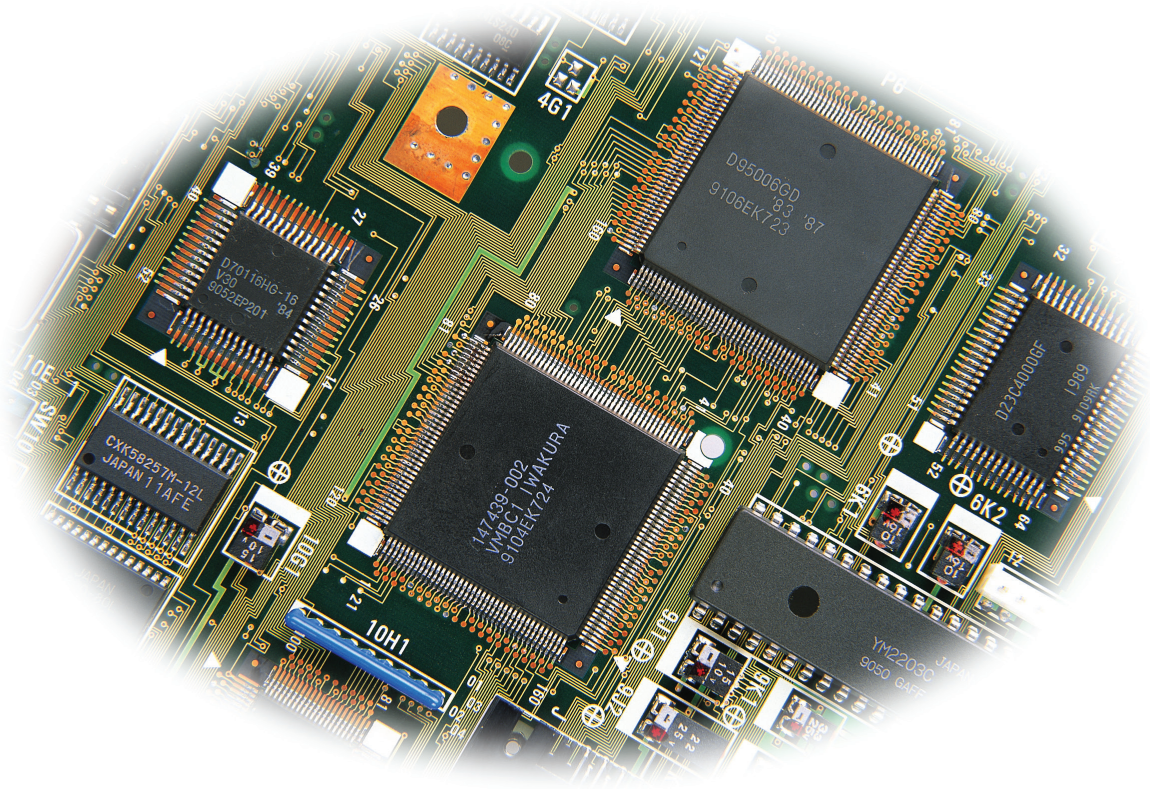
经全国中小学教材审定委员会 2005 年初审通过

普通高中课程标准实验教科书 · 通用技术（选修 1）

电子控制技术

河南省基础教育教学研究室
河南科学技术出版社 组编



河南科学技术出版社

· 郑州 ·

微信公众号：电子课本大全

总 主 编：傅水根

本册主编：王天曦　冯一兵

编写人员：王天曦　冯一兵　穆莹莹

责任编辑：张晓东

美术编辑：赵晓战

责任校对：柯　姣

普通高中课程标准实验教科书·通用技术(选修 1)

电子控制技术

河南省基础教育教学研究室
河 南 科 学 技 术 出 版 社　组编

★

河南科学技术出版社出版发行
(郑州市经五路 66 号)
邮政编码：450002　电话：(0371) 65737028
新乡市豫北印务有限公司
全国新华书店经销

★

开本：890mm × 1 240mm　1/16　印张：8.5　字数：201 千字
2005 年 5 月第 1 版　2017 年 8 月第 20 次印刷
ISBN 978-7-5349-3319-6
定价：9.75 元

如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版社联系调换

微信公众号：电子课本大全

致同学们

同学们：

祝贺你们选择了电子控制技术这门课程！这是普通高中通用技术课程的第一个选修模块。一提到电子控制，很多同学会感到很神秘，认为那是一个高不可攀的技术领域。其实，电子控制技术并不神秘，它就在我们身边，而且与我们的生活息息相关。本模块将引导你步入神奇的电子世界，探究电子控制的奥秘，体验动手创造的乐趣。

生活中，电子控制技术几乎无处不在。现代家庭几乎成了电子控制技术的展示厅。从家用门铃、电子门锁到通信照明，从空调到彩电，从电饭煲到电冰箱、洗衣机，几乎所有的电器都有电子控制技术的身影。

走进学校，上下课的铃声，课间操的广播，多媒体课件的播放，语言实验室的学习等，都要通过电子控制技术来实现。

电子控制技术是信息时代的关键技术。它是一门运用电子电路替代人工直接或间接实现自动化、智能化控制的技术，是现代社会物质文明的重要组成部分和标志。它不仅提高了生产自动化程度，把人类的许多梦想变成了现实，而且走进千家万户，成为人们生活中的重要帮手。

信息时代离不开电子控制技术。本课程提供了了解、学习和制作电子控制系统的机会。同学们可以通过接触日常生活中常用的电子产品和尝试动手设计制作，了解电子产品的基本组成，学会简单电子装置的实验、组装和调试方法，知道电子控制电路的构成、数字电路的基本知识及其在电子控制技术中的应用。你还将尝试设计和利用系统的方法分析简单的电子控制电路，并用试验的方法进行优化，具备初步解决实际技术问题的能力。

怎样才能学好电子控制技术呢？以下几点可供同学们参考：

1. 打好基础，做学互动。学习电子控制技术，要从认识电子元器件、观察电子产品结构组成、熟悉电子电路图开始，进而学会电子装配的基本操作和实验方法，以基本电路实验和简单电子控制装置制作为主导，一点一滴地积累，一步一步地提高。实践证明，自己动手进行电子控制装置制作是学习电子控制技术最好的方法。

2. 学了就用，实践创新。当你在探究中学到一些电子控制知识，

微信公众号：电子课本大全

有了一定的技能，就要寻找“用武之地”。学习不是为了考试，更不是为了炫耀自己。一定要尝试解决社会、学校和家庭生活中一些实际问题。你所致力的一些小发明、小制作，很可能会孕育出未来的一项有用的实际产品甚至科技发明。

3. 要学好电子控制技术，还需要了解自己，发现自己的特长，以利于更有效地进行学习与实践。

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。

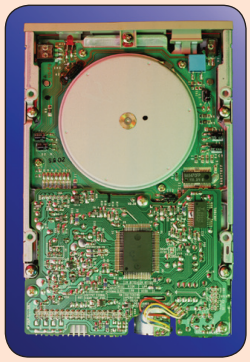
编 者

2004 年 11 月

微信公众号：电子课本大全

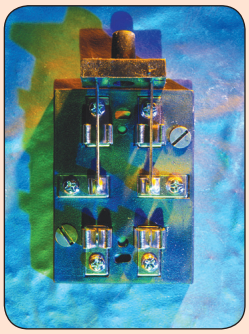
目 录

第一章　电子控制技术入门 …… (1)



第一节　电子元器件和电路板 …… (2)
一、认识电子元器件 …… (3)
二、印制电路板 …… (7)
第二节　电子电路入门 …… (8)
一、电子电路图 …… (9)
二、电子电路实验 …… (12)
第三节　电子制作基础 …… (15)
一、印制电路板安装 …… (16)
二、电子焊接 …… (17)
第四节　电路检测 …… (21)
一、认识万用表 …… (21)
二、万用表的基本操作方法 …… (23)
三、　电路测量 …… (23)

第二章　传感器 …… (27)



第一节　认识传感器 …… (28)
一、电五官 …… (28)
二、传感器的作用 …… (29)
三、传感器的种类 …… (29)
四、传感器与计算机 …… (31)
第二节　温度传感器 …… (32)
一、热敏电阻 …… (33)
二、其他温度敏感元件 …… (35)
第三节　光传感器和声传感器 …… (39)
一、代替人眼的传感器——光传感器 …… (39)
二、代替人耳的传感器——声传感器 …… (44)
第四节　磁传感器、力传感器和湿度传感器 …… (48)
一、磁传感器 …… (48)
二、力传感器 …… (49)
三、湿度传感器 …… (50)

第三章　数字电路 …… (55)

第一节　走进数字化 …… (56)
一、数字与模拟 …… (56)
二、数字化的真谛——“0”和“1”的世界 …… (59)
三、计算机与数字信号 …… (61)

微信公众号：电子课本大全

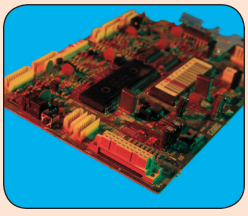


第二节　晶体三极管及其开关作用 …… (64)
一、认识晶体三极管 …… (64)
二、晶体三极管的构造和主要特性 …… (66)
三、晶体三极管的开关作用 …… (68)
第三节　数字电路的基本单元——门电路 …… (71)
一、基本门电路 …… (71)
二、与非门和或非门——基本门电路的复合 …… (76)
第四节　数字集成电路及其应用 …… (79)
一、认识集成电路 …… (79)
二、集成门电路 …… (81)
三、数字电路组合设计 …… (84)

第四章　电子控制系统的执行部件 …… (89)
第一节　认识继电器 …… (90)
一、什么是继电器 …… (90)
二、直流电磁继电器的构造和工作原理 …… (92)
三、电磁继电器的规格和选择 …… (94)
第二节　直流电磁继电器的应用和检测 …… (96)
一、直流电磁继电器的应用 …… (96)
二、直流电磁继电器的简单检测 …… (98)
第三节　无触点继电器与晶闸管 …… (100)
一、无触点继电器 …… (100)
二、晶闸管的工作原理 …… (101)
三、晶闸管的检测 …… (103)
第四节　电动机及其应用 …… (105)
一、电动机的基本类型 …… (105)
二、小功率直流电动机的测量 …… (106)
三、直流电动机的控制 …… (107)



第五章　电子控制系统及其应用 …… (109)
第一节　简单电子控制装置的制作 …… (110)
第二节　遥控系统与应用 …… (115)
一、简单的红外遥控系统 …… (115)
二、多路遥控 …… (119)
第三节　闭环电子控制系统的制作和调试 …… (122)

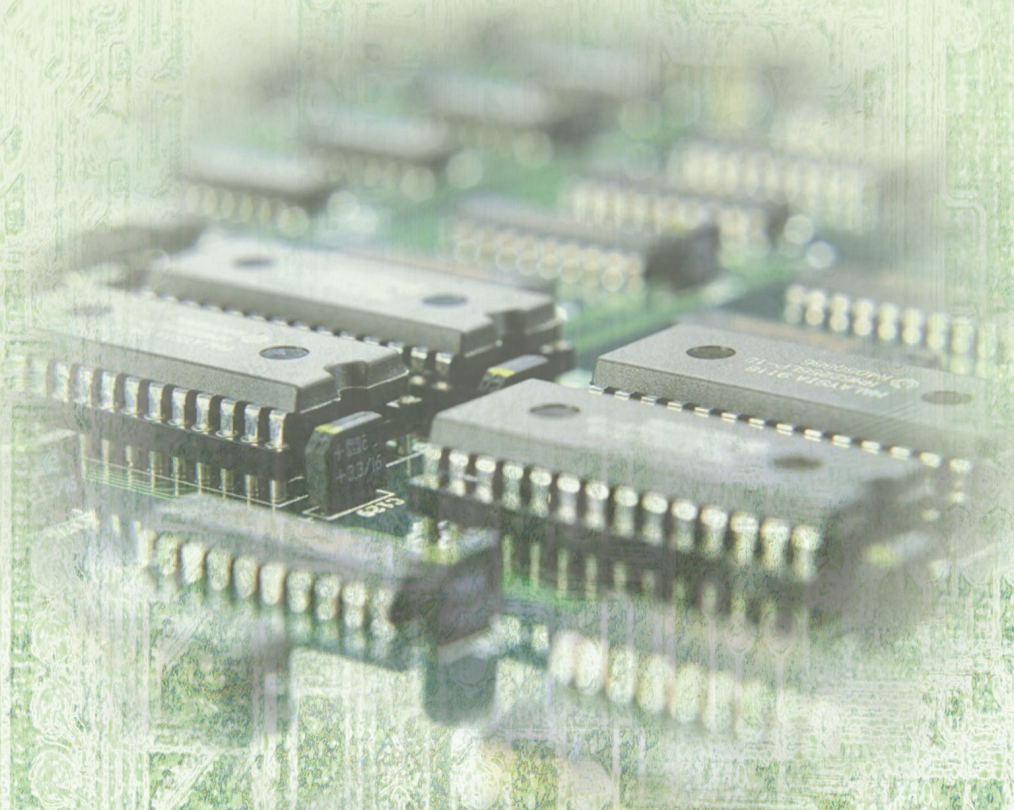


附录　部分中英文词汇对照表 …… (128)

微信公众号：电子课本大全

第一章　电子控制技术入门

世界进入了信息时代。信息时代最活跃、最有代表性的产品是电子信息产品。数码、电脑、网络，几乎进入人类活动的各个领域，而电子控制技术作为信息时代的关键技术，正越来越受到人们的重视。本章将带你跨入电子控制世界的大门。



微信公众号：电子课本大全

第一节　电子元器件和电路板



学习导航

1. 你认识常用的电子元器件吗？它们在电路中起什么作用？
2. 印制电路板有什么作用？主要由什么材料构成？



现象与问题

现在，电子产品已经在我们的生活、学习中使用得越来越广泛，但你知道它们是怎样工作的吗？为什么收音机里能发出逼真的声音？为什么电视机能看到体育场的实况比赛？为什么用手机能和远在大洋彼岸的亲友通话？为什么电脑有那么多神奇的功能？







几种常用的电子产品



探究尝试

找出 2 ～ 3 种废旧电子产品，例如收音机、电话机、电子门铃等，打开机壳，把其中的电子元器件和电路板展示出来。

1. 把你认识的电子元器件填入下表。

电子产品	电子元器件名称
收音机	
电话机	
电子门铃	

微信公众号：电子课本大全

2. 对照图 1.1，你能说出这些电子元器件的名称和作用吗？

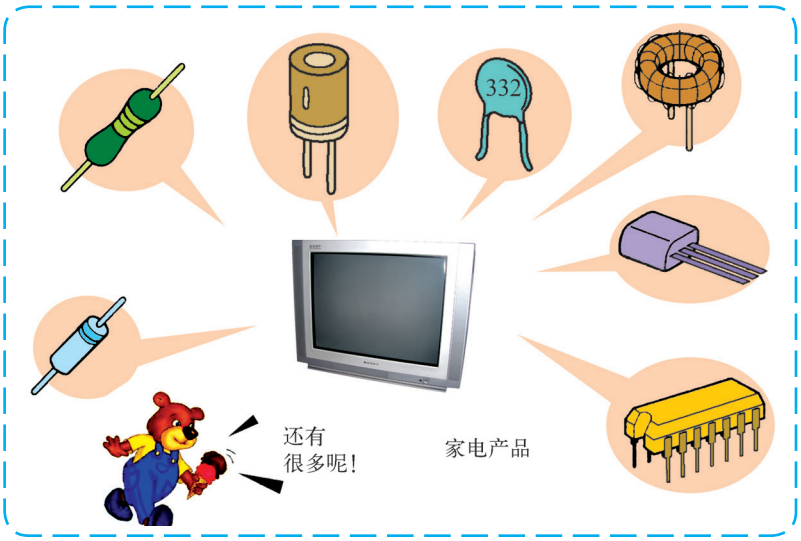


图 1.1　电视机中的部分电子元器件

一、认识电子元器件

电子元器件是电路中具有独立电气性能的基本单元，是组成电子产品的基础。电子元器件的种类很多，下面介绍的是最常用的几种。



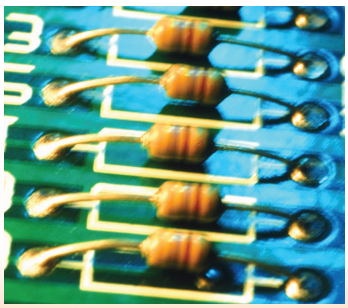
小 资 料

电子元件、器件和元器件

早期，人们把电阻、电容、电感、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，现在往往用元件或器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。

1. 三种基本电子元件

电阻、电容、电感（通常称为线圈）是三种基本的电子元件。尽管我们在物理课中已经熟悉它们的工作原理和电路符号了，但是在制作电子产品的实际应用中，我们还需要进一步认识、了解和熟悉它们。



微信公众号：电子课本大全



你认识吗？

电阻（电路符号 *R*——resistor）



图 1.2　固定电阻

图 1.2 展示的都是固定电阻，几乎所有的电路中都少不了它们。电阻的作用是调节电路中流过的电流。

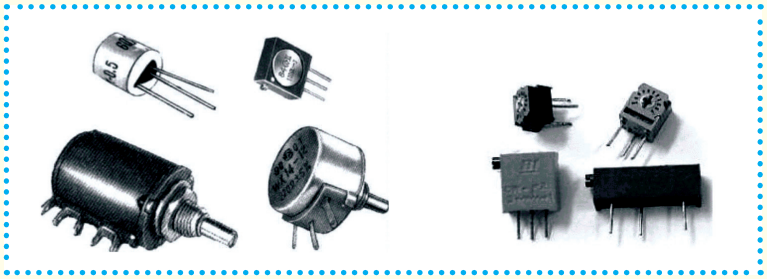


图 1.3　可变电阻

图 1.3 是可变电阻——通常称为电位器，调节电压、电流等电量少不了它们。



你认识吗？

电容（电路符号 *C*——capacitor）



图 1.4　固定电容器

这些都是固定电容（图 1.4），它们的应用几乎和电阻一样广泛。电容可以储存电场能，交流电可以通过，直流电则不能通过。

微信公众号：电子课本大全

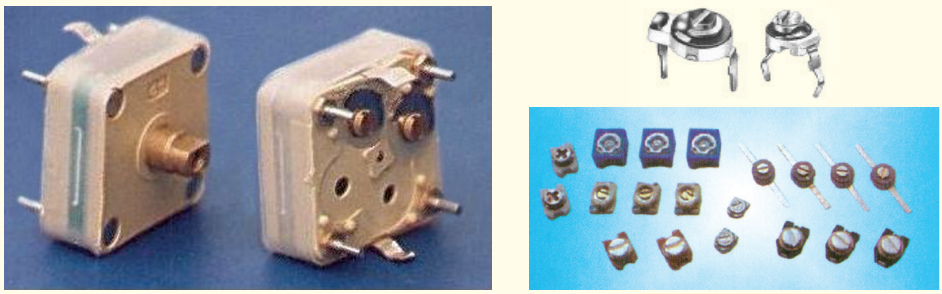


图 1.5　可变电容

这些是可变电容（图 1.5），在收音机、电视机等许多电子产品中用它们来选择节目、调整信号。



你认识吗？

电感（电路符号 *L* —inductor）

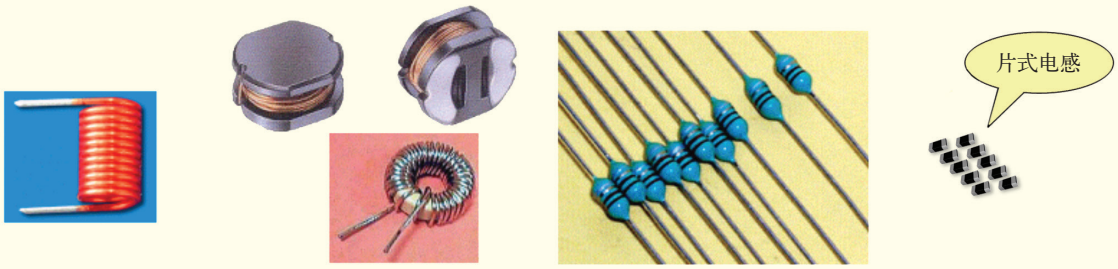


图 1.6　电感

这些都是固定电感（图 1.6），它们性能各异，各有各的用途。观察电器的电路板，常常会发现它们的身影。电感在电路中的作用与电容相反，直流电很容易通过，而交流电则很难通过。

2. 发光二极管

晶体二极管、晶体三极管和发光二极管是常用的三种电子分立器件，这里我们重点认识发光二极管（图 1.7）。

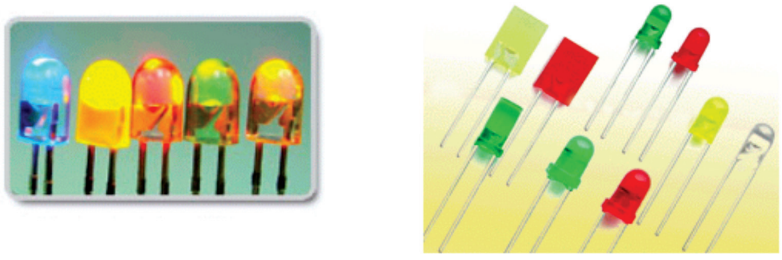


图 1.7　发光二极管

发光二极管（电路符号 LED——light emitting diode）是由砷化镓等半导体材料制成的具有单向导电性能的二极管，与普通二极管不同的是它在导通状态能发出明亮的光。应用不同材料和工艺可以制成多种颜色的发光二极管，现在已经有红、黄、绿、蓝、白等品种。

微信公众号：电子课本大全

发光二极管色彩艳丽，耗电少，转换速度快，是广泛使用的显示器件。其中用于照明的白色 LED（图 1.8），可以制成高效低能耗光源，在照明领域前景广阔。



图 1.8　用于照明的白色 LED

3. 开关和连接器

开关（电路符号 S—switch）（图 1.9）和连接器（电路符号 X—connector）（图 1.10）是最简单的电子元件，但它们在电子产品中的作用可一点不能轻视。一位哲学家曾说过“最重要的往往是最简单的”，开关和连接器正是这样。它们的结构可以一目了然，它们的作用也很简单——接通或者断开电路，但它们是产品中不可缺少的元件。即使像笔记本电脑、数码相机、手机、数码电视等这些复杂的电子产品也离不开它们。

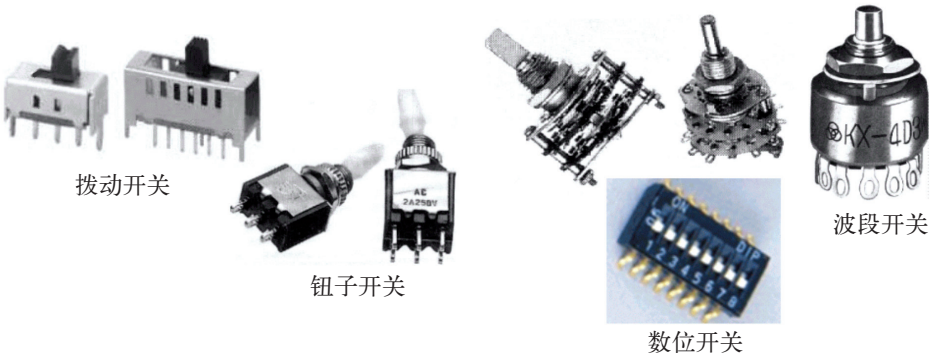


图 1.9　几种常用开关

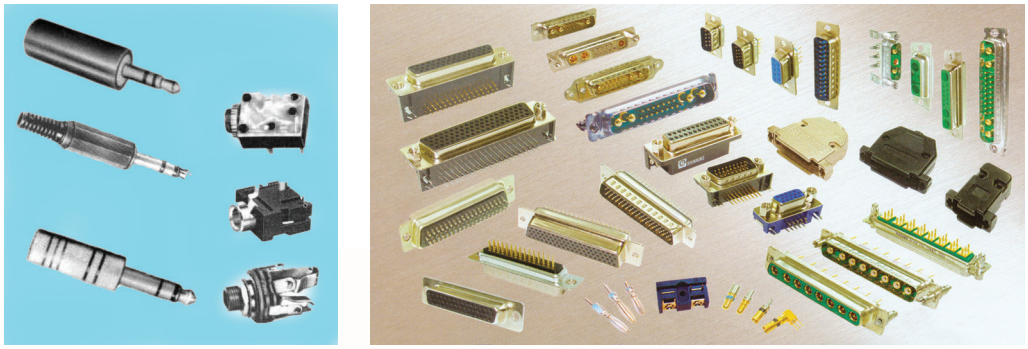


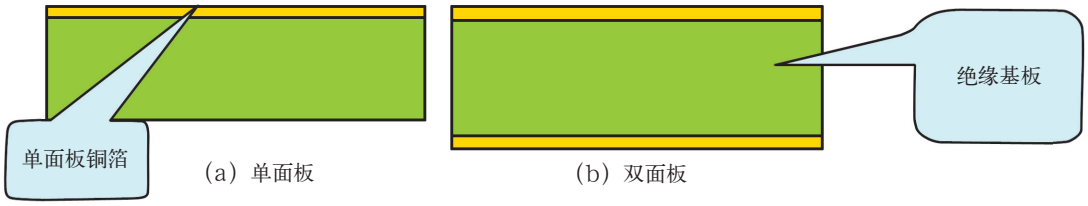
图 1.10　几种常用的连接器

微信公众号：电子课本大全

二、印制电路板

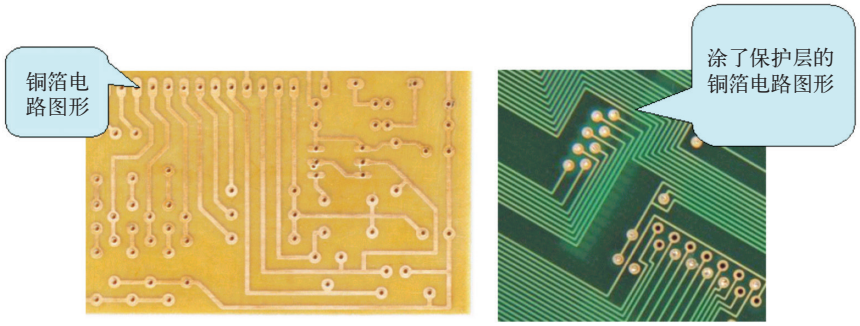
在电子产品中，我们发现各种电子元器件都安装在一块或多块有图形的板子上，在电子技术中把这种板子称为印制电路板（printed circuit board，PCB），一般简称为电路板或印制板。

印制电路板是在敷铜板上采用印刷的方式形成电路图形的电子部件。敷铜板由绝缘材料基板和粘贴在表面的铜箔构成（图 1.11）。基板是由酚醛树脂或玻璃布环氧树脂等绝缘材料构成，起支撑和承载电子元件的作用。铜箔是导电良好的纯铜，经过印刷、蚀刻等方法加工出预先设计的电路图形，实现板上电子元器件之间的相互连接（图 1.12）。



（a）单面板　　（b）双面板

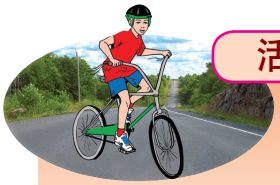
图 1.11　PCB 剖面示意图



（a）自制的 PCB　　（b）工厂制造的 PCB（局部）

图 1.12　经印刷、刻蚀后的印制电路板电路图形

印制电路板技术实现了电子产品小型化、标准化和自动化，是现代电子制造技术发展的一个里程碑。形形色色的电子产品，从电子表、手机到电视机、计算机，从工业自动化生产线到医院的心电图机，从汽车电器到航天飞机，都离不开印制电路板。



活动延伸

利用课余时间，再找出一两种废旧电器，看看里面还有哪些自己不认识的电子元器件，并查阅有关电子元器件的书刊或请教相应的专业人士。

微信公众号：电子课本大全

第二节　电子电路入门



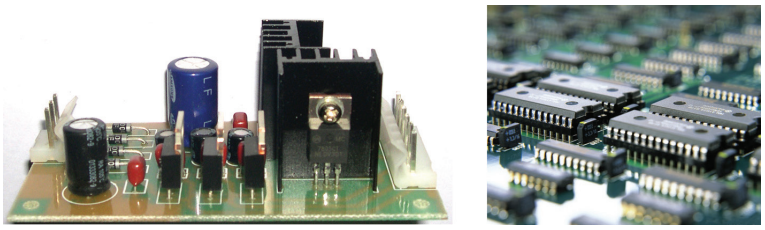
学习导航

1. 怎样用图形符号表示电路图？
2. 电子电路实验有哪些方法？各有什么特点？



现象与问题

这是两种安装有电子元器件的电路板实体图。电子元器件只有按一定的电路连接起来，才能制成电子产品，发挥出复杂而奇妙的功能。电子产品的电路很复杂，一块小小的印制板上往往林立着很多电子元器件，连接线路纵横交错，让人眼花缭乱。想想看，有什么方法把这些错综复杂的电路用简单明了的方式表示出来？要认识和了解一个电子产品，我们应该从哪里入手呢？



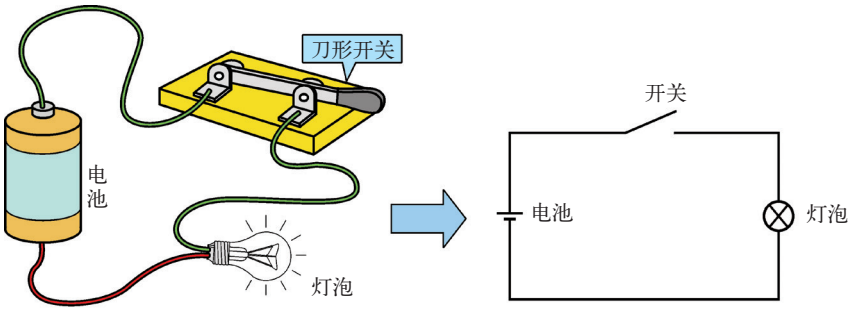
安装了电子元器件的印制电路板



探究尝试

认识电路图

用实物图表示的电路图称为实物布线图。图 1.13（a）是用导线将电池、灯泡、开关连接起来的实物布线图，是“一旦接通电路、灯泡就亮”的最基本的电路。图 1.13（b）是用图形符号表示的图 1.13（a）所示的电灯电路。



（a）实物布线图　　（b）电路图

图 1.13　用图形符号表示实物

微信公众号：电子课本大全

请你感觉一下，用电路图来表示实物布线图，有哪些优点？

若是简单的电路，采用实物布线图则容易理解。但对于复杂的电路，则不仅很难画、很费时间，而且也很难看明白。如图 1.14（a）的实物布线图，虽然算不上复杂，但既不好画，也不好看；而将各种各样的部件符号化，用电气图形符号表示电路的结构则简明易懂。图 1.14（b）用电气图形符号代替实物，按一定规则画出来，这就是电子技术中非常重要的电路原理图，简称电路图 。

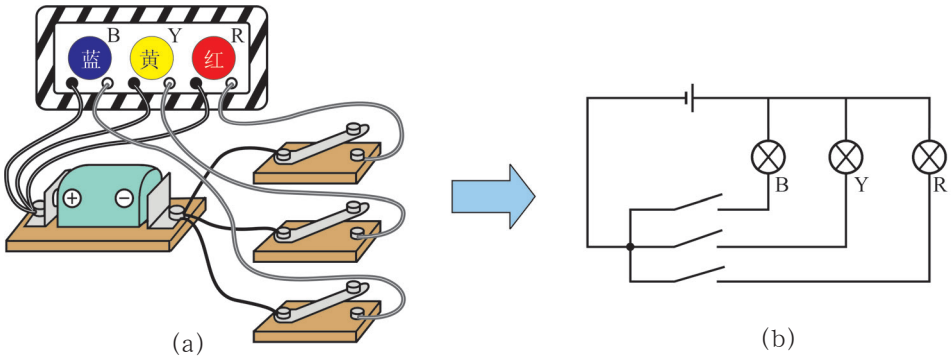


图 1.14　实物布线图到电路原理图

一、电子电路图

1. 主要电路元件的图形符号

电路图是技术交流的语言，图形符号是语言的词汇。词汇不准确甚至错误，就无法正确交流。说话要学习普通话，图形符号要用国家标准符号。但为了交流我们也需要了解其他国家的电路图形符号。表 1.1 是常用的电路元器件图形符号，表中的其他图形符号主要见于有些国外书刊及部分旧书刊中。

2. 电路图主要规则

（1）导线无长短。电路图中 A、B 间的细实线表示导线连接，不表示实际连接的长短（图 1.15）。

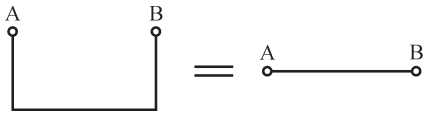


图 1.15　电路图中的线段不表示导线长短

（2）图形符号无大小和方向（图 1.16）。

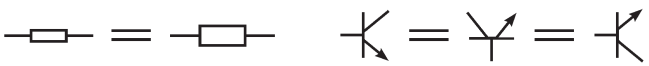


图 1.16　电路图中图形符号大小和方向不影响表达含义

（3）导线的连接和交叉的表示方法。如图 1.17 所示，电路图中导线交叉时是否连接是用小黑点的有无来区别的。

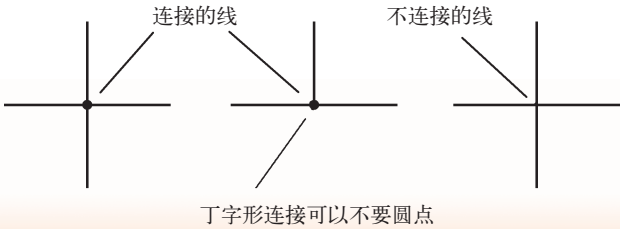


图 1.17　电路图中导线的连接和交叉

微信公众号：电子课本大全

表 1.1　常用电路元器件符号与图形符号

元件名称外形	文字符号	国标图形符号	其他图形符号	元件名称外形	文字符号	国标图形符号	其他图形符号
电阻	*R*			二极管	VD		
可变电阻	R_P			发光二极管	VD		
电容	*C*			三极管	VT	NPN PNP	NPN PNP
电解电容	*C*			电压表 电流表	PV PA	V A	
可变电容	*C*			保险丝	F		
线圈	*L*			灯泡	H		
变压器	T			电池	E		
开关	S			扬声器	B		
按钮开关（自动复原）	SB						

微信公众号：电子课本大全

（4）接地的表示方法。接地是电路图中使用最普遍的符号，常见表示方法如图 1.18 所示，两种符号可以通用。



图 1.18　电路图中接地的表示方法

在电子电路图中，接地并不是真正的接到大地，大多数情况只是表示电路中一个公共连接点，例如直流电源的负极。可以把电路图中分散的接地点作为一个连接点。例如图 1.19（a）表示的是图 1.19（b）所示电路结构共用地线的情况。为了使电路简化，经常使用这种表示方法。

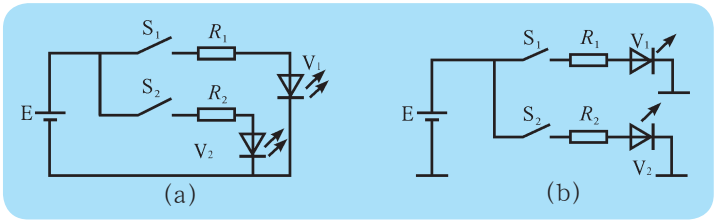


图 1.19　共公接地点的表示方法

（5）电路图的顺序。图形符号的配置是根据信号的流动、电流的流动等顺序从左到右或从上到下展开的。一般把电源（+）侧的导线画在电路图的上侧，（−）侧的导线画在电路图的下侧。如图 1.20 所示是一种充电器电路图，左边是电路的输入（220V 交流电源），右边是输出（3 ～ 6V 直流电压）。

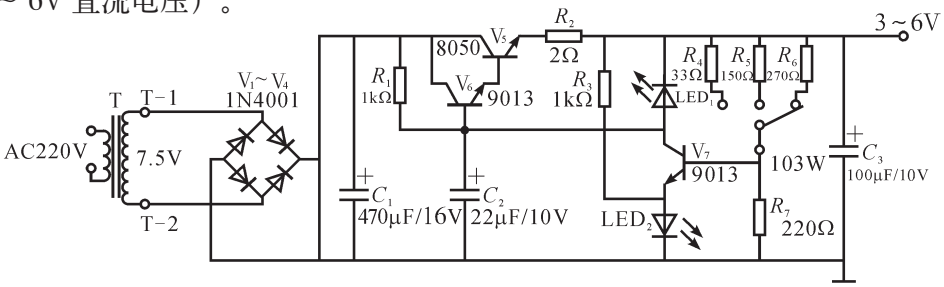


图 1.20　直流稳压充电器电路图

（6）包含集成电路（IC）的电路。图 1.21 是利用 IC（74LS00）的 LED 灯电路。IC 的内部电路和引线的情况如图 1.21（a）所示。根据该 IC 的引脚配置进行电路连接，如图 1.21（b）所示，在每个单元电路上标记引脚号，便于实验布线，IC 的 1 号引脚有 IC 方位标记。

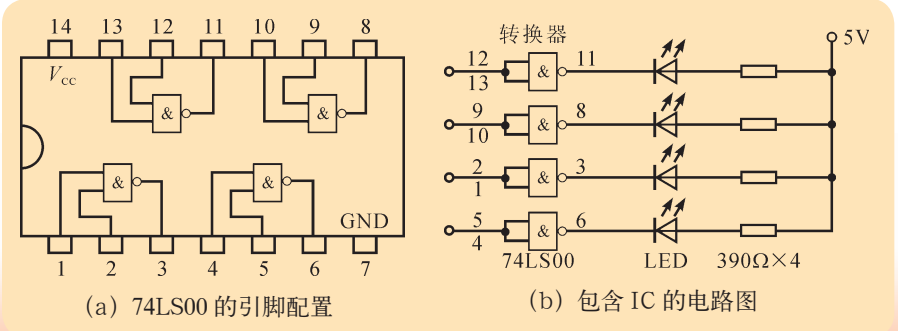


图 1.21　集成电路引脚与电路图

微信公众号：电子课本大全



实践活动

画出教室电灯控制的电路图。如果想在两个位置（如前门、后门）都能控制电灯的开关，应该怎样设计电路？试画出电路图。

教室电灯控制的电路图

从两个位置控制教室电灯的电路图

二、电子电路实验

电子产品的电路设计完成后，就要进行各种各样的实验，以验证其科学性和合理性。常用的实验方式主要有以下几种：

1. 虚拟电子实验室（台）

这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。这方面的软件有很多，例如虚拟电子实验室——电学电路实验 2.0、模型电路实验室 2.0 等。图 1.22 是一种虚拟电子实验室实验图。

