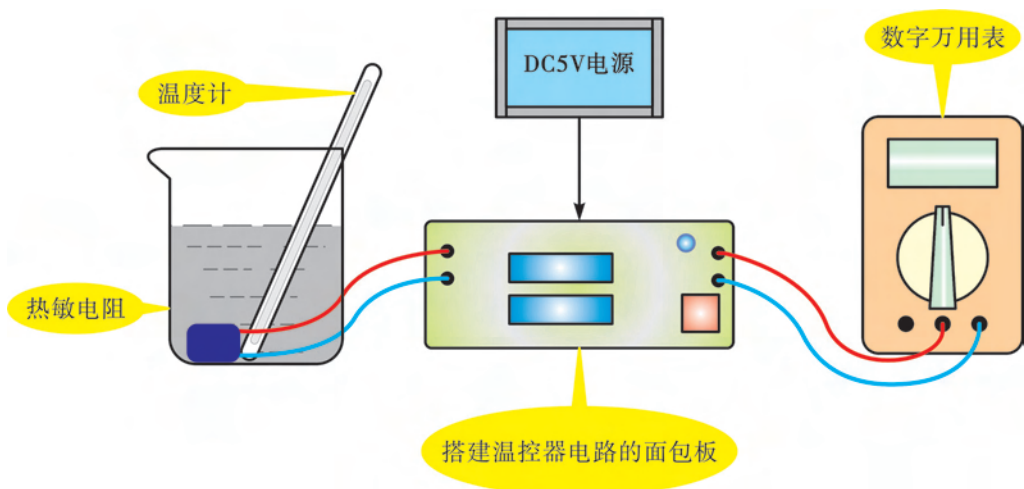


图 4.14 温度控制电路仿真试验接线图

(1) 调试器具和材料如下：

- 1) 实验杯2个，其中1个容量大于500 mL并且热传导良好，便于加水调节温度。
- 2) 温度计（玻璃管温度计或电子温度计）的温度范围为0~100 ℃。
- 3) 数字万用表一只。



- 4) 一字形仪表螺丝刀一只。
- 5) 热水瓶一个(装开水用)。
- 6) 5 V直流电源, 电流大于300 mA。

(2) 调试步骤如下:

- 1) 按图接好线并准备好热水和冷水。
- 2) 加电后调整 $R_{p1}$ 使A点电平在1.75~1.8 V。
- 3) 调整 $R_{p2}$ 使B点电平在2.8~3.0 V。
- 4) 将热敏电阻用透明胶贴在实验杯外面。在实验杯中加冷、热水, 使水的温度为50 °C, 测量IC<sub>1</sub>-A的输出D点是否为高电平(>3.5 V), F点是否为高电平, 看继电器是否动作。如果D点不是高电平, 可以调整 $R_{p1}$ 使A点的电平升高, 使D点输出高电平。

5) 往实验杯中慢慢加入热水, 使温度上升到(85 ± 1) °C(模拟对水加热后温度升高)。测量IC<sub>1</sub>-B的输出E点是否变为高电平, F点是否为低电平, 看继电器是否断开。如果E点没有变为高电平, 可以调整 $R_{p2}$ 使B点电平降低, 使E点输出高电平。

6) 再往实验杯中慢慢加入冷水(模拟水温下降), 当水温降到50 °C时观察继电器是否又一次接通。然后再加热水到85 °C看继电器是否断开。这样反复做几次。如果温度不准确, 可以调整 $R_{p1}$ 或 $R_{p2}$ , 使继电器在我们需要的温度准确动作。

完成上述调试步骤, 表示该方案可行, 达到预期控制要求。



### 探究与交流

上述实验我们用加热水的方法模拟对水加热, 与真实的系统还是有差别的。如果改用电热水杯(图4.15)取代前面实验用的水杯, 那么实验与实际应用更加接近。

请同学们自己动手:

- (1) 考虑实验电路应该如何改进? 需要增加哪些器材?
- (2) 拟定实验步骤。
- (3) 分析实验结果。



图 4.15 电热水杯

## 4. 实用化

完成可行性实验后, 制作实用化的温度控制器产品还要解决以下问题:

- (1) 设计制作专门的印制电路板、面板与机壳。
- (2) 选择热敏电阻合理的安装位置与可靠的固定方法。
- (3) 选择一个独立工作的电源。这个电源能提供控制电路所需的5 V电压和200 mA电流。
- (4) 根据加热器选择继电器种类和容量。
- (5) 最后, 这个电子控制系统还需要在实际系统中试验、调试, 并通过可靠性、安全性试验才能成为一个实用的温度控制器装置。



