21世纪高等学校计算机类规划教材

# 数字电子技术基础

杨相生　主编

SHUZI DIANZI JISHU JICHU

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21世纪高等学校计算机类规划教材

# 数字电子技术基础

杨相生　主编

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书是中国水利水电出版社“21世纪高等学校计算机类规划教材”，也是宁波大学2005～2006年度优秀建设教材。在编写过程中，本书兼顾了全国高等学校计算机教学研究会推荐的计算机学科教学计划和教育部高等工业学校工科电子技术课程教学指导小组审定的“数字电子技术教学基本要求”，始终贯彻应用型人才培养要求，以培养学生的创新精神和实践能力为教材建设目标。

全书共分七章，内容包括：数字电路基础、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、存储器与可编程逻辑器件、数模与模数转换电路。本书逻辑符号主要采用国标符号。

本书注重系统性和逻辑性，注重基本原理和理论的实际工程应用，并结合大量的例题和应用实例，具有很强的实用性。本书可作为计算机应用、电子信息类等专业的教材，也可供相关工程技术人员参考。

**图书在版编目（CIP）数据**

数字电子技术基础/杨相生主编．—北京：中国水利水电出版社，2006

21世纪高等学校计算机类规划教材

ISBN 7-5084-3971-6

Ⅰ.数…　Ⅱ.杨…　Ⅲ.数字电路—电子技术—高等学校—教材　Ⅳ.TN79

中国版本图书馆CIP数据核字（2006）第086271号

| | |
|---|---|
| 书　　名 | 21世纪高等学校计算机类规划教材<br>**数字电子技术基础** |
| 作　　者 | 杨相生　主编 |
| 出版　发行 | 中国水利水电出版社（北京市三里河路6号　100044）<br>网址：www.waterpub.com.cn<br>E-mail：sales@waterpub.com.cn<br>电话：（010）63202266（总机）、68331835（营销中心） |
| 经　　售 | 全国各地新华书店和相关出版物销售网点 |
| 排　　版 | 中国水利水电出版社微机排版中心 |
| 印　　刷 | 北京市兴怀印刷厂 |
| 规　　格 | 787mm×1092mm　16开本　12印张　300千字 |
| 版　　次 | 2006年8月第1版　2006年8月第1次印刷 |
| 印　　数 | 0001—4000册 |
| 定　　价 | **24.00**元 |

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

# 前　言

本书是中国水利水电出版社“21世纪高等学校计算机类规划教材”之一，也是宁波大学2005～2006年度优秀建设教材。在编写过程中，本书兼顾了全国高等学校计算机教学研究会推荐的计算机学科教学计划和教育部高等工业学校工科电子技术课程教学指导小组审定的“数字电子技术教学基本要求”。本书可作为计算机应用、电子信息类等专业的教材，也可供相关工程技术人员参考。

当前，数字逻辑器件的发展日新月异，对“数字电子技术基础”教材建设提出了更新更高的要求。本教材在注重逻辑性、系统性的同时，充分吸收新概念、新理论和新技术，以充分反映本学科的应用方向，并对常规教材内容做了精选，简化基本原理和理论的推导和证明，注重基本原理和理论的实际工程应用，增加了大量的例题和应用实例。在处理分立与集成的矛盾时，采取对分立元件电路重点阐述基本原理，集成电路则突出应用，增加集成芯片分析与设计的篇幅。本书逻辑符号主要采用国标符号；在文字处理方面，力求做到深入浅出、简明易懂。总之，在编写过程中始终贯彻应用型人才培养要求，以培养学生的创新精神和实践能力为教材建设目标。

全书共分数字电路基础、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、存储器与可编程逻辑器件、数模与模数转换电路等七章。本书由杨相生副教授负责大纲编写和统稿工作，杨相生、刘晓、杜世民、陈勇旗、陈杨等执笔，宋晗飞、陈佳律、黄唤微、贝铃佳等参加了本书的编写工作。

在本书的定稿过程中，浙江大学贾爱民教授、杭州电子科技大学刘士荣教授、宁波大学夏银水教授等仔细阅读了初稿，并提出了详细的修改意见，在此致以诚挚的谢意。此外，本书在编写过程中参考了大量已经出版的教材和文献，对这些教材和文献的作者表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，虽然初稿作为教材已在一些高校的相关专业使用，并进行过适当的修改，但错误仍在所难免，热忱希望使用本书的广大读者提出批评和改进意见。