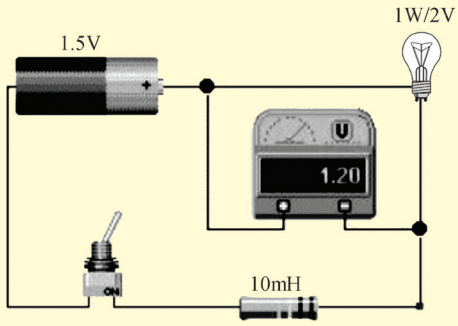


图 1.22　虚拟电子实验室实验图

微信公众号：电子课本大全

EWB5.0 及其更新版本 multiSIM7（图 1.23）、multiSIM13 是常用于虚拟电子实验的 EDA 软件。

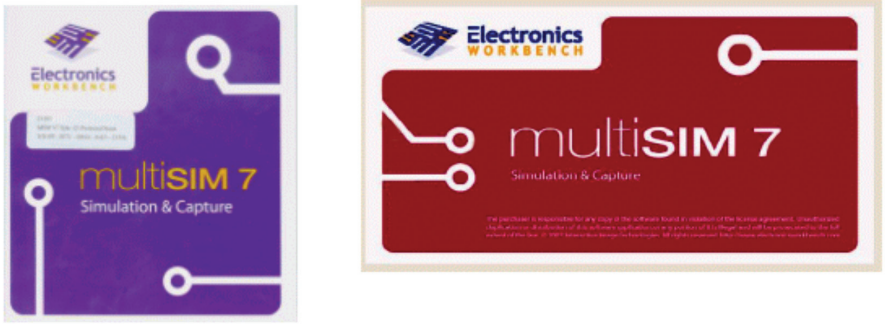


图 1.23　EDA 软件：multiSIM7 封面

2. 电子实验教学仪器及电子积木

有很多教学仪器厂生产电子实验箱和实验台（图 1.24）。在这些实验仪器上，生产厂家根据教学要求，把典型电路按照电路原理图接好元器件，实验时只需按实验指导书要求插接元器件和连接线即可实现一定功能的电路。

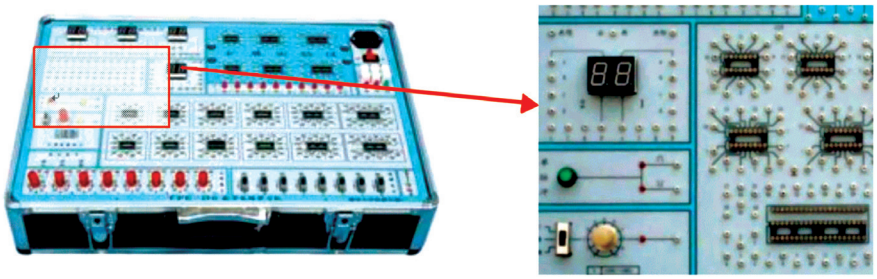


图 1.24　电子实验教学仪器

另外有一些所谓电子积木（图 1.25），也能做不少电子实验，适合对电子技术感兴趣的初学者。



图 1.25　电子积木



新视窗·知识外延

虚拟电子实验室（台）

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器件以及仪器仪表，不需要任何真实的元器件与仪器，就可以进行各种电子电路实验。它具有功能全、成本低、效率高、易学易用以及便于自学、便于开展综合性或设计性实验等优点。

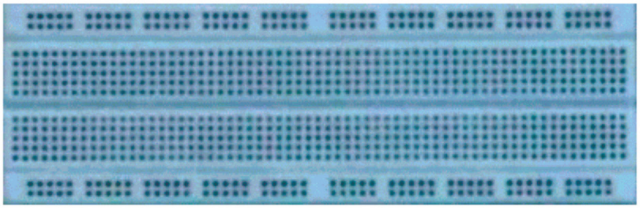
虚拟电子实验台可以作为各种电路实验的一种补充与辅助手段，同时在工程实践中还可作为复杂的电子系统的设计、仿真与验证的实用手段，实现电子电路与系统的电子设计自动化（electronic design automation，EDA）。



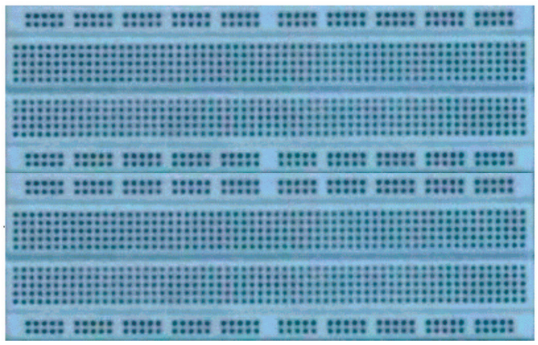
微信公众号：电子课本大全

3. 面包板

面包板（图 1.26）是一种专门为电子实验设计制造的产品，上面的元器件采用插接方法连接，在电子电路实验中应用很方便。



（a）单块面包板



（b）多块面包板拼接

图 1.26　面包板

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 个一组是相通的。双列直插式集成电路的引脚分别可插在两边，如图 1.27 所示。每个引脚相当于接出 4 个插孔，它们作为与其他元器件连接的端子，接线很方便。面包板上下两边各有一条每 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用作公共信号线、接地线和电源线。

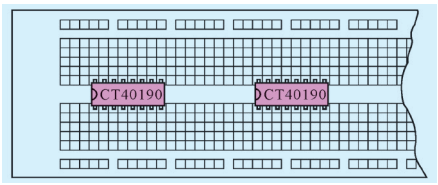


图 1.27　面包板上插接 IC

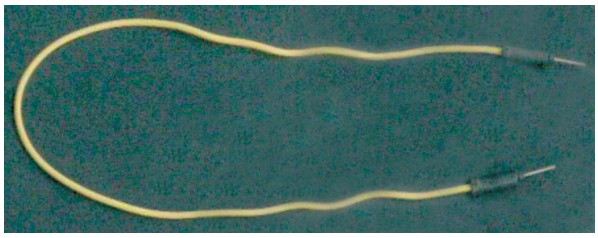


图 1.28　专用连接线

面包板上可直接插接引线直径 0.5mm 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，元器件相互连接可采用图 1.28 所示的专用连接线，也可以用直径 0.5mm 的单股塑料导线。



实践活动

1. 通过网络或其他渠道获得虚拟电子实验室（台）软件，安装并学会使用。
2. 观察“电子控制技术实验箱”，了解它的结构。
3. 练习用于面包板的连接导线的加工方法。

微信公众号：电子课本大全

第三节　电子制作基础



学习导航

1. 常用的电子装配工具有哪些？其用途是什么？
2. 印制电路板的装配方式有几种？各有什么特点？
3. 电子焊接的操作要点是什么？什么是焊接的“五步法”？

电子技术是实践性很强的一种实用技术，作为学习的开始——初级阶段，可以采用电子积木或简单的虚拟电子实验室；到了学习的深入阶段，就应该使用较复杂的虚拟电子实验室，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，应该进入电子制作的天地。

所谓的电子制作是自己设计制作印制板、自己焊接安装电子元器件、自己调试，完成具有特定功能并可以独立长期使用的电子装置。任何一种产品都是脱胎于电子制作，今天的“丑小鸭”可能就是明天的“白天鹅”。本节只介绍印制电路板的安装和焊接知识。



实践活动

认识几种常用的电子制作工具

请说出下列工具的名称和用途：

1. 基本工具（图 1.29、图 1.30）



图 1.29　基本工具（1）





图 1.30　基本工具（2）

微信公众号：电子课本大全

2. 辅助及替代工具（图 1.31）

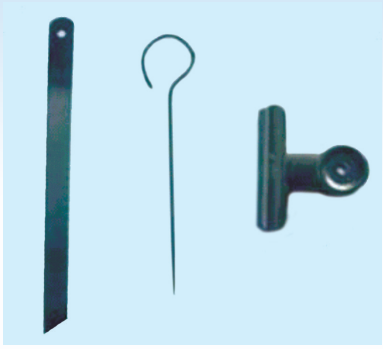


图 1.31　辅助工具

一、印制电路板安装

1. 印制电路板的插装与贴装（图 1.32）

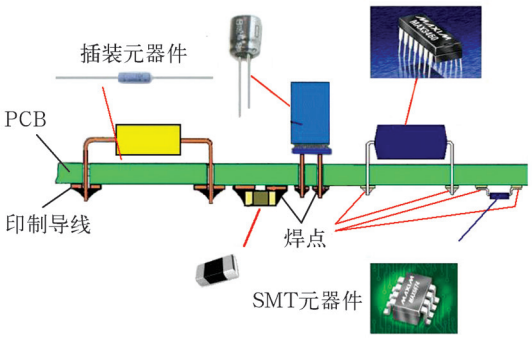
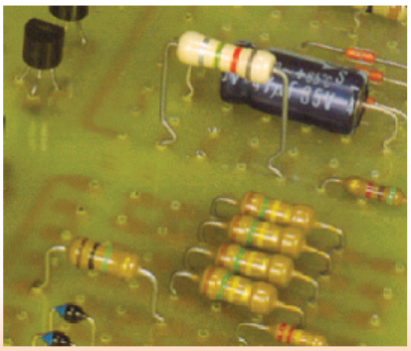


图 1.32　印制电路板的插装与贴装

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

表面贴装技术（surface mounting technology，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状元器件直接贴装在电路印制板铜箔上，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。现在，几乎所有电子信息产品（例如手机、数码相机、电子词典、笔记本电脑等）都采用 SMT 技术制造，其他电子产品也逐渐采用。SMT 已经成为电子产品制造的发展趋势（图 1.33）。



插装方式



贴装方式

图 1.33　采用插装和贴装的印制电路板

微信公众号：电子课本大全

2．元器件插装

传统电子制作中大量使用的是插装元器件。安装前需要将元件引线按需要弯成一定形状（图 1.34）。图 1.34（a）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 1.34（b）称为卧式安装，优缺点恰好与立式相反。

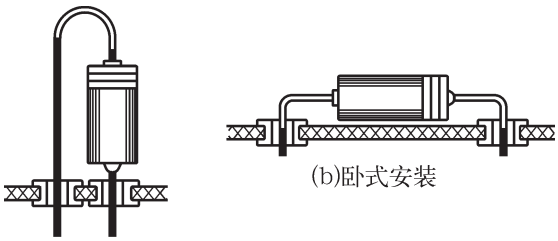


图 1.34　电子元器件的插装方式

元器件插入印制板后需要在焊接面将引线弯曲，以便翻面焊接（图 1.35）。

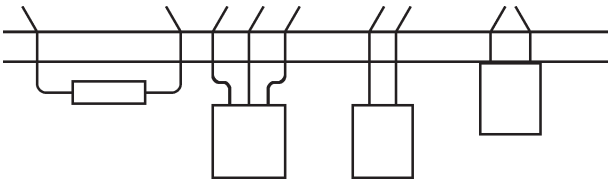
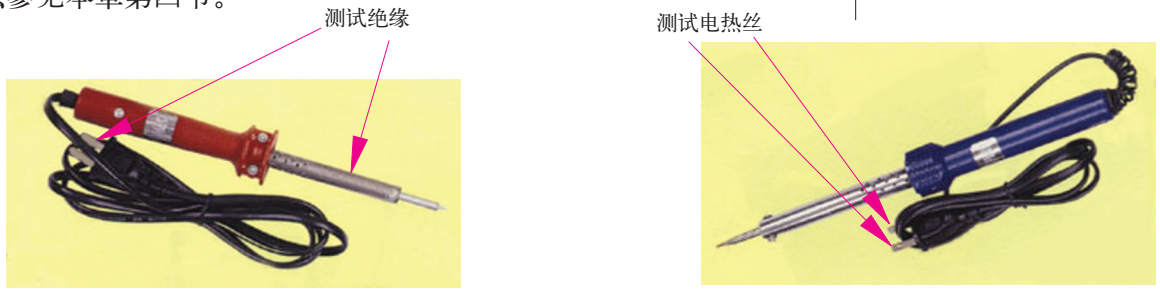


图 1.35　引线弯曲

二、电子焊接

1．焊接安全

（1）电烙铁不能漏电。常用的电烙铁使用的是 220V 的交流电源，这是对人体危险的电压。因此，烙铁头漏电或导线破损都是危险的，使用前必须用万用表欧姆挡进行绝缘和电热线圈的检查（图 1.36），方法参见本章第四节。



（a）检测绝缘　　（b）检测电热丝

图 1.36　用万用表欧姆挡进行电烙铁漏电检查

（2）防止烫伤。电烙铁是电子制作的必备工具，通常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℃，直接触及电烙铁头肯定会造成烫伤。工作中烙铁应放置在工作台右前方的烙铁架上。观测烙铁温度时应用烙铁头熔化焊锡或触及湿布，千万不要用手触摸烙铁头。熔化状态的焊锡温度在 230℃以上，烙铁头上多余的焊锡不能乱甩。

微信公众号：电子课本大全

（3）电烙铁用完要拔出电源插头。

2. 焊锡

手工电烙铁焊接常用管状焊锡丝。焊锡丝的成分一般是含锡量60% ~ 65% 的铅锡合金。管状焊锡丝内部有助焊剂（图 1.37）。助焊剂的成分主要是松香。

随着人类文明的进步，人们的环境意识正逐渐增强。为了保护生态环境，无铅焊接已经成为发展趋势。目前进入实用的无铅焊锡是锡银铜合金（95.5%Sn，3.8%Ag，0.7%Cu），熔点为 217℃，但焊接性能不如铅锡合金。



绕成线轴的焊锡丝

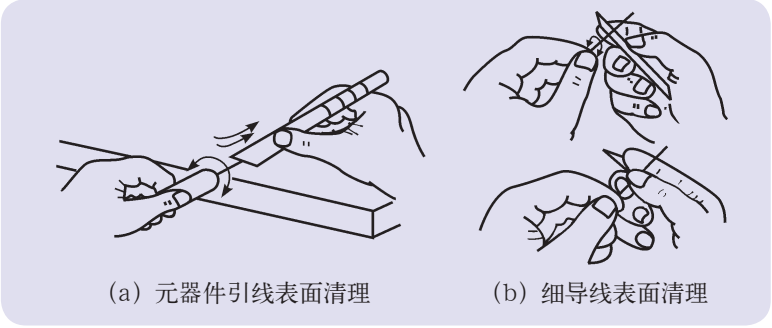


焊锡丝的组成

图 1.37　手工焊接用焊锡丝

3. 操作要点

（1）焊件表面处理。电子制作中遇到的各种各样的电子元器件和导线，在焊接前一般都需要进行表面清理工作，以去除焊接面上的锈迹、油污、灰尘等影响焊接质量的杂质。手工操作中常用机械刮磨等简单易行的方法（图 1.38）。



（a）元器件引线表面清理　　（b）细导线表面清理

图 1.38　元器件表面清洁

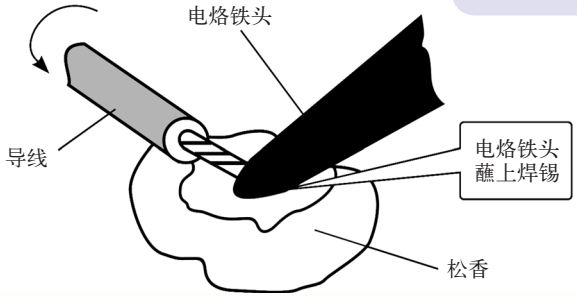


图 1.39　导线预焊

（2）预焊。预焊就是将要焊接的元器件引线或导线的焊接部位预先用焊锡润湿，也称为镀锡。预焊在手工焊接、特别是在电子产品研制工作中的调试与维修中，是必不可少的环节。 导线的预焊方法见图 1.39。

（3）焊接的五步法（图 1.40）。

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部要保持干净，即可以蘸上焊锡（俗称吃锡）。

微信公众号：电子课本大全

② 加热焊件。将烙铁头接触焊接点，注意要使电烙铁均衡加热焊件的各个部分，如电路印制板上的引线和焊盘都应均匀受热。

③ 熔化焊料。当焊件加热到能熔化焊料的温度后将焊锡丝置于焊点，焊锡丝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是大致与电路印制板成 45° 的方向，并且移开的速度要果断、快速。

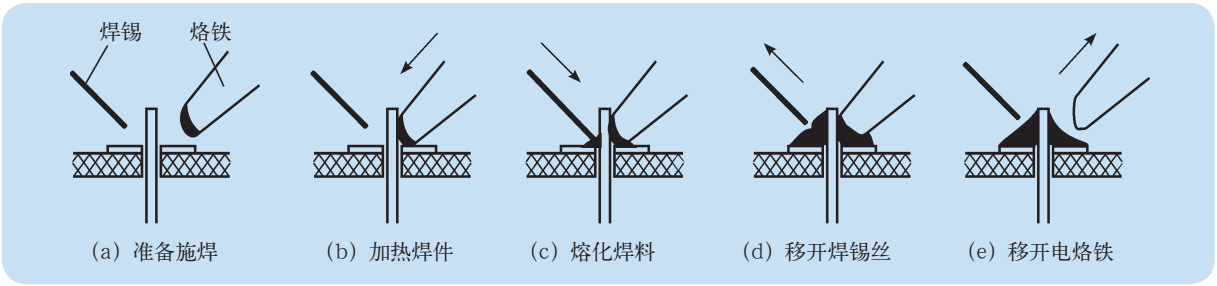


图 1.40　焊接的五步法

上述过程，对一般焊点而言需时 3 ～ 4s。对于热容量较小的焊点，例如电路印制板上的小焊盘，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，只有通过实践才能逐步掌握。

4. 片式元器件贴装与焊接

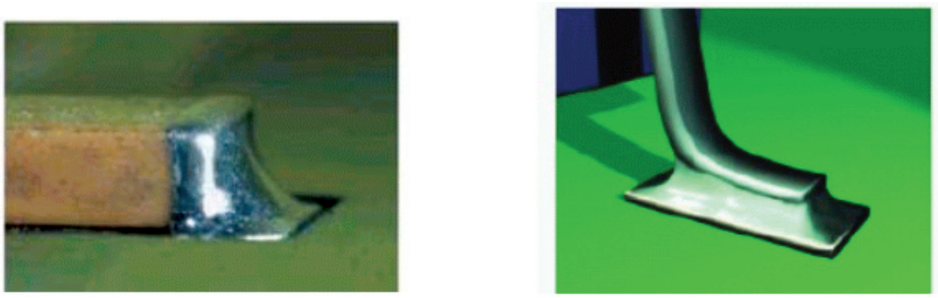
一般电子制作中用到的片式元器件都可以用手工方法安装，其过程如下：

(1) 安装前要把电路印制板上装片式元器件的焊盘镀上一层焊锡。

(2) 用镊子小心夹持片式元器件并按要求的方向贴放到印制板上，注意对准元器件引线和焊盘。

(3) 用镊子轻轻按住，用电烙铁蘸少量焊锡，快速焊接。

图 1.41 是片式电容和短引线集成电路焊接点外观。



(a) 片式电容　　(b) 短引线集成电路

图 1.41　贴装焊接点外观

5. 焊接质量

图 1.42、图 1.43 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，焊锡与焊件交界处要平滑，接触角应尽可能小。

微信公众号：电子课本大全

（2）表面有金属光泽（无铅焊接无金属光泽）且平滑（图 1.44）。
（3）无裂纹、针孔、夹渣和虚焊。

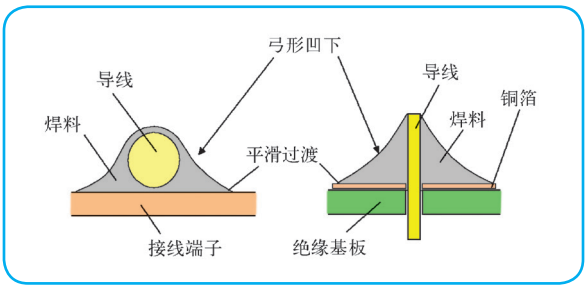
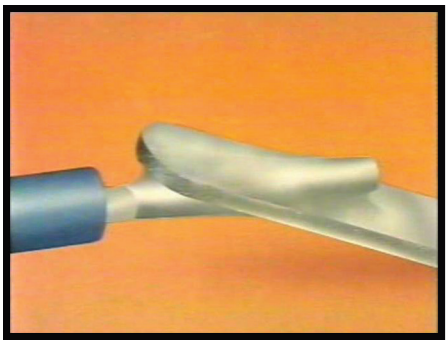


图 1.42　典型焊点外观



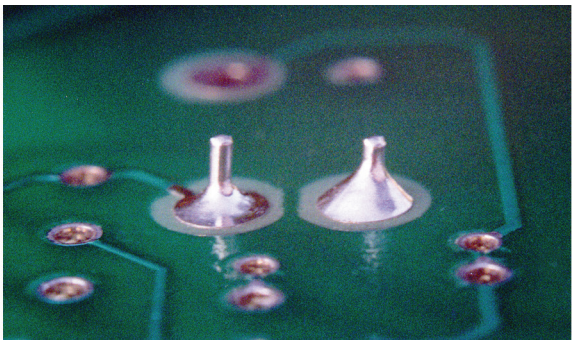


图 1.43　实际焊点外观

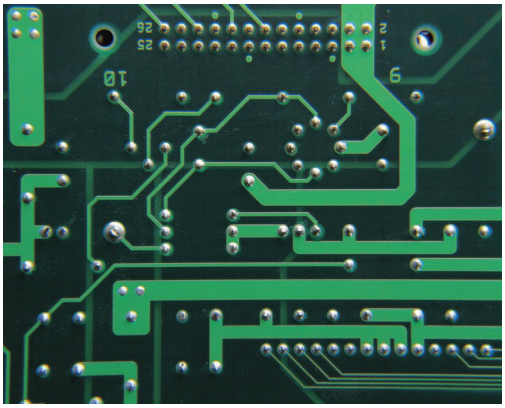


图 1.44　印制电路板上的焊点外观图



活动延伸

在废旧电路板等器材上练习手工电烙铁焊接，每人完成 20 个连接细导线的焊点，同学之间互相评价焊点质量。

微信公众号：电子课本大全

第四节　电路检测

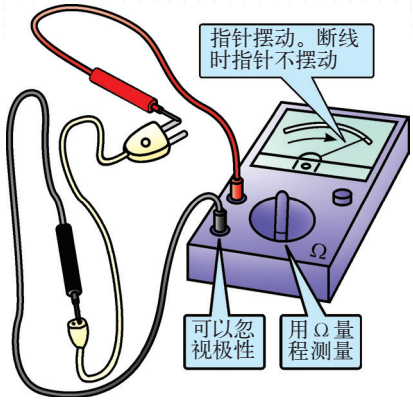


学习导航

1. 万用表的基本组成是什么？它有哪些主要功能？
2. 万用表的基本测量操作内容有哪些？一般操作要领是什么？



现象与问题



用万用表发现电源线断线故障

你有过家用电器不工作的经历吗？当你回家准备用电脑完成作业时，按下开关电脑一点反应也没有，“爸爸，家里的电脑坏了！我的作业怎么办呀！”你着急地叫喊着。当电气工程师的爸爸拿出一个叫万用表的东西，东量量，西测测，不一会儿电脑就恢复工作了。“爸爸真伟大！”“电脑没坏，只是电源线断线了。”

“万用表真神奇！”当你赞叹的时候，一定希望自己也会使用万用表，成为排除电器故障的高手，进而自己动手制作奇妙的电子控制装置。

讨论：

1. 你见过万用表吗？你用过万用表吗？
2. 它为什么叫“万用”表呢？

一、认识万用表



(a) 模拟型万用表　　(b) 数字型万用表

图 1.45　两种常用的万用表

万用表可以测量电压、电流、电阻等多种电量，是一种使用灵活、携带方便、功能齐全的测量仪表，是我们与“电”打交道的最好助手。万用表检测是电路检测的基础。图 1.45 是两种常用万用表的外观图。

微信公众号：电子课本大全

1. 模拟型万用表与数字型万用表

万用表分为模拟型（也称指针式）万用表与数字型万用表。模拟型万用表可靠耐用，观察动态过程直观，但读数精度和分辨力较低。数字式万用表读数精确，但观察动态过程不直观。

模拟型万用表和数字型万用表二者配合可取长补短。例如，调试电源可用数字型万用表测电压，读数精确直观；用模拟型万用表测电流，可以观察动态过程。要求精确度高时应采用数字型万用表。

无论哪种类型的万用表，它的基本结构都是将电压表、电流表、欧姆表的功能集中在一个盒子里，能够测量电压、电流、电阻等电量。

2. 万用表的组成

（1）表头。表头是模拟型万用表的心脏。其工作原理是利用电磁感应将电量的变化转化成指针偏转角的变化。表头是比较精密而又娇气的机电元件，较强的振动或过载都会损坏它。

（2）电路板。电路板是万用表的大脑。电路板在表壳内部，由电子元器件和电路印制板装配而成（图 1.46）。



模拟型　　数字型

图 1.46　模拟型和数字型万用表的电路印制板

（3）转换开关和插孔。转换开关和插孔是万用表的四肢，二者结合实现换挡（选择待测电量）和换量程（测量范围）等各项检测功能。

表面上的符号分别表示以下意思：

DC　　直流，AC　　交流

V　　电压［单位为伏（V），mV 为毫伏］

Ω　　电阻［单位欧姆（Ω），kΩ 为千欧姆，MΩ 为兆欧姆］

A　　电流［单位安培（A），mA 为毫安］

（4）表盘和显示屏。表盘和显示屏是万用表的语言。不同挡位和量程对应表盘上不同的刻度，可以正确显示测量信息。显示屏是数字表特有的，常见有液晶显示（LCD）和发光二极管（LED）显示。

（5）测试棒，又称表笔，是万用表的测量端与表体的连接线。一般有红（表示接直流电正极）黑（表示接直流电负极）两个测量棒。

微信公众号：电子课本大全

二、万用表的基本操作方法

万用表的使用要领如下：

（1）模拟型万用表机械调零。在使用模拟型万用表之前，应先检查“机械零位”，即在没有被测电量时，万用表指针指在零电压或零电流的位置上。否则，应进行“机械调零”（图 1.47）。

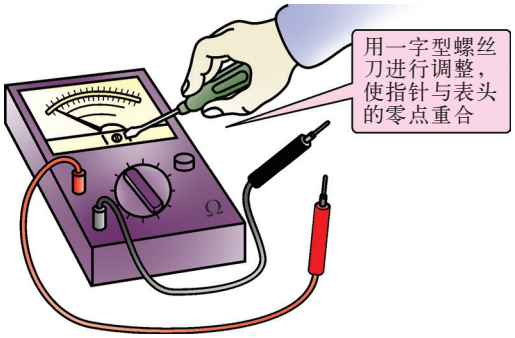


图 1.47　模拟型万用表机械调零

（2）不可手触测试棒的金属部分。在使用万用表过程中，不能用手去接触测试棒的金属部分。这样做一方面是为了保证测量的准确，另一方面也为了保证人身安全。

（3）万用表的挡位和量程选择。万用表的“挡”是选择被测量电量类型的，如是测电压，还是测电流，还是测电阻？“量程”是测量被测电量范围的，选择量程应该与被测电量大小相适应。如果不能判定被测电量大小时，应该选择表中最大的量程，然后根据显示结果调整量程。对于模拟型万用表，应使指针在满刻度的二分之一以上的位置，这样测量结果比较准确。

（4）先选挡后测量。在测量某一电量时，不能在测量时换挡。尤其是在测量高电压或大电流时，更应注意。否则，会使万用表毁坏。如需换挡，应先断开测试棒与电路的接触（图 1.48）。

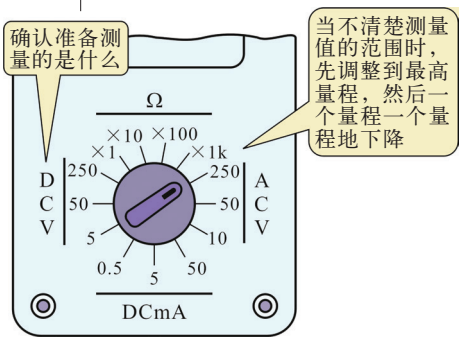


图 1.48　先选挡后测量

（5）使用模拟型万用表时应注意表的位置。模拟型万用表在使用时，必须水平放置，以免造成误差。同时，还要注意避免外界电场对万用表的影响。

（6）用毕归位。模拟型万用表使用完毕，应将转换开关置于交流电压的最大挡；数字型万用表应关断电源。如果长期不使用，还应将万用表内部的电池取出，以免电池漏液腐蚀损坏表内其他元器件。

（7）握笔方法。用万用表测量时一般采用单手握测试棒（图 1.49），测量点较远时可用双手握测试棒。

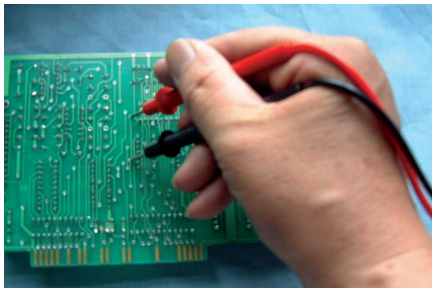


图 1.49　单手握笔

三、电路测量

1. 电阻值的测量

（1）确认万用表的零点。设定电阻量程并调零。

（2）用测试棒接触电阻引线（图 1.50）并读出刻度值。注意不要双手握测试棒，避免测量误差（图 1.51）。

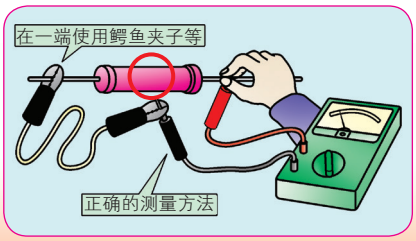


图 1.50　电阻值的测量

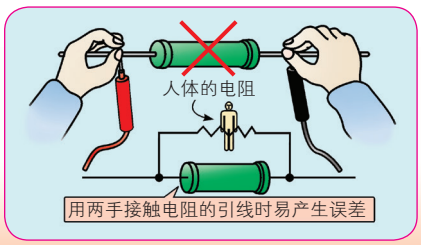


图 1.51　不要双手握测试棒

微信公众号：电子课本大全

小 资 料

模拟型万用表测电阻先调零

测量电阻时，模拟型万用表应进行调零（黑、红测试棒短接，调旋钮使指针在电阻零位）。数字型万用表也应进行零位检测，在200Ω挡时测试棒短接电阻≤1Ω。

模拟型万用表调零方法如下：

（1）将万用表水平放置，从正上方观察读数。

（2）确认测量量程（图1.52）。

（3）调整万用表的零点位置（图1.53）。

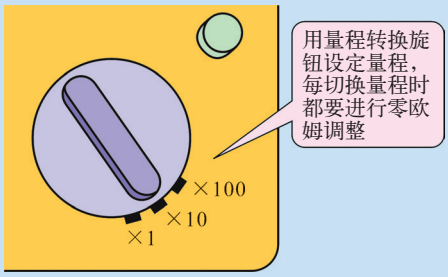


图1.52　Ω挡量程

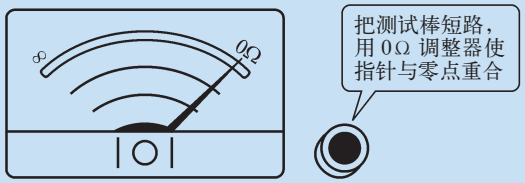


图1.53　模拟型万用表的调零

2. 直流电压（DC）的测量

直流电有“+”极、“−”极极性，将红色测试棒插入万用表的“+”极插孔，将黑色测试棒插入“−”极插孔。具体测量步骤如下：

（1）调整DC测量范围。如果知道被测值，就将测量范围设定得比该值大。若不知道被测值时，就设定在最大量程。

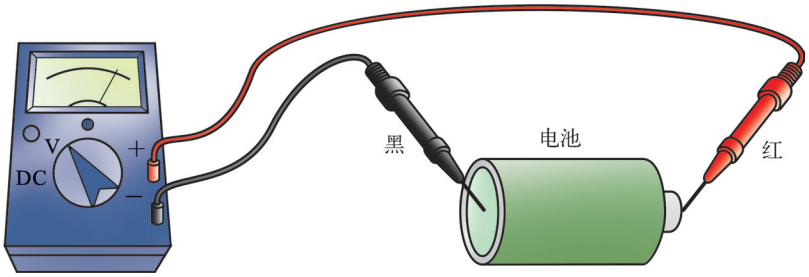


图1.54　测量直流电压

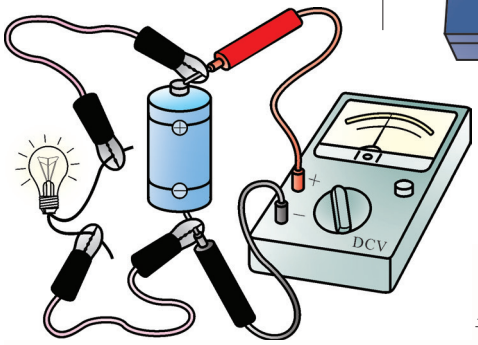


图1.55　干电池的电压测量

（2）用测试棒分别接触待测电压的两个端点（图1.54）。

（3）根据量程读出刻度。

（4）干电池直流电压的准确测量。干电池在无负载时，无论是旧电池（内部阻抗大）还是新电池显示的电压值都一样。要准确测量必须给干电池加一个负载，例如灯泡等。如图1.55所示。在使用万用表测量直流电量（电压或电流）时，要注意测试棒的极性，以免极性错了损坏万用表表头。

微信公众号：电子课本大全



实践活动

测量交流电压

请同学们选择室内的电源插座，分组进行交流电压的测量（图 1.56）并回答下面的问题（每个同学至少都要实际操作一次，测量结果可以取全组同学的平均值）。

1. 你们组的测量步骤：

（1）

（2）

（3）

2. 你们组参加测量的人数和测量结果：

3. 你们认为应注意的问题：

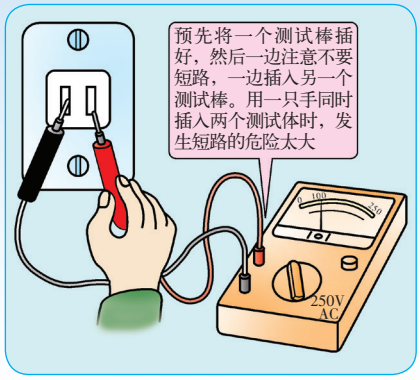


图 1.56　测量交流电压

3. 直流电流（DC）的测量

为了测量流经电路的电流的大小，应该像图 1.57 那样将电路的一部分切断，将万用表与电路串联起来进行测量。注意：测量时万用表测试棒的接法应使电流从万用表“+”端流入，“−”端流出。

读取刻度时，如果指针的摆动较小时，可以转换量程使指针摆动到表盘刻度的中央附近，以增加测量读数的准确性。

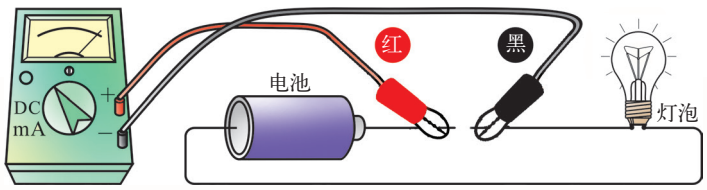


图 1.57　测量直流电流

微信公众号：电子课本大全



探究尝试

测量两手之间的电阻值

在下面三种情况下测量自己两手之间的电阻值（图 1.58）：

（1）两手干燥。

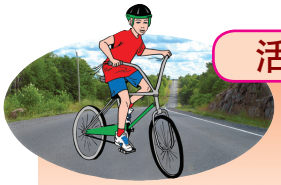
（2）一只手干，一只手湿。

（3）两手都湿。

比较测量结果，想一想这说明了什么问题，对实际操作电器和使用万用表有什么指导意义？



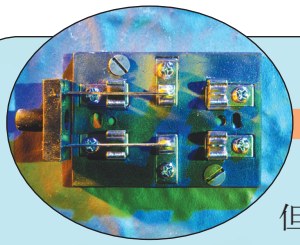
图 1.58　测量两手之间的电阻值



活动延伸

用电子测量实验箱进行以下测量：

1. 测量实验箱上的电阻 R_1 ～ R_8，比较标称值和实测值。
2. 测量实验箱上的直流电压 V_1 和 V_2。
3. 测量使 LED 开始发亮、中等亮度和最亮时的电流值。



本　章　小　结

电子控制技术在工业、农业、科研和国防部门中的应用越来越广泛。但学习和掌握这门技术要从最简单的基础知识和技术入手。本章分四节介绍的就是电子控制技术的入门知识。

对电子元器件和制作材料的认识是最基本的知识。电阻、电容、电感、晶体管、集成电路以及电路印制板，构成了奇妙无比的电子世界和琳琅满目的电子产品。

电子元器件必须有规律地连接成电路，才能制成电子产品发挥作用。用各种符号来表示电子元器件并把它们绘制成电路图，可以简单明了地显示出电子产品的设计构思、工作原理和结构构造，为电子产品的制作奠定基础。

良好的设计方案必须实际动手去做，并按一定的方法进行组装和调试，才能制造出符合质量要求的产品。本章还扼要介绍了相应的制作和检测技术。

要实现每个人都会有的“奇思妙想”，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。电子制作并不神秘，电路板有插装和贴装两种安装方式，电路焊接按“五步法”操作可以保证质量。学会万用表的基本使用方法可以使你成为电子检测和维修的“小专家”。但是要记住，只有付出，才有收获，成功只属于勤奋认真的人。

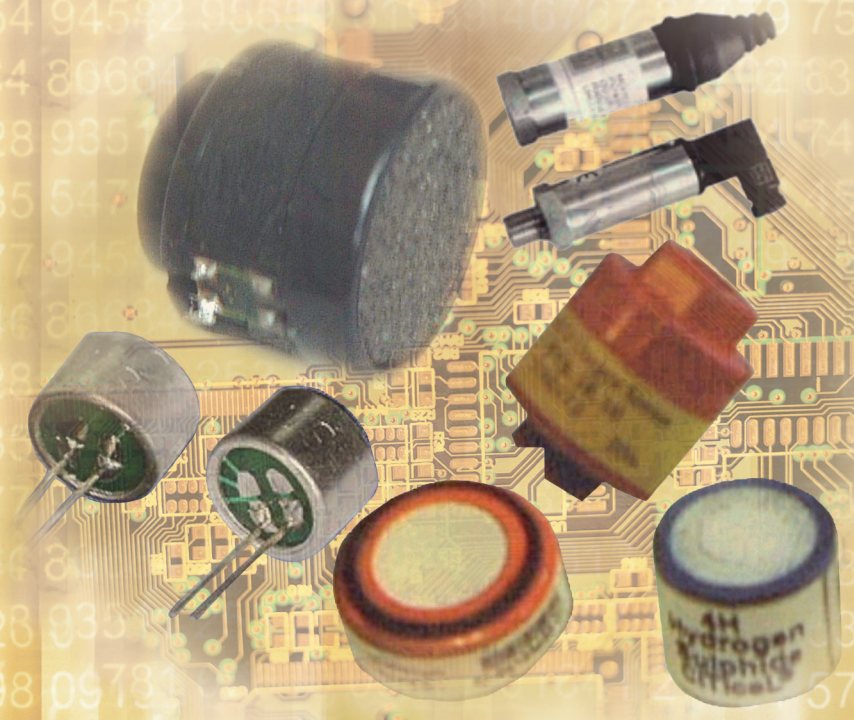
微信公众号：电子课本大全

第二章　传感器

在我们日常生活中，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，举不胜举。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。