阅读材料

### 温控专用集成电路与智能温控器

随着数字化、智能化控制技术的发展，以微控制器为核心的各种电子控制电路模块和产品如雨后春笋般出现，其中以应用广泛的温度控制器尤为突出，各种以数字温控器及智能温控器命名的产品，与大多数电子产品一样，功能越来越强，性能越来越好，而价格却越来越低，图4.16所示是两种常见的普及型温控器产品。

实际上，现在数字温控器及智能温控器都是以微处理器/微控制器为核心的，采用计算机软、硬件结合技术及先进的控制算法，带有灵活的外给定和多种控制输出功能，可与各类温度传感器配合使用，实现对温度的精准测量与显示，并配合各种执行器（如电加热/制冷设备、电动机、电磁阀等）对目标温度进行开环或闭环控制（图4.17）。



图 4.16 两种常见温控器产品

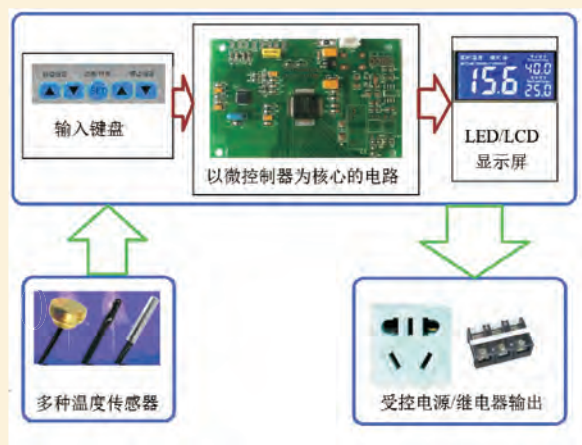


图 4.17 智能温控器结构示意图

与此同时，这些温控器产品也很容易增配蓝牙、Wi-Fi等通信模块而实现联网，组成网络化智能电器、智能家居及其他智能系统（图4.18）。



图 4.18 网络化智能系统



### 活动延伸

1. 组织一次电子控制技术在农业现代化进程中应用的讨论会，可以到农村调查，或采用其他形式，如利用互联网发起活动。
2. 讨论将本节电子温度控制电路应用于蔬菜大棚和孵化箱（蔬菜大棚要求温度上限为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，下限为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；孵化箱要求温度上限为 $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，下限为 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）。想一想电路需要改动的地方，画出改动后的电路图。
3. 如果要求蔬菜大棚在温度低于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时加热，在高于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时通风换气，电路又该如何改动呢？

## 第三节 电子控制系统的组成与分析



### 学习目标

1. 了解电子控制系统的三大组成部分。
2. 学会用方框图分析电子控制系统。

前面两节我们已经动手制作和体验了两种基本的电子控制系统——开环控制系统和闭环控制系统，本节作为前面实践项目的总结提高，学习电子控制系统的基本组成并利用方框图分析系统，同时也是全书的总揽和归纳。

### 一、电子控制系统的三大组成部分

按照电子控制技术要完成的不同任务，它们的组成千差万别，很难看出规律。不过，万变不离其宗，如果我们仔细地对它们做个总结就会发现，大多数的电子控制技术无外乎包括下面的几个部分，而且这几大部件都和人类或动物的身体器官能够一一对应。

电子控制系统中，如果说传感器相当于人的眼睛、鼻子、耳朵和触觉，控制（处理）部分相当于人的大脑，那么继电器作为电子控制系统的执行部件就相当于人的手和脚了，如图 4.19 所示。