编　者

2006年5月

# 目　　录

前言
**第一章　数字电路基础** …… 1
第一节　数字电路的基本概念 …… 1
第二节　数与编码 …… 2
第三节　逻辑代数基础 …… 7
第四节　逻辑函数的卡诺图化简 …… 19
第五节　具有无关项的逻辑函数的化简 …… 23
第六节　逻辑门电路及其外特性 …… 26
本章小结 …… 34
习题与思考 …… 34
**第二章　组合逻辑电路** …… 37
第一节　组合逻辑电路的分析 …… 37
第二节　组合逻辑电路的设计 …… 38
第三节　组合逻辑电路中的竞争冒险 …… 42
第四节　组合逻辑模块及其应用 …… 44
本章小结 …… 63
习题与思考 …… 64
**第三章　触发器** …… 67
第一节　基本触发器 …… 67
第二节　主从触发器 …… 70
第三节　边沿触发器 …… 74
第四节　集成触发器 …… 77
本章小结 …… 81
习题与思考 …… 82
**第四章　时序逻辑电路** …… 84
第一节　时序逻辑电路的基本概念 …… 84
第二节　时序逻辑电路的分析方法 …… 85
第三节　计数器 …… 89
第四节　寄存器和移位寄存器 …… 105
第五节　时序逻辑电路的设计方法 …… 111
本章小结 …… 118
习题与思考 …… 119
**第五章　脉冲波形的产生与整形** …… 123
第一节　周期脉冲的主要参数 …… 123

第二节　施密特触发器（Schmitt Trigger）…… 123
第三节　单稳态触发器 …… 127
第四节　多谐振荡器 …… 130
第五节　555 定时器及应用 …… 133
本章小结 …… 139
习题与思考 …… 139
**第六章　存储器与可编程逻辑器件** …… 143
第一节　随机读写存储器 …… 143
第二节　只读存储器 ROM …… 148
第三节　可编程逻辑器件（PLD）…… 152
本章小结 …… 164
习题与思考 …… 164
**第七章　数模与模数转换电路** …… 166
第一节　数模（D/A）转换器 …… 166
第二节　A/D 转换器 …… 172
本章小结 …… 182
习题与思考 …… 183
**参考文献** …… 185

# 第一章　数字电路基础

随着信息时代的到来，“数字”两个字正以越来越高的频率出现在各个领域，数字钟表、数字电视、数字通信、数字控制等，数字化已成为当今电子技术的发展潮流。数字电路是数字电子技术的核心，是计算机和数字通信的硬件基础。本章首先介绍数字电路的一些基本概念及数字电路中常用的数制与编码；然后讨论数字逻辑中的基本逻辑运算、逻辑函数及其表示方法、逻辑函数的化简；最后介绍逻辑门电路及其外特性。

## 第一节　数字电路的基本概念

### 一、模拟信号和数字信号

电子电路中的信号可以分为两大类：模拟信号和数字信号。

模拟信号是指时间连续、数值也连续的信号。

数字信号是指时间上和数值上均是离散的信号。（例如：电子表的秒信号、生产流水线上记录零件个数的计数信号等。这些信号的变化发生在一系列离散的瞬间，其值也是离散的。）

数字信号只有两个离散值，常用数字 0 和 1 来表示。注意，这里的 0 和 1 没有大小之分，只代表两种对立的状态，称为逻辑 0 和逻辑 1，也称为二值数字逻辑。

数字信号在电路中往往表现为突变的电压或电流，如图 1－1 所示。该信号有以下两个特点：

（1）信号只有两个电压值，5V 和 0V。可以用 5V 来表示逻辑 1，用 0V 来表示逻辑 0；当然也可以用 0V 来表示逻辑 1，用 5V 来表示逻辑 0。因此这两个电压值又常被称为逻辑电平。5V 为高电平，0V 为低电平。