本章将通过对最常用、最容易理解的温度传感器、光传感器、声传感器以及磁、力等传感器的介绍，使我们对传感器大家族有一个初步的认识，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。



微信公众号：电子课本大全

第一节　认识传感器



学习导航

1. 什么是传感器？传感器在电子控制中起什么作用？
2. 常用传感器有哪些种类？
3. 传感器和计算机有什么关系？



现象与问题

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。

在大型仓库和宾馆等地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。

讨论：

1. 自动门是通过什么“感知”来人的？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）五官。“看到升旗仪式了”“听到雷声了”“闻到糊味了”“这个橘子太酸了”“这个房间太热了”等，都是人体的五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，手碰到刚开的热水壶，感到烫（信息采集）就会急忙将手缩回（信息处理——输出）。

如果人体对温度失去感觉，后果不堪设想。五官对人体的重要性不言而喻。



图 2.1　电五官的作用

微信公众号：电子课本大全

人类在生产劳动中和科学实验中，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 2.1），它们的正式称呼叫传感器。

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”的意思。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，例如感知磁场、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转换器，不过现在只有传感器是符合国家标准并被多数人接受的名称。

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，才能被威力无比的“电脑”接收和处理，从而实现对信息的存储、加工和处理的功能。感受外界信息并转换成电信号是传感器的基本作用，也是传感器的含义（图 2.2）。



图 2.2　传感器的功能

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。最直观的一种分类方式是模仿人的五官功能进行分类，表 2.1 是这种分类简介。

新视窗·知识外延

正确认识传感器

按字面理解传感器就是传递感觉的器件，功能是“一感”（感觉外界信息）“二传”（变成电信号传出去）。

关于传感器的作用，还有一种表达：传感器是将待测自然量变换成电量的元件或装置。

待测自然量（物理量、化学量、生物量等）→传感器→电信号。

有时直接将传感器按功能称呼，如“电子眼”（视觉传感器）、“电子鼻”（气味传感器）、“传声器”（听觉传感器）等。

微信公众号：电子课本大全

表 2.1　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
		力	应变片　压力传感器	压阻效应　压电效应
触觉	皮肤	温度	热敏电阻 热电偶　热电阻	材料热效应
嗅觉	鼻	气体　气味物质	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	电化学效应



小 资 料

实际应用中传感器的分类

在实际应用中，一般是按被检测、控制的自然量来分类（图 2.3）。

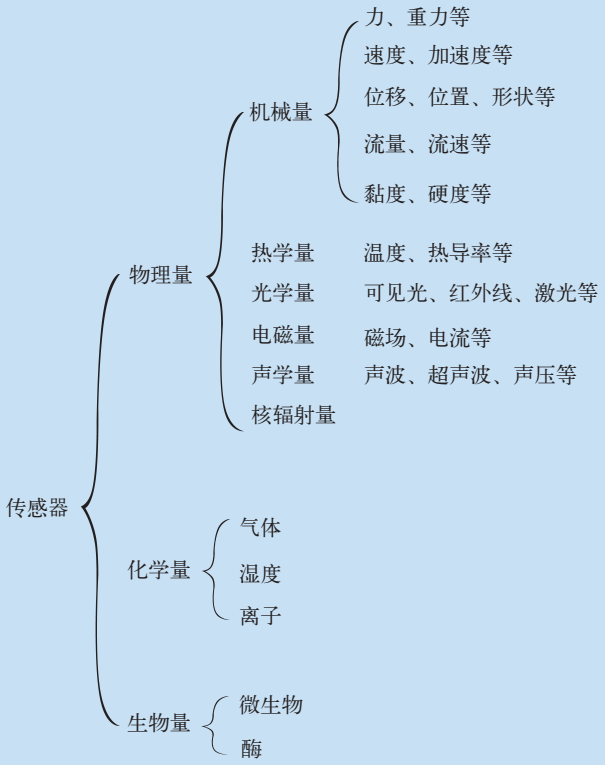


图 2.3　按传感器的应用进行分类

微信公众号：电子课本大全

图 2.3 尽管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。

四、传感器与计算机

传感器与计算机的关系，如同人的大脑和五官的关系一样。现代传感器技术的发展与计算机技术的发展息息相关。传感器输出信号必须能为计算机识别和接受，才能进行信息处理。因此，电信号的规范、传感器与计算机接口技术的发展是必不可少的（图 2.4）。

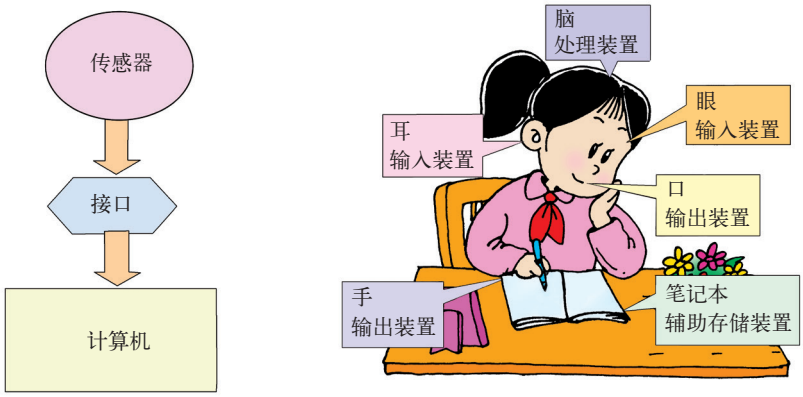


图 2.4　传感器与计算机



探究尝试

1. 分小组通过调查研究、网络查询、阅读产品说明书等，认识 3 种不同的传感器。
2. 写出这些传感器的名称、类型和作用。



活动延伸

把自己家中应用传感器的电器都找出来，写出它们的名称和作用。比比看，哪位同学做得最好。

微信公众号：电子课本大全

第二节　温度传感器



学习导航

1. 热敏电阻按其温度特性分为几类？各有什么特点？
2. 常用的温度传感器有哪些？它们的工作原理是什么？
3. 怎样进行温度传感器的简单识别和测量？

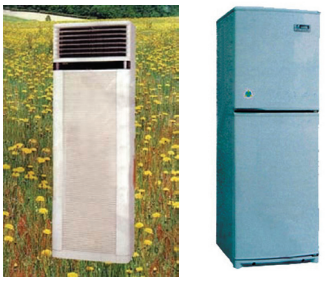


现象与问题

有很多设备和电器可以调节和保持一定的温度。例如，空调器可以使室内温度一年四季都保持稳定，电冰箱的冷藏室可以保持 1 ～ 10℃ 的适应保鲜储存的温度，而冷冻室则保持 − 18℃ 以下的低温并且长期不变，等等。

讨论：

1. 为什么这些设备和电器可以实现温度调节功能？
2. 根据自己的生活经验，说说实现温度稳定控制的方法。



温度传感器的应用

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。例如，家庭型电冰箱、空调器、热水器等。

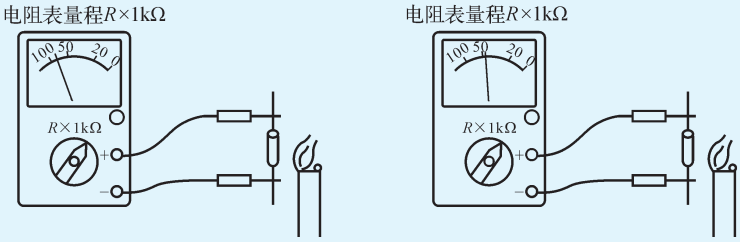
温度传感器是怎样“感觉”温度、并把温度转换成电信号呢？让我们先做一个简单的实验。



实践活动

认识热敏电阻

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 2.5 所示分别进行测量并记录下测量结果。



（a）普通电阻，受热时电阻值基本不变　（b）热敏电阻，受热时电阻值变化明显

图 2.5　两类电阻值的测量

微信公众号：电子课本大全

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

一、热敏电阻

1. 观察电阻值随温度变化

电阻是使用最广泛的一种电子元件。普通电阻的电阻值随温度变化很小，例如在室温下我们用手触摸一般电阻，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。

实际上，大多数材料的电阻都随着温度变化而变化。这一点可以从电阻的基本公式看出

$$R=\rho\frac{L}{A}$$

其中，ρ——电阻率，单位为 Ω · m；

A——面积，单位为 m^2；

L——长度，单位为 m。

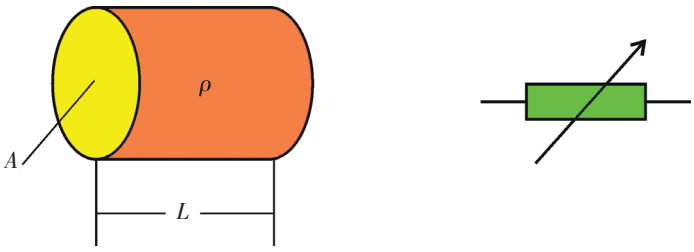


图 2.6　热敏电阻

温度变化时由于热胀冷缩作用，A、L 和 ρ 都将会改变，一般材料 ρ 改变不显著。我们制造普通电阻时要求电阻值稳定，尽量选择 ρ 改变小的材料。而制造测量温度的敏感元件时，就要选择 ρ 改变大的材料。

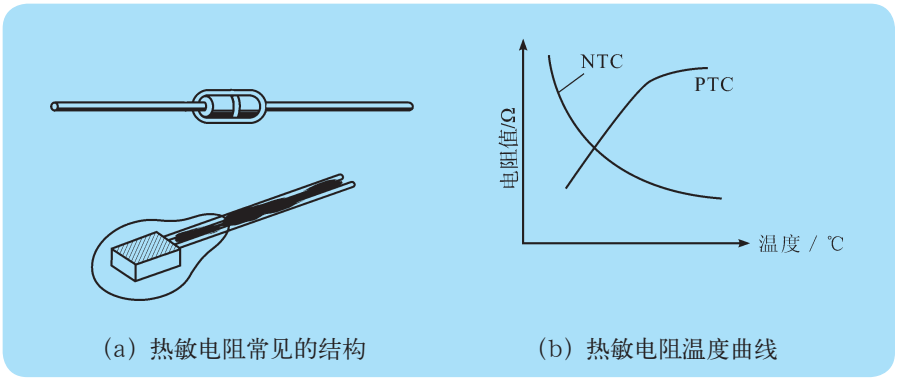
2. 热敏电阻

常用热敏电阻是用金属氧化物半导体材料烧结制成的，不同的氧化物混合制成的电阻对温度变化的反应不同。例如，用钼、镍、钴的氧化物制成的电阻，温度升高电阻变小，称为负温度系数热敏电阻（negative temperature coefficient，NTC）。

另一类材料如钛酸钡制成的热敏电阻，温度升高电阻值变大，称为正温度系数热敏电阻（positive temperature coefficient，PTC）。

微信公众号：电子课本大全

图 2.7（a）是热敏电阻常见的两种结构，图 2.7（b）是两种温度系数热敏电阻的阻值随温度变化的特性曲线。



（a）热敏电阻常见的结构　　（b）热敏电阻温度曲线

图 2.7　热敏电阻的结构及温度曲线

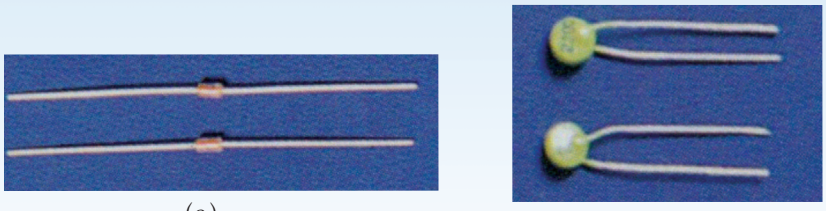
电阻值变化转换为电信号是很容易的。实际上我们用万用表测量热敏电阻时就是把电阻值转换成了电流。同样，如果使通过热敏电阻上的电流保持恒定，热敏电阻上电阻值的变化很容易转变成两端电压的变化。



实践活动

热敏电阻的简单识别及测量

有的热敏电阻外形和别的电子元件很相似。例如图 2.8 中形状和大小都几乎一样的两组元件，（a）是二极管和圆柱形热敏电阻，（b）是电容器和圆片形热敏电阻。



（a）　　（b）

图 2.8　热敏电阻外形

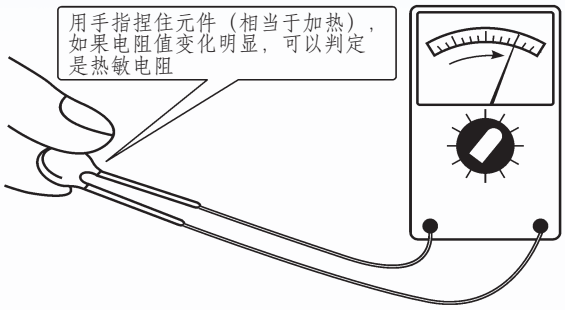


图 2.9　热敏电阻判别

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。

例如用手接触接触它（图 2.9），观察电阻值，如果电阻值变化显著，就可判定它是热敏电阻。

微信公众号：电子课本大全

实际使用的热敏电阻是以 25℃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 10kΩ 的热敏电阻，在 25℃条件下测量，阻值为 9.5 ～ 10.5kΩ 时都是合格品。

二、其他温度敏感元件

除热敏电阻外还有其他元件同样具备“感觉”温度的功能，可以构成不同用途的温度传感器。

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温度测量用的传感器。

除铂外，镍、铜等金属也可用作温度传感器。不同金属的电阻随温度上升而变化的数值不同，而且变化为线性的范围也不同。



实践活动

用铂金属丝制作测量温度的热电阻

铂电阻在 − 200℃到 650℃时温度每上升 1℃电阻值变化为 0.385 1Ω，如一个铂电阻在 0℃时为 100Ω，100℃时电阻值将变为 138.51Ω。铂电阻的结构与外形见图 2.10。

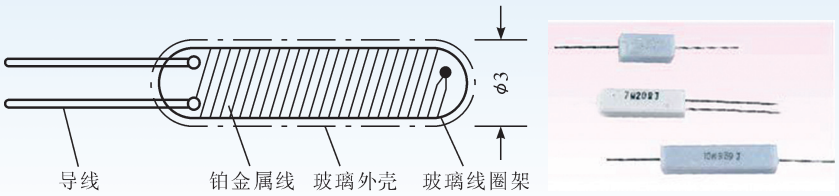


图 2.10　铂电阻结构与外形

用实验热电阻测定不同温度下电阻值的变化，并绘出温度—电阻值变化曲线。

温度	0℃	室温	100℃
理论电阻值 / Ω			
实测电阻值 / Ω			



新视窗 · 知识外延

热敏电阻与热电阻

热敏电阻和热电阻都是温度敏感元件，都可用作温度传感器。不同之处是：

热敏电阻由半导体材料组成，温度系数比较大，而且有正负两种。

热电阻由金属材料构成，温度系数小，而且只有正温度系数。

热敏电阻稳定性不如热电阻，但成本低，用于要求不严格的温度控制电路。

热电阻稳定性高，精度高，但成本高，用于温度测量或高精度温度控制电路。



微信公众号：电子课本大全

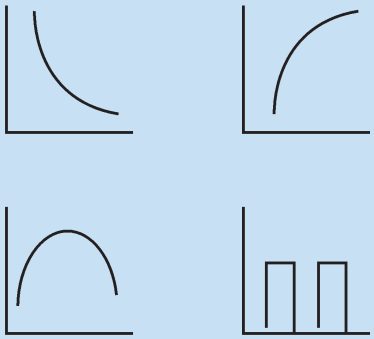
小 资 料

线性与非线性

物理量 x 和 y 如果可以用 $y = kx$（k 为常数）表示，则这两个物理量之间的关系称为线性关系，用坐标图表示是一条直线。如果两个物理量不能用 $y = kx$ 表示，则称为非线性。例如曲线或突变的直线（图 2.11）。



(a) 线性



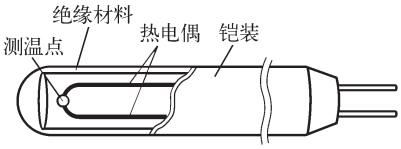
(b) 非线性

图 2.11　线性与非线性

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 2.12（a）是实用热电偶的结构，（b）是实际工业用热电偶的外形。



(a)



(b)

图 2.12　热电偶的结构和外形

小 资 料

热电偶原理

实验证明，当形成一个闭合回路的两种不同金属组成的两个接点各处于不同的温度时，就产生有效的热电动势和连续电流。有效热电动势和连续电流的大小与温度差呈正

微信公众号：电子课本大全

相关，并在一定温度范围内呈线性关系。这种热电效应奠定了热电测温学的基础，热电偶测温及测温差就是基于这个原理（图 2.13）。

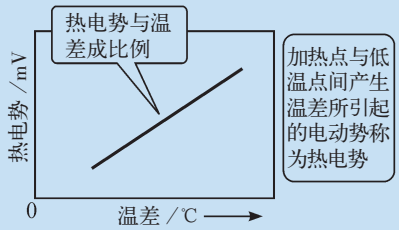
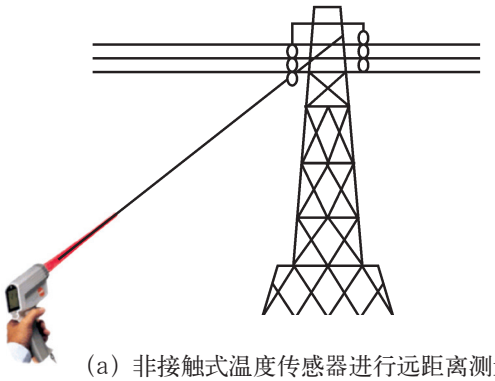


图 2.13　热电偶原理

3. 非接触式测温传感器

以上介绍的热敏电阻、热电阻和热电偶，在测量温度时都必须接触被测物体，它们都属于接触式温度传感器。

但有些需要测量温度的地方采用接触式很困难。例如高压线上的温度、公共场所检测人体温度等。这种场合我们可以采用非接触式温度传感器进行远距离测量（图 2.14）。



（a）非接触式温度传感器进行远距离测量



（b）非接触检测人体温度

图 2.14　非接触式测温传感器



新视窗 · 知识外延

热辐射和地球温暖化现象

白天地球接收来自遥远的太阳照射过来的光而变暖，夜间则以红外线的形式向宇宙释放能量而冷却。这种昼夜循环使地球保持了平均温度基本恒定。

大气成分主要有氮气、氧气、二氧化碳，此外，还含有氩气等。这些气体对可见光和红外线的透明程度是不一样的。氮气和氧气对可见光和红外线的透明程度基本不变；而二氧化碳则具有对可见光透明度高，对红外线透明度低的特性。由于近代社会发展大量燃烧石油、煤炭等燃料，使大气中二氧化碳比例上升，因而夜间以红外线的形式向宇宙释放能量的作用减弱，导致地球温度升高，除二氧化碳气体外，甲烷气、氟利昂气体等也有同样的性质。

地球温度升高带来的直接影响是两极的冰雪融化，导致海平面升高，引起一系列自然灾害。



微信公众号：电子课本大全

非接触式测温原理是辐射能量测量和光谱分析。任何绝对零度以上的物体都有热辐射，而辐射强度与物体的温度有关。热辐射本质上是电磁波，可以利用相应的传感器进行测量，并应用电脑进行分析。我们发展空间技术的目的之一就是利用卫星监测地球温度的分布和变化，更有效地保护我们的环境（图 2.15）。



图 2.15　利用卫星监测地球温度



活动延伸

1. 说出两种以上应用温度传感器的电器。通过查询说明书，了解这些温度传感器的种类。

2. 讨论如何利用温度传感器解决与温度有关的实际问题。

例如：

（1）在没有专门设备的情况下，设法测量热敏电阻在 0℃和 100℃时的电阻值，并与标称值比较。

（2）讨论设计制作“水沸腾报警器”的方案。

微信公众号：电子课本大全

第三节　光传感器和声传感器



学习导航

1. 光敏电阻、光敏半导体的工作原理是什么？
2. 电磁式和电容式声传感器的作用是什么？
3. 光、声传感器在实际中有哪些应用？



现象与问题

“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。

一、代替人眼的传感器——光传感器

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。

1. 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，例如硫化镉（CdS）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 2.16）。用这种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 1 500kΩ（暗电阻）变到几千欧（亮电阻）。

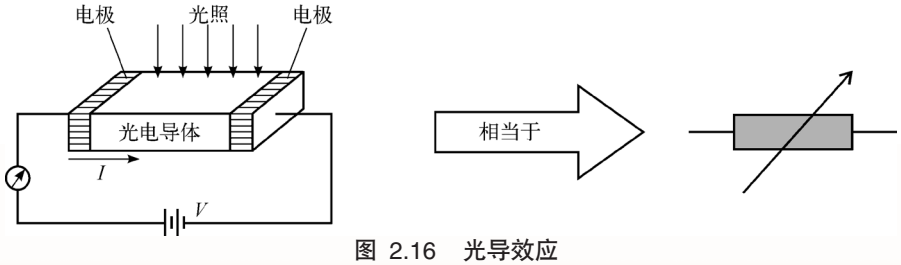


图 2.16　光导效应

微信公众号：电子课本大全



实践活动

测量光敏电阻的特性

请同学们按照图 2.17 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 2.17 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。

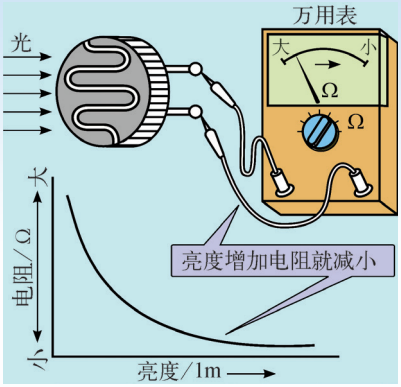


图 2.17　测定光敏电阻的特性

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、生产中的安全装置、火警报警等。

图 2.18 是常见光敏电阻的电路图形符号和外形图。

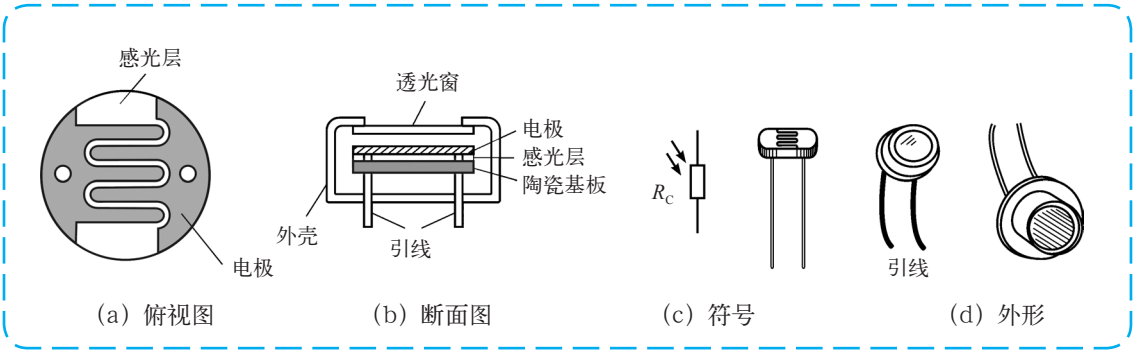


图 2.18　光敏电阻的结构、图形符号和外形图

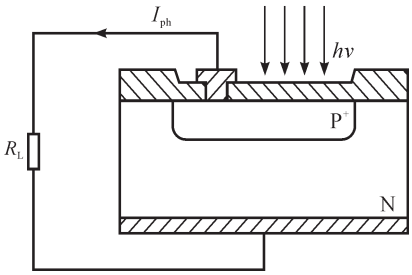
2. 半导体光敏器件

半导体光敏器件是利用半导体光电效应工作的光传感器。常用的有光电池和半导体光敏管。

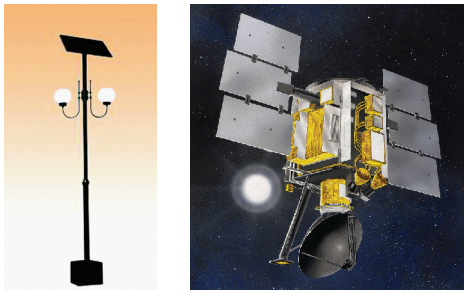
（1）光电效应和光电池。半导体材料中渗入不同元素可以构成带负电荷的 N 型半导体和带正电荷的 P 型半导体，把 P 型半导体和 N 型半导体做到一起时，在它们界面上就形成一个 PN 结。

当光照射在半导体 PN 结上时，半导体能够吸收光能产生电动势。如果使 PN 结形成回路，则可出现电流。这种现象称为光电效应（图 2.19）。

微信公众号：电子课本大全



(a) PN 结的光电效应



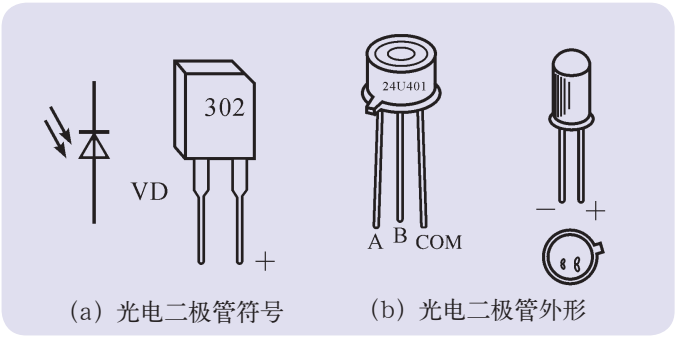
(b) 太阳能电池——光电效应

图 2.19　半导体的光电效应及应用

光电效应的直接应用是作为光敏元件，大量的应用是光电池。太阳给人类提供了巨大的光能，利用太阳能的光电池是航天器不可替代的能源。太阳能灯、太阳能汽车也是利用光电效应的实际例子。为了解决地球上的能源危机，太阳能电池是一种最有希望的绿色能源。

（2）半导体光敏管。半导体光敏管有光电二极管（图 2.20）和光电三极管（图 2.21）两种。

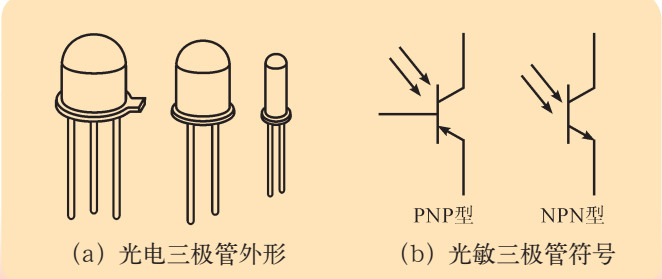
光电二极管工作时，PN 结上加反向电压（P 型半导体接电源负极，N 型半导体接电源正极）。在没有光照时流过 PN 结的电流（称暗电流）很小，通常说它不导电。当光照到 PN 结上后，由于光电效应，在电路中产生电流（称为光电流）。



(a) 光电二极管符号　　(b) 光电二极管外形

图 2.20　光电二极管

光电三极管有两个 PN 结，有电流放大作用。没有光照时，由于没有基极电流，通过集电极和发射极的电流（暗电流）很小；当有光照射时，由于光电效应产生基极电流，从而有电流通过集电极和发射极，并且被放大。使用光电三极管时，基极不接入电路。



(a) 光电三极管外形　　(b) 光敏三极管符号

图 2.21　光电三极管

微信公众号：电子课本大全

光电三极管亮电流与暗电流之比远大于光电二极管，因而比光电二极管有更高的灵敏度。

半导体光敏管由于体积小、重量轻、寿命长、灵敏度高、工作电压低、可以集成化，因此广泛用于光纤通信、光视频系统、光存储系统、光测量系统等。



小 资 料

可见光和不可见光

可见光是人的眼睛可看到的光，它只是光线的一小部分（波长为 0.39 ~ 0.77 μm），另外还有人眼看不到的红外线和紫外线（图 2.22）。通过改变半导体光敏管的材料，可以制成检测可见光和不可见光的各种光敏半导体管。现代遥控和光通信领域主要应用的是不可见光，因为它可以避免自然光线的影响和干扰。

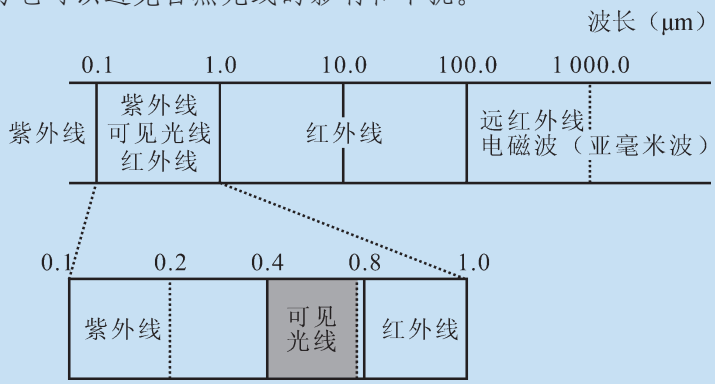
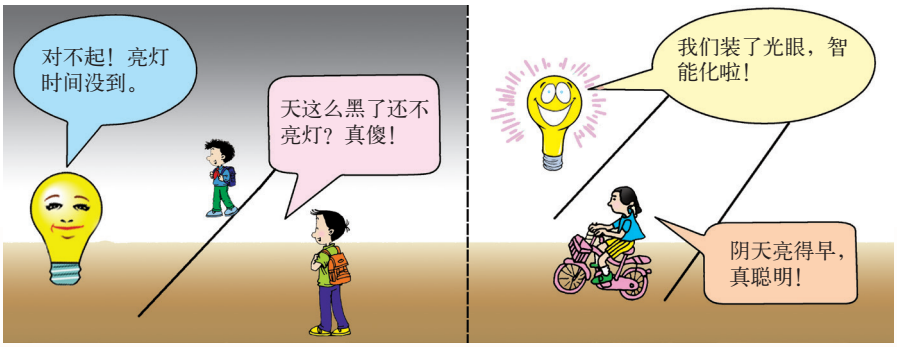


图 2.22　可见光与不可见光的波长范围

3. 光传感器的应用

代替人视觉功能的光传感器的应用非常广泛，下面仅是部分例子。

（1）电子控制实例——照明灯控制。在道路和建筑物等公共场所，照明灯如果采用定时开关，由于气候原因有时不方便，如果用光敏电阻检测周围环境亮度，既可避免浪费，又可及时照明（图 2.23）。



（a）路灯的苦恼　　（b）装了光眼后

图 2.23　用光敏传感器控制路灯

微信公众号：电子课本大全

（2）工业应用实例——光电开关。图 2.24 所示是液体灌装厂用光电开关检测瓶子个数和瓶中液量的示意图。这是由光源和光敏传感器组成的装置。

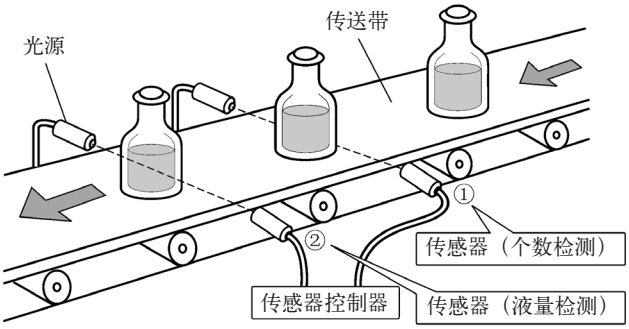


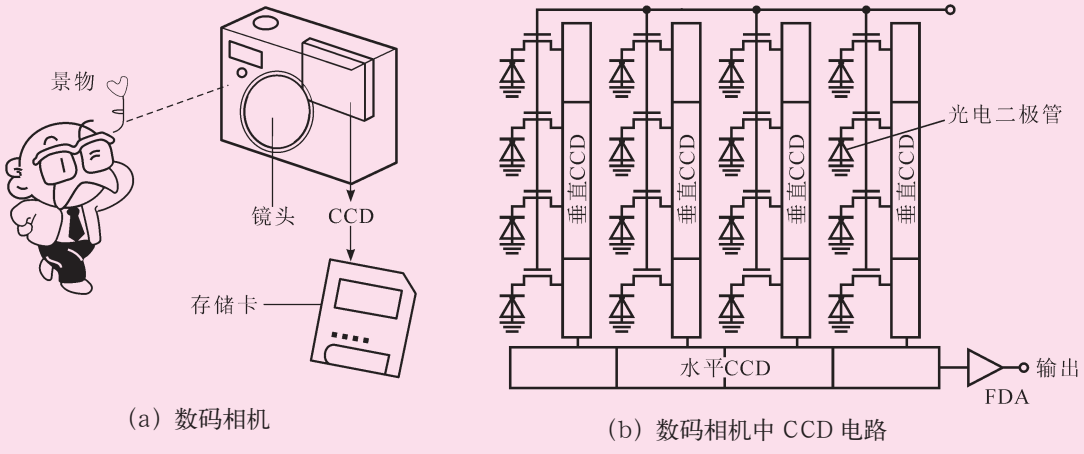
图 2.24　红外线检测装置

（3）家用电器实例——遥控器。电视机、录像机、空调器等家用电器都用遥控器对电器进行开关和各种控制。遥控器的“遥控”功能，是利用红外线，由遥控器中的发光器件和被控制电器上的光敏管实现的（图 2.25）。



图 2.25　电视遥控

（4）新兴电子数码产品实例——数码相机。数码相机不用胶片，直接把图像存储在半导体存储器上，其关键的部件电荷耦合器件（CCD）也是一种传感器。这种传感器的光敏部分是由和像素数对应的几十万到几百万个光电二极管等组成的（图 2.26）。



（a）数码相机　　（b）数码相机中 CCD 电路

图 2.26　数码相机中的光电器件

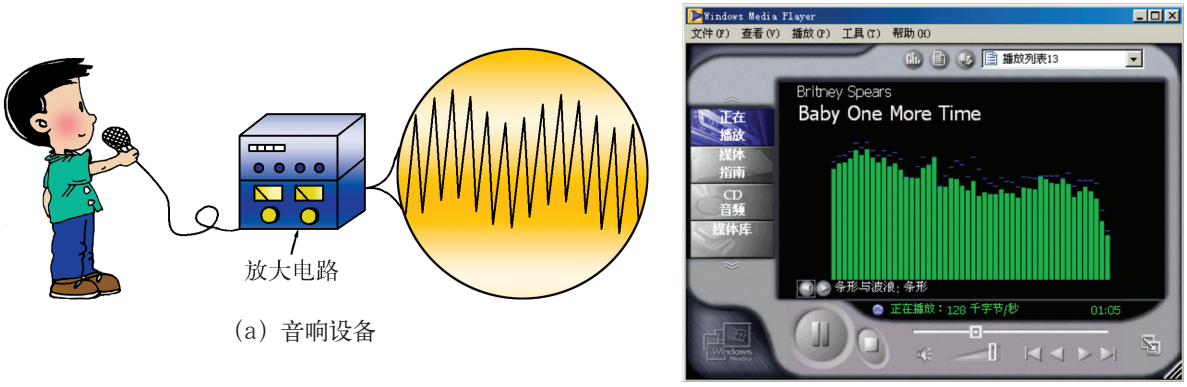
微信公众号：电子课本大全

二、代替人耳的传感器——声传感器

1. 可以“看到”的声音

声音对人们传递信息和相互交流具有重要意义，人与计算机直接对话一直是当代科技的重要研究课题。

在许多有录音功能的音响设备中，都有可以看到显示声音强弱变化的一组指示灯。当我们对着话筒说话或唱歌时，可以看到，随着声音大小变化，指示灯光也跟着闪烁变化。这个现象我们也可以通过电脑声音系统和有关软件清楚地进行演示（图 2.27）。



（a）音响设备　　（b）　电脑演示

图 2.27　可以“看到”的声音

上面讲述的可以“看到”的声音，就是利用声传感器将声波转换为电信号的结果。实际人耳朵能听到的只是声波频率的 20Hz ～ 20kHz 这一段，超过 20kHz 的声波（即超声波）和低于 20Hz 的声波（即次声波），人耳都听不到，但相应的声传感器却都可以听到，并且可以准确转换成相应的电信号。因此使用声传感器比人的耳朵更灵敏，应用范围更广。

2. 两种常用声传感器

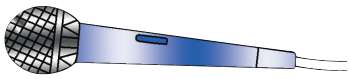
可闻声传感器一般称传声器，也叫话筒或麦克风。

（1）电磁式声传感器（动圈式话筒）。电磁式声传感器由永久磁铁、音膜、音圈等构成，当音膜受声波作用力振动时，同音膜相连的线圈切割磁力线产生感应电动势，完成由声波到电信号的转换（图 2.28）。

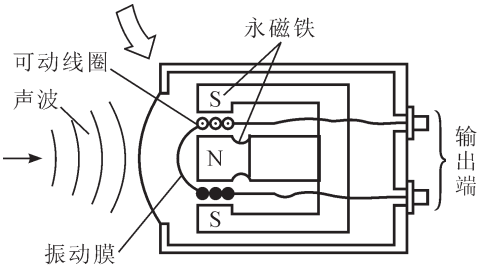
微信公众号：电子课本大全



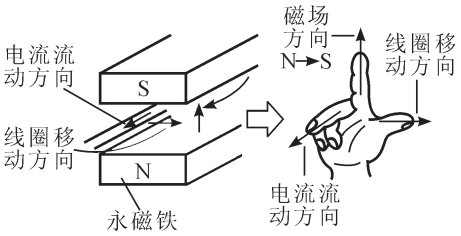
(a) 电磁声传感器外形



(b) 动圈式话筒



(c) 内部结构

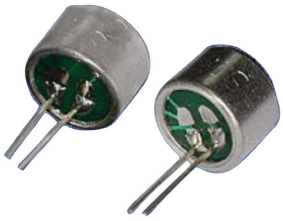


(d) 工作原理

图 2.28　电磁式声传感器

为了使传声器有高灵敏度，音膜线圈很小，因此输出电压信号很小，实际应用中需要加变压器，然后输送到音频电路进行处理。

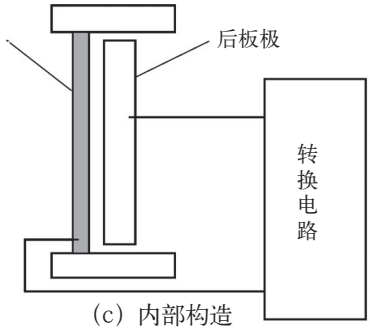
（2）驻极体话筒（电容式声传感器）。驻极体话筒是一种电容式声传感器，由声电转换元件和半导体器件两部分组成。声电转换元件是带有一定电荷的驻极体振动膜和金属板极之间形成的电容元件。驻极体受声波作用振动时，电容量改变。根据电容公式 $C = q/U$，在电荷不变时，电容改变转换成电压的变化，实现声电转换。半导体器件的作用是使传感器输出的电信号容易和信号处理电路配合（图 2.29）。驻极体话筒体积小，灵敏度高，广泛用于无线话筒、录音笔、录音机及声控电路中。