我们可以用方框图来表示电子控制系统的三大组成部分及其对应的电子零部件，如图 4.20 所示，无论简单还是复杂的电子控制系统，基本组成都是如此。

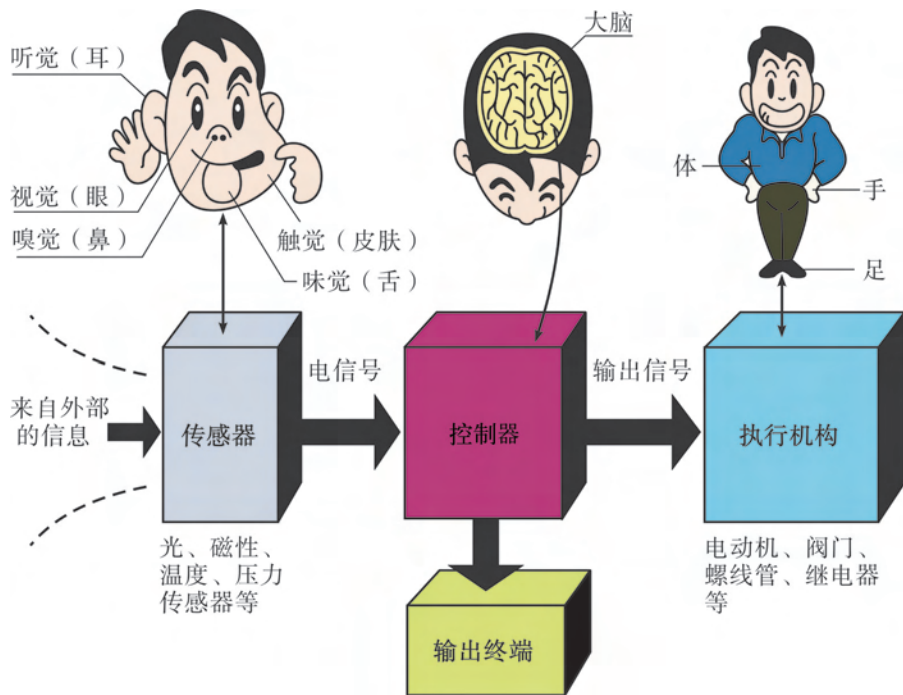


图 4.19 电子控制系统中各部分的作用

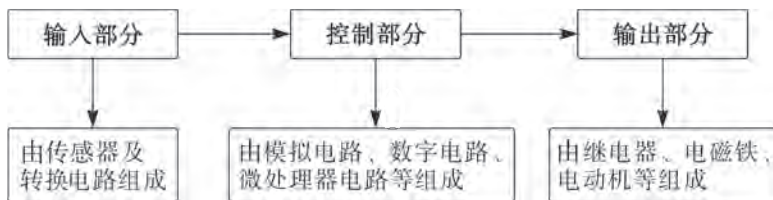


图 4.20 电子控制系统组成方框图

### 1. 电子控制系统的大脑——控制器

和我们人类的大脑一样，电子控制系统的大脑——控制器是电子控制最核心的部件。

控制器具体是什么东西呢？实际上，对于电子控制技术而言，它就是电子电路，就是我们在第二章中学习的模拟电路和数字电路，对于现代数字与智能控制系统，则是以微控制器（MCU）为核心的电子电路。微控制器是将微型计算机的主要部分集成在一个芯片上的单芯片微型计算机，即单片机。

单片机是典型的“麻雀虽小，五脏俱全”。一片小小的单片机中就包括了中央处理器、存储器、定时器、数字输入/输出接口、模拟输入/输出接口等，它的计算能力非同寻常，小小的一片单片机一秒钟能做上千万次的运算呢！

### 2. 电子控制系统的眼睛、耳朵、鼻子和触觉——传感器

电子控制系统要实现控制功能，离不开对被控制量的检测，而各种检测都是通过传感器实现的。我们在第三章中学过的温度、光、声传感器只是其中常见的几种，它们将环境中的各种物理量、化学量和生物量转化为控制器可以处理的电信号。控制器通过读取这些电信号就可以感知控制对象的状态，根据预先设定或智能分析判断，做出实时响应。

### 3. 电子控制系统的手、足——执行机构

电子控制系统中用来实际完成特定任务的装置称为执行器，就像是我们人类的手、脚等根据大脑指令工作一样，我们在第三章中学过的继电器就是其中之一。其他如让电冰箱保持低温的压缩机，使热水器达到设定温度的电加热器等，都是执行器，由它们最终完成控制任务。

## 二、用方框图分析电子控制系统

我们在《技术与设计2》中已经学过系统分析的工具——方框图，本节课我们将具体运用这个工具分析实践过的开环和闭环电子控制系统。

### 1. 开环控制系统方框图

我们制作过的自动灯是一个简单的电子开环控制系统，由输入部分、控制（处理）和执行（处理）三部分构成。在具体的电子控制电路中，这三部分由不同元件构成，图4.21所示就是添加了具体单元电路部分的自动灯控制系统组成方框图。