（2）信号从高电平变为低电平或者从低电平变为高电平是一个突然变化的过程，这种信号又称为脉冲信号。

### 二、正逻辑与负逻辑

如上所述，数字信号是一种二值信号，用两个电平（高电平和低电平）分别来表示两个逻辑值（逻辑 1 和逻辑 0）。逻辑值的表示方法有以下两种逻辑体制：

（1）正逻辑。正逻辑体制规定高电平为逻辑 1，低电平为逻辑 0。

（2）负逻辑。负逻辑体制规定低电平为逻辑 1，高电平为逻辑 0。

如果采用正逻辑，图 1－1 所示的数字电压信号就成为如图 1－2 所示的逻辑信号。

### 三、数字电路

传递与处理数字信号的电子电路称为数字电路。数字电路与模拟电路相比主要有下列优点：

（1）易实现。由于数字电路是以二值数字逻辑为基础的，只有 0 和 1 两个基本数字，易

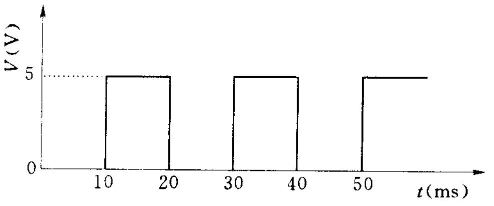



图 1-1 典型的数字信号

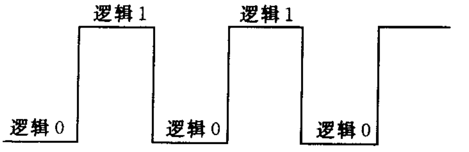



图 1-2 逻辑信号

于用电路来实现，例如：可用二极管、三极管的导通与截止这两个对立的状态来表示数字信号的逻辑 1 和逻辑 0。

（2）可靠性高、精度高、抗干扰能力强。由数字电路组成的数字系统工作可靠，精度较高，抗干扰能力强，它可以通过整形很方便地去除叠加于传输信号上的噪声与干扰，还可利用差错控制技术对传输信号进行查错和纠错。

（3）实现逻辑判断和运算。数字电路不仅能完成数值运算，而且能进行逻辑判断和运算，这在控制系统中是不可缺少的。

（4）数字信息便于长期保存。例如：可将数字信息存入磁盘、光盘等长期保存。

（5）数字集成电路产品系列多、通用性强、成本低。

由于具有以上一系列优点，数字电路在电子设备或电子系统中得到了越来越广泛的应用，计算机、数字电视、音响系统、视频记录设备、光碟、通信及卫星系统等，无一不采用了数字系统。

## 第二节 数 与 编 码

### 一、数制

（一）几种常用的计数体制

**1.** 十进制（Decimal System）

十进制有 10 个不同的数码符号 0、1、…、8、9，所以基数为 10，其低位和相邻高位的进位关系是“逢十进一”，权位是以 10 为底的幂。

例如：$9234.56=9\times10^3+2\times10^2+3\times10^1+4\times10^0+5\times10^{-1}+6\times10^{-2}$

十进制数可写成：9234.56D（Decimal，表示十进制）。

**2.** 二进制（Binary System）

二进制只有两个不同的数码符号 0、1，所以基数为 2，其低位和相邻高位的关系是“逢二进一”，权位是以 2 为底的幂。

例如：$1011.01=1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}$

二进制数可写成：1011.01B（Binary，表示二进制）。

**3.** 八进制（Octave System）

八进制有 8 个不同的数码符号 0、1、…、6、7，其基数是 8，其低位和相邻高位的关系是“逢八进一”，权位是以 8 为底的幂。

例如：$1734.56=1\times8^3+7\times8^2+3\times8^1+4\times8^0+5\times8^{-1}+6\times8^{-2}$

八进制数可写成：1734.56O（Octonary，表示八进制。为了便于区分，有时写作 Q）。

**4. 十六进制（Hexadecimal System）**

十六进制有 16 个不同的数码符号 0、1、…、9、A、B、C、D、E、F，所以基数为 16，其低位和相邻高位的关系是“逢十六进一”，权位是以 16 为底的幂。

例如：$1B34.F6=1\times16^{3}+11\times16^{2}+3\times16^{1}+4\times16^{0}+15\times16^{-1}+6\times16^{-2}$