(a) 驻极体声传感器



(b) 驻极体话筒



(c) 内部构造

图 2.29　驻极体声传感器外形和结构

3. 声传感器应用实例

（1）声音记录和放大。声音记录和放大是声传感器最基本、最重要的应用（图 2.30）。

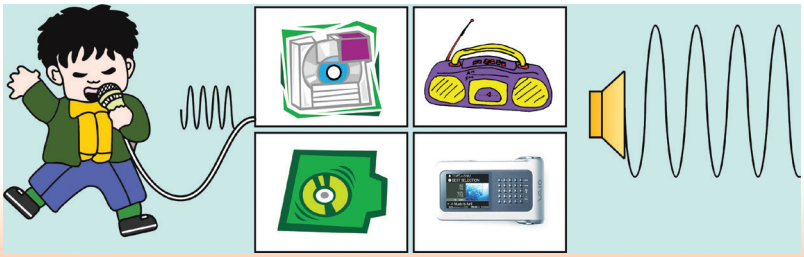


图 2.30　声音记录和放大

微信公众号：电子课本大全

由于数字技术的发展，声传感器和数字集成电路结合，使声信号的记录和处理都越来越容易，越来越普及。

（2）语音识别和语音合成。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，直接通过语音操作电脑和其他机器的愿望也正在逐步实现。应用语音合成技术实现人机对话，不仅方便了残疾人，也将使人们的工作方式和生活方式发生巨大的变化（图 2.31）。

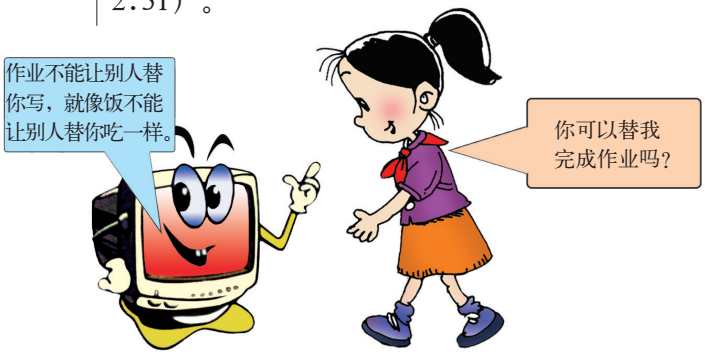


图 2.31　人机对话

（3）声控技术。公共场所的声控灯是声控技术的典型应用，它既方便又节能。另外，声控技术在安全技术和娱乐等领域也有广泛的应用（图 2.32）。

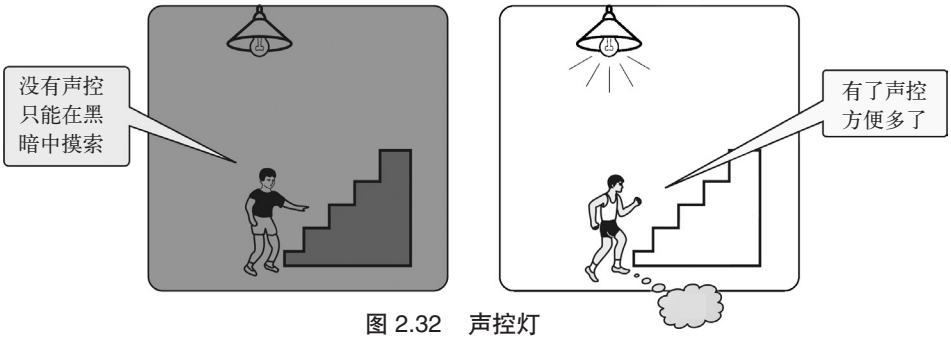
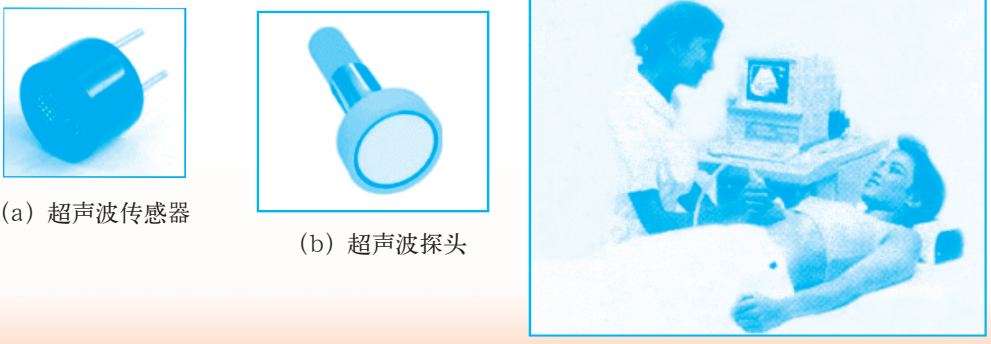


图 2.32　声控灯

（4）超声应用。超声波传感器在测量和各种无损伤检测中，特别是在医学诊断中有广泛的应用（图 2.33）。例如利用人体不同部位、不同组织声学特性的差异，通过声传感器收集声波信号，可以获得人体五脏六腑的清晰图像，帮助医生诊断。这就是医学检查中常用的 B 超设备。



（a）超声波传感器　（b）超声波探头　（c）用超声仪器做超声检测

图 2.33　超声波传感器及其在医学诊断中的应用

微信公众号：电子课本大全



探究尝试

1. 公共场所经常有“长明灯”，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。

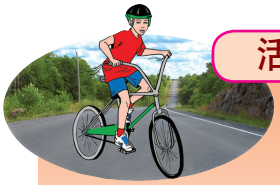
参考方案：

（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。



活动延伸

1. 测出光敏电阻在下列环境中的电阻值（测三次，记录并取平均值）：

（1）晴天阳光下。

（2）晴天室内。

（3）教室前后的课桌面。

（4）自己最适合阅读写字的光线下。

（5）天黑前室外需要点亮路灯的时刻。

2. 有条件时组织电子爱好者按小组设计制作噪声监测仪。

微信公众号：电子课本大全

第四节　磁传感器、力传感器和湿度传感器

学习导航

1. 磁传感器、力传感器和湿度传感器的工作原理和作用各是什么？

2. 上述几种传感器有哪些实际应用？

现象与问题

1. 乘坐飞机前要进行安全检查，避免恐怖分子藏匿凶器威胁公众安全。安检时应该使用什么传感器？

2. 超市和农贸市场现在大量使用电子秤，它的关键部件是力传感器。你知道电子秤的工作原理吗？怎样才能使它保持准确？怎样防止不法商贩作弊？



安全检查



电子秤

一、磁传感器

磁传感器是检测磁场的传感器，常用的有两类：

1．利用磁铁吸引铁磁物质的作用做成簧片开关

如图 2.34 所示，簧片开关的簧片用铁磁材料构成。有磁铁靠近时簧片被磁化，靠磁力吸引使簧片上的触点闭合；磁铁移开后，簧片磁力消失，靠簧片弹力使触点分开。为防止触点氧化，一般将簧片密封在玻璃管内并充入惰性气体。这种簧片开关又名干簧管，可用于物体的位置检测。

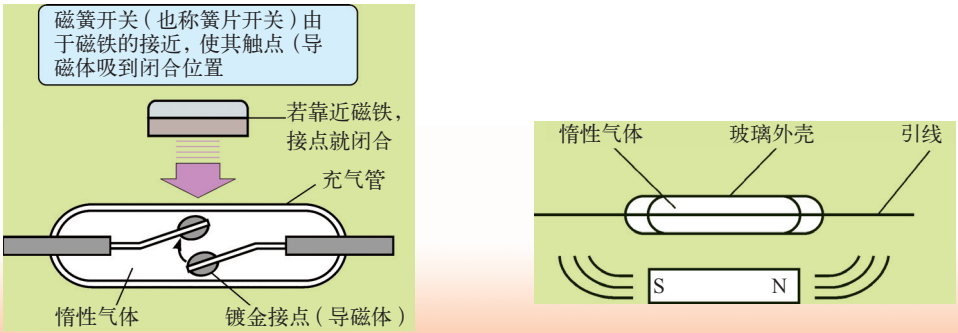


图 2.34　簧片开关原理

微信公众号：电子课本大全

2. 利用霍尔效应制作磁传感器

霍尔效应是当半导体薄片通以电流 I，如果在垂直于此电流的方向有磁场 B，则在同时垂直于电流和磁场的方向上会产生电势差 E_H，如图 2.35 所示。利用霍尔效应制成半导体霍尔元件，可用于制作磁传感器。

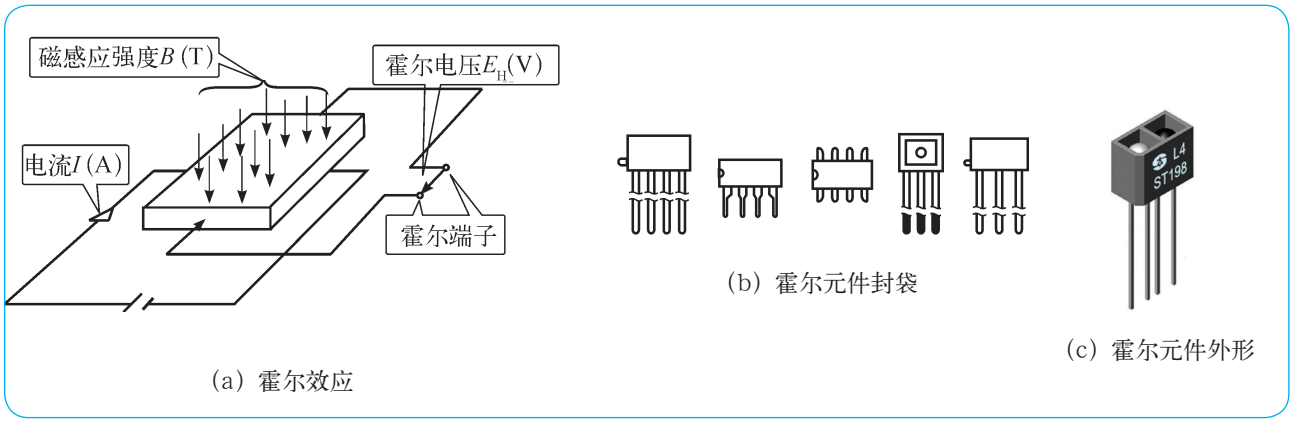


图 2.35　霍尔效应与磁传感器

二、力传感器

常用的力传感器主要利用金属或半导体受到力的作用时电阻的变化作为力敏元件。

1. 应变片

图 2.36 是常用的两种金属应变片，线型是基片（塑料）上贴金属电阻（镍铬合金等）丝，箔型是基片上贴箔状金属电阻。

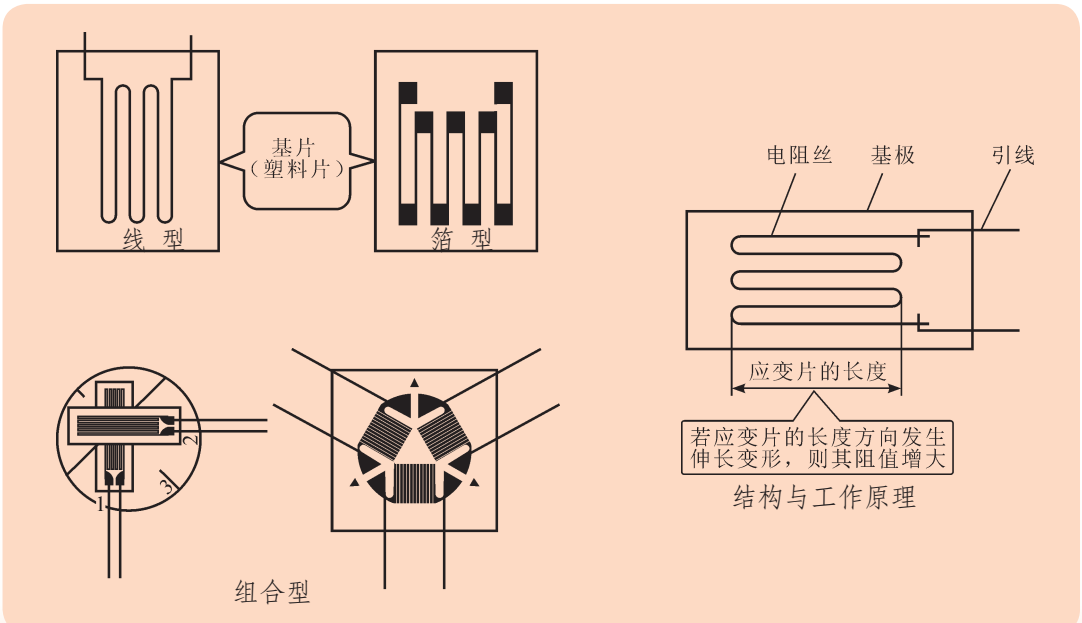


图 2.36　应变片外形、结构与工作原理

微信公众号：电子课本大全

应变片使用时牢固粘贴到受力物体表面，如图 2.37 所示，圆柱两端受到拉力会使金属应变片伸长，从而使金属电阻体长度发生变化。根据电阻公式 $R=\rho L/A$ 可知，金属应变片的电阻值随之发生变化。

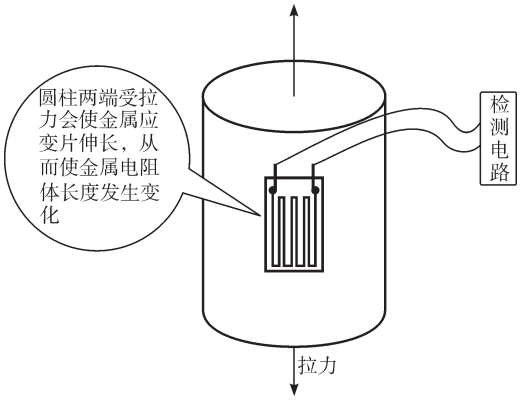


图 2.37　力传感器

2. 半导体力传感器

半导体受到压力产生的电阻变化比金属电阻大 100 倍，因此用半导体材料制作的压敏电阻灵敏度高于金属应变片，常用于较小压力如气体压力的测定。由于半导体可采用集成电路技术高度集成化，因而半导体力传感器的应用越来越广泛（图 2.38）。

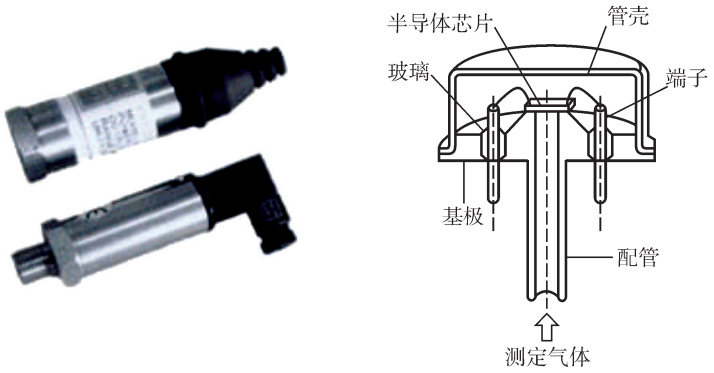
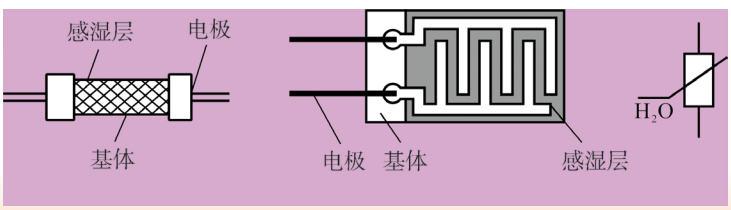


图 2.38　半导体力传感器外形和内部结构

三、湿度传感器

湿度是人类生活和工作环境的重要指标。检测湿度需要使用各种湿敏元件，其中常用的一种是陶瓷型湿敏元件。它在吸附空气中水蒸气后使元件电阻变化，从而实现湿度传感器功能。图 2.39 所示的陶瓷型湿度传感器常用于空调器等电器。



(a) 外形　　(b) 结构　　(c) 符号

图 2.39　湿度传感器外形、结构和符号

微信公众号：电子课本大全



实践活动

设计自动控制室内加湿器

秋冬季节，气候寒冷，空气干燥，是上呼吸道传染病的多发季节。不少家庭购置了空气加湿器来调节室内湿度，保护身体健康。可是，现在市场上销售的加湿器均为手动式加湿器。有的虽然有定时功能，但使用起来仍显不便。请同学们开动脑筋，为这类加湿器装上智能控制。（提示：现代医学研究表明，在室温条件下，相对湿度 40% ～ 60% 为人们最适宜的生活环境。）

1. 你设计的思路：

2. 你的设计方案及设计草图：

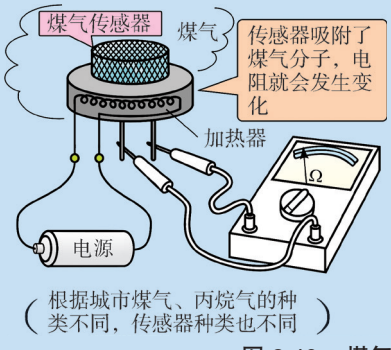


小 资 料

煤气传感器

煤气传感器使用一种特殊的半导体元件，将检测到空气中煤气浓度的变化转换成半导体材料电阻的变化（图 2.40）。

在煤气运输及家庭中安装煤气传感器，可防止煤气泄漏造成的危害，确保用户和公众的安全。



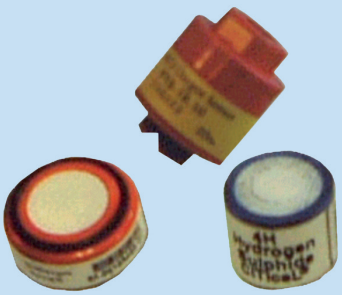
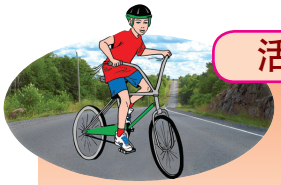


图 2.40　煤气传感器结构与外形

采用不同的半导体气敏元件，还可以检测不同的气体，例如氧气、天然气、一氧化碳等。

微信公众号：电子课本大全



活动延伸

讨论“电脑中医”的可行性。

提示：中医诊断，靠“望、闻、问、切”四种方法获取病人的信息，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、医德高尚的中医需要几十年的积累。能否利用现代传感器技术和电脑技术将名医经验量化，变成可为更多人服务的“电脑中医”呢？

阅读材料

传感器的发展趋势

1. 智能传感器

现代电子技术的发展使传感器向智能方向发展，使之不仅仅限于对信息的感觉和传输。如图 2.41 所示，将信息感觉、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功能，成为智能传感器。智能传感器能自动适应环境，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方向。

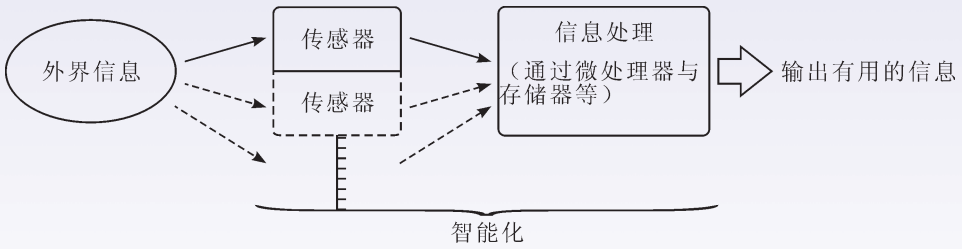


图 2.41　智能传感器

2. 传感器组合

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。例如要评价西瓜的品质，对色、香、味、口感进行综合检测，就需视觉、嗅觉、味觉和触觉多种传感器对西瓜进行综合检测，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，而传感器组合则具有这种能力（图 2.42）。

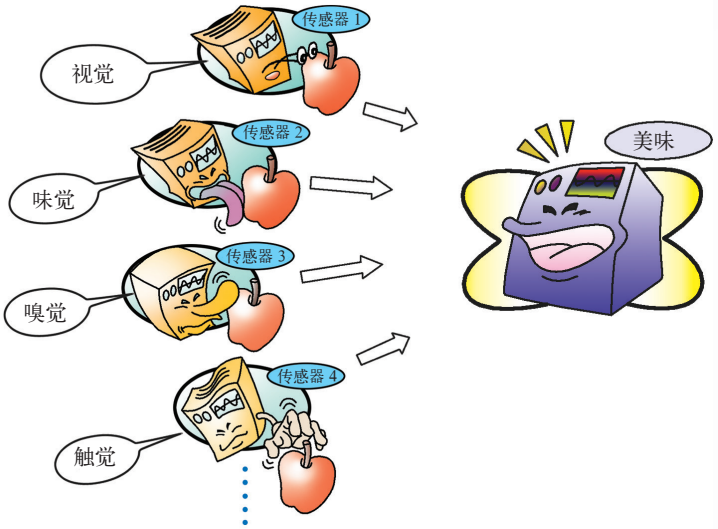


图 2.42　传感器组合

微信公众号：电子课本大全

3. 仿人传感器

人类五官的功能非常出色，每种感官都具有相当强的识别能力。例如，人眼不仅能在极短的时间内判断所见物体的大小、形状，而且有对颜色、亮度、对比度等信息进行识别的能力，这是目前任何一种传感器都难以企及的。采用与人眼相似的原理，能将大量图像信息压缩成有用信息输出的视觉传感器，在机器人和高精度控制中有广泛的应用（图 2.43）。

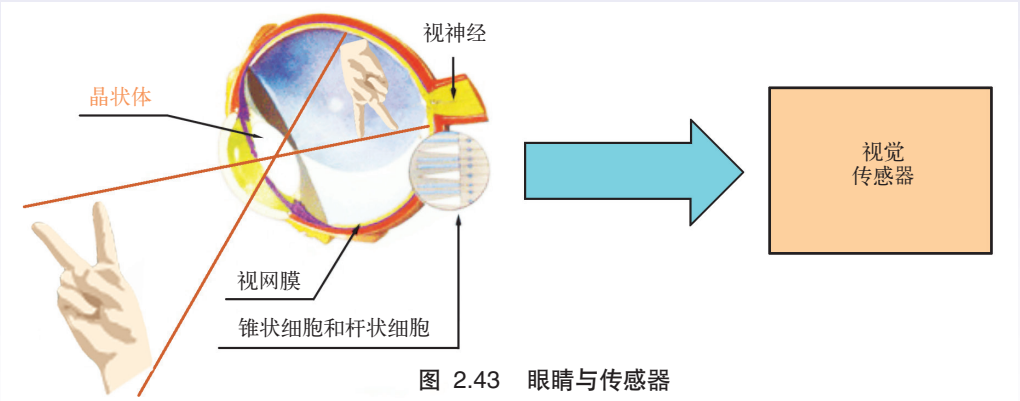


图 2.43　眼睛与传感器

4. 仿生传感器

尽管人类五官的综合功能出色，但就某一感官而言并非自然界最出众的。例如狗的嗅觉、鹰的视觉都远远超过人类（图 2.44）。研究和制造能代替这些动物有关功能的传感器更具有挑战性。

目前还有很多自然现象和生命奥秘等待我们去认识。例如地震的预测，采用仿生传感器就是一个途径。



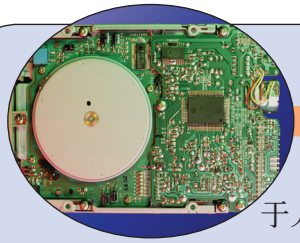
警犬



鹰

图 2.44　挑战——研究仿生传感器

微信公众号：电子课本大全



本　章　小　结

传感技术是电子信息技术的主要组成部分。如果说电子计算机相当于人的大脑、通信相当于人的神经，那么传感器就相当于人的感觉器官。

常用的传感器有热传感器、光传感器、声传感器以及磁传感器、力传感器和湿度传感器等。这些传感器的一个共同特点是能将各种不同的自然量（包括物理量、化学量和生物量）转变成可供识别的电信号，从而达到感知、输入到控制系统的目的。

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，有热敏电阻、热电阻、热电偶等多种敏感元件和红外线光谱分析检测方式。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。同样的道理，声传感器、力传感器等，都有相应的敏感元件和工作方式。

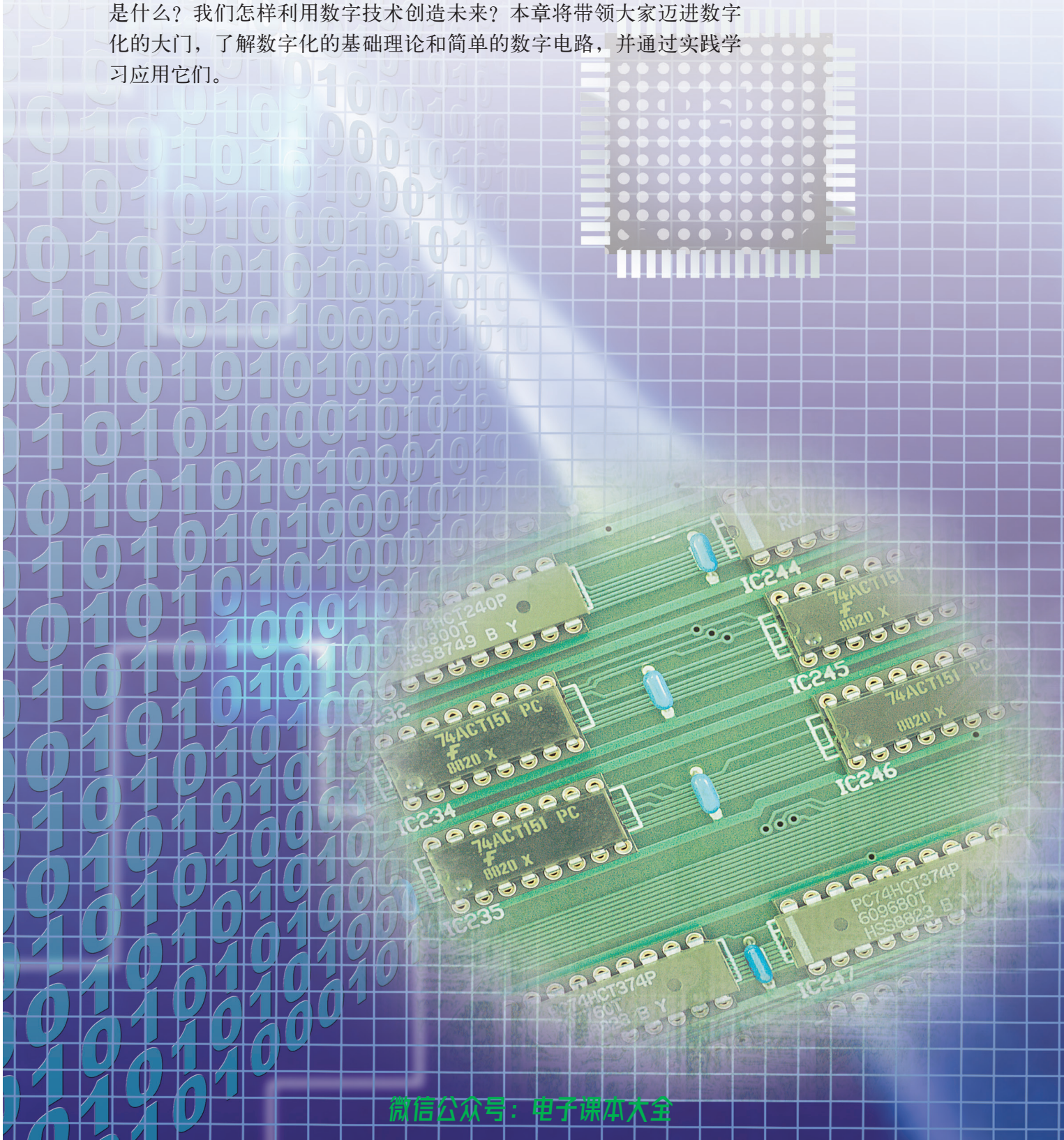
传感器的应用十分广泛，大到飞船、火箭、飞机、火车，小到家用电器，都能找到它们的身影。了解了各种传感器和它们的特性，我们就能在未来的电子世界里大显身手，设计出很多富有创意的电子产品来。

微信公众号：电子课本大全

第三章　数字电路

数字化和数字产品是现在使用最广泛的词语。数字地球、数字城市、数字校园、数字社区、数字通信、数字广播，还有数字化办公、数字制造、数字学习、数字生活，甚至数字人（虚拟人）、数字化部队等；数码电视、数码相机、数码仪器、数码录音等数字产品层出不穷、日新月异，说我们正在进入数字时代一点也不为过。

究竟什么是数字化？数字化到底有什么好处？数字化的基本原理是什么？我们怎样利用数字技术创造未来？本章将带领大家迈进数字化的大门，了解数字化的基础理论和简单的数字电路，并通过实践学习应用它们。



微信公众号：电子课本大全

第一节　走进数字化

学习导航

1. 什么是数字信号和模拟信号？举例说明。
2. 为什么数字化是发展趋势？
3. 数字化与计算机有什么关系？

现象与问题



雕塑《悟》

许多表现现代科技的艺术作品，都用数字“0”和“1”作为标志。左边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”。

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？

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 3.1）。

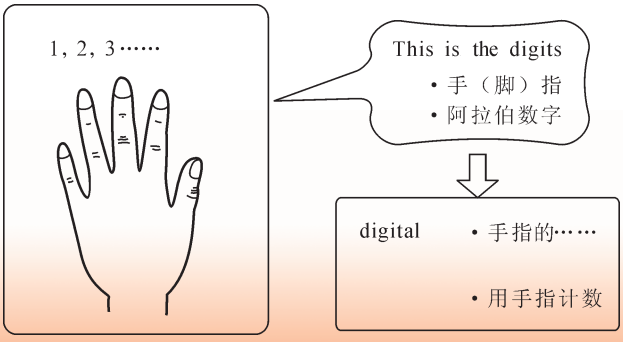


图 3.1　学数数

微信公众号：电子课本大全

传递信息是人类的基本需求之一。古代靠口头传递信息，于是有了马拉松长跑运动起源的故事。这种传递方式是一种模拟方式（图 3.2）。



图 3.2　马拉松长跑

中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无敌情的信号，简单明了，容易识别（图 3.3）。

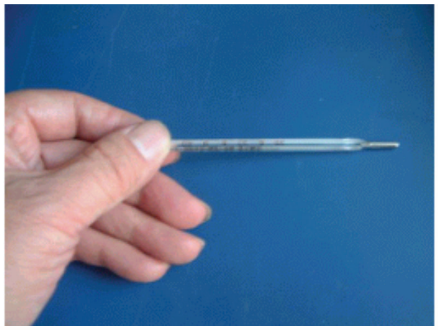


图 3.3　古代的烽火台

再看看我们身边，钟表有传统指针式和数字式两大类。指针式也叫模拟式（图 3.4）。测量体温，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 3.5）。



图 3.4　钟表



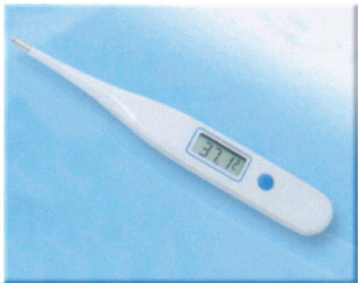


图 3.5　体温计

直观经验告诉我们，模拟方式接近自然原始状态，但不够准确。跟人学说话很难学得一模一样，传递消息更容易出差错，模拟表也不容易读准。数字方式省去了人们的思考加工，数字读数准确无误，如烽火台有无烟火很容易区分。

微信公众号：电子课本大全



探究尝试

模拟信号和数字信号

如图 3.6、图 3.7 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：

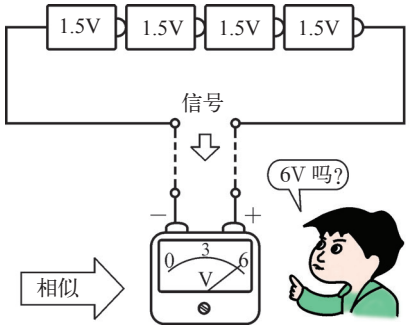


图 3.6　模拟信号

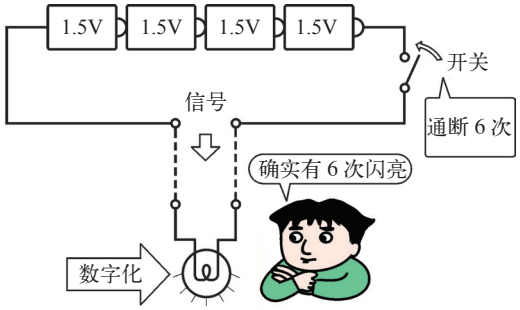


图 3.7　数字信号

（1）传递电压 6V（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。

请讨论比较两种传递信息方式的优缺点。

	模拟方式	数字方式
优点		
缺点		

2. 模拟信号和数字信号的图示

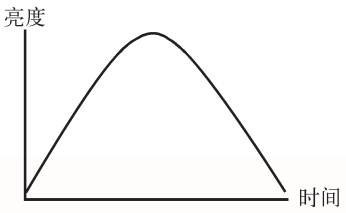
以模拟方式传递的信息称作模拟信号，以数字方式传递的信息称作数字信号。

模拟信号是随时间连续变化的信号，数字信号时间和幅度都是不连续的，或者称为离散的。请看下面两个实例：

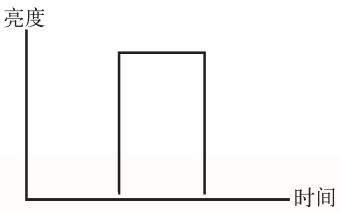
例 1　普通灯和可调光台灯开关灯时灯的亮度的变化（图 3.8）。



（a）可调光台灯



（b）可调光台灯亮度曲线



（c）普通灯亮度曲线

图 3.8　可调光台灯和普通台灯的亮度特性

微信公众号：电子课本大全

例 2　模拟型万用表在测量电压时，通过表针的摆动和表盘的刻度来指示电压值，理论上可以显示任意电压值。数字型万用表则通过数字来指示电压值。例如，某一只数字型万用表只能够显示 3 位数字，它显示某电压值为 9.51V，比这一值再大一点的显示是 9.52V，该表无法显示 9.515V。它只能以每隔 0.01V 来分档显示。所以，数字型万用表指示的电压值是不连续的（图 3.9）。



(a)　(b)

图 3.9　数字型万用表

用数学语言（图形）来表示模拟信号和数字信号如图 3.10 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，例如矩形脉冲。

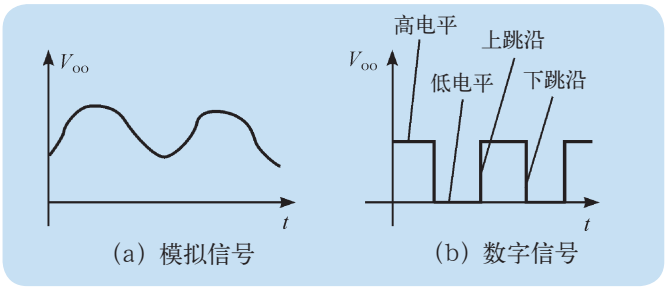


图 3.10　模拟信号和数字信号的图像

二、数字化的真谛——“0”和“1”的世界

1. “0”和“1”逻辑状态

图 3.7 用电路的通断 6 次传递“6”这个信息，我们说它不容易出错是因为电路的“通”和“断”以及灯泡的亮和灭这两种状态很容易区分。电路不是通，就是断，或者说灯泡不是亮，就是灭，没有第三种状态（图 3.11）。

在实际生活中我们经常进行这种认定：例如“这个电源插座有电没有？”“明天的会你能不能参加？”回答要求“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，例如有和无、高和低、是和非。0 和 1 不是指数值的内容。

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

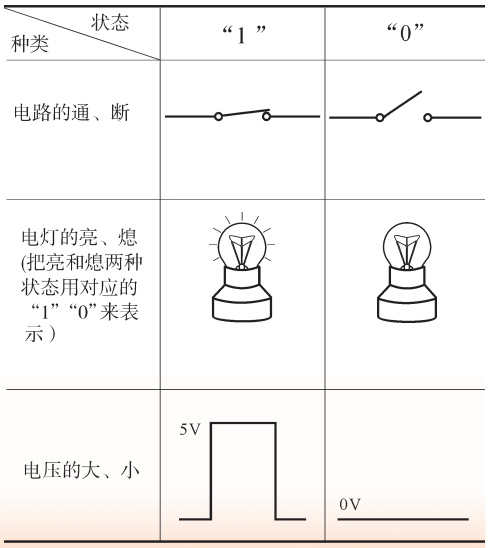


图 3.11　“0”和“1”的逻辑状态

微信公众号：电子课本大全

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”的逻辑状态和逻辑运算 $1+1 \neq 2$

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”状态：

如果 $x \neq 1$，$x = 0$

如果 $x \neq 0$，$x = 1$

这两种逻辑状态可以进行逻辑乘和逻辑和的逻辑运算。

逻辑乘：	逻辑和：
$0 \cdot 0=0$	$0+0=0$
$0 \cdot 1=0$	$0+1=1$
$1 \cdot 0=0$	$1+0=1$
$1 \cdot 1=1$	$1+1=1$

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 3.12）。

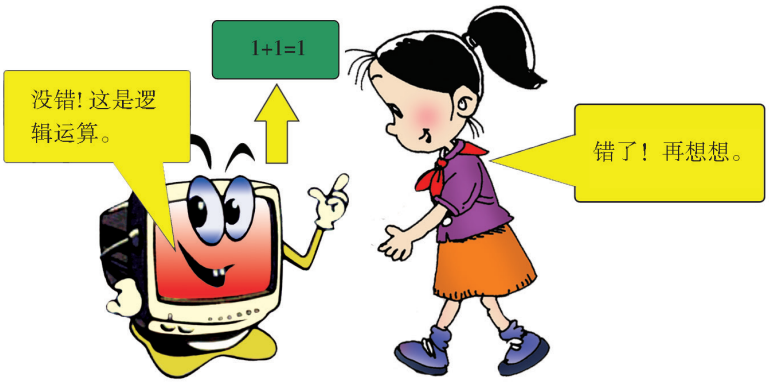


图 3.12　1+1 的逻辑运算

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的基础。



实践活动

请同学们分组进行以下活动：

1. 用录音机复制录音磁带。

2. 用电脑复制 CD 盘。

比较二者复制的效果，并分析其原因。



图 3.13　复制录音磁带和 CD 盘

微信公众号：电子课本大全

小 资 料

光盘是怎样工作的？

光盘是指 CD 盘、VCD 盘、SVCD 盘、DVD 盘和计算机中使用的 CD-ROM 盘等，由于它们是采用光学的方式进行读与写，所以称为光盘，也称光碟（图 3.14）。

光盘是怎么工作的？

光盘是用极薄的铝质或金属薄膜加上聚氯乙烯塑料保护层制作而成的。与软盘和硬盘一样，光盘也能以数字信号（由“0”和“1”组成的数据模式）的形式存储信息。

要在光盘上存储数据，首先必须借助电脑将数据转换成二进制，然后用激光将数据模式灼刻在扁平的、具有反射能力的盘片上。激光在盘片上刻出的小坑代表“1”，空白处代表“0”。

在从光盘上读取数据的时候，定向光束（激光）在光盘的表面上迅速移动。从光盘上读取数据的电脑或激光唱机会观察激光经过的每一个点，以确定它是否反射激光。如果它不反射激光（那里有一个小坑），那么电脑就知道它代表一个“1”。如果激光被反射回来，电脑就知道这个点是一个“0”。然后，这些成千上万、或者数以百万计的“1”和“0”又被电脑或激光唱机恢复成音乐、文件或程序（图 3.15）。