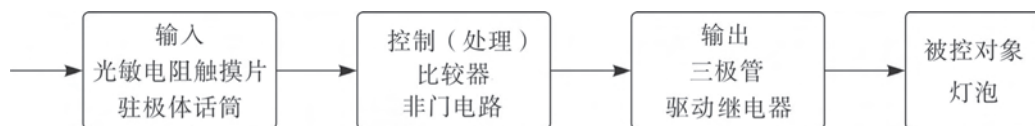


图 4.21 自动灯控制系统组成方框图

### 2. 闭环控制系统方框图

图4.22所示是添加了具体单元电路部分的自动温度控制系统组成方框图。

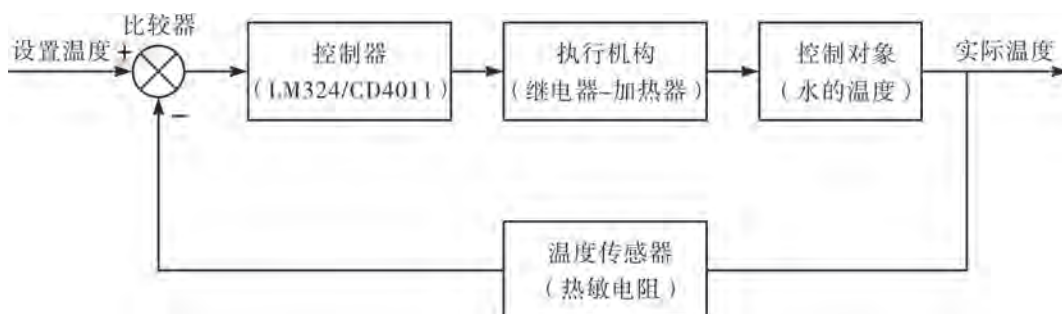


图 4.22 自动温度控制系统组成方框图

在这个系统中，输入是我们设定的温度：低温50℃、高温85℃（通过调节电位器实现）；控制电路由集成电路IC<sub>1</sub>比较器和IC<sub>2</sub>与非门电路等组成；输出部分就是电磁继电器和加热器；检测部分就是热敏电阻（温度传感器）。

温度设定值与实际温度通过比较器比较后，决定继电器的动作。被控温度由热敏电阻感知后反馈到输入端，与输入设定值比较，由此完成系统的闭环控制。



### 活动延伸

用方框图表示并分析蔬菜大棚、孵化箱的温度电子控制系统。



## 单元小结

本章通过自动灯控制和自动温度控制2个实例学习电子控制系统的设计、制作和应用，是前面学习内容的整合和拓展。

电子控制技术实质上是基于自动控制原理的传感技术、电路技术和执行机构（如继电器）技术的有机组合，通常用方框图来表示电子控制系统的结构和信号流程。

总结电子控制系统设计和制作的实践，可以将系统的设计和制作归纳成以下过程：

1. 分析控制对象和控制量，了解控制环境、精度和稳定性等要求。
2. 确定控制方式，选择传感器、电子电路和执行部件。
3. 设计控制系统的方框图、电路图，确认元器件和材料表。
4. 通过面包板或其他实验方式搭建电路，进行调试和方案验证。
5. 加入执行部件，制作试运行样机并进行调试。
6. 分析影响控制精度和稳定性的因素，寻找减少干扰和提高精度的方法。
7. 改进设计方案，试验并使其达到设计要求。
8. 设计、加工标准印制电路板并组装调试，完成电子控制系统项目。

## 学习评价

评价内容		评价方式			
		自我评价	小组评价	教师评价	
过程评价	师生互动	听课状态			
		回答问题			
		自动温控器应用在生产实践中应用讨论			
	实践活动	自动灯制作全过程			
自动温控器项目全过程					
结果评价	目标实现	知识学习			
		实践考核	自动灯实现		
			自动温控器实现		
		项目拓展	声光触控制应用拓展		
	自动温控器应用拓展				
	收获反思	收获感悟			
检查不足					

## 附录 部分中英文词汇对照表

---

半导体	semiconductor
闭环控制	closed-loop control
传感器	sensor
超声波	ultrasonic
触点	contactor
电子	electron
电容器	capacitor
电感器	inductor
电阻器	resistor
电位器	potentiometer
电子电路	electronic circuit
电路图	circuit diagram
电烙铁	soldering iron
电磁继电器	electromagnetic relay
二极管	diode
二进制	binary
额定电压	rated voltage
发射极	emitting electrode
发光二极管	light-emitting diode (LED)
反馈	feedback
方框图	block diagram
关(断开)	off
光敏电阻	photoresistance
焊接	solder
接地	grounding
集电极	collector electrode
基极	base electrode
晶体管	transistor
继电器	relay
控制	control

开关	switch
开（接通）	on
开环控制	open-loop control
逻辑	logic
敏感	sensitivity
模拟信号	analog signals
门电路	gate circuit
PN结	PN junction
器件	device
热敏电阻	thermistor
数字信号	digital signals
数字逻辑	digital logic
万用表	multimeter
无线	wireless
元件	component
印制电路板	printed circuit board
原型	prototype
运算放大器	operational amplifier
驻极体话筒	electret microphone