十六进制可写成：1B34.F6H 或可以写作 $(1B34.F6)_{16}$。

（二）不同数制之间的相互转换

**1. 二进制、八进制、十六进制数转换成十进制**

按权位展开，展开后以十进制形式相加。

（1）二进制数转换为十进制数。

$$\begin{aligned}(1110101)_2&=1\times2^6+1\times2^5+1\times2^4+0\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0\\&=64+32+16+0+4+0+1\\&=(117)_{10}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(11010.1001)_2&=1\times2^4+1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+0\times2^0\\&\quad+1\times2^{-1}+0\times2^{-2}+0\times2^{-3}+1\times2^{-4}\\&=16+8+0+2+0+0.5+0+0+0.0625\\&=(26.5625)_{10}\end{aligned}$$

（2）八进制数转换为十进制数。

$$\begin{aligned}(760)_8&=7\times8^2+6\times8^1+0\times8^0\\&=448+48+0\\&=(496)_{10}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(48.12)_8&=4\times8^1+8\times8^0+1\times8^{-1}+2\times8^{-2}\\&=32+8+0.125+0.03125\\&=(40.15625)_{10}\end{aligned}$$

（3）十六进制数转换为十进制数。

$$\begin{aligned}(76)_{16}&=7\times16^1+6\times16^0\\&=112+6\\&=(118)_{10}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(BF.2E)_{16}&=11\times16^1+15\times16^0+2\times16^{-1}+14\times16^{-2}\\&=176+15+0.125+0.0546875\\&=191.1796875\end{aligned}$$

**2. 十进制转换成二进制**

用“除 2 取余”法将十进制的整数部分转换成二进制。

如将 186 转换成二进制：

| 除式 | | 余数 | 二进制位 |
|---|---|---|---|
| 2 | 186 | | |
| 2 | 93 | 0 | $a_0$ |

| | 除式 | 余数 | 二进制位 |
|---|---|---|---|
| 2 | 46 | 1 | $a_1$ |
| 2 | 23 | 0 | $a_2$ |
| 2 | 11 | 1 | $a_3$ |
| 2 | 5 | 1 | $a_4$ |
| 2 | 2 | 1 | $a_5$ |
| 2 | 1 | 0 | $a_6$ |
| | 0 | 1 | $a_7$ |

因此，$(186)_{10}=(10111010)_2$

用“乘 2 取整”的方法将任何十进制数的纯小数部分转换成二进制数。

如将 0.34375 转换成二进制数：

| | 小数部分 | 整数部分 | 二进制位 |
|---|---|---|---|
| ×2 | 0.34375 | | |
| ×2 | 0.68750 | 0 | $a_{-1}$ |
| ×2 | 0.3750 | 1 | $a_{-2}$ |
| ×2 | 0.75 | 0 | $a_{-3}$ |
| ×2 | 0.5 | 1 | $a_{-4}$ |
| | 0.0 | 1 | $a_{-5}$ |

因此，$(0.34375)_{10}=(0.01011)_2$

在十进制小数转换成二进制数时，可能无限循环，如：

| | 小数部分 | 整数部分 | 二进制位 |
|---|---|---|---|
| ×2 | 0.6 | | |
| ×2 | 0.2 | 1 | $a_{-1}$ |
| ×2 | 0.4 | 0 | $a_{-2}$ |
| ×2 | 0.8 | 0 | $a_{-3}$ |
| ×2 | 0.6 | 1 | $a_{-4}$ |
| ×2 | 0.2 | 1 | $a_{-5}$ |
| ×2 | 0.4 | 0 | $a_{-6}$ |
| ×2 | 0.8 | 0 | $a_{-7}$ |
| | 0.6 | 1 | $a_{-8}$ |