图 3.14　光盘

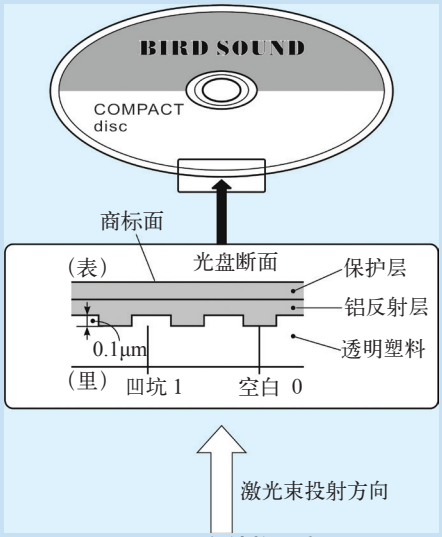


图 3.15　光盘结构示意图

三、计算机与数字信号

1. 数字化的最终目的是计算机处理

所谓数字化办公、数字化城市、数字化教学等以及形形色色的数字化产品，其实都是依靠计算机进行处理，或者用计算机进行控制的（图 3.16）。

现在所说的计算机是指数字计算机，是利用数字信号电路工作的数字产品的代表。今天人们的工作、学习和生活几乎都与计算机有联系，未来的发展更是与计算机密切相关。

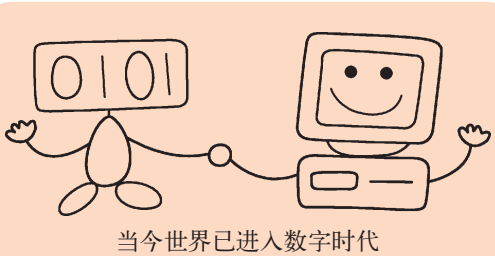


图 3.16　数字时代离不开计算机

微信公众号：电子课本大全



新视窗·知识外延

数字电路容易集成化

由于数字信号只有“1”和“0”两种，所以对数字电路的工作要求就是能够可靠地区别信号为“0”和信号为“1”两种状态。又因对数字电路的精度要求不高，所以数字电路容易集成化。实用中数字电路都采用集成电路，且许多是大规模集成电路，这一点也增加了数字电路的神秘色彩。



2. 计算机只认“0”和“1”

看似复杂的计算机，其实工作中只能处理“0”和“1”。无电压或低电压为“0”，有电压或高电压为“1”，由“0”和“1”组成的数字信号才使计算机变得神通广大。所有的模拟量都要通过模拟／数字转换器变成数字量，才能被计算机接收和进行处理。我们操作计算机使用的键盘、鼠标等都是把各种信息转换成“0”和“1”输入计算机的（图 3.17）。

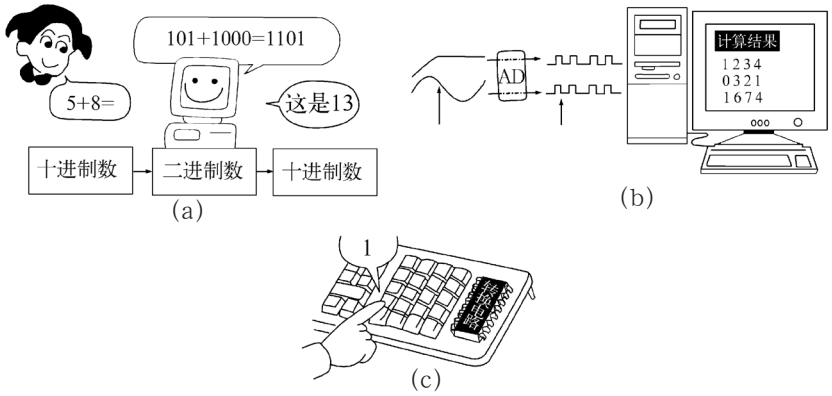


图 3.17　计算机只认“0”和“1”

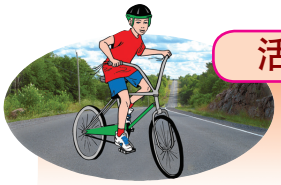


探究尝试

请同学们分组讨论以下问题：

1. 为什么同学之间提倡有事直接沟通，不通过第三人传话？

2. 人们日常生活中习惯用十进制，计算机用十进制行不行？说出理由。



活动延伸

拆开一个已废弃的机械式鼠标器，试分析它的工作原理。

微信公众号：电子课本大全

阅读材料

数字化的优点

1. 数字信号传输中不会失真

信息的传输关键是不能失真。例如，采用电压（模拟）传递 55 这个信息，到接收方可能变成 54，甚至 52，那么这种传送的意义就不大了。而采用通断电路 55 次（数字量，对电路而言称数字信号），传递信号就不会出现模拟方式的问题，因此说数字信号传输不会失真。

2. 数字信号不会在“杂草丛中”埋没

仍然以录音磁带为例，磁带在播放时仔细听会有令人讨厌的噪声，特别是听歌曲时在两支歌的间隙会听到不小的噪声，这是电子电路中很难去除的噪声，就像麦田中混进杂草一样很难有效清除。数字光盘就不同了，它记录的只是“0”和“1”。我们通过电路滤波可以很容易把“0”和“1”以外的信号全部除去（图 3.18），如同除去苹果园中的杂草要比除去麦田中的杂草容易得多一样。正因为数字信号抗噪声能力远远优于模拟信号，所以数字产品才能得到人们的偏爱。

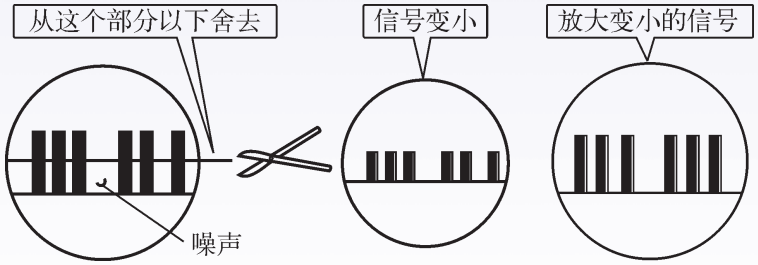
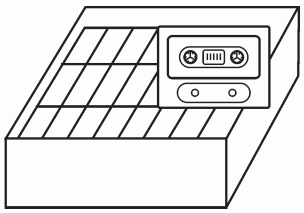


图 3.18　数字电路滤波

3. 数字信号便于加工处理和存储

我们仍以记录和保存声音为例，如果采用盒式磁带，录制一门 32h 的课就需要 32 盒 60min 的磁带。但如果用光盘记录，可以用计算机“压缩”声音信息。例如，采用 MP3 压缩格式，一张 650MB 的 CD 盘可以记录 10h 以上的立体声音乐或 40h 以上的语音，32h 的课可以很轻松地存储在一张 CD 光盘上。如果采用 DVD，一张单面记录的 DVD 盘的容量，相当于 7 张 CD 盘。现在发展迅速的 MP3 播放器，集录制、存储和播放于一体，存储量达 16GB 以上，是方便实用的新型数字产品。



（a）磁带



（b）光驱



（c）MP3

图 3.19　声音的记录和保存

微信公众号：电子课本大全

第二节　晶体三极管及其开关作用



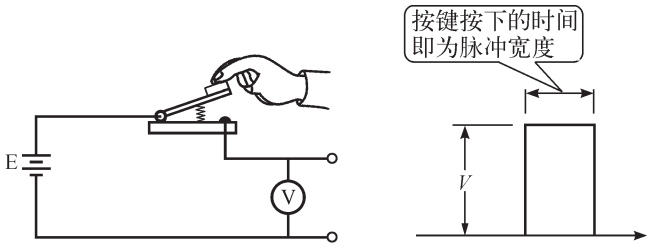
学习导航

1. 晶体三极管的结构是怎样的？
2. 晶体三极管的开关作用是如何实现的？



现象与问题

上一节中，我们讲到用开关电路来产生和传送数字信号，这种看似很笨的原始方式，其实就是现代数字技术的基本电路——脉冲数字电路的原型。电路的通断产生输出电压的有和无（或高和低）的变化，从而可以产生和传送出“0”和“1”的数字信号。



手动开关产生数字信号

讨论：

1. 从无线电的发展历史来看，这种开关产生信号的方式有什么重大应用？
2. 用这种产生信号的开关可以组成计算机吗？为什么？

数字电路的速度通常都很快，从每秒几千次到几十万、几千万次以上，很难用机械开关、更无法通过手工方式产生和处理。现代电子电路中使用的开关是“电子开关”，而晶体三极管是现代电子电路中最基本的电子开关元件。

一、认识晶体三极管

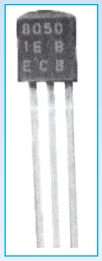


实践活动

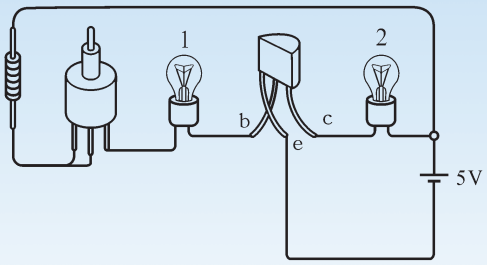
认识晶体三极管

我们通过实验来认识晶体三极管。图 3.20（a）是一个实际的晶体三极管，它有三个管脚，分别称为集电极（c）、基极（b）和发射极（e）。

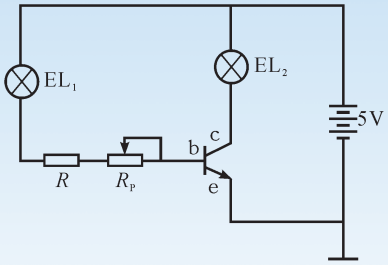
微信公众号：电子课本大全



(a) 晶体三极管实物图



(b) 实验实物接线图



(c) 接线原理图

图 3.20　三极管接线图

我们按图 3.20（b）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。

准备好以后接上电源，我们看到灯泡 1 和灯泡 2 都不亮。然后慢慢调变阻器，使电阻逐渐减小。当调到一定位置，我们发现灯泡 2 渐渐亮起来了，而且电阻越变小，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比较小。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电流的差别。

这个实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，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。

晶体三极管是一种半导体电子元件，是当代电子学的基础元件，几乎所有的电子电路都离不开晶体三极管。计算机的中央处理器（CPU）和内存（RAM）等都是由许多晶体管构成的。一个电脑的 CPU 中含有几千万到几亿、甚至 10 亿以上个晶体管。晶体管在电子产品中主要以集成电路的形式出现，但单个晶体管的应用也很普遍，学习电子技术不能不了解晶体三极管（图 3.21）。

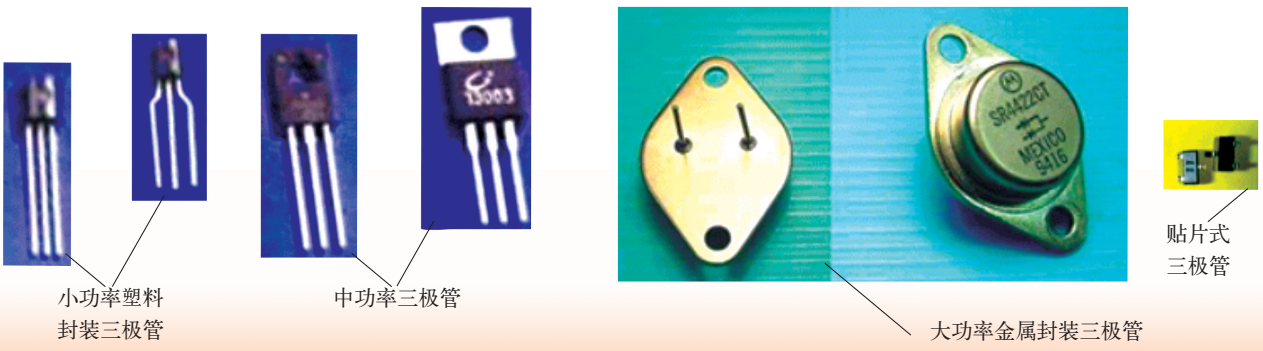


图 3.21　常见的几种晶体三极管外形

微信公众号：电子课本大全

小 资 料

晶体管的发明

和其他发明一样，晶体管的发明不是偶然的。晶体管的发明是由技术需求和科技发展两个主要因素促成的。电子管虽然拉开了电子技术的帷幕，但由于个大体重、耗能大、寿命短的缺点，科技人员一直在寻找替代者。与此同时，人们对半导体的性能进行了很多研究，从而为晶体管的诞生准备了必要的条件。

1947 年 12 月 23 日，美国贝尔实验室的 J. 巴丁、W.H. 布拉坦和 W.B. 肖克莱发明了第一只用半导体材料锗制成的晶体管。1949 年肖克莱提出结型晶体管理论，1950 年制造出结型晶体管。随后各种性能更好的晶体管源源不断地涌现出来，电子技术进入了半导体时代。

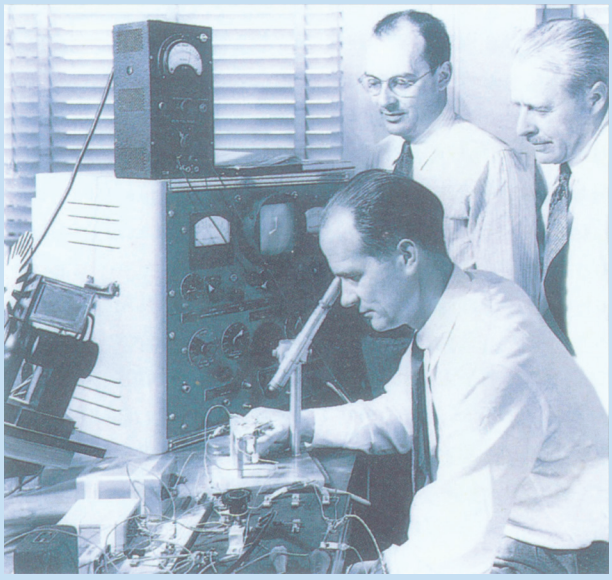


图 3.22　巴丁、布拉坦和肖克莱

晶体管的发明，在微电子技术发展史上是一个划时代的突破，电子技术从电子在真空中运动转为在固体中运动，从而实现了电子设备的小型化、轻量化和低能耗，并为集成电路的发展奠定了基础，从此人类步入了绚丽多彩、日新月异的微电子时代。

正是由于这种原因，1956 年诺贝尔物理学奖金奖给了巴丁、布拉坦和肖克莱三人，以表彰他们在研制和开发晶体管方面的开创性工作。

二、晶体三极管的构造和主要特性

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。

1. 半导体和 PN 结

半导体是一种介于导体和绝缘体之间的材料，常用的半导体材料是硅和锗。

在半导体材料中加入不同的材料，可以形成导电性能不同的 P 型半导体和 N 型半导体。将它们二者组合就成为半导体 PN 结（图 3.23）。PN 结具有单向导电的功能，一个 PN 结就可以构成具有单向导电特性的二极管。

微信公众号：电子课本大全

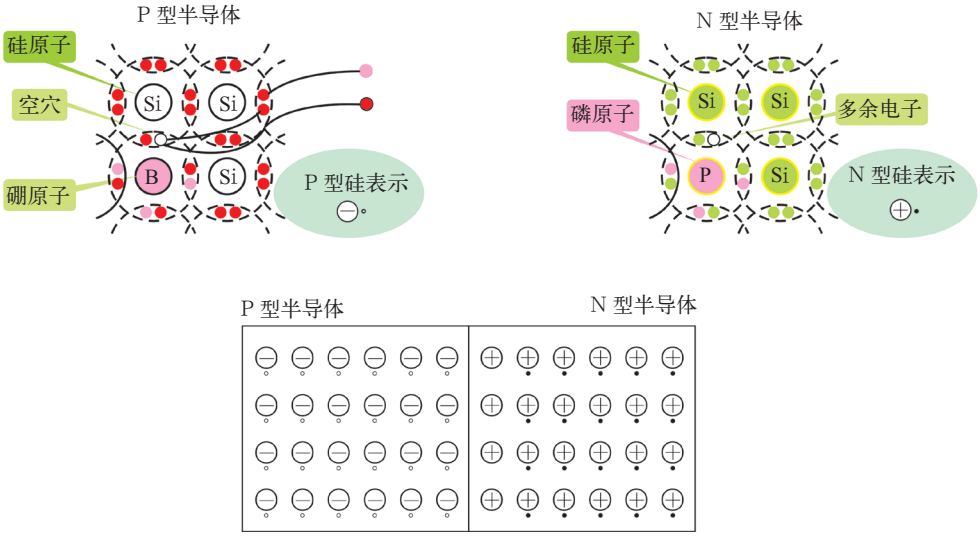


图 3.23　半导体 PN 结

2. 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 3.24）。

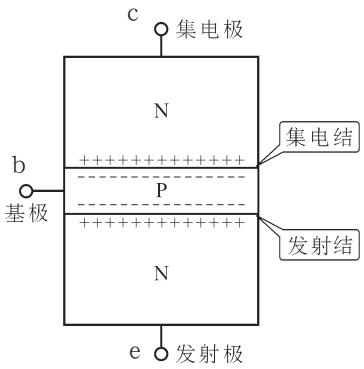


图 3.24　NPN 型三极管

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，工作特性完全一样。

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。

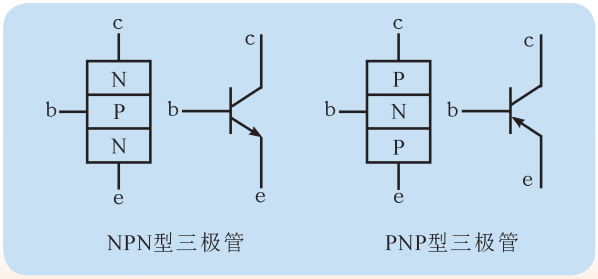


图 3.25　NPN 型和 PNP 型晶体三极管的图形符号

微信公众号：电子课本大全

3. 晶体三极管的主要特性

晶体三极管最主要的特性参数是加在c、e端的电压（V_{ce}）、流过c、e间的电流（I_c）和电流放大倍数（h_{FE}），即流过c、e间的电流（I_c）与流入基极b的电流（I_b）的比值，如图3.26所示。

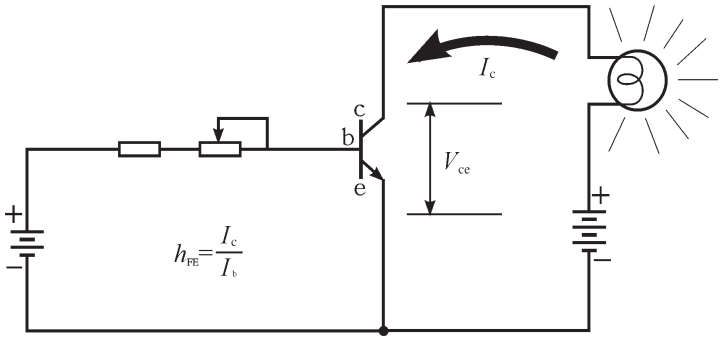


图 3.26　三极管的特性

允许加在c、e端的电压（V_{ce}）可以从几伏、几十伏直到几百上千伏，流过c、e间的电流（I_c）从几毫安、几十毫安直到几十、几百安，这主要取决于晶体三极管的结构和几何尺寸。电流放大倍数（h_{FE}）反映晶体三极管的电流放大能力，一般数值在几十到几百之间。不同型号、规格的三极管允许的电压、电流是不同的，超过允许的参数会造成三极管的损坏。h_{FE} 有时也用 β 表示。

实例　三种晶体三极管的主要特性参数（最大值）

晶体三极管型号	极性	V_{ce} /V	I_c /mA	h_{FE}
SC9013	NPN	20	500	60 ~ 300
SC8550	PNP	20	700	60 ~ 300
MC2802	NPN	300	200	40 ~ 250

三、晶体三极管的开关作用



实践活动

认识晶体三极管的开关作用

我们通过实验来认识三极管的开关作用。图3.27（a）是直接用开关控制电流流动、点亮灯泡。我们用电流表可以很清楚地看到在开关闭合时电流表的指针有指示（或数字万用表显示电流数）。

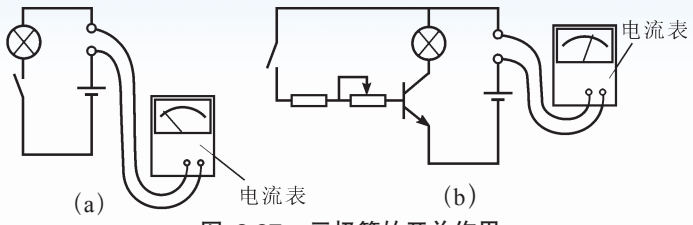


图 3.27　三极管的开关作用

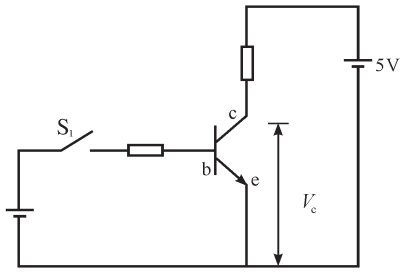
微信公众号：电子课本大全

现在我们用三极管代替开关的位置。我们用一个 NPN 三极管，按图 3.27(b) 进行连接。先把可变电阻调到最大，接通开关后我们逐渐调变阻器，随着电路中电流增加，灯泡逐渐变亮。当达到和直接用开关接通时差不多亮度时，再按同一方向继续调节变阻器时，电流不再增加（或变化很小），灯泡亮度也不再变化。这时我们断开开关，电流表指示为零（严格地说接近零），灯泡熄灭。

注意：在这个三极管电路中，要让电路断开，三极管的基极电流必须足够小；要让这个开关接通，基极电流必须达到一定数值。

晶体三极管的这两种工作状态分别称为截止和饱和。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。

用晶体管开关表示“0”和“1”：



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

图 3.28　三极管开关电路

如果我们用高电压和低电压表示“1”和“0”，那么利用晶体管的开关作用很容易实现这两个状态，如图 3.28 所示。当开关 S_1 不接通、没有基极电流 I_b 时，三极管开关处于断开状态，晶体三极管 c、e 之间没有电流，V_c=5V，可以用数字“1”表示；当 S_1 接通，有 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”的结合，晶体管构成了数字电路的基础。



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。

微信公众号：电子课本大全

阅读材料

晶体三极管的放大作用

晶体三极管在数字电路的应用之一是对小信号的放大。通过图 3.20 的实验我们知道，三极管基极 b 中流过较小电流时，可以控制集电极 c 和发射极 e 间流过较大的电流（图 3.29），这就是三极管的电流放大作用。利用这个作用，我们可以把弱小信号放大，例如我们常用扩音器把声音信号放大，而大部分扩音器中起放大作用的元件就是晶体三极管。再如我们可以用集成电路控制电动机。集成电路一般输出的电流很小，通常用晶体管作驱动，才能实现控制功能（图 3.30）。

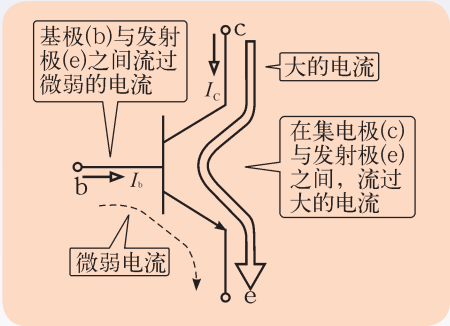


图 3.29　三极管电流放大

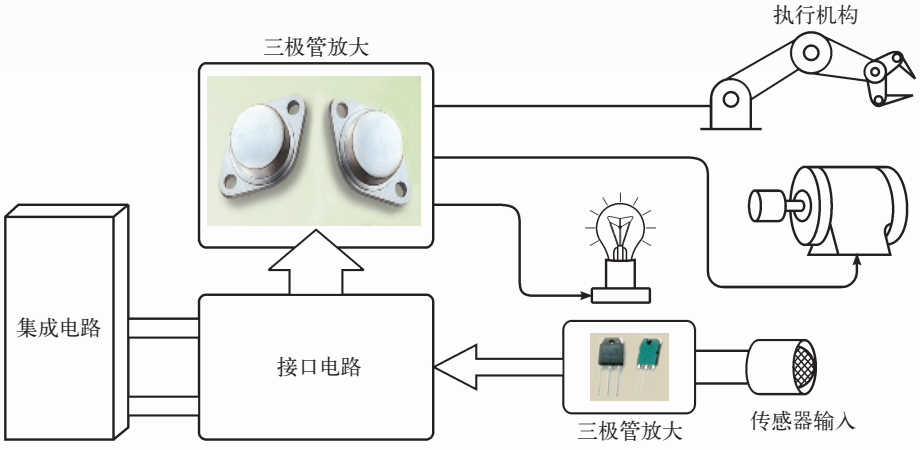


图 3.30　晶体三极管放大作用在实际中的应用

微信公众号：电子课本大全

第三节　数字电路的基本单元——门电路



学习导航

1. 三种基本门电路的逻辑关系是什么？怎样用三要素描述它们？
2. 怎样用基本门电路组成复合门电路（与非门、或非门）？



现象与问题

每天我们都和门接触，出家门，进校门，进教室门。商店不开门，我们无法进入购物；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。请归纳不同情况下门之间的关系。






各种各样的门

一、基本门电路

在用电器中，电路开关俗称“电门”。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 3.31）。






图 3.31　电路中的门

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”。

微信公众号：电子课本大全



实践活动

观察与讨论

1. 图 3.32 中，一个门被两把锁按图示的方式锁住，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？

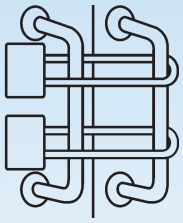


图 3.32　两把锁分别锁门

答案：

2. 图 3.33 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（填表）。

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	
3	断	通	
4	通	通	

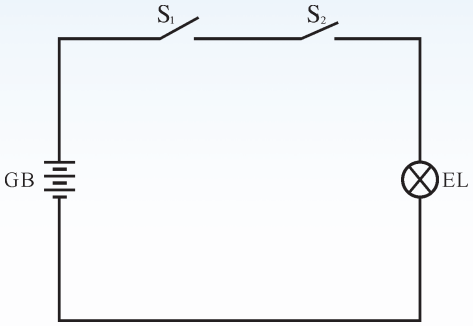


图 3.33　两个开关串联控制一个电灯

3. 请再找出两个类似的实例。

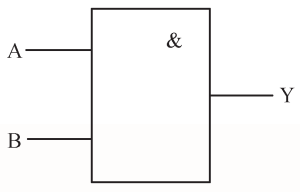


图 3.34　与门电路的表示方法

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 3.34 所示的图形符号表示。与门电路有一个输出端和两个以上输入端，通常用 A、B……表示输入端，用 Y 表示输出端。

微信公众号：电子课本大全

（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”。

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 · B 。

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 3.34 的与门可以用下表直观地表达出来。

输入		输出
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

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（例如 0V）表示 0，而用高电平（例如 5V）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，如上表。

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 3.35 表示电路在 t_1 时刻电压由 0 跳变为 5V，t_2 时刻电压由 5V 跳变为 0V 的波形图。

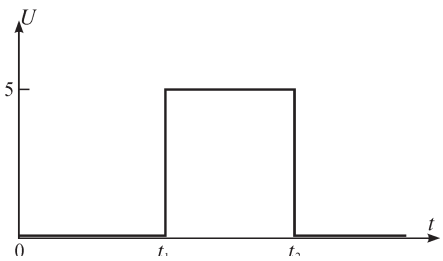


图 3.35　波形图

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。

下面是两输入端与门电路的波形图（图 3.36）。

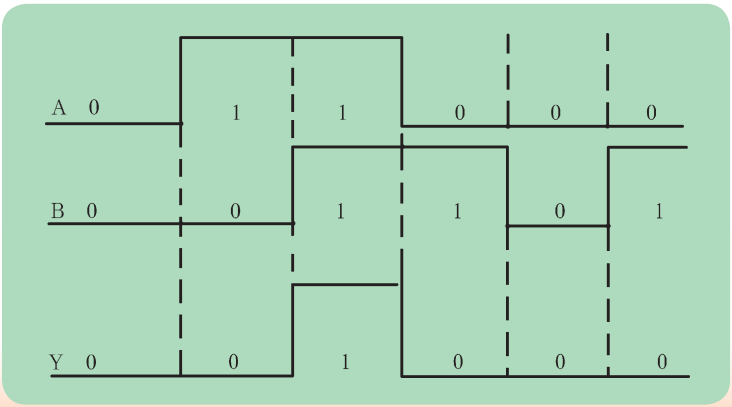


图 3.36　两个输入端的与门电路波形图

微信公众号：电子课本大全



探究尝试

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。

图形符号：

逻辑表达式：

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	

2. 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？



实践活动

1. 如图 3.37 所示，一个门被两把锁按图示的方式锁住，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？

答案：

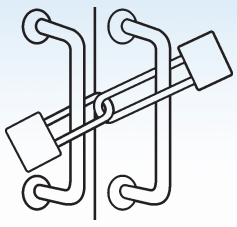


图 3.37　两把锁连接起来锁门

微信公众号：电子课本大全

2. 图 3.38 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。

并联开关通断与电灯的关系

状态	S_1	S_2	EL
1	断	断	
2	通	断	
3	断	通	
4	通	通	

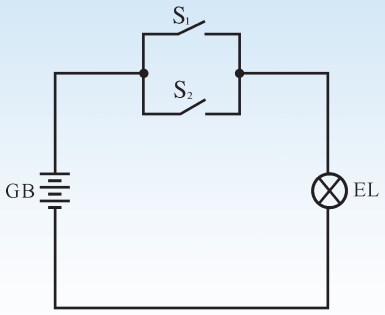


图 3.38　两个开关并联控制一个电灯

3. 再找出两个实际生活中类似的实例。

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。

（2）或门电路的描述与表达。或门用图 3.39 的图形符号表示，或逻辑又称为“逻辑加”。

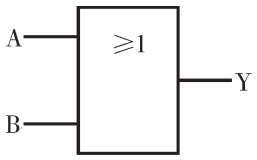


图 3.39　或门符号（逻辑加）

或门和与门一样，有一个输出端，有 2 个或 2 个以上输入端。

2 个输入端或门逻辑表达式为：

$$Y=A+B$$

注意这里的“+”号不是数字运算中的加号，而是逻辑加运算符号。



探究尝试

1. 比较或门和与门，它们之间差别是什么？

微信公众号：电子课本大全

2. 完成或门电路的真值表和波形图(图 3.40)。

输入		输出
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

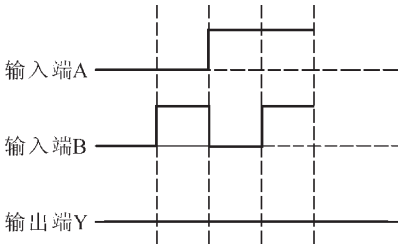


图 3.40　二输入端或门电路真值表和波形图

开关	灯
通	
断	

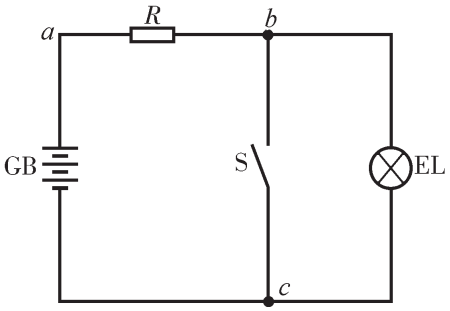


图 3.41　开关与电灯并联对电灯的控制

3. 非门

观察图 3.41，分析开关的通断和电灯 EL 亮灭的关系并填表。

这种开关的通断与灯的亮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非门电路，也称“反相器”。非门电路也称 NOT 电路。

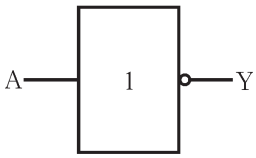


图 3.42　非门符号

非门图形符号　非门只有一个输入端和一个输出端。图 3.42 是非门的图形。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。

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。



探究尝试

试完成非门电路的真值表和波形图（图 3.43）。

输入	输出
1	
0	

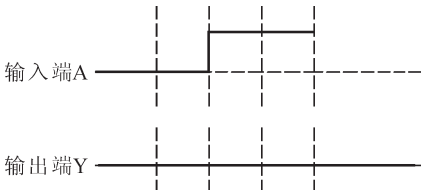


图 3.43　非门电路真值表和波形图

二、与非门和或非门——基本门电路的复合

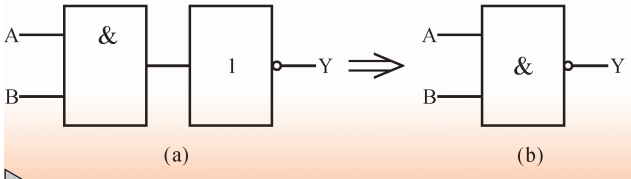


图 3.44　与非门组成和图形符号

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 3.44 所示。

微信公众号：电子课本大全

同样道理，与非门的逻辑关系也是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）。



探究尝试

（1）完成 2 个输入端与非门的真值表和波形图（图 3.45）。

输入		输出
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

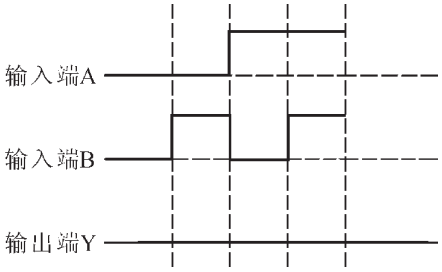


图 3.45　两个输入端的与非门电路真值表和波形图

（2）比较与门和与非门的真值表和波形图的规律。

（3）画出 3 个输入端（A/B）与非门的图形符号、逻辑表达式和真值表，画出波形图。

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 3.46）。从与非门的图形符号我们不难推出或非门的符号。或非门也可称为 NOR 门。

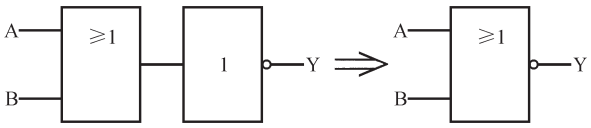


图 3.46　二输入端或非门的组成和符号

或非门的逻辑关系式为 $Y=\overline{A+B}$。



探究尝试

1. 试完成 2 个输入端或非门的真值表和波形图（图 3.47）。

2. 比较或门和或非门的真值表和波形图的规律。

输入		输出
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

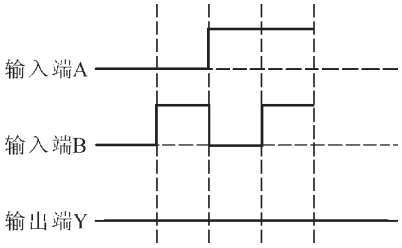


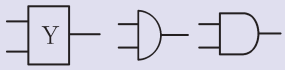
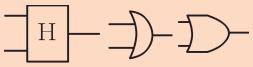
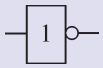
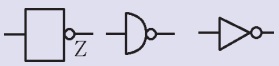
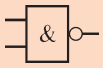
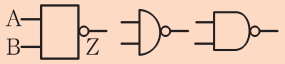
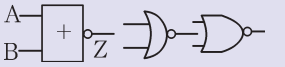
图 3.47　或非门波形图

微信公众号：电子课本大全



小 资 料

常见的逻辑门电路符号对照表

门电路名称	国标	其他
与门（AND）		
或门（OR）		
非门（NOT）		
与非门（NAND）		
或非门（NOR）		

注：国标：中国国家标准图形符号。
　　其他：国外标准及习惯图形符号。



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、真值表和波形图汇总到下面表中。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）。

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 MULTISM10），做 AND/NOT/NAND/NOR 门电路试验，除 NOR 门外，其余门电路选 3 个输入端，观察波形图。

微信公众号：电子课本大全

第四节　数字集成电路及其应用



学习导航

1. 什么是集成电路?
2. TTL 和 CMOS 型集成电路的主要特点是什么?
3. 怎样识别常见数字集成电路的引脚?
4. 怎样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在半导体芯片（通常使用最多的是硅片）上制造许多二极管、三极管以及电阻器等元器件和相应连接线，构成具有一定功能的电子电路模块，叫作“集成电路”（integrated circuit，IC）。现在 IC 已经成为普及率很高的科技词汇。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、计算机等，几乎所有电子产品都应用了集成电路。



小 资 料

集成电路的发明与摩尔定律

集成电路是电子科技领域划时代的发明，是今天几乎所有电子产品的基础，也是影响人类历史进程的一次革命，使人类进入了绚丽多彩、日新月异的电子时代。

晶体管的发明和迅速发展为集成电路的诞生提供了条件。晶体管发明不久，英国人达默在一次电子元件会议上首次提出了集成电路的设想。1958 年，美国得克萨斯仪器公司的 J. 基尔比（Jack.Kilby）经过艰苦的研究，在几平方毫米的半导体芯片上做成了一个包括晶体管、电阻、电容在内的由十几个元器件组成的振荡器。半年后位于硅谷的仙童公司的 R. 诺依斯（Robert Noyce）运用了平面光刻工艺，在硅片上成功制作出集成电路，这种方法和工艺是现代集成电路的主流。1961 年得克萨斯仪器公司开始批量生产集成电路，此后，集成电路的发展日新月异，其集成度越来越高，功能越来越强。

由于制造方法不同，集成电路的发明权属于诺依斯与基尔比二人。1966 年，基尔比和诺依斯同时被富兰克林学会授予巴兰丁奖章，基尔比被誉为“第一块集成电路的发明家”，而诺依斯被誉为“提出了适合于工业生产的集成电路理论”的人。基尔比和诺依斯的大名并列着写进了微电子技术的发展史册。

微信公众号：电子课本大全

2000年12月，在第一块集成电路发明42年后，瑞典国王向已退休的发明家和工程师J. 基尔比颁发了诺贝尔物理奖，以表彰他为发明集成电路所做的贡献。

集成电路诞生不久，美国硅谷人摩尔（Gordon Moore）预测，每18个月集成电路上的晶体管数目将翻一番，而价格保持不变甚至下降。这个预测后来被称为“摩尔定律”。虽然它不是传统意义上的定律，但一直指引和推动着微电子技术的发展。40多年来，一个硅片上能够制造的晶体管数目（即所谓的集成度）由十几个到几百、几千、几万直到几千万、几亿个以上，集成电路的发展基本遵循着这个规律。而由于集成电路的不断发展，电子产品的价格则不断下降，达到了空前的普及，从而奠定了信息时代的物质基础。

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3.48）。

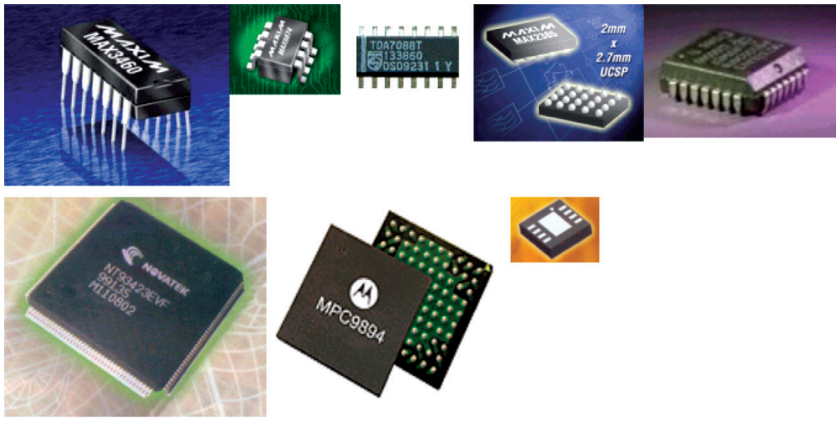


图 3.48　各种封装的集成电路

2. 集成电路的种类

集成电路按照功能、结构和集成度可以分成很多类型。

（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。

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。一个硅片上集成的元件数已经超过10^8个，而且还在不断增加。

（2）按功能分类。从功能上分类可分为模拟集成电路和数字集成电路两类。

模拟集成电路　处理模拟信号的集成电路，也叫作“线性集成电路”。按用途分，有运算放大器、比较器、换流器、电源用集成电路、定时器用集成电路等。

数字集成电路　处理数字信号的集成电路。按用途分，有逻辑集成电路、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。

微信公众号：电子课本大全

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. 集成门电路与外形封装

集成门电路的每一个“门”都是由若干晶体管和电阻等电子元件构成，例如图 3.49 左边是用晶体管构成的与非门电路原理图，右边是与非门的逻辑符号，通常只要知道输入端 A、B、C 和输出端 F，了解需要的电源电压和输入、输出端性能，就可以根据需要使用这种门电路了。因此对使用者来说，可以把一个由很多电子元件构成的门电路看成一个整体，只需了解它的逻辑功能和使用性能，不用去管内部的电路组成和结构。实际上，在当今集成电路发展迅速、信息量越来越大的情况下，在一个半导体晶片上集成成千上万乃至数以亿计的电子元件是很平常的，使用者不需要详细了解集成电路内部组成和结构，只要掌握和使用有关的对外性能就可以设计出自己需要的应用电子系统。

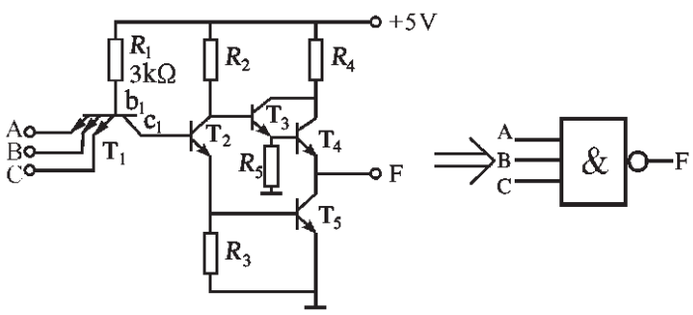


图 3.49　晶体管构成的与非门电路原理图与逻辑符号

实际应用的集成门电路都是将多个门电路单元制作在一个半导体晶片上，然后通过电子封装技术把晶片封装在一个外壳内，用引脚将输入、输出端和电源端引出来，作为一个集成电路产品提供给电路设计者。如图 3.50 所示是一种四个二输入端与非门电路引脚结构与外形封装。

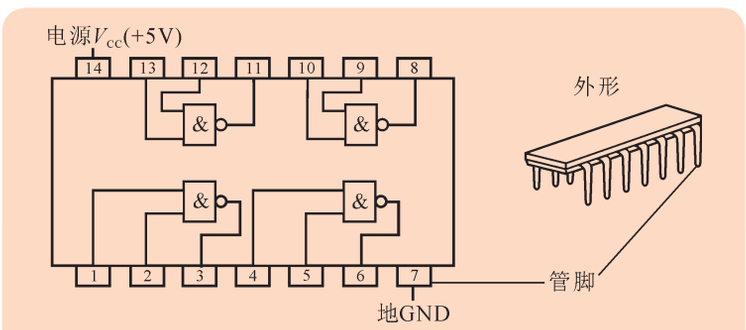


图 3.50　封装在一个外壳中的四个与非门电路（TTL 门电路芯片）

新视窗·知识外延

集成电路的优缺点

与用分立电路元件组装起来的电路相比，集成电路的优点是：

(1)体积小，重量轻。

(2)能够大量生产，价格便宜。

(3) 连接处少，可靠性高。

(4)电压低，能耗小。

缺点是：

(1) 散热性能差。

(2) 线圈和大容量电容器难以实现集成在硅片中。

微信公众号：电子课本大全

2.TTL 和 CMOS

集成门电路和其他数字集成电路一样，按电路结构不同，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 5V 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 ~ 18V 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”，使用中不小心会因为静电烧坏集成电路。

TTL 和 CMOS 的比较

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

常用的 TTL 数字电路是 74LS 系列，例如 74LS00、74LS32 等，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 3.51）。

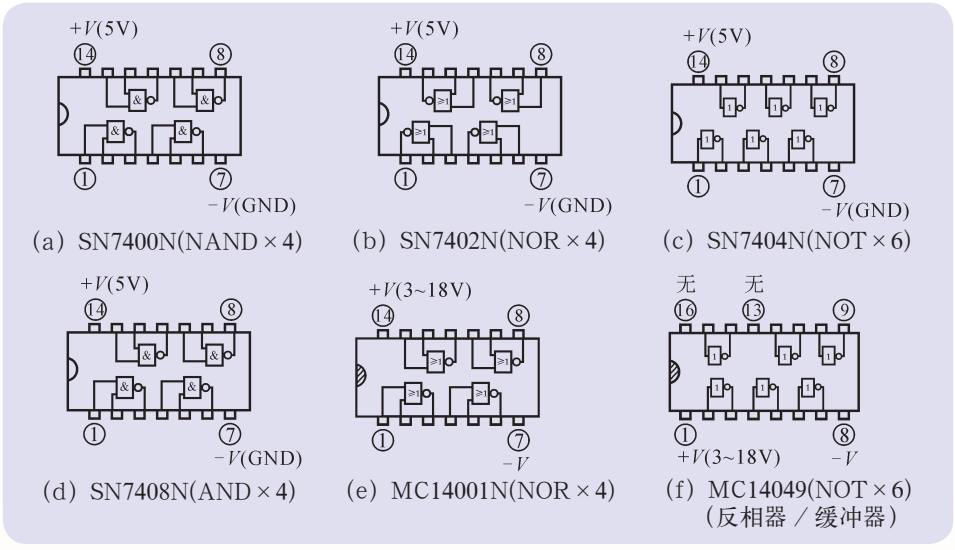


图 3.51　TTL 和 CMOS 集成电路

3. 集成数字电路封装和引脚识别

常用的数字门电路采用插装的双列直插（DIP）封装和采用贴装的 SOP 封装，有 14、16 或更多的引脚，在集成电路封装的一边有一个半圆凹口，引脚编号如图 3.52 所示。

微信公众号：电子课本大全

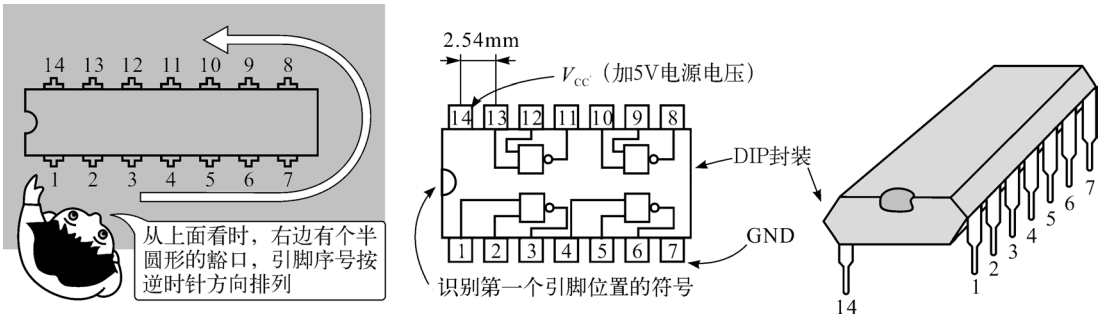


图 3.52　数字门电路引线识别



实践活动

数字集成电路实验

1. 与非门逻辑功能实验

在实验箱中按图 3.53 连接，写出输出端与输入端的逻辑关系、记录真值表，并验证。

逻辑关系：

真值表：

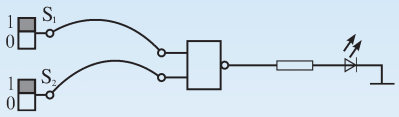


图 3.53　两输入端与非门

2. 交替闪亮的信号灯

（1）按图 3.54 连接电路，图中 C_1=C_2 = 22 μF，两个信号灯交替闪亮可以产生动感。把两个信号灯装在玩具娃娃的眼睛部位会有什么效果？晚上把它们藏在花枝中是不是很有趣？不过注意，接错线可出不了效果。试着将开关 S 置“0”或置“1”，这时会有什么效果？分析原因。

（2）把 22 μF 电容换成 68 μF 的试试会有什么结果？

（3）22 μF 电容不动，把电阻 R_1、R_3 换成 20kΩ 的，看看有什么结果？两个实验可得出什么结论？

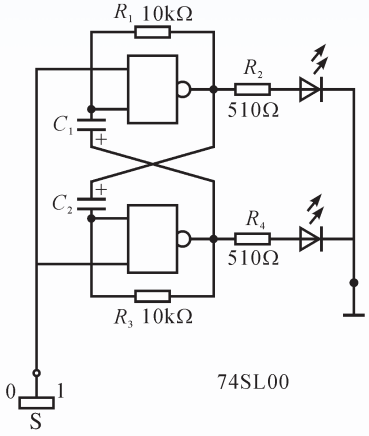


图 3.54　交替闪亮的信号灯电路图

微信公众号：电子课本大全

3. 定时灯

按图 3.55 用 CMOS 电路制作触摸定时灯。

触摸开关 S，灯点亮，亮 1 ～ 2min 后自动熄灭，可用于夜间照明。灯点亮的时间由电容 C 和电阻 R_2 决定，R_2、C 的值越大，灯亮的时间越长。

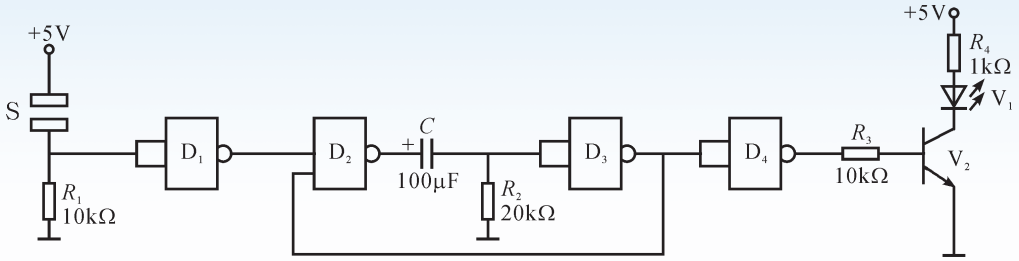


图 3.55　触摸式定时灯电路图

（1）CMOS 电路可用 4011（4 与非门），不用的输入端并接。

（2）触摸开关用两块金属片自制。

（3）试改变 R_2、C 的值，观察灯点亮的时间。

三、数字电路组合设计

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 3.56）。

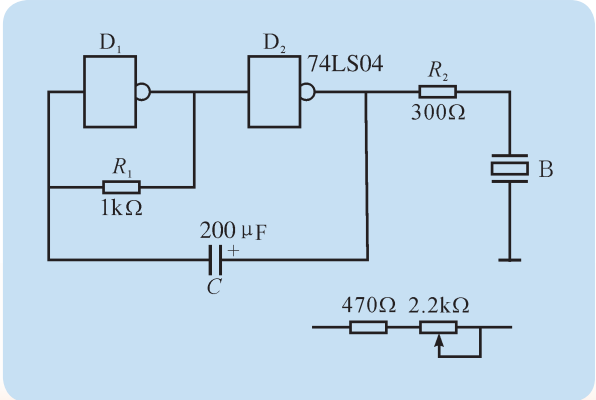


图 3.56　自激振荡器电路图 1

微信公众号：电子课本大全

（1）D_1、D_2 可以用 CMOS 电路也可以用 TTL 电路组成自激振荡器。图 3.56 的电路特点是最简单，但不能调整振荡波形，图 3.57 电路可以调整波形。

（2）自激电路的振荡频率取决于 R、C 的值，$f \approx 1/2.3RC$，R、C 越大，频率越低。在图 3.57 中，$R=(R_1+R_P)$。

（3）在实验箱上插接所选择的电路，调电位器 R_P 让压电陶瓷片发声。

（4）调电位器，让陶瓷片发出声音的频率变化（图 3.56 电路用图右下的电阻和电位器串联代替 R_1）。

2. 模拟虫叫电路

（1）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。

（2）参考图 3.58 电路，设计模拟虫叫电路。

（3）在虚拟电子实验室检验设计。

（4）在电子实验箱上接线，听声音，分析产生断续声的原理。

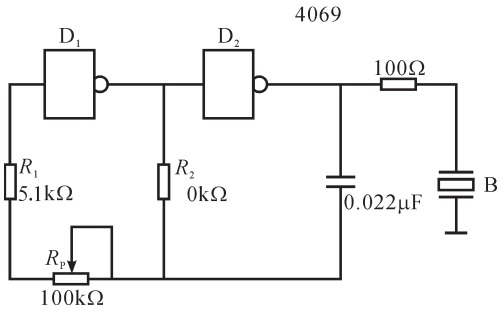


图 3.57　自激振荡器电路图 2

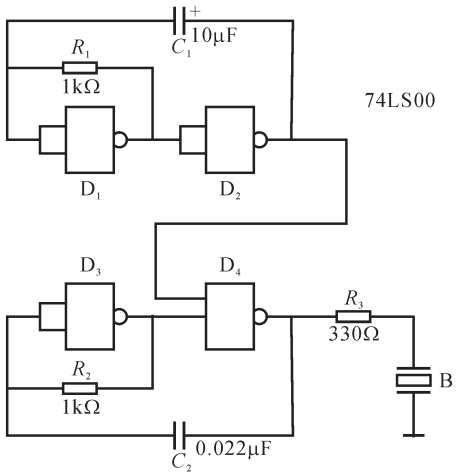


图 3.58　用 TTL 组成自激振荡器



探究尝试

门集成电路的输入电压阈值

门电路的输入端“0”状态和“1”状态并不是对应一个确定的电压，而是一个电压范围。使门电路由“0”变成“1”或由“1”变成“0”，一般称为电路状态“翻转”。使门电路输出翻转的电压值称为阈值。我们通过下面的实验来测量 TTL 门电路的阈值（图 3.59）。

（1）如图 3.59 所示，将电压表并接在可调电源上，观察记录使指示灯由亮变灭的电压。

（2）指示灯灭后继续调电压直到 5V 为止。观察此时指示灯的状态。

（3）将电压向减小方向调节，直到指示灯重新亮，记录此时的电压值。

（4）反复进行上述实验，确定使与非门翻转的 2 个电压值。由以上实验可以得出什么结论？

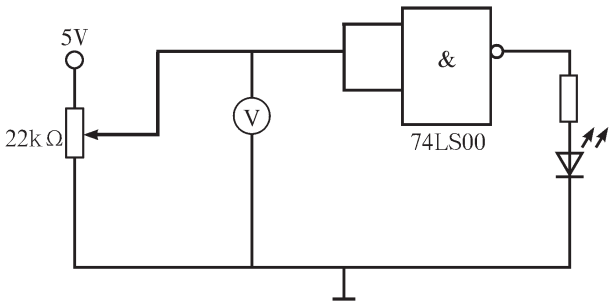


图 3.59　门电路的阈值

微信公众号：电子课本大全

3. 水沸腾报警器

这是一个在生活中有实用价值的电路。在家庭厨房的煤气炉上烧开水，一旦水沸腾了，如不及时熄火，开水就会溢出来，将火焰扑灭，造成煤气外溢，威胁家庭安全。使用水沸腾报警器可以解决这个问题。

图 3.60 所示是一种水沸腾报警器电路的原理图。我们采用常用的负温度系数热敏电阻作为温度传感元件，使用一块 CMOS 数字集成门电路 4011 作为控制电路，通过电位器 R_P 调节，使水沸腾时与非门 D_1、D_2 的逻辑状态翻转，控制由 D_3、D_4 组成的音频振荡器工作，通过压电陶瓷片发出报警信号，具体工作原理请同学自己分析。

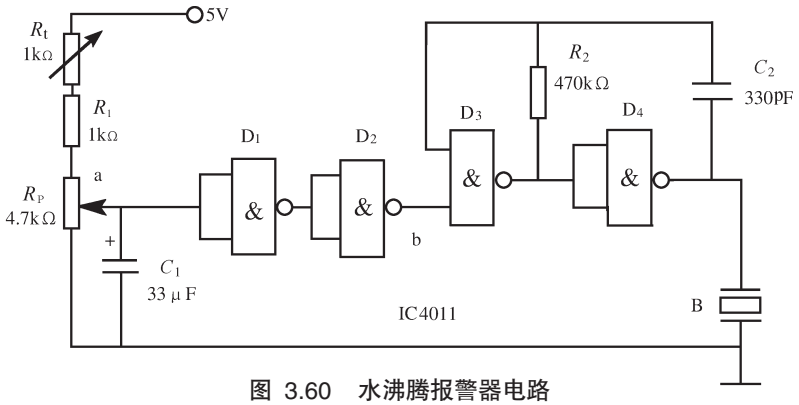


图 3.60　水沸腾报警器电路

基本要求：在电子控制技术实验箱上进行实验，写出实验报告。

思考与进一步要求：

（1）图 3.60 所示电路报警声音一般比较小，如果厨房离居室距离较远可能听不到报警。自己找资料改进电路，使报警器实用、声音变大。

（2）图 3.60 水沸腾报警器电路能否通过改变部分电路，使其作为其他报警电路？例如超过某一温度或低于某一温度时报警、水位报警等。试画出电路，在虚拟电子实验台或者通过电子制作实现设计。



活动延伸

1. 以 2 ～ 3 人为一组，按图 3.58 自制模拟虫鸣器，并调出最逼真的虫鸣声。

2. 根据模拟虫鸣叫电路的原理，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。

阅读材料

正确使用数字集成电路

数字集成电路必须按正确方法使用才能实现它的功能。错误的使用方式往往使电路不能正常工作甚至损坏。

1. 集成电路正确加电（图 3.61）

要按 TTL 和 CMOS 电路正常工作电压给集成电路加电，通常 TTL 为 5V，CMOS 为 3~15V，尤其注意不能超过上限（TTL 为 7V，CMOS 为 18V），更不能把电压接反（集成电路功能图中 V_{CC} 接电源正极、V_{SS} 接负极，其他管脚所加电压都不能超过电源电压）。

微信公众号：电子课本大全

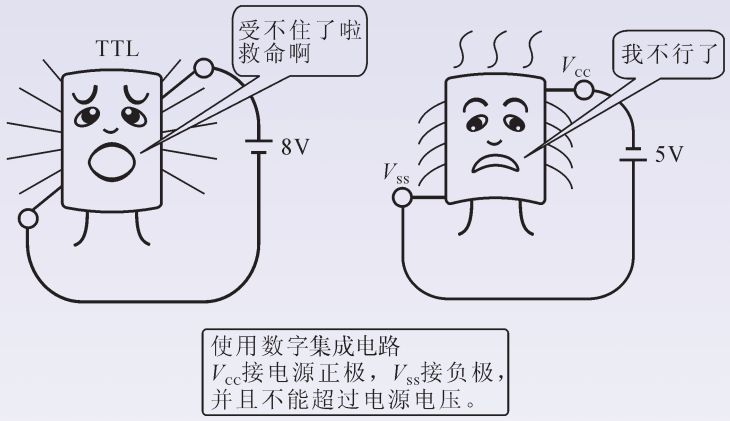


图 3.61　给集成电路正确加电

2. 引脚序号不能错（图 3.62）

集成数字电路的引脚序号对使用来说至关重要。接错引脚往往会造成电路损坏。确认引脚序号，千万不要马虎。

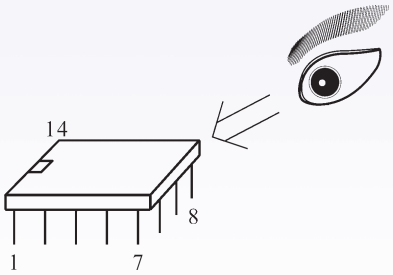


图 3.62　正确识别管脚序号

3. 引脚不能伤，连接要可靠

使用时引脚不要弯曲碰撞，尤其根部受力很容易折断。电路引脚不论插接还是焊接都要保证可靠连接，否则不能正常工作。

4. CMOS 怕静电

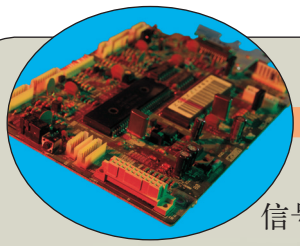
CMOS 电路输入端碰上静电很容易损坏，而人体或其他容易产生静电的物体，在干燥的天气很容易有几十伏甚至上千伏电压的静电。

在电子制造工程中，防静电是重要的技术防护环节。在业余制作或实验室也要注意，不要用手直接触及 CMOS 电路引脚，不要把 CMOS 电路放到橡胶、塑料等容易带静电的物品上。在进行电路装配、测试前，要先进行人体放电（例如触摸水管、较大的金属物品等）。

5. 多余端子最好不要悬空

我们设计的电路往往不能正好和数字集成电路的输入端和单元电路数吻合，例如设计的电路用了 3 个 NOR 门，但实际集成电路都有 4 个 NOR 门。对多余的部分，输出端可以不管，输入端最好接高电平或接地。对于一个单元门电路，例如 3 输入端的门电路，如果只用 2 个，多余的那一个最好根据逻辑关系需要接高电平或零电平（一般称接地），否则，很容易引入干扰。

微信公众号：电子课本大全



本　章　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，相应获取的信号也有模拟信号和数字信号两种。数字信号具有便于传输、有利于加工处理和存储等优点，得到日益广泛的使用，数字化成为现代技术的主流。

数字化的核心是由“0”和“1”组成二进制逻辑，通过数字电路实现信号转换和处理功能。晶体管是构成现代数字电路的基本细胞，几乎所有的电子电路，包括功能强大的各种集成电路，都离不开晶体三极管。在数字电路中，晶体管工作在截止和饱和两种状态，形成电子开关的作用。此外晶体三极管的放大作用也是重要的应用领域。

门电路是数字电路的基本单元，与门、或门和非门是三种基本门电路，与非门和或非门是复合基本门电路。门电路可以通过逻辑表达式、真值表和波形图来描述。

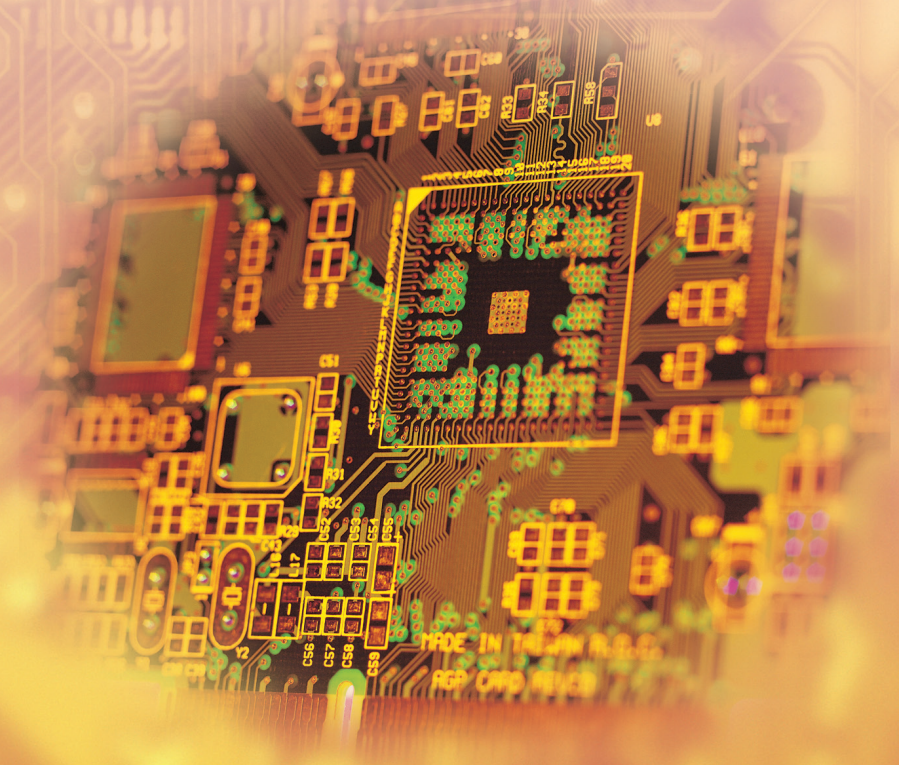
门电路在实际应用中以数字集成电路的形式出现，主要有 TTL 和 CMOS 两种。数字集成电路可以组成各种实用电路，通过实验和实际电子制作学习电子技术是最好的途径和方法。

微信公众号：电子课本大全

第四章　电子控制系统的执行部件

如果把传感器作为电子控制系统的“五官”，把控制部件作为电子控制系统的“大脑”，那么执行部件则可以认为是电子控制系统的“手”和“脚”。离开了执行部件，再好的感知，再精确的计算，都不可能完成控制的任务。

本章重点介绍继电器的原理、功能和应用，包括电磁继电器和无触点继电器，对于与电子控制系统紧密相连的小功率直流电动机，本章也将其纳入电子控制系统的执行部件，一并做扼要的介绍。



微信公众号：电子课本大全

第一节　认识继电器



学习导航

1. 什么是继电器？继电器的作用是什么？
2. 继电器都有哪些种类？
3. 直流电磁继电器的工作原理是什么？
4. 如何选用继电器？



现象与问题

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。

请考虑：

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？







家用电器

一、什么是继电器

什么是继电器？简单地讲，继电器就是电路的控制开关，但它又不是普通的电路开关。继电器是具有隔离功能的自动电路开关元件。日常生活中，大家经常用到电路开关。摁一下按钮，电灯就亮了，再摁一下，电灯又灭了。但现实的生产和生活中，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，危险环境等。在这些情况下，只有有选择地使用各类继电器，才能保证工作电器的正常运转。

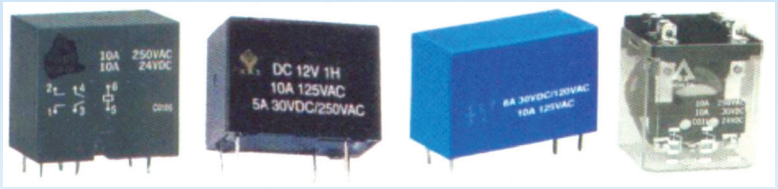
微信公众号：电子课本大全



实践活动

认识继电器

图 4.1 是几种常用的继电器外形图。



（a）电磁继电器



（b）无触点继电器

图 4.1　几种常用继电器外形图

请同学们根据个人理解，或者查找有关资料，回答以下问题：

1. 什么是电磁继电器？

2. 什么是无触点继电器？

1. 继电器的作用

如图 4.2 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 3V 电磁继电器一个，直流 5V 玩具电动机 1 只，3V、5V 电源各一个，开关一只。

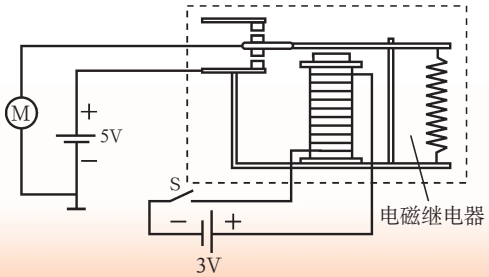


图 4.2　电磁继电器实验

微信公众号：电子课本大全

按照图 4.2 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，电机开始转动。开关断开，电机转动停止。

通过这个实验我们看到：

（1）继电器是一种可控制的开关。

（2）它能够以小电流、低电压控制大电流、高电压。

电磁继电器能接收并执行控制电路发出的命令，用弱电（低电压、小电流）信号控制强电（高电压、大电流）设备的工作，这就是继电器“以低控高”“以小控大”的作用。

继电器是一种用小电流控制大电流的自动开关。作为开关元件，继电器的输入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。

电子控制系统中，如果说传感器相当于人的眼睛、鼻子和耳朵，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。它在电子控制系统中的作用如图 4.3 所示。

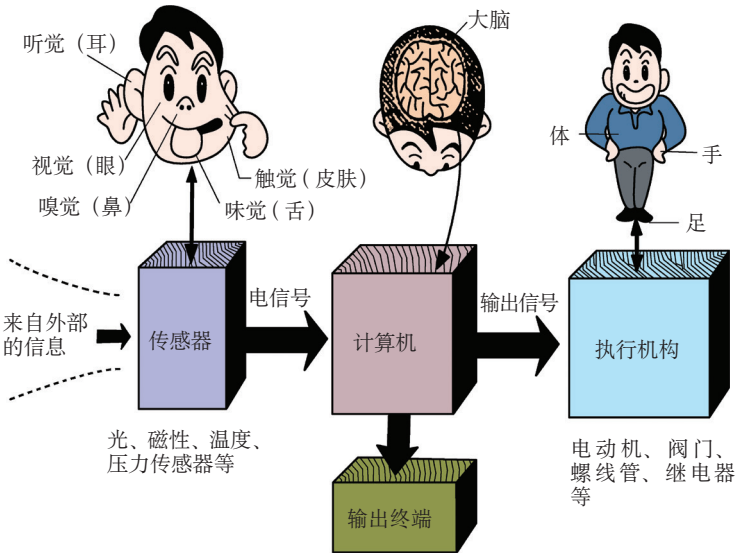


图 4.3　执行部件在电子控制系统中的位置

2. 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。常见的继电器按工作原理划分，有电磁继电器和无触点继电器（又称固态继电器）两类。电磁继电器由触点的相对运动来完成开关功能，而无触点继电器是由电子元件来完成开关功能。按照输入电路的控制电流是直流还是交流，还可以把电磁继电器分成直流电磁继电器和交流电磁继电器。

二、直流电磁继电器的构造和工作原理

1. 直流电磁继电器的构造

直流电磁继电器的构造如图 4.4 所示。

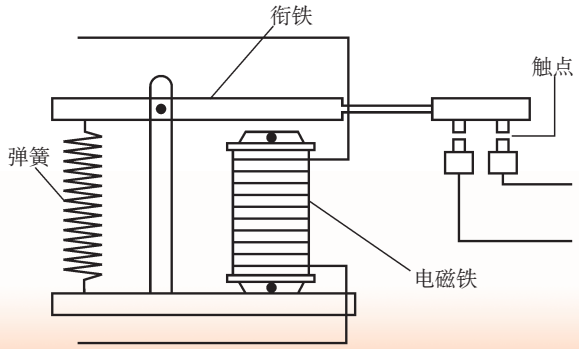


图 4.4　直流电磁继电器构造

直流电磁继电器主要由电磁铁、衔铁、弹簧、触点四部分构成。根据不同的应用场合，触点可以是一组或几组。常见的直流电磁继电器的触点有动合触点、动断触点和切换触点等三种类型。线圈不通电时，动、静触点处于断开状态的为动合触点，处于闭合状态的为动断触点。

2. 直流电磁继电器的工作原理

图 4.5 是直流电磁继电器工作原理图。当合上电键，电磁铁线圈 A 中有控制电流通过时，铁芯被

微信公众号：电子课本大全

磁化产生足够大的电磁力，吸动衔铁 B 并带动簧片使 D、E 触点闭合，接通高压电路使电动机转动。把控制电路的电键断开，电磁铁线圈中没有控制电流时，弹簧就把衔铁 B 拉起，D、E 触点断开，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对输出电路中设备的控制。

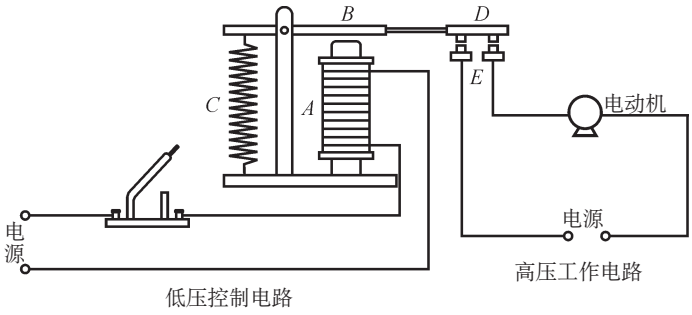


图 4.5　电磁继电器的工作原理

3. 直流电磁继电器的符号图

在电路图中，为简化起见，采用图 4.6 所示的符号来表示继电器的主要结构。

继电器线圈在电路中用一个长方框符号表示[见图 4.6（a）]。同时在长方框内或长方框旁标上继电器的文字符号“K”。继电器的触点有两种表示方法：一种是把它们直接画在长方框一侧，这种表示法较为直观；另一种是按照电路连接的需要，把各个触点分别画到各自的控制电路中。

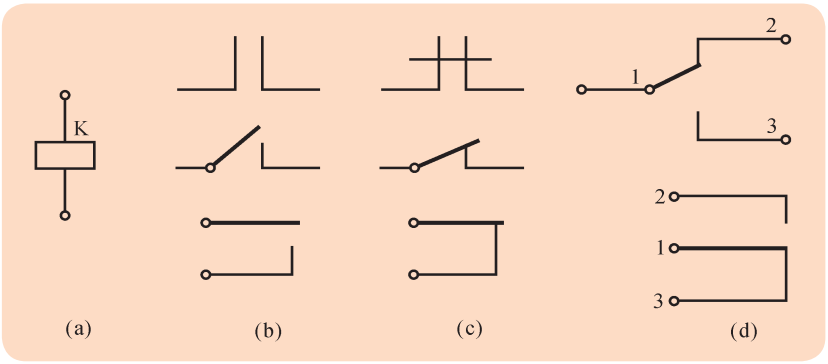


图 4.6　继电器的电路符号



小 资 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。以“合”字的拼音字头“H”表示，见图 4.6（b）。

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。用“断”字的拼音字头“D”表示，见图 4.6（c）。

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，上下各一个静触点。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，使原来断开的成闭合，原来闭合的成断开状态，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 4.6（d）。

微信公众号：电子课本大全



新视窗·知识外延

功　率

功率指在单位时间内所做的功。电功率用瓦特来度量。在直流电路内，功率 P 等于电路内电压（U）和电流（I）的乘积，即 $P = UI$。如果在交流电路内，则功率将随着电流与电压之间的相位移而变化。交流电功率 $P = UI\cos\phi$。式中，U 与 I 分别为电路中电压和电流的有效值，$\cos\phi$ 为电流和电压相角差的余弦，不能大于 1，所以交流电功率不可能超过电流与电压有效值的乘积。



三、电磁继电器的规格和选择

电磁继电器有大有小，形状和结构都不一样，实际使用时我们应该怎样选择呢？我们以常用的直流电磁继电器为例来讨论这个问题。

1. 根据被控制电器的要求选择继电器的触点负荷

触点的负荷就是这一对触点接通和断开电源的能力。被控电器电源有的用交流电，有的用直流电；电压有的高，有的低；电流有的大，有的小。所以触点负荷就有三点需要确认：交流还是直流？能承受多高电压？能通过多大电流？

例如一台电风扇，使用交流电源，电压为 220V，功率为 55W。我们选择电磁继电器触点时就应该选择触点的负荷为交流 220V、电流不小于 0.5A 的电磁继电器。

2. 选择电磁继电器触点种类和组数

我们已经知道电磁继电器的触点有动合、动断和转换三种。根据我们对被控制电器的要求不难确定应选择的继电器。例如要求被控电器在继电器线圈给电前是不通电的，可选择动合触点；如果让继电器控制两个电器轮流工作，可以选择转换触点。

3. 选择线圈的工作电压和电流

前面两个参数的选择依据是被控制电器，而线圈参数的选择则取决于我们设计的电子电路。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。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。例如一个 1.2W 的电磁线圈可以有 24V、12V、5V、3V 等 4 种工作电压规格，我们可以根据自己电路的实际需要选择其一。



探究尝试

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. 上面关于电风扇的例子中所选的电流值是不是与你计算的不一样？为什么所选电流值要比计算值大一些呢？



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电磁继电器？

2. 查找相关资料，详细了解电磁继电器的分类情况。

微信公众号：电子课本大全

阅读材料

学会看电磁继电器的产品说明书

在选择电磁继电器时，除了注意上面讲到的触点负荷、触点组数、线圈功率以外，通常说明书中还会列出下列参数。

吸合电流：指电磁继电器能完成吸合动作所需要提供的最小电流值。为了保证继电器可靠工作，提供给继电器的工作电流必须略大于规定的吸合电流。

直流电阻：指线圈的直流电阻，一般在几百欧到几千欧之间，可以用万用表测出这一电阻值。

触点寿命：指触点正常开合的次数，一般在几万次到几百万次，该指标是控制系统长时间可靠工作的重要条件。

动作时间：指触点从开到合或从合到开所用的时间。这一点在动作时间没有严格要求的场合可不用考虑。

下面是一种继电器的规格说明。有了上面所学的知识，你一看就会明白。

外形尺寸		29 mm × 12.6 mm × 20.6 mm
线圈电压		3V、5V、6V、9V、12V、24V、48V
线圈功耗		0.54W、0.72W
触点形式		1H，1Z
触点切换电流		20A，10A
环境温度		0.54 W：－ 30 ～ 70℃；0.72 W：－ 30 ～ 55℃
介质耐压	触点间	1 200 V
	触点与线圈间	5 000 V
绝缘电阻		100 MΩ
触点	接触电阻	≤ 100 mΩ
	电气寿命	100 000 次
	机械寿命	10 000 000 次

如果你手上有继电器的样品而没有说明书，从外壳上也能看到它的主要性能指标（图 4.7）。



图 4.7　继电器外壳上标示有关产品规格

外壳上“DC 12V”指的是线圈工作电压是直流 12V；“1H”指的是 1 组动合触点；“10A 125VAC　5A 30VDC/250VAC”是触点负载能力为交流 125V 时可流过 10A 电流，直流 30V 或交流 250V 时流过 5A 电流。