此时，可以根据转换精度的需要决定应取的位数。

$(0.6)_{10} \approx (0.10011001)_2$

当十进制数既有整数部分又有小数部分时，转换成二进制数可以分别转换。

**3. 二进制、八进制间相互转换**

二进制转换成八进制：以二进制数小数点为基准，分别向左或向右将每 3 位分为一组，每组分别转换成一位八进制数。不足 3 位补 0。

如 11101101011100.1011 转换成八进制：

$(\underline{0}11\ 101\ 101\ 011\ 100.101\ 1\underline{00})_2 = (35534.54)_8$

绝不能写成：$(11101101011100.101\ \underline{1})_2 = (35534.5\ \underline{1})_8$

八进制转换成二进制：将每一位八进制数写成 3 位二进制数即可，不足 3 位应补足。

如：$(71605.31)_8 = (111001110000101.011001)_2$

**4. 二进制、十六进制间相互转换**

二进制转换成十六进制：以二进制数小数点为基准，分别向左或向右将每 4 位分为一组，每组分别转换成一位十六进制数，不足 4 位补 0。

如 11101101011100.10111 转换成十六进制数：

$(\underline{00}11\ 1011\ 0101\ 1100.1011\ 1\underline{000})_2 = (3B5C.B8)_{16}$

绝不能写成：$(11\ 1011\ 0101\ 1100.1011\ 1)_2 = (3B5C.B1)_{16}$

十六进制转换成二进制:将每一位十六进制数写成 4 位二进制数即可,不足 4 位也应补足:

$(F3C6.4B2)_{16} = (1111001111000110.010010110010)_2$

## 二、编码

数字系统中的信息有两类：一类是前面所述的数字信息；另一类是包括文字、控制命令、图形图像等的代码信息。这些代码都是用一定位数的二进制码表示的，称二进制编码。

在编码过程中所遵循的一定的规则叫做码制。一般，一个信息码由若干二进制位组成，每位可以是 0 和 1。因此，$n$ 位代码可以表示 $2^n$ 种不同信息。数字系统中常用的编码方式有两类：一是二进制编码；另一类是二—十进制编码。

### (一) 二进制码

**1. 自然二进制码**

在二进制编码中，自然二进制码是最常见和容易接受的一种。其中的每位代码具有固定的权值，称有权码。

**2. 循环二进制码**

循环二进制码的编码规则是任何两个相邻的码字中，只有一位代码不同，因此也称为单位距离码，见表 1-1。循环二进制码的编码不是惟一的。

### (二) 二—十进制码（BCD 码）

二—十进制码，又称 BCD 码（Binary—Coded—Decimal)，是另一种常用的编码。BCD 码是指用二进制代码来表示十进制的 0～9 等 10 个数。

要用二进制代码来表示十进制的 0～9 等 10 个数，至少要用 4 位二进制数。4 位二进制数有 16 种组合，可从这 16 种组合中选择 10 种组合分别来表示十进制的 0～9 等 10 个数。选哪 10 种组合，有多种方案，这就形成了不同的 BCD 码。具有一定规律的常用的 BCD 码见表 1-2。

表 1-1　　两种 4 位二进制编码

| 十进制数 | 自然二进制码 | 循环二进制码 | 十进制数 | 自然二进制码 | 循环二进制码 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0000 | 0000 | 8 | 1000 | 1100 |
| 1 | 0001 | 0001 | 9 | 1001 | 1101 |
| 2 | 0010 | 0011 | 10 | 1010 | 1111 |
| 3 | 0011 | 0010 | 11 | 1011 | 1110 |
| 4 | 0100 | 0110 | 12 | 1100 | 1010 |
| 5 | 0101 | 0111 | 13 | 1101 | 1011 |
| 6 | 0110 | 0101 | 14 | 1110 | 1001 |
| 7 | 0111 | 0100 | 15 | 1111 | 1000 |

表 1-2　　常用 BCD 码

| 十进制数 | 8421 码 | 2421 码 | 5211 码 | 余 3 码 | 格雷码 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0000 | 0000 | 0000 | 0011 | 0000 |
| 1 | 0001 | 0001 | 0001 | 0100 | 0001 |
| 2 | 0010 | 0010 | 0011 | 0101 | 0011 |
| 3 | 0011 | 0011 | 0110 | 0110 | 0010 |
| 4 | 0100 | 0100 | 0111 | 0111 | 0110 |
| 5 | 0101 | 1011 | 1000 | 1000 | 1110 |
| 6 | 0110 | 1100 | 1001 | 1001 | 1010 |
| 7 | 0111 | 1101 | 1100 | 1010 | 1000 |
| 8 | 1000 | 1110 | 1110 | 1011 | 1100 |
| 9 | 1001 | 1111 | 1111 | 1100 | 0100 |
| 位权 | 8 4 2 1<br>$b_3b_2b_1b_0$ | 2 4 2 1<br>$b_3b_2b_1b_0$ | 5 2 1 1<br>$b_3b_2b_1b_0$ | 无权 | 无权 |

**1. 8421 BCD 码**

8421 码的编码值与字符 0～9 的 ASCII 码的低 4 位码相同，有利于输入输出过程中 BCD 码与 ASCII 码之间的相互转换，人为记忆和译码电路均较为简单。其缺点是加减运算较复杂，需要对结果进行矫正。

**2. 余3 码**

余 3 码的编码规则是在 8421 码的基础上加 3，故称余 3 码。余 3 码的优点之一是：两个余 3 码的数相加将比十进制数对应的二进制数多 6，因而能自动产生进位信号。余 3 码的另一优点是：每两个十进制数的和为 9 的对应编码互为反码，有利于将减法转换为加法运算。

**3. 2421 码及5211 码**

2421 码及 5211 码均为有权代码。另外，与余 3 码相同，这两种编码中每两个十进制数的和为 9 的对应编码互为反码。

**4. 格雷码 (Gray)**

格雷码也是一种常用的 4 位无权码。它是一种循环码，这种码看似无规律，但它是按照

"相邻性"原则来编码的，即相邻两码之间只有一位数字不同。格雷码常用于模拟量的转换中，当模拟量发生微小变化而可能引起数字量发生变化时，格雷码仅改变1位，这样与其他编码同时改变两位或多位的情况相比更为可靠，可减少出错的可能性。

注意，BCD码用4位二进制码表示的只是十进制数的一位。如果是多位十进制数，应先将每一位用BCD码表示，然后组合起来。

**【例1-1】** 将十进制数83分别用8421码、2421码和余3码表示。

**解**：由表1-2可得

$(83)_D=(1000\ 0011)_{8421}$

$(83)_D=(1110\ 0011)_{2421}$

$(83)_D=(1011\ 0110)_{余3}$

（三）原码、反码与补码

**1.** 原码

在数字电路中，二进制的正、负符号也只能用0、1来表示，若以最高位作为符号位，最高位"0"表示正数，"1"表示负数，其他各位代表相应的数值，则称原码。

**2.** 反码

规定正数的反码为原码本身，负数的反码为保持原码的符号位"1"不变，对原码的其余各位取反。

**3.** 补码

在数字电路中，两数相减是通过其对应补码相加来完成的，正数的补码为原码本身，负数的补码可以由反码在最低位加1得到。

**【例1-2】** 试将+57与-57分别用8位码长的原码、反码和补码来表示。

**解**：将57转换成二进制数为111001，所以

$$(+57)_{原码}=00111001,\ (+57)_{反码}=00111001,\ (+57)_{补码}=00111001$$

$$(-57)_{原码}=10111001,\ (-57)_{反码}=11000110,\ (-57)_{补码}=11000111$$

## 第三节　逻辑代数基础

1849年，英国数学家乔治·布尔（George Boole）首先提出了描述客观事物逻辑关系的数学方法——布尔代数，布尔代数后来被广泛应用于数字逻辑电路的分析设计上，因而也叫逻辑电路或开关电路。

数字电路实现的是逻辑关系。逻辑关系是指某事物的条件（或原因）与结果之间的关系。逻辑关系常用逻辑函数来描述，与普通函数不同，逻辑函数中的逻辑变量只能取值0或1（真，假）。

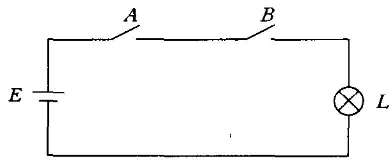
### 一、基本逻辑运算

（一）基本逻辑运算

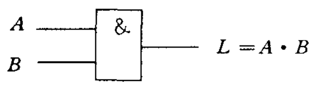
逻辑代数中只有3种基本运算：与、或、非。

**1.** 与运算

与运算——只有当决定一件事情的条件全部具备之后，这件事情才会发生，这种因果关系称为与逻辑。与运算概念可以用图1-3（a）电路来表示。




(a)




(c)

| A | B | L |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

(b)

图 1-3　与运算电路

(a) 电路图；(b) 真值表；(c) 逻辑符号

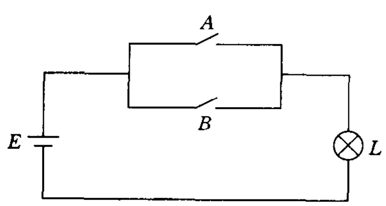
如果用二值逻辑 0 和 1 来表示，并设 1 表示开关闭合或灯亮；0 表示开关不闭合或灯不亮，则得到如图 1-3（b）所示的表格，称为逻辑真值表。