微信公众号：电子课本大全

第二节　直流电磁继电器的应用和检测



学习导航

1. 自己动手，做直流电磁继电器的应用实验。
2. 你会用万用表对直流电磁继电器进行简单检测吗？

电磁继电器是具有隔离功能的自动开关元件，广泛应用于遥控、遥测、通信、自动控制、机电一体化及电子、电力设备中，是最重要、最常用的控制元件之一。

一、直流电磁继电器的应用

1．水位自动报警器实验

（1）实验装置如图 4.8 所示。从实验装置图可以画出水位报警装置的电路图（图 4.9）。

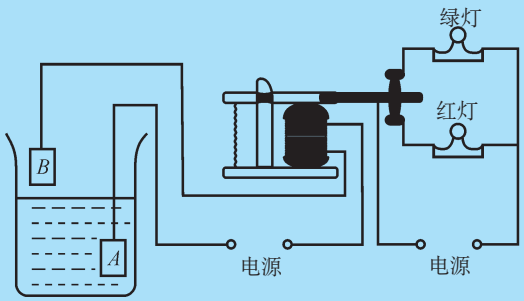


图 4.8　水位自动报警器

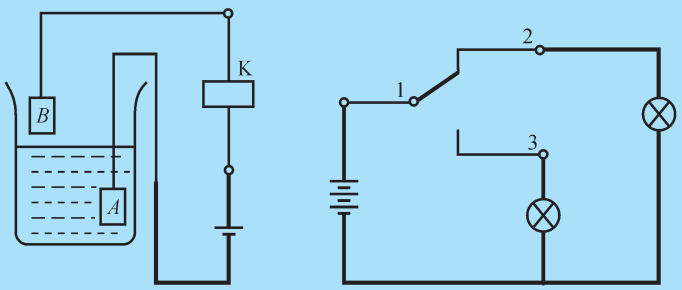


图 4.9　水位自动报警器实验电路图

（2）实验元件。带有转换触点的直流电磁继电器 1 只；5V、12V 电源各一个；透明玻璃水杯一只；铜电极片两个；红色、绿色指示灯泡各一只。

（3）实验方法。

①首先按图 4.8 所示电路接好线，使水面没过电极 *A*，而在电极 *B* 以下。接通两个电源，我们看到了什么现象？

②向水杯中慢慢加水，当水面没过电极 *B* 时，又发生了什么现象？

③将水杯中的水慢慢倒出，电极 *B* 露出水面时，又会怎么样呢？

微信公众号：电子课本大全



探究尝试

利用该实验原理，是不是可以做成一个防洪报警器？把你的设想写下来，并画出草图。

2．温度自动报警器实验

（1）实验装置如图4.10所示。根据实验装置图画出实验电路图（图4.11）。

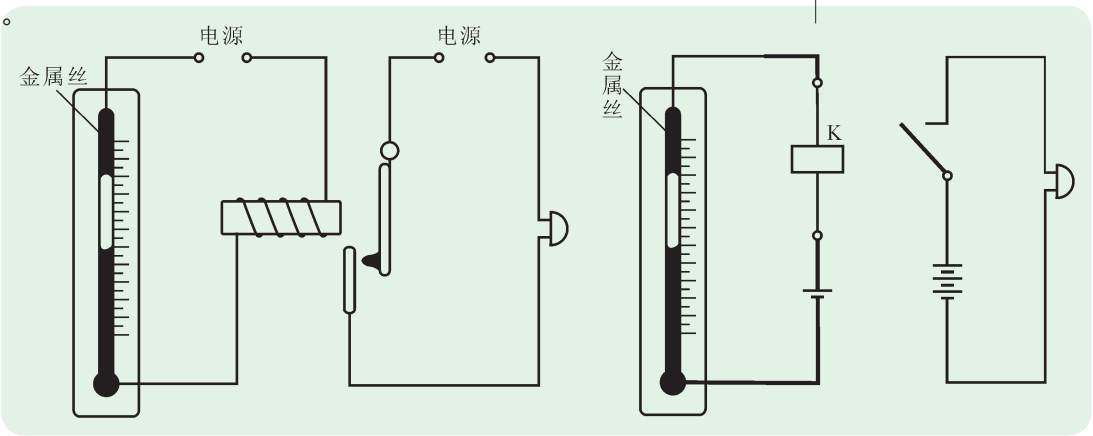


图 4.10　温度自动报警器　　图 4.11　温度自动报警器实验

（2）实验元件。带有常开触点的电磁继电器 1 只；5V、12V 电源各一个；触点温度计一只；蜂鸣器一只；玻璃水杯一个。

（3）实验方法。具体实验步骤如下：

①首先按图 4.10 所示电路接线，调节触点温度计的上端触点到报警温度，例如 50℃。

②接通两个电源，听蜂鸣器是不是发声，为什么？

③将触点温度计放入盛有热水的玻璃杯中，看到温度计的水银柱慢慢上升。

④当水银柱上升到 50℃ 与上面的金属丝接触时，发生了什么现象？蜂鸣器是不是发声？

⑤将触点温度计从盛有热水的玻璃杯中拿出，温度慢慢降低，水银柱与金属丝脱离接触，蜂鸣器是不是停止发声？

微信公众号：电子课本大全

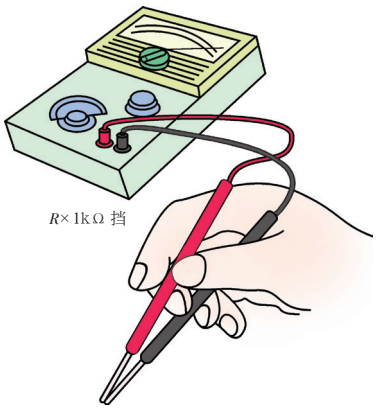


图 4.12　万用表测值

二、直流电磁继电器的简单检测

拿到一个新的直流电磁继电器，到底是不是合格品，有没有质量问题？如果是一个旧的继电器，还能不能正常使用？我们用万用表简单测一下就知道了（图 4.12）。

1. 输入部分线圈的检测

直流电磁继电器的线圈根据功率大小和额定电压不同，有几十欧到几千欧的电阻。我们用万用表的电阻挡很容易判定输入电路是否完好。

（1）对指针式万用表，为了准确测出线圈电阻，测量前要先“调零”。你知道如何调零吗？

（2）如测出的电阻为“无穷大”又意味着什么？

2. 输出部分（触点）检测

继电器的输出部分开关接点，同样可以用万用表的电阻挡检测。

（1）未输入电流时，对动合接点电阻应为“无穷大”，对动断接点电阻应为“零”。

（2）加输入电流后（注意按继电器说明加直流电压），两种触点的状态应该翻转（即对动合接点未加电时“无穷大”，加电后变“零”，动断接点反之）。



探究尝试

1. 如果触点电阻测出结果不是“零”（排除万用表本身的误差）或“无穷大”，意味着什么？

2. 如果加电前后触点检测出的电阻值无变化，又意味着什么？

提示：对多组触点要得到正确结论，先要找到正确的接点组。

3. 输入特性测量

直流继电器的输入电压，通常指“额定”输入电压。实际上这个电压有一定的“保险系数”，即比这个电压低时同样可使电磁铁吸合。一旦吸合，只有电压降到一定数值后才释放，这个电压称释放电压。

用图 4.13 所示的电路可测出吸合电压、吸合电流、释放电压、释放电流。

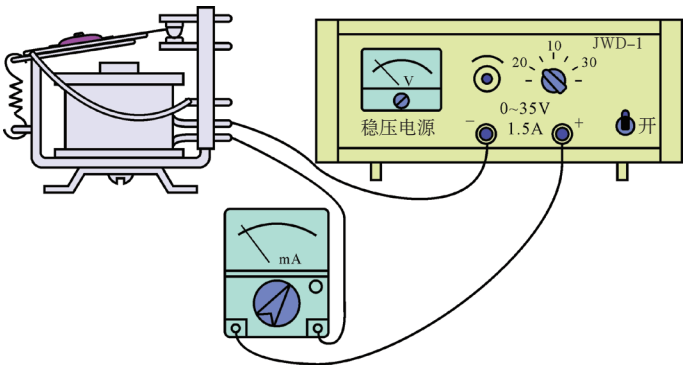


图 4.13　输入特性的测量

微信公众号：电子课本大全

（1）将可调直流电压调到较低的数值（例如 1.2V），然后慢慢增加电压，直到听到“啪”的一声（表示接点接通）记录此时的电压 U、电流 I_1。

（2）慢慢调低电压，直到继电器释放，记录此时电压 U_2、电流 I_2。

（3）重复步骤（1）、（2），并比较记录结果。

想一想：对比额定电压、吸合电压和释放电压，从已知的三个电压、电流值计算出继电器消耗的功率。



活动延伸

1. 查找资料，找出选择直流电磁继电器的必要条件。

2. 自己设计一个电磁继电器应用电路，并确定所需的直流电磁继电器的型号和规格。

阅读材料

电磁继电器使用指南

使用电磁继电器首先应仔细阅读使用说明书，确认继电器线圈的电压、切换功率和使用环境的温度、湿度适用范围。在使用极性继电器时应注意线圈的极性（+、−）。

在正常使用情况下，线圈必须加上额定电压。直流型继电器线圈外加直流电压，交流型继电器线圈施加正弦波电压。

请勿在存在氯、氨、硫化气体和有机气体的环境中使用继电器，否则会导致触点氧化、接触不良。如不得已必须在有害环境中储存、使用，建议选用密封型继电器。

为保持电磁继电器的原始性能，请不要拆开外盖，以免继电器性能受损。使用中应保护好继电器免受撞击。

绝对不要对电磁继电器施加超出设计值的切换电压和切换电流，并确保继电器线圈不长期施加最大允许电压。

继电器的额定使用寿命仅供参考。因为开关寿命会受到线圈的驱动回路、负载种类、开关相位、频度、周围环境的影响，不确定因素较多。

继电器请勿在超出规定的环境中使用。因在高温和高湿情况下，突然的温度变化会引起霜雾，使继电器绝缘性能下降；而长时间的低温低湿环境又会使塑料变脆易损。当温度低于 0℃ 时，霜雾和湿气会冻结在继电器表面，导致动作部件不灵活或动作迟缓。

禁止用水或超声波对继电器进行清洗除垢。

微信公众号：电子课本大全

第三节　无触点继电器与晶闸管



学习导航

1. 电磁继电器有哪些局限性？
2. 无触点继电器有哪些优点？
3. 晶闸管的工作原理和检测方法是什么？



现象与问题

电磁继电器能够以低电压、小电流控制高电压、大电流，在电子控制系统中得到广泛的应用。但电磁继电器本身结构上的缺点却限制了它的应用范围。

1. 电磁继电器体积、重量都比较大，这就限制了它的使用范围。

2. 电磁继电器存在衔铁的往复运动，触点接触、返回的运动，为了保证接触电阻不能太大，必须使触点有一定的压力。在周而复始的运动中触点容易磨损失效。而且触点的通断瞬间容易产生电火花，对其他电路产生干扰。

3. 电磁继电器的线圈容易受环境的电磁干扰产生误动作。

4. 电磁继电器动作频率低，无法用于高频场合。

一、无触点继电器

由于电磁继电器在体积、重量、工作频率、使用寿命和抗干扰性能等方面的局限，以半导体器件为开关的无触点继电器越来越受到人们的重视，并获得广泛的应用。

1. 无触点继电器

无触点继电器是以半导体器件为开关的电子组件，因为它可以起到电磁继电器的作用，在大多数场合完全可以取代电磁继电器，因此被称为无触点继电器。

无触点继电器实际是依靠半导体器件的“导通”和“截止”实现电路的通、断的，所以没有机械磨损和疲劳，也不受电磁干扰。由于内部不存在运动零件，因此无触点继电器又称为“固态继电器”。

可用于制造无触点继电器的半导体开关器件有晶体管、场效应管、晶闸管（图 4.14）等，其中技术成熟，应用最广泛的是晶闸管。

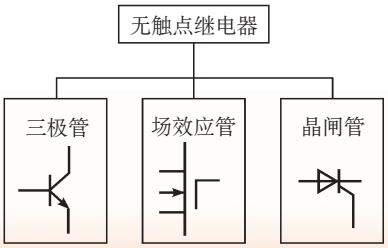


图 4.14　无触点继电器

微信公众号：电子课本大全

2. 晶闸管简介

晶闸管是硅晶体闸流管的简称，又称可控硅。图 4.15 是它的外形图，图 4.16 所示为晶闸管的结构和电路符号。

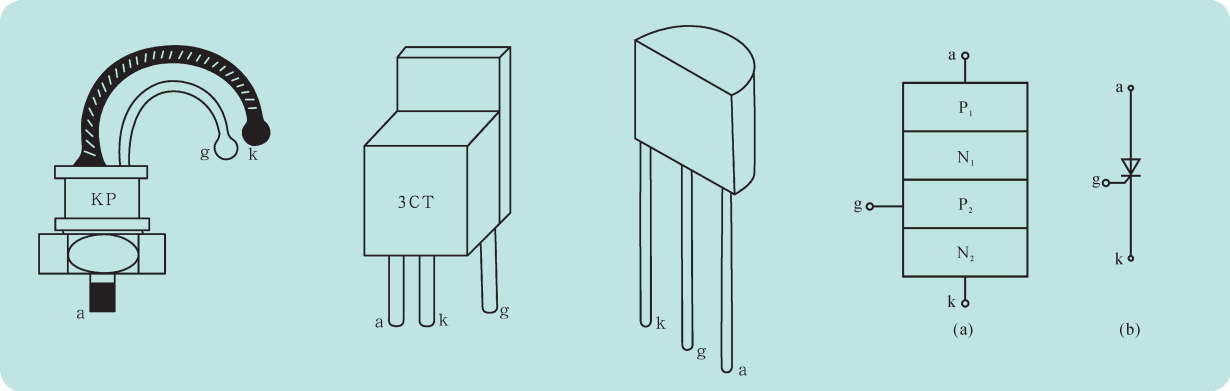


图 4.15　几种晶闸管的外形图

图 4.16　晶闸管的结构和电路符号

图 4.16 中（a）和（b）分别表示晶闸管的结构和电路符号。晶闸管是由 P 型半导体和 N 型半导体，按 PNPN 的顺序组成的四层结构的半导体器件。晶闸管对外有三个电极，由第一层 P 型半导体引出的电极为阳极（a），第四层 N 型半导体上引出的是阴极（k），从第三层 P 型半导体引出的是控制极，一般称门极（g）。

二、晶闸管的工作原理



探究尝试

观察晶闸管对电路的控制作用

按图 4.17 连接电路，并按以下步骤进行实验，观察并解释看到的现象。

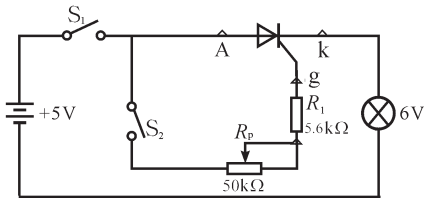


图 4.17　晶闸管的工作原理

1. 检查电路接线是否有误，确认无误后 S_2 断开，S_1 闭合，观察灯是否亮。
2. 合上开关 S_2，慢慢调小 R_p，使 I_g 逐渐增大，当达到某一数值后，观察指示灯是否亮。
3. 继续增大 I_g，观察指示灯亮度的变化。
4. 慢慢调大 R_p，使 I_g 减小，直到 R_p 调到最大，观察灯的亮度。
5. 断开 S_2，观察灯的亮度。

请对你观察到的现象进行解释。

微信公众号：电子课本大全

6. 断开 S_1，使灯熄灭，重复第 1、2 步，使灯点亮。然后断开 S_1 和 S_2 使灯熄灭。再次接通 S_1，将 S_2 接通迅速断开，观察灯是否仍点亮。

请对你观察到的现象进行解释。

上面的实验中我们可以归纳出以下几点：

（1）晶闸管是一种只能在直流状态下工作的器件，正常工作时阳极接电源正极，阴极接电源负极。

（2）门极加上正向电压，使门极电流达到一定值时，晶闸管导电，相当于开关接通，可通过大电流。这种状态为触发导通（图 4.18）。

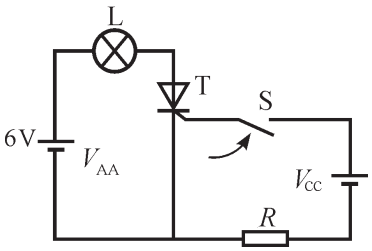


图 4.18　晶闸管的触发导通

（3）晶闸管一旦导通后，即使门极电流为零，晶闸管仍保持导通状态，门极因此称为“触发极”。此时只要有一个触发脉冲就可使晶闸管导通。要想使晶闸管断开，必须在阳极和阴极之间外加反向电压，或者将正向电压降到一定数值，使流过晶闸管的电流很小而关断。

（4）如果晶闸管加反向电压，即阳极 a 接电源负极，阴极 k 接电源正极，如图 4.19（a）所示。此时，不论在控制极 g 上是否加触发电压，灯都不亮，晶闸管都不导通。这种状态为反向阻断。

（5）如果晶闸管加正向电压，即阳极 a 接电源正极，阴极 k 接电源负极，如图 4.19（b）所示。此时，开关 S 断开，控制极 g 上无触发电压，灯不亮，晶闸管不导通。这种状态为正向阻断。

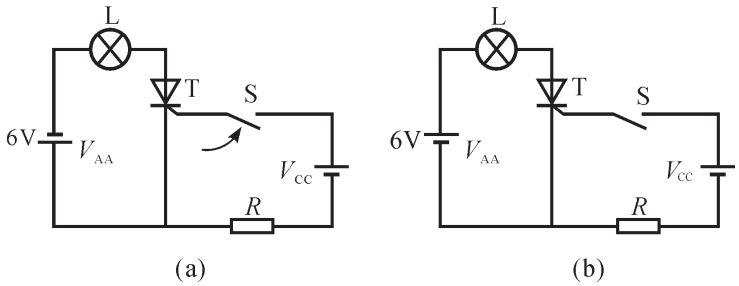


图 4.19　正向阻断和反向阻断

由此可知，晶闸管也是以低电压小电流控制高电压大电流的开关元件，由晶闸管制作的无触点继电器在很多应用中能够取代电磁继电器。

但是晶闸管无触点继电器还不能完全取代电磁继电器。这是因晶闸管的开、关不像电磁继电器那样是触点的“接触”与“分离”。电磁继电器的触点“接触”时电阻几乎为零，“分离”时电阻为无穷大。而晶闸管“开”时对电流流动仍有一定“阻碍”作用（导通电阻不为零）；当它“关”时仍有微量的电流通过（断开时电阻不是无穷大）。在有些对开关很挑剔的场合，以及双向开关应用中，电磁继电器仍有一定市场。

微信公众号：电子课本大全

三、晶闸管的检测



实践活动

检测晶闸管

当我们拿到一个晶闸管，手头却没有资料，不知道它是好是坏时，怎么办呢？让我们一起动手，用万用表判断晶闸管的好坏。

1. 判断电极

晶闸管 g、k 之间是一个 PN 结，相当于一个二极管。而阳极 a 与 g 之间有多个 PN 结，这些结是反串在一起的，正反向电阻都很大。因此我们可以用万用表测二极管的办法找出哪两个引脚是 g 和 k，如图 4.20 所示。

找出 g、k，那么还用找 a 吗？　想一想、试一试，用万用表电阻挡（$R\times10$ 或 $R\times100$）量 a–g，g–a；或者量 a–k，k–a 时观察表针将如何摆动？

2. 检测好坏（触发性能）

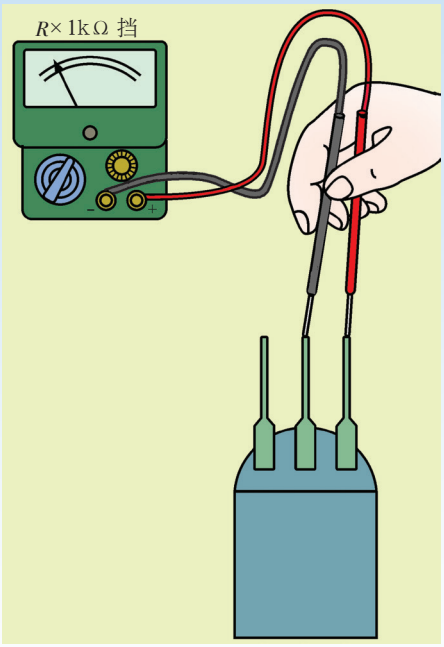


图 4.20　万用表对单项晶闸管电极的判断

找出电极，测出 g、k 间 PN 结是好的，并不能说明晶闸管能正常工作。下面的检测可以判断它的好坏。

方法 1：用万用表表笔夹子按图 4.21 接线，用一根导线一头接 a，一头对 g 碰一下，观察表针指示变化；拿走导线，观察表针变化。

方法 2：如果一时找不到导线，用一只手的两个手指捏住 a，另一只手的两个手指捏住 g，然后松开，观察表针的变化。

现在可以判定我们手中的晶闸管是好是坏吗？

观察的同时要做记录，然后分析现象，得出结论并写出检测报告。

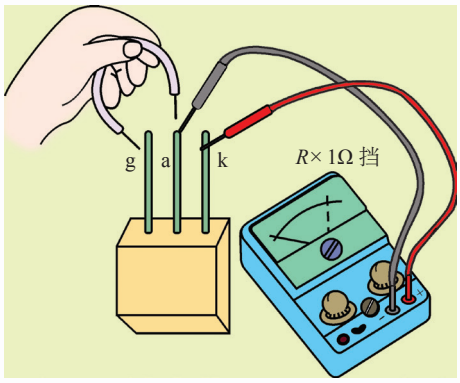


图 4.21　万用表对单向晶闸管导通能力的判断

微信公众号：电子课本大全



活动延伸

查询资料，与同学们一起探讨以下问题：

1. 晶闸管触发以后，即使去掉门极电流，阳极和阴极之间也一直是导通的，除非断开电源。可是实际应用中，如果不能断开电源而又想让电路断开，能实现吗？

2. 前面讲的单向晶闸管，只能工作在直流电路中，如果想用在交流电路中使用行不行？说出原因。

阅读材料

晶闸管的特点

晶闸管有以下优缺点：

1. 优点

（1）长寿命、高可靠性。这是由于电子元器件的寿命和可靠性远远超过机械零部件，特别是在有冲击和振动的环境中表现更加突出。

（2）灵敏度高，控制功率小，可与大多数逻辑集成电路兼容，不需加缓冲器或驱动器。

（3）快速转换。晶闸管切换速度可达几毫秒至几微秒。

（4）电磁干扰小。晶闸管没有输入“线圈”，没有触点火花和回跳，因而减少了电磁干扰。

2. 缺点

（1）导通后的管压降大，晶闸管的正向压降可达 1~2V，大功率晶闸管的饱和压降也在 1~2V 之间，一般导通电阻也较机械触点的接触电阻大。

（2）半导体器件关断后仍可有数微安至数毫安的漏电流，因此不能实现理想的电隔离。

微信公众号：电子课本大全

第四节　电动机及其应用



学习导航

1. 电动机的作用和基本类型是什么？
2. 如何测量直流电动机转动电压和电流？
3. 怎样用直流继电器控制直流电动机的正、反转？



现象与问题

凡是用电的地方，除了照明以外，大部分的电都用来让各种各样的机器、电器运转，从家庭的洗衣机、电风扇到学习娱乐的磁带录音机、照相机；工厂的机床、吊车，农村的抽水机，还有办公室的打印机、复印机，真是数不清的机器设备都要用到电动机。电动机是电子控制系统中一种重要的动力部件。



各种电动机外观图

讨论：

1. 电动机是怎样工作的？
2. 如何控制电动机的转速和转向？

电动机是把电能转换为机械能的装置，它在各个领域都有广泛的用处，我们的生活中也离不开它。如果将电动机纳入电子控制系统统一考虑，很明显，它也属于控制系统的执行部件。

一、电动机的基本类型

我们知道电源有两大类，从发电厂来的是交流电，电池提供的是直流电。相应地电动机也分为交流电动机和直流电动机两大类。

一般较大的机器设备直接使用交流电动机（图 4.22），小电器一般将高电压交流电，通过转换电路变成既安全又便于使用的直流电，

微信公众号：电子课本大全

或者直接用电池来驱动直流电动机工作。特别是小功率直流电动机，在电子控制系统中有广泛的应用。



图 4.22　交流电动机

二、小功率直流电动机的测量

电动机加上电就会转动，但到底要加多大的电压才会转动？转动的速度和方向可以调整吗？下面我们通过测量一个小功率直流电动机，来了解这个在电子控制技术中应用很广的助手。

选择一个额定电压在 15V 以下、额定功率 1W 左右的玩具电动机或家用收录机用直流电动机，一个可以调节电压的电源，再有一块万用表，我们就可以动手对电动机进行“鉴定”了。

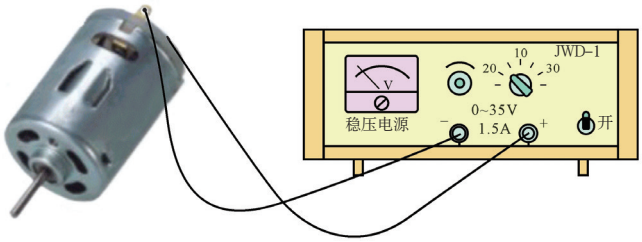


图 4.23　测量电动机启动电压

（1）先把电动机任意一个接线片接电源正极，另一端接负极，用万用表直流电压挡监视电机两端的电压（图 4.23）。

（2）将可调电源调到最小电压，闭合开关，观察电动机是否转动。然后打开电源开关，慢慢调高电压，直到电动机开始转动。记下此时的电压和电动机转动方向。然后将电压再调低，观察在什么电压下电动机停转。开始转动和停止转动时的电压一致吗？如果不一致，想一想原因。

（3）断开开关，将接到电动机上的电源线对调，重复（2）的过程，注意观察电动机的转动方向。

（4）电动机开始转动后继续升高电源电压（注意：电压不可高过电动机的额定电压），观察电动机转动速度，并在不同速度时用手捏住转子仔细体会让电动机停止转动所用力的大小，但大功率电动机绝对不能采用这种方法。将你的结论记录下来。

结论：直流电动机的启动电压是 _____V，转动方向是由 _____ 决定的，转动速度与 _____ 有关，_____ 越高，转动速度越 _____，转动力越 _____。

微信公众号：电子课本大全

三、直流电动机的控制

直流电动机的控制主要是控制它的启动、停止、转动方向和转动速度。我们现在只讨论电动机转向的控制。



实践活动

体验对直流电动机的控制

我们在本章已学过开关、继电器和电动机，利用这几个元件可以做一个电梯升降的实验。

图 4.24 是电梯模型。在电梯模型的顶部固定一个小直流电动机，电动机轴上固定一个滑轮，滑轮的下方用尼龙绳吊着模拟电梯轿厢的运动块。当电动机按不同的方向转动时，通过滑轮带动运动块上下移动，模拟电梯的升降。

电梯模型的旁边是一个小的控制盒，上面有两个控制按钮 S_1 和 S_2。我们可以在控制盒上搭接电路，通过开关和电磁继电器控制模型中的电动机，实现电梯的升降。

这次实验所用的元件，S_1 和 S_2 是按钮开关，K_1 和 K_2 是各有一组转换触点的继电器。继电器用 5V 电源，电动机 MG 用 12V 电源。图 4.25 只画出了控制电动机正反向转动（相当于电梯升降）的电路图的一部分，你能把它补充完整吗？

如果画出来了，请按图接好电路，按动开关 S_1 和 S_2，验证电梯能否上下运动。

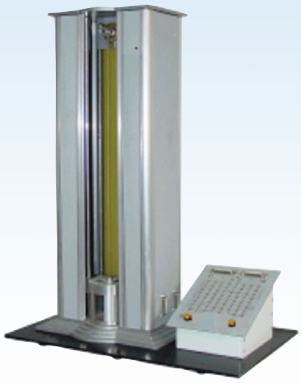


图 4.24　电梯模型图

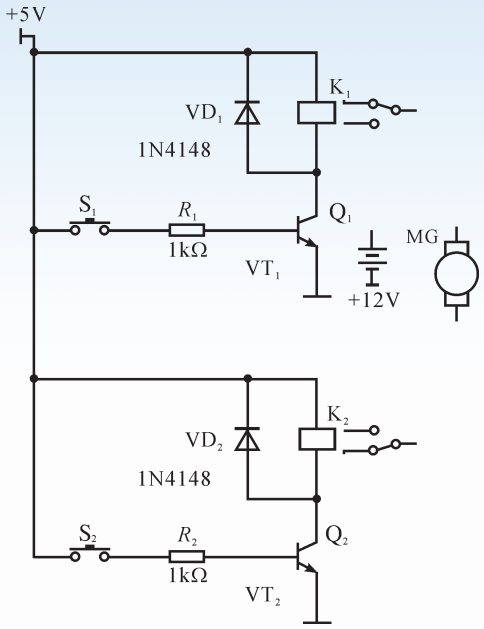
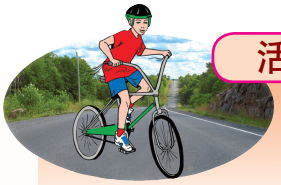


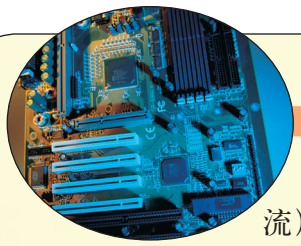
图 4.25　电梯模型升降电路图



活动延伸

利用本章所学知识，自己设计动手做一个手动线控能前进、后退和遇障碍能转变方向的活动小车。

微信公众号：电子课本大全



本章小结

继电器是电子控制系统中的一种执行部件，它具有“以小控大”（电流）和“以低控高”（电压）的作用。常见的继电器有电磁继电器和无触点继电器（又称固态继电器）两大类。

电磁继电器又有直流电磁继电器、交流电磁继电器等多种类型。电磁继电器的触点有“动合”“动断”“转换”几种形式。选用继电器时，继电器的参数必须符合电子控制系统的工作条件，同时必须满足被控设备的要求。晶闸管（可控硅）是一种以半导体材料为开关的电子器件。在它的控制极加很小的触发电流，就可以实现正负极之间的导通。因此晶闸管也是一种无触点继电器。因为它无触点，所以提高了继电器的寿命和安全性能。晶闸管还具有体积小、无干扰、易集成等特点，因而在很多领域逐步取代了电磁继电器。

直流电动机在电子控制系统中也是很重要的执行部件，其应用和控制都比较容易。

微信公众号：电子课本大全

第五章　电子控制系统及其应用

综合是一种设计，也是一种创新。很多科技成果，大到飞船火箭，小到分子原子，都是在不断综合原有知识的基础上产生和完成的。1969年美国的阿波罗登月计划曾经轰动全球，但其总设计师却说：整个阿波罗飞船计划中，没有一样是突破性的新技术，关键在于综合。这里的“综合”实际上就是高水平的多元组合。电子控制技术也是如此。在我们日常生活和生产中得到广泛应用的电子控制技术，实际上也是传感技术、数字技术和继电器技术的综合，是对这些分项技术的再设计和二次开发。前四章中我们分别学习了传感器、数字电路和继电器等方面的入门知识，本章我们将以《技术与设计 1》《技术与设计 2》中所学理论为指导，用设计的思想、系统的思想、控制的思想和实践的思想，把这些知识整合起来，解决现实中的技术问题。从实际生活中提出问题，再运用所学知识去解决这些问题，再提出问题，再解决问题。只有在这种反复实践的循环中，人的认知水平和技术能力才会有所提高。本章将通过几个电子控制装置的实例，让同学们在自己动手做的过程中去领略和体验实践的美妙和电子控制技术的魅力。



微信公众号：电子课本大全

第一节　简单电子控制装置的制作



学习导航

1. 简单的电子控制系统是由几部分组成的？
2. 电子控制系统的设计程序和制作方法是怎样的？
3. 学会检测、调试简单的电子控制装置。



现象与问题

自动控制的例子在我们的日常生活中屡见不鲜。公路交叉路口的交通信号灯，宾馆饭店门口的自动门，卫生间的干手器，车站机场大厅的大屏幕信息显示屏，甚至我们家中的洗衣机、电冰箱、电饭煲、微波炉等，没有人去管它们，一个个却都能恪尽职守，努力工作，真是不可思议！这些与我们生活息息相关的电子产品究竟是如何工作的呢？这中间蕴藏有什么样的奥秘呢？



自动干手器



红绿灯



自动感应门



实践活动

制作一个自动灯

活动目的：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。

技术要求：

1. 这个灯除了可以在晚上能用声音点亮以外，再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点亮，避免发出声音影响别人休息。
2. 对光亮和声音反应的灵敏度可以调节。
3. 亮灯 1 ～ 3min 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（220V）电灯。

微信公众号：电子课本大全

具体步骤：

1. 选择设计电路方案

实现上述电子控制功能可以有多种电路选择，图 5.1 是采用数字门电路的一种简单可靠的方案。

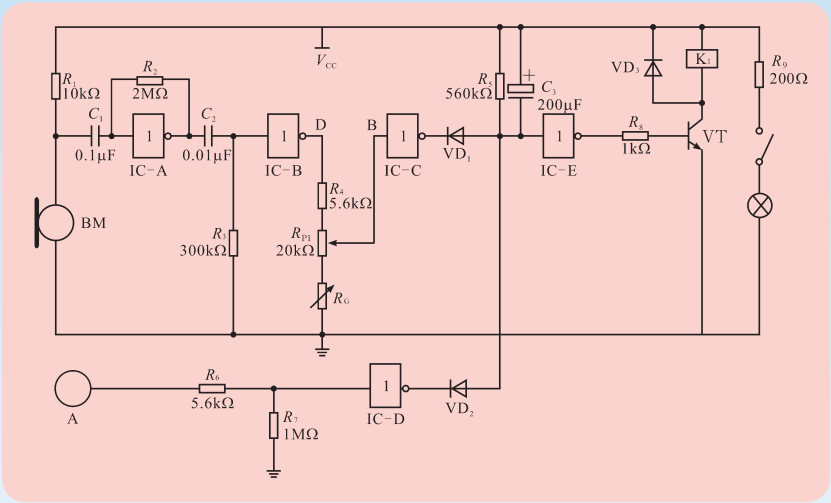


图 5.1　自动灯控制电路

2. 分析控制电路工作原理

该控制电路（图 5.1）采用一个六非门 CMOS 电路 CD4069 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，由电磁继电器作为控制执行部件控制灯的亮灭。

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。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 5.1 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，指示灯亮。

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。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，指示灯亮。

触摸电路——触摸控制电路由触摸片 A、电阻 R_6、R_7、二极管 VD_2 和非门 IC-D 构成。触摸片 A 是金属片，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。

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翻转使输出变为低电平，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。

微信公众号：电子课本大全



探究尝试

上述电路中，声控和触摸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。

3. 元器件选择

六非门电路型号：选用 CD4069（图 5.2 为六非门 CD4069 的引脚图）。

VD_1、VD_2：选用 1N4148 开关二极管。

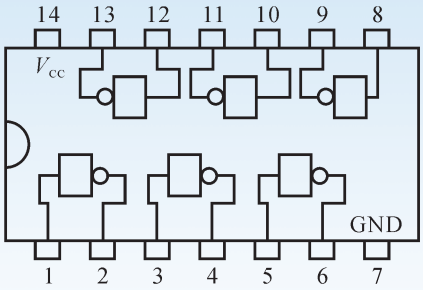


图 5.2　CD4069 的引脚图

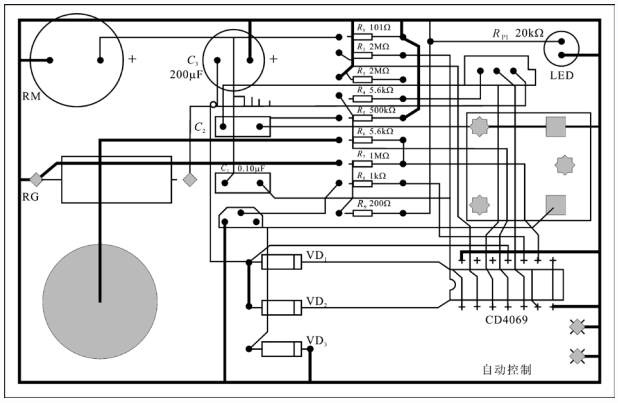


图 5.3　自动灯控制印制电路板

三极管 VT：选用 S9013。

光敏电阻 R_G：选用 GRMG45 型光敏电阻。

传声器 BM：选用驻极体话筒。

电阻：选用 1/4W 炭膜电阻。

电容 C_1、C_2 选用涤纶电容，C_3 选用耐压 16V 以上的电解电容。

使用前应对所选元器件逐一进行质量检测。

4. 电路制作

（1）按图 5.1 制作自动灯的控制印制电路板。

微信公众号：电子课本大全

（2）按图 5.3 电路图的设计正确插装所选择的元件并进行焊接。

（3）焊接后要进行焊接质量复查。

5. 电路调试（参见图 5.1）

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。

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≤ 1.65 V，无光照（遮住 R_G 模仿晚上）时电压≥ 2.5 V。

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_G 处于遮光状态）。

触摸控制部分调试：用手触摸金属片 A，IC–D 输出由高变低，使继电器吸合。

最后，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 220V 供电的照明灯具。

6. 注意事项

在制作自动灯的过程中，以下几点应特别注意：

（1）驻极体话筒要保证极性。在图 5.4 中，与外壳有连线的一端为负极，另一端为正极。



图 5.4　驻极体话筒

（2）触摸片可用薄金属片自制，形状可根据个人爱好选择圆形、方形或其他形状，面积在 1 ～ 3cm^2。

（3）为保护集成电路，我们选择集成电路插接方式。即先在装集成电路的位置装一个插座，等调试时再将 IC 片插入。图 5.5 为集成电路插座外形图，安装时注意插座上有缺口

微信公众号：电子课本大全

的一端对准印制板上标出的集成电路插座缺口。IC 片插入时也要注意器件上有缺口的一端对准插座上的缺口，同时注意不要用手碰 IC 的引脚，以免损坏集成电路。

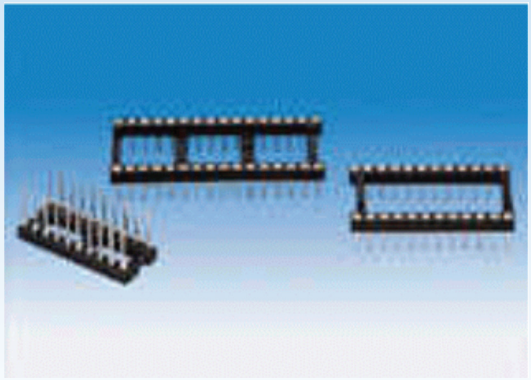


图 5.5　集成电路插座

7. 调试总结

（1）在《技术与设计 2》中，我们已经学过开环控制与闭环控制，本节讲到的自动灯属于开环控制系统。

（2）设计制作一个简单的电子控制系统需要先根据控制要求画出控制电路原理图，再根据电路图制作印制板，最后经过焊接调试，以验证设计是否正确。

（3）电子开环控制系统由输入部分、控制器和执行器三部分构成。在具体的电子控制电路中，这三部分由不同元器件构成，需要具体分析。图 5.6 就是自动灯控制系统组成框图。