与运算的规则为：输入有 0，输出为 0；输入全 1，输出为 1。

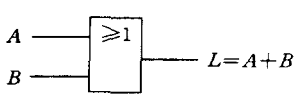
在数字电路中能实现与运算的电路称为与门电路，其逻辑符号如图 1-3（c）所示。与运算可以推广到多变量：$L=A\cdot B\cdot C\cdots$

**2. 或运算**

或运算——当决定一件事情的几个条件中，只要有一个或一个以上条件具备，这件事情就会发生，这种因果关系称为或逻辑。或逻辑可以用并联开关电路表示，如图 1-4（a）所示。




(a)




(c)

| A | B | L=A+B |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

(b)

图 1-4　或逻辑运算

(a) 电路图；(b) 真值表；(c) 逻辑符号

或运算的逻辑真值表如图 1-4（b）所示。其逻辑表达式为 $L=A+B$。

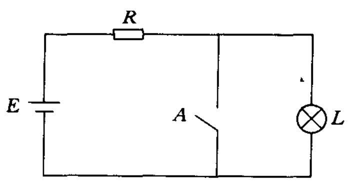
或运算的规则为：输入有 1，输出为 1；输入全 0，输出为 0。

在数字电路中能实现或运算的电路称为或门电路，其逻辑符号如图 1-4（c）所示。或运算也可以推广到多变量：$L=A+B+C+\cdots$

**3. 非运算**

非运算——某事情发生与否，仅取决于一个条件，而且是对该条件的否定。即条件具备

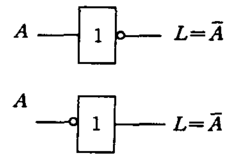
时事情不发生；条件不具备时事情才发生。非运算可由图 1-5（a）电路表示，当开关 $A$ 闭合时，灯不亮；而当 $A$ 不闭合时，灯亮。




(a)

| $A$ | $L=\overline{A}$ |
|---|---|
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |

(b)




(c)

图 1-5　非逻辑运算
(a) 电路图；(b) 真值表；(c) 逻辑符号

其真值表如图 1-5（b）所示，逻辑表达式为：$L=\overline{A}$。

非运算的规则为：$\overline{0}=1$；$\overline{1}=0$。

在数字电路中实现非运算的电路称为非门电路，其逻辑符号如图 1-5（c）所示。

（二）其他常用逻辑运算

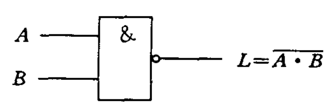
任何复杂的逻辑运算都可以由这三种基本逻辑运算组合而成。在实际应用中为了减少逻辑门的数目，使数字电路的设计更方便，还常常使用其他几种常用逻辑运算。

**1. 与非逻辑运算**

与非逻辑运算是由与运算和非运算组合而成，如图 1-6 所示。

| $A$ | $B$ | $L=\overline{A\cdot B}$ |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

(a)




(b)

图 1-6　与非逻辑运算
(a) 逻辑真值表；(b) 逻辑符号

**2. 或非逻辑运算**

或非逻辑运算是由或运算和非运算组合而成，如图 1-7 所示。

**3. 异或逻辑运算**

异或逻辑运算是一种二变量逻辑运算，当两个变量取值相同时，逻辑函数值为 0；当两个变量取值不同时，逻辑函数值为 1；$L=A\oplus B=\overline{A}B+A\overline{B}$。异或的逻辑真值表和相应逻辑门的符号如图 1-8 所示。

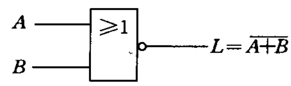
**4. 同或逻辑运算（异或非）**

同或逻辑运算的符号如图 1-9（a）所示，其逻辑表达式为

$$L=A\odot B=\overline{A\oplus B}=AB+\overline{AB}$$

| $A$ | $B$ | $L=\overline{A+B}$ |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

(a)



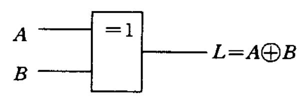

(b)

图 1-7　或非逻辑运算

(a) 逻辑真值表；(b) 逻辑符号

| $A$ | $B$ | $A\oplus B$ |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

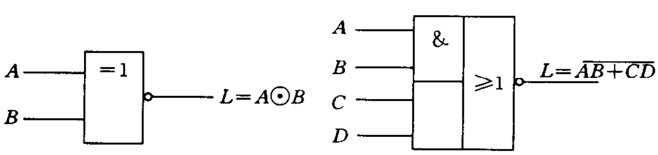
(a)




(b)

图 1-8　异或逻辑运算

(a) 逻辑真值表；(b) 逻辑符号




(a)　(b)

图 1-9　同或和与或非运算符号

(a) 同或运算逻辑符号；(b) 与或非运算符号

**5. 与或非逻辑运算**

与或非逻辑运算的符号如图 1-9（b）所示，其逻辑表达式为

$$L = \overline{AB + CD}$$

## 二、逻辑函数及其描述方法

描述逻辑关系的函数称为逻辑函数，前面讨论的与、或、非、与非、或非、异或等都是逻辑函数。逻辑函数是从生活和生产实践中抽象出来的，但是只有那些能明确地用“是”或“否”做出回答的事物，才能定义为逻辑函数。

### （一）逻辑函数的建立

**【例 1-3】**　3 个人表决一件事情，结果按“少数服从多数”的原则决定，试建立该逻辑函数。

**解**：第一步：设置自变量和因变量。将三人的意见设置为自变量 $A$、$B$、$C$，并规定只能有同意或不同意两种意见。将表决结果设置为因变量 $L$，显然也只有两种情况。

第二步：状态赋值。对于自变量 $A$、$B$、$C$，设同意为逻辑“1”，不同意为逻辑“0”。对于因变量 $L$，设事情通过为逻辑“1”，没通过为逻辑“0”。

第三步：根据题意及上述规定列出函数的真值表见表 1－3。

**表 1－3　三人表决电路真值表**

| $A$ | $B$ | $C$ | $L$ | $A$ | $B$ | $C$ | $L$ | $A$ | $B$ | $C$ | $L$ | $A$ | $B$ | $C$ | $L$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

由真值表可以看出，当自变量 $A$、$B$、$C$ 取值确定后，因变量 $L$ 的值就完全确定了。所以，$L$ 就是 $A$、$B$、$C$ 的函数。$A$、$B$、$C$ 常称为输入逻辑变量，$L$ 称为输出逻辑变量。

一般地说，若输入逻辑变量 $A$、$B$、$C$、…的取值确定以后，输出逻辑变量 $L$ 的值也惟一地确定了，就称 $L$ 是 $A$、$B$、$C$、…的逻辑函数

$$L = f(A,B,C,\cdots)$$

逻辑函数与普通代数中的函数相比较，有两个突出的特点：

（1）逻辑变量和逻辑函数只能取两个值 0 和 1。

（2）函数和变量之间的关系是由与、或、非三种基本运算决定的。

（二）逻辑问题的描述方法

一个逻辑问题有多种描述方法，即真值表、函数表达式、逻辑图和卡诺图、波形图、点阵图、硬件设计语言等，这里先介绍前三种。

**1. 真值表**

真值表是将输入逻辑变量的各种可能取值和相应的函数值排列在一起而组成的表格。为避免遗漏，各变量的取值组合应按照二进制递增的次序排列。

真值表的特点如下：

（1）直观明了。输入变量取值一旦确定后，即可在真值表中查出相应的函数值。

（2）把一个实际的逻辑问题抽象成一个逻辑函数时，使用真值表是最方便的。所以，在设计逻辑电路时，总是先根据设计要求列出真值表。

（3）真值表的缺点是当变量比较多时，就会显得过于繁琐。

**2. 函数表达式**

函数表达式就是由逻辑变量和与、或、非等运算所构成的表达式。逻辑函数与真值表之间可以相互转换。

由真值表可以转换为函数表达式，其方法为：

（1）找出真值表中使逻辑函数为 1 的输入变量组合。

（2）上述每组输入变量对应一个乘积项，其中取值为 1 的写原变量，取值为 0 的写非变量。

（3）将上述乘积项相加得到输出逻辑函数。

例如，用此方法可以直接由表 1－3 写出“三人表决”函数的逻辑表达式