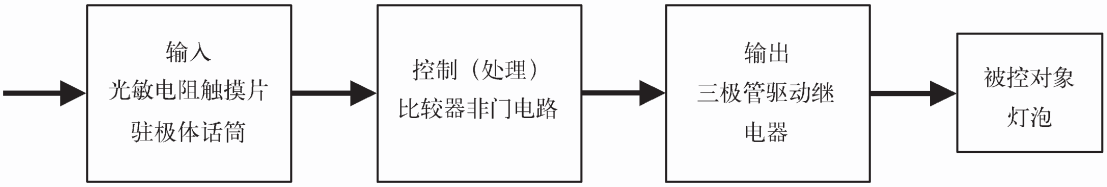


图 5.6　自动灯控制系统组成框图



活动延伸

自动灯电路实际不局限于灯的控制，我们弄清它的工作原理和功能后可以用于不同的场合，例如：

（1）声、光控玩具，例如声控机器猫、机器狗等。

（2）声、触摸控制防盗报警装置。

（3）视力保护报警器和亮度测试仪。

请你自选一个或两个项目，再做一次制作试验，进一步理解和掌握电子控制系统的设计和制作方法。

微信公众号：电子课本大全

第二节　遥控系统与应用



学习导航

1. 红外遥控系统的原理和应用是什么？
2. 尝试自己动手，制作一个单通道遥控装置。



现象与问题

在我们的日常生活、工业工程、科研、通信等领域无不用到遥控器和遥控系统。例如生活中的空调器、电视机、VCD，教学中的投影机、视频展示台，工程应用中的工程爆破、机器人，航空航天中的卫星调姿等。“遥控”，已经进入了很多领域，和我们的生活密不可分了。那么遥控的技术原理是什么？它又有哪些种类呢？

一、简单的红外遥控系统

遥控系统有光控、声控、无线电控制等多种方式。在生活和教学中，我们常常用到的大都是通过红外线实现遥控功能的。红外遥控系统基本原理如下：

图 5.7 为简单红外遥控系统模型的原理框图。

红外遥控系统一般由发射器和接收器两部分组成。图 5.8 所示为发射器电路图。

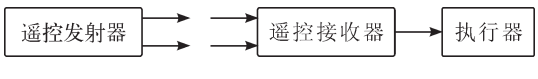


图 5.7　红外遥控系统原理框图

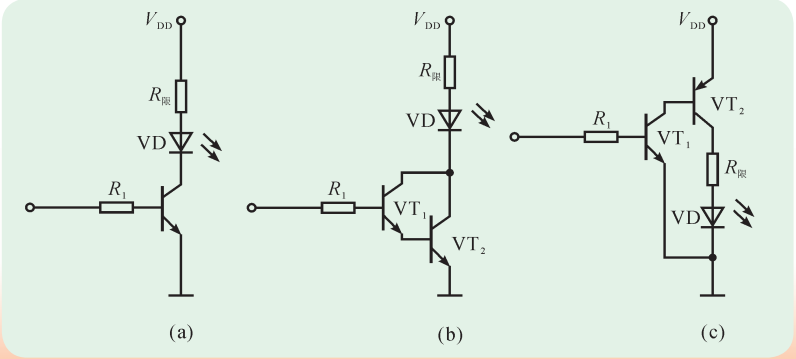


图 5.8　红外遥控系统的发射器电路图



新视窗·背景外延

红外线

红外线也叫红外光，它是一种不可见光线。红外线处于可见光中红光的外侧区域，波长为 0.76 ～ 1 000 μm。根据波长又可将红外线分为近红外线（波长 0.76 ～ 1.5 μm）、中红外线（波长 1.5 ～ 6 μm）和远红外线（波长 6 ～ 1 000 μm），远红外线之外还有极远红外线。



微信公众号：电子课本大全

发射器中有一个能发射红外线的红外发光二极管，当红外发光管通过电流时就会发射红外线，如同手电筒通电后发光一样，只不过红外线是看不见的。

红外发光二极管，用砷化镓（GaAs）等半导体材料制成，外形和普通二极管差不多（图 5.9）。只不过它通电后发出的是 0.76 ~ 1.5 μm 的近红外线。流过红外发光管的电流越大，发出的红外线越强，遥控的距离就越远。

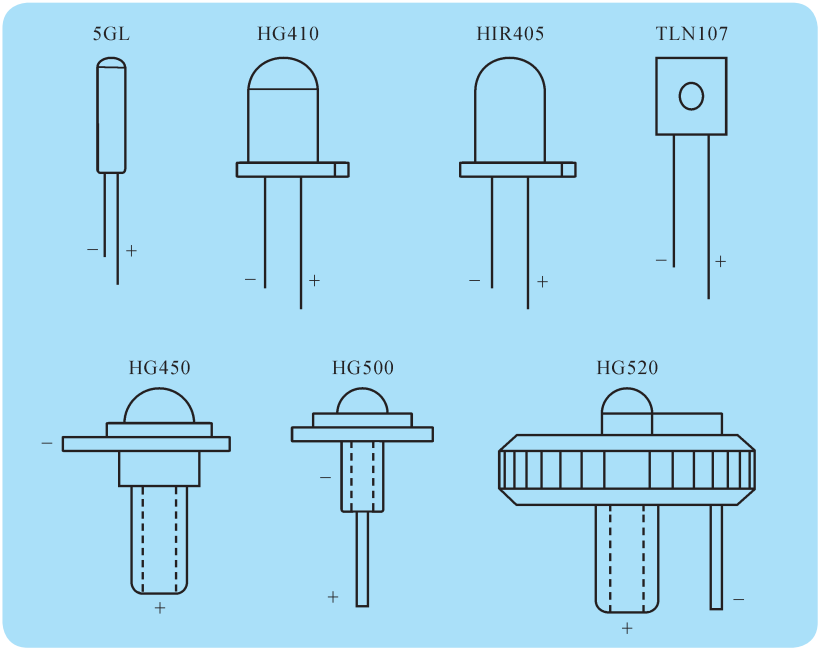


图 5.9　红外发光二极管

红外接收器中的关键器件是一个对红外线敏感的红外接收管，也就是我们已经讲过的红外线传感器。在模型中我们经常用的是将红外接收管和放大电路合二为一的“接收头”，如图 5.11 所示。当光电管接收到红外线时，由信号端输出的是经过放大的信号，这个信号就可用来实现各种控制功能。例如控制一个灯泡的亮与灭，电视机、电风扇的开与关，空调的启动与停止，电动门的开与关，等等，只要让输出部分的继电器或电子开关与执行机构匹配就可以了。

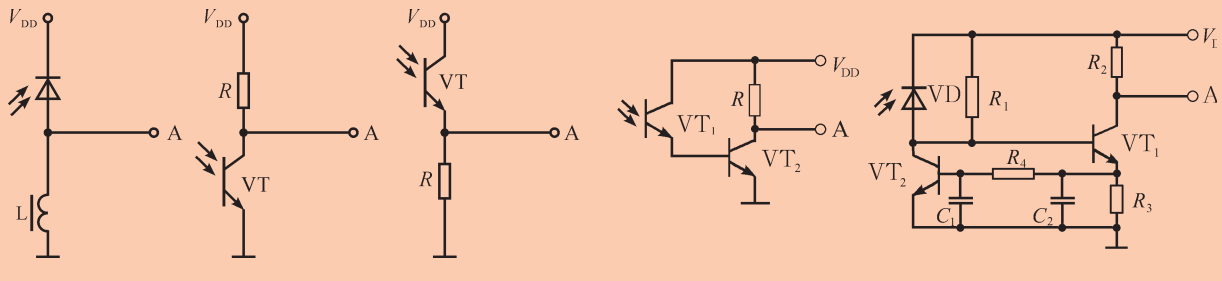


图 5.11　几种接收器电路图

新视窗 · 知识外延

红外线遥控器

红外线遥控器实际上就是红外线发射器。人们通过它发射出的红外线信号去控制相关的电器。遥控器也是一种拿在手中的移动电器，一般用干电池作为能源，电流越大，电池消耗越快。为了既省电又增加遥控距离，我们用“数字”方式使它工作——让红外发光管工作在脉冲状态，如图 5.10 所示。这种方式也叫作脉冲调制。这就是为什么要用一个集成电路去产生脉冲波的原因。



图 5.10　红外发射调制脉冲

微信公众号：电子课本大全



实践活动

单通道红外遥控开关的制作

活动目的：通过制作单通道红外遥控开关进一步了解并掌握红外线遥控系统的设计和制作方法。

技术要求：

1. 红外发射器采用家用电视机或空调器的遥控器，只需设计和制作接收器。
2. 接收器电路设计应简单、实用、制作方便。
3. 遥控距离不小于 5m。
4. 控制系统应工作可靠，反应灵敏。

具体步骤：

1. 了解单通道红外遥控接收电路原理

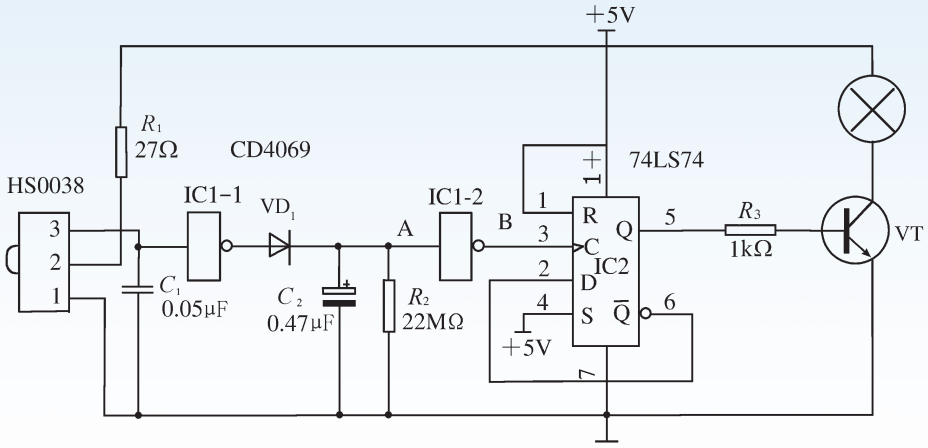


图 5.12　红外遥控开关电路图

如图 5.12 所示，红外接收电路由红外接收头 HS0038 和六非门 CMOS 集成电路 CD4069 和 D 型双稳态触发器 74LS74 组成。红外接收头 HS0038 在没有接收到遥控发射器送来的红外脉冲信号时，其第 3 脚输出为高电平，经非门 IC1-1 和 IC1-2 两次反相后，B 点电平仍为高电平，触发器 IC2 输出状态不会改变。当 HS0038 接收到发射器送来的红外脉冲信号时，其第 3 脚输出相应脉冲信号。该脉冲信号经 IC1-1 整形、反相在其输出端得到反相后的脉冲信号，再经二极管 VD_1、电容 C_2、电阻 R_2 的滤波，使 IC1-2 的输入端 A 为高电平，IC1-2 的输出端 B 由高变低。当发射器停止发射后，接收头输出脚又回到高电平，IC1-1 的输出为低电平，电容 C_2 的端电压经 R_2 放电，一段时间后 IC1-2 的输入端 A 变低，输出端恢复为高电平。这样，每按一次红外发射器 IC1-2 的输出端 B 就会输出一个负脉冲信号。该信号加到双稳态触发器 IC2 的 C 端，使触发器 IC2 翻转，Q 端由“高”变“低”或由“低”变“高”，使三极管 VT 导通或截止，控制指示灯的亮灭。

微信公众号：电子课本大全

小 资 料

D 型双稳态触发器

D 型双稳态触发器也叫 D 触发器，是一种应用非常广泛的数字集成电路，电路符号如图 5.13 所示。

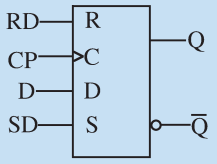


图 5.13　D 型双稳态触发器电路符号

它的工作原理是：当触发器的脉冲输入端 C 端有一个从低到高的跳变时，Q 端的电平随数据输入端 D 端的电平变化，即 D 端电平为“低”Q 端也为“低”，D 端电平为“高”Q 端也为“高”。Q 端电平永远是 Q 端电平的反相，即 Q 端电平为“低”时 $\overline{Q}$ 端为“高”，Q 端电平为“高”时 $\overline{Q}$ 端为“低”。图 5.13 中 S 端为置“1”端，R 为置“0”端，当 S 端为低电平时 Q 端为高电平，当 R 端为低电平时 Q 端为低电平。当 S 端和 R 端为高电平时 Q 端输出只受 D 端和 C 端电平变化的影响。

74LS74 是一个内部集成了两个 D 触发器的电路芯片，其管脚分配如图 5.14。

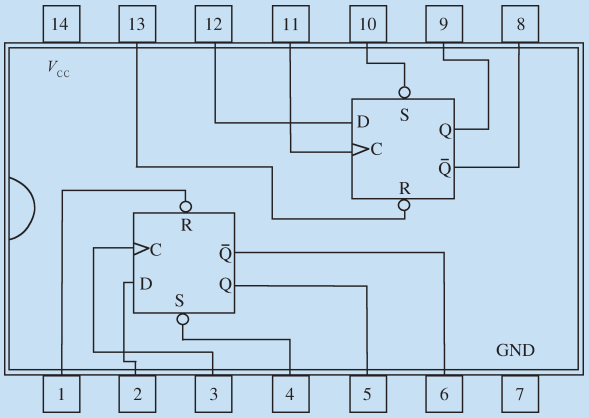


图 5.14　74LS74 管脚图

在图 5.12 所示的电路中，$\overline{Q}$ 端与数据输入端 D 相连，也即当 Q 为“高”时 D 为“低”，Q 为“低”时 D 为“高”。这样每当 C 输入端有一个从低到高的跳变时，Q 端的电平就会由“高”变“低”或由“低”变“高”。

2. 制作印制电路板

如图 5.15 所示。

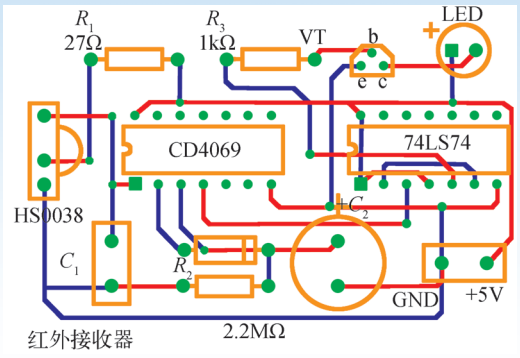


图 5.15　单通道红外接收器印制电路板

3. 焊接

按照图 5.12 红外接收电路图和图 5.15 单通道红外接收器印制电路板图插装元件并进行焊接。焊接时注意 CD4069 和 74LS74 的缺口方向与印制板上标注的方向一致。集成红外接收器 HS0038 的管脚排列如图 5.16 所示，焊接时注意核对，方向要正确。

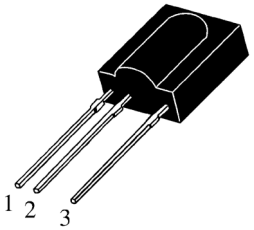


图 5.16　HS0038 的管脚排列图

微信公众号：电子课本大全

4. 电路调整

（1）电路焊好并检查无误后，加上 +5V 直流电源，在不接受红外脉冲的情况下，用万用表测量 HS0038 的 3 脚和 74LS74 的 3 脚是不是高电平 >2.5V。

（2）按下家用遥控器上的某个按键，对准 HS0038 有突起的面发送红外脉冲，同时用万用表测量 74LS74 的 3 脚是不是变成了低电平。

（3）停止按键测量 74LS74 的 3 脚是不是又恢复为高电平。

（4）不断按动和停止遥控器上的某个键，测量 74LS74 的 5 脚（Q 端），看电平是否高低变化。

二、多路遥控

我们前面讲到的遥控模型只是对一个控制对象实现控制功能，实际上我们需要遥控的大多数都不只是一个对象，例如电视遥控，需要控制开机关机、频道转换、音量、亮度等多种功能。

实现多路控制可采用多种方式：

最简单的办法是用多组模型遥控器，各自用不同的发射和接收频率，实现多路控制。但这种方法显然太麻烦太浪费了。

另一种可行的办法是用一组电路，采取多通道工作方式。

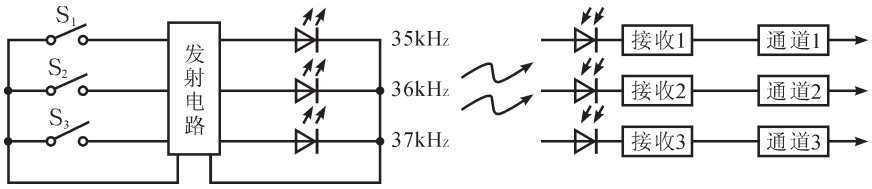


图 5.17　三通道遥控

图 5.17 是一种三通道遥控的示意图，这种方式用于控制路数不多的情况，电路不太复杂但有实用价值。

如果需要控制的量比较多，例如十几个或几十个，采用多通道方案显然太烦琐了。这种情况下我们采用数字编码的方法。这种方法发射和接收只用一个通道，但通过这个通道的信号是采用编码的方式，如同我们用一个电话机通过拨不同的号就可与不同的人通话一样，只不过在遥控器中不是用拨号而是通过不同按键实现的。

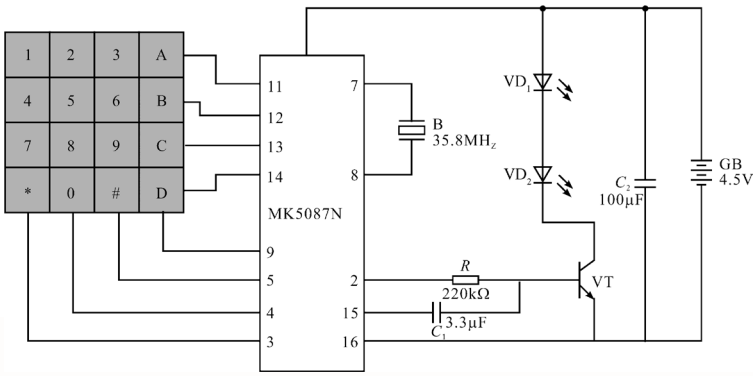


图 5.18　16 路遥控发射

微信公众号：电子课本大全

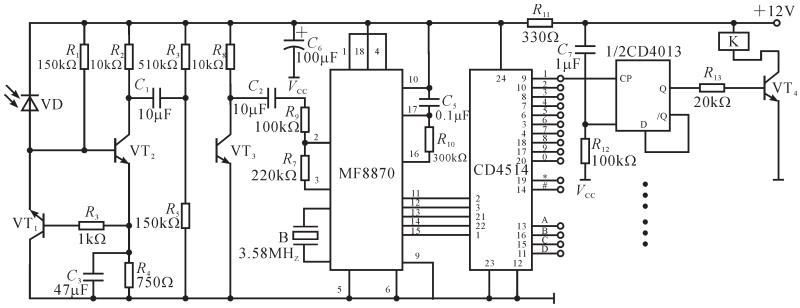
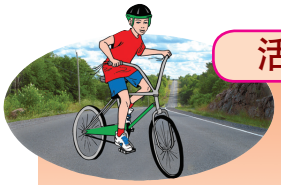


图 5.19　16 路遥控接收

图 5.18 和图 5.19 通过集成电路编码实现 16 路遥控，按下键“1”时产生一组二进制编码，按下“2”时产生另一组编码等。这些数字编码通过红外线脉冲发射出去，接收电路中有相应的解码器，解出 1 ～ 16 的控制信号，这些信号再去控制不同的对象。

通过编码解码电路，用一个通道就可实现几十路、几百路控制。现在大多数遥控系统，例如电视机、空调器、投影机等都是通过这种方式实现多路信号控制的。

这些遥控电路都有功能完善、性能优良的集成电路，使用时只须根据需要选择就可以了。



活动延伸

在《技术与设计 2》中我们已经学过控制系统有开环控制与闭环控制两大类型。本节我们讲到的自动灯、红外开关等都属于开环控制系统。电子开环控制系统由输入部分、控制器和执行器三部分构成。在具体电子控制电路中，这三部分由不同元器件和部件构成，需要具体分析。

请用方框图画出前面讨论和制作的几种开环电子系统结构，并总结开环电子控制系统的优缺点。

阅读材料

无线电遥控系统

无线电遥控系统是另一类广泛使用的遥控系统。

无线电遥控应用的是无线电发射接收原理，这在日常生活中应用非常普遍。电视、广播、移动电话是无线电传输的典型应用。我们经常看到的遥控玩具车、汽车遥控器、航模遥控器都是无线电遥控的典型应用（图 5.20）。



图 5.20　玩具汽车和汽车遥控器

微信公众号：电子课本大全

图 5.21 是一个单通道无线电遥控装置的模型图，与红外遥控系统类似，无线电遥控系统也是由发射器(又称发射机)、接收器(也称接收机)和执行机构组成的。

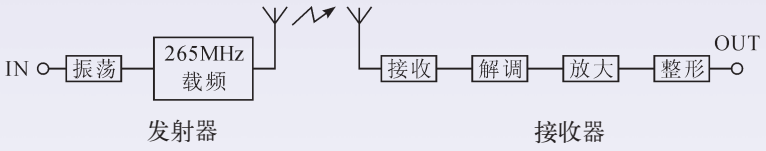


图 5.21　无线电遥控模型

在这个模型中采用了一种配套的发射、接收模块 TWH630 和 TWH631（图 5.22）。

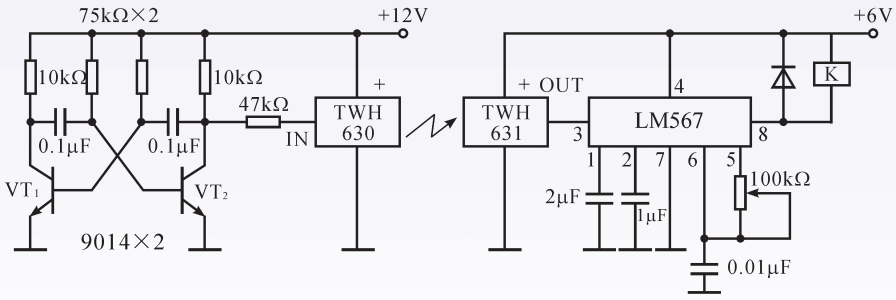


图 5.22　简单无线电遥控发送、接收电路图

航天工程中没有无线电遥控是不可思议的。地面测控站就是通过无线电通信实现对几百、几千千米外的航天器的各种控制的（图 5.23）。

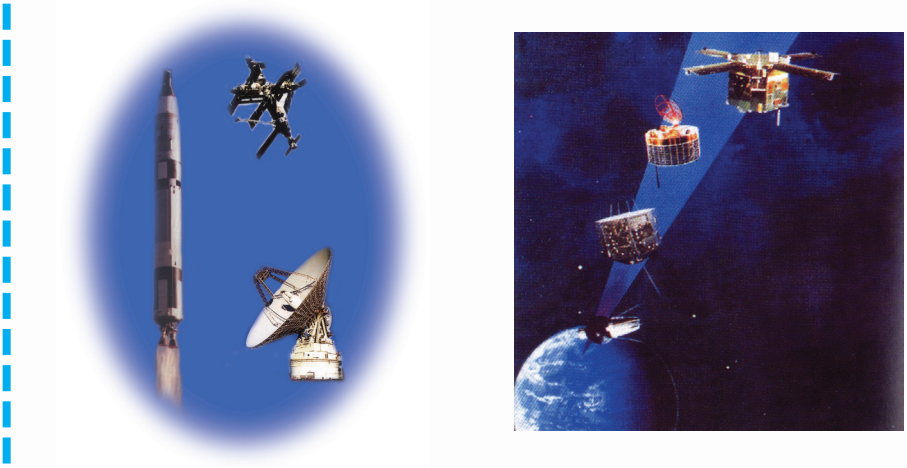


图 5.23　航空航天工程中无线电遥控

无线电遥控也有单通道、多通道之分，也可用编码解码方式实现多路遥控。

微信公众号：电子课本大全

第三节　闭环电子控制系统的制作和调试



学习导航

1. 你能制作和安装简单的闭环控制系统吗？
2. 怎样调试简单闭环控制系统？你知道改进方法吗？

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。它具有较高的控制精度，能实现自动控制。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自动温度控制器，从中体会闭环控制系统的构成和意义。



实践活动

自动温度控制器的制作

活动目的：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。

技术要求：

1. 自动温度控制器能将环境温度自动保持在 50 ～ 85℃范围内。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。

具体步骤：

1. 了解电路原理

自动温度控制器电路如图 5.24 所示。

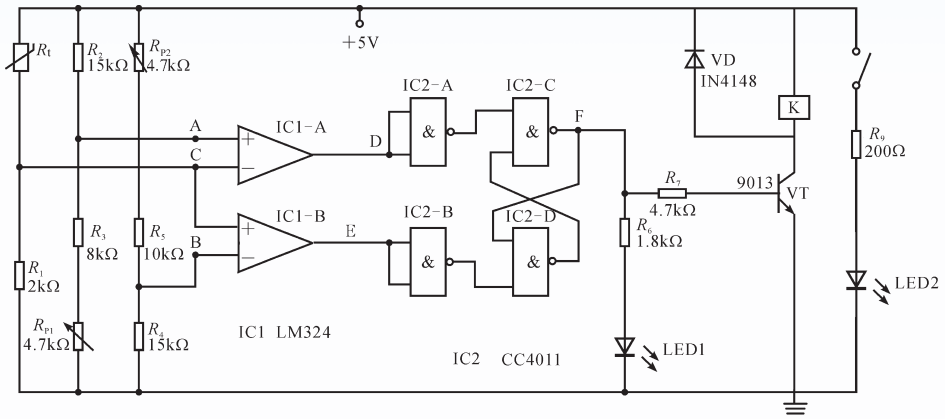


图 5.24　温度控制器电路原理图

微信公众号：电子课本大全

图中 R_t 是负温度系数热敏电阻，常温下阻值 5kΩ，随着温度的升高电阻值变小。IC1 是一片低电压运算放大器 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 IC1-A 输出端为高电平。反过来 $U_A < U_C$ 时输出端为低电平。IC2 是四个 2 输入与非门 CC4011。其中的 IC2-C 和 IC2-D 组成一个基本的 RS 触发器。当比较器 IC1-A 输出 D 为高电平时，IC2-A 为低电平，IC2-C（F）为高电平，此时三极管 VT 导通，继电器动作。温度的下限值通过电位器 R_{P1} 调整，上限值通过电位器 R_{P2} 调整。



小 资 料

集成运算放大器

集成运算放大器是一种具有很高的开环电压放大倍数的直接耦合多级放大电路，应用十分广泛。集成运算放大器种类很多，内部电路的结构也不相同，但从电路的总体结构上看，通常由输入级、中间级、输出级和偏置电路四部分组成，如图 5.25 所示。

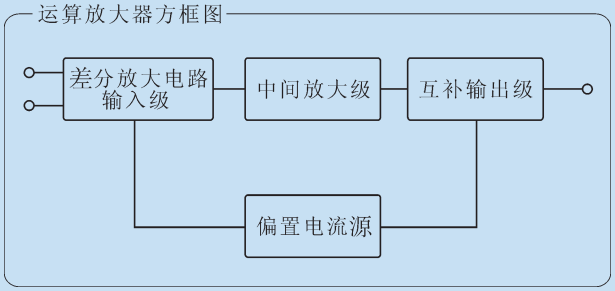


图 5.25　运算放大器内部结构框图

运算放大器的电路符号如图 5.26 所示，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_o 为输出电压。

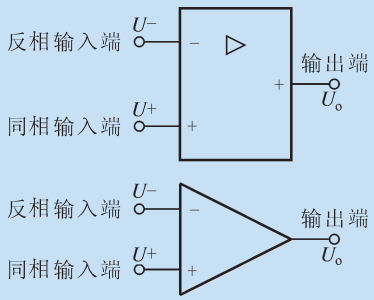


图 5.26　运算放大器的电路符号

电压比较是集成运算放大器的一种常见的用途，作用是将输入电压信号与参考电压相比较，在两者相等或接近时输出电压产生跃变，从而鉴别出输入信号的幅度。在我们前面所完成的温度控制器的实验中，IC1-A、IC1-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 IC1-A 输出高电平，$U_C > U_B$ 时 IC1-B 输出高电平。

微信公众号：电子课本大全

2. 温度控制器控制电路安装与调试

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，还需要经过制作和试验才能确定。

（1）控制电路的制作及注意事项。

①选择元器件并对元器件进行检测。

②熟悉图 5.24 温度控制器电路和印制电路板（图 5.27）。

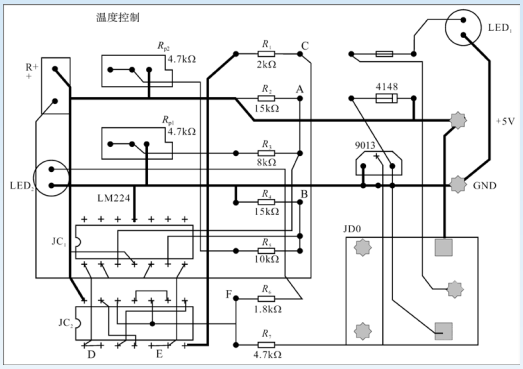


图 5.27　温度控制电路印制板示意图

③按图 5.27 将选择好的电子元器件插装到印制电路板上并进行焊接。

④热敏电阻不要装在电路板上，而要用一定长度的导线接出来。

⑤两片集成电路不要直接焊到印制板上，而是在装集成电路的位置装两个集成电路插座，试验时再将集成电路插在插座上。

⑥为了安全，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，模拟加热器的工作。

（2）控制电路仿真试验。控制电路板制作好，经过检查没有错误以后，就可以进行仿真试验了（图 5.28）。

试验设备和材料如下：

实验杯一个，一般喝水杯就可以。

温度表（玻璃管温度计或电子温度计都可以）的温度范围 0 ～ 100℃。

数字万用表一只。

热水瓶一个（装开水用）。

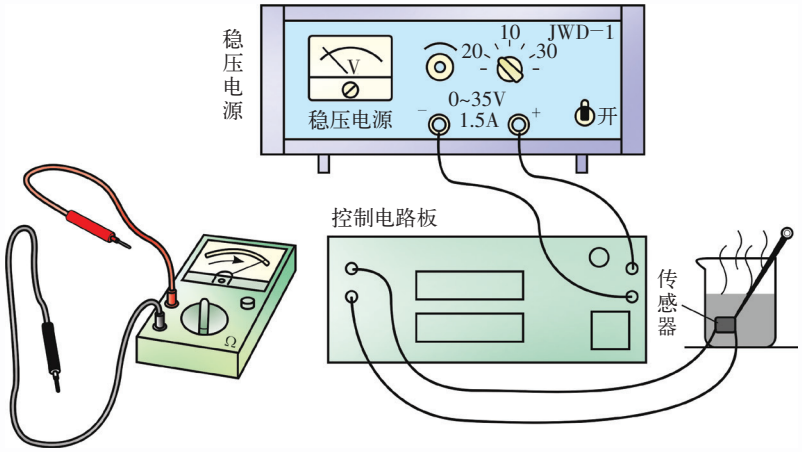


图 5.28　温度控制电路仿真试验接线图

微信公众号：电子课本大全

仿真试验具体步骤（参见图 5.24）为：

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 ～ 1.8V。

③调整 R_{P2} 使 B 点电平在 2.8 ～ 3.0V。

④实验杯中加冷、热水，使水的温度为 50℃。将热敏电阻用透明胶纸贴在实验杯外面，测量 IC1-A 的输出 D 点是否为高电平（>3.5V），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 点的电平抬高，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℃（模拟对水加热后温度升高）。测量 IC1-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℃时观察继电器是否又一次接通。然后再加热水到 85℃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点准确动作。

试验步骤完成后，表示该方案可以达到预期控制要求。

上面我们制作的温度控制器，还不是实用产品的制作。要设计制作实用化的温度控制器还要解决以下问题：

（1）根据被控环境的要求确定温度的上下限。

（2）根据温度上下限选择热敏电阻。

（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 5V 电压和 200mA 电流。

（4）根据电路图制作印制电路板，安装元件并调试。

（5）根据印制板的大小选择并制作外壳，进行安装。

（6）最后，这个电子控制系统还需要在实际系统中试验、调整，并通过可靠性、安全性试验才能成为一个实用的控制装置。

3. 系统分析

本节我们设计制作的自动温度控制器是一个典型的闭环控制系统，其方框如图 5.29 所示。

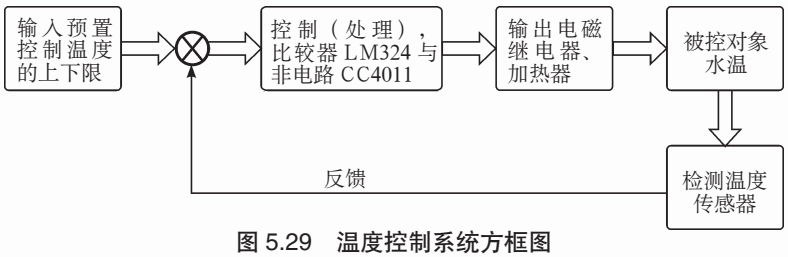


图 5.29　温度控制系统方框图

在这个系统中，输入是我们设定的温度：低温 50℃、高温 85℃（通过调电位器实现）。控制电路由集成电路 IC1 比较器和 IC2 与非门等组成。输出部分就是驱动三极管和继电器。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。

微信公众号：电子课本大全



活动延伸

1. 讨论将本节电子温控电路用于蔬菜大棚和孵化箱（蔬菜大棚要求温度上限为 30℃，下限为 25℃。孵化箱要求温度上限为 39℃，下限为 37℃。）。想一想电路需要改动的地方，画出改动后的电路图。

2. 如果要求蔬菜大棚在温度低于 25℃时加热，在高于 30℃时通风换气，电路又该如何改动呢？

3. 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。

阅读材料

专用集成电路和专用模块

随着集成电路技术的发展，具有一定功能的多个元器件组成的电路可以集成在一起，做成专用集成电路，或者做成独立封装的专用模块。温度控制电路就有多种集成电路和模块。例如温度控制电路 TC620 将热敏电阻和放大电路集成在一个 8 引脚的封装中（图 5.30）。

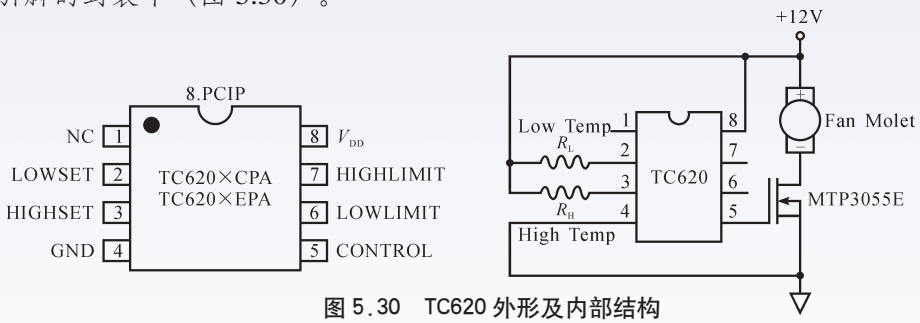


图 5.30　TC620 外形及内部结构

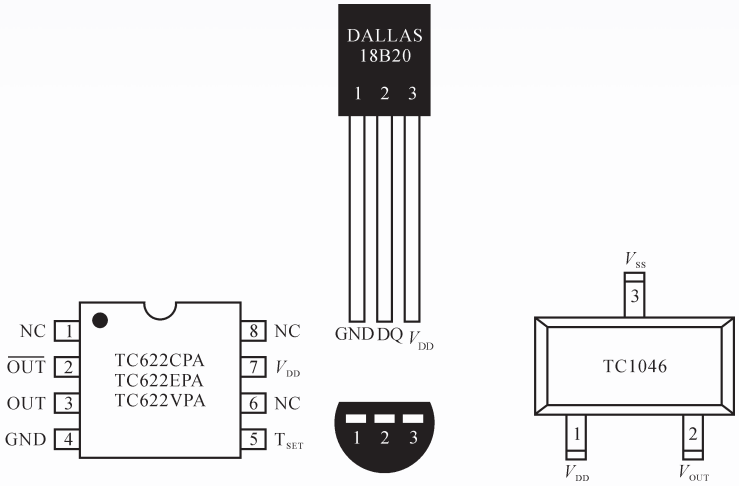
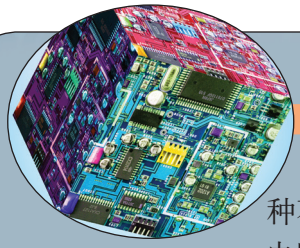


图 5.31　一些温度转换模块外形图

还有其他类似的电路和模块（图 5.31）。在我们设计电子控制电路时，选用这些 IC 模块既可以简化电路又能加快设计进程。

微信公众号：电子课本大全



本　章　小　结

本章系统介绍了电子控制系统的制作和应用。三节课分别制作了三种不同的自动控制装置：自动灯、单通道红外控制开关和自动温度控制电路，展示了整个系统的设计、制作、调试的全过程，同时也体现了系统的结构、流程、控制、反馈之间的内在联系。

电子控制技术实质上是传感技术、数字技术和继电器技术的多元组合，用方框图来表示电子控制系统的结构和流程简明、直观。输入部分——传感器，控制部分——数字开关电路，输出部分——继电器等执行部件，这三部分构成了电子控制系统的基础，自动灯、单通道红外控制开关就是在这一原理的基础上设计制作的。以负反馈为特征的闭环电子控制系统，使电子控制技术的应用和推广更加广泛。自动温度控制电路，就是一种实用性很强的闭环控制系统。

总结电子控制系统设计和制作的实践，我们可以将系统的设计和制作归纳成以下过程：

1. 首先要了解被控对象、控制环境、精度要求，并分析被控量。
2. 选择采用的控制方式、选择传感器和执行部件。
3. 画出控制系统的方框图和电路图。
4. 按电路图画出并制作电路板，安装元器件并进行模拟调试，最后确定控制方案。
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，制作出正式的电子控制系统。

电子控制技术是一门实践性很强的技术，要学好这门课，关键在实践。只要勤于思考、敢于实践，相信任何一位同学都会有所收获。

微信公众号：电子课本大全

附录　部分中英文词汇对照表

电子	electron
元件	component
器件	device
电阻	resistor
电容	capacitor
电感	inductor
二极管	diode
发光二极管	light-emitting diode，LED
开关	switch
印制电路板	printed circuit board，PCB
电子电路	electronic circuit
电子设计自动化	electronic design automation，EDA
接地	grounding
电路图	circuit diagram
集成电路	integrated circuit，IC
表面贴装技术	surface mount technology，SMT
万用表	multimeter
直流电	direct current，DC
交流电	alternating current，AC
传感器	sensor
半导体	semiconductor
负温度系数	negative temperature coefficient，NTC
正温度系数	positive temperature coefficient，PTC
数字信号	digital signals
模拟信号	analog signals
逻辑	logic
二进制	binary
集电极	collector electrode
基极	base electrode

微信公众号：电子课本大全

发射极	emitting electrode
晶体管	transistor
门电路	gate circuit
电子封装	electronic packaging
阈值	threshold
执行部件	execution unit
继电器	relay
电磁继电器	electromagnetic relay
控制	control
额定电压	rated voltage
可控硅	silicon-controlled-rectifier
正向阻断	positive-going interdiction
反向阻断	negative-going interdiction
触发导通	triggered on
PN 结	PN junction
直流电机	DC motor
光敏电阻	photoresistance
驻极体话筒	electric microphone
炭膜电阻	carbon film resistor
电解电容	electrolytic capacitor
遥控	remote control
红外线	infrared light
振荡器	oscillator
调制	modulation
解调	demodulation
频率	frequency
运算放大器	operational amplifier
开环控制	open loop control
闭环控制	closed loop control
反馈	feedback

微信公众号：电子课本大全