高等学校精品规划教材

数字电子技术基础

SHUZI DIANZI JISHU JICHU

何首贤　王小红　主编

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校精品规划教材

数字电子技术基础

主　编　何首贤　王小红
副主编　何东钢　袁东明
主　审　邢迎春

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材紧密结合高职高专教学特点，内容安排简捷明快，深入浅出，理论与实践结合，既适合教学又适合自学。全书共分十部分，内容有逻辑代数基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形、半导体存储器和可编程逻辑部件、数模与模数转换电路、数字电路读图练习和实验指导。本书建议教学时数（含技能训练）为100学时左右。

本书可作为高职高专电气、电子信息、自动化类或其他工科类专业《数字电子技术基础》课程的教学用书，也可用于中等专业学校以及成人教育、职业技术教材和各级工程技术人员的参考书

图书在版编目（CIP）数据

数字电子技术基础/何首贤，王小红主编．—北京：中国水利水电出版社，2005
高等学校精品规划教材
ISBN 7-5084-3112-X

Ⅰ．数… Ⅱ．①何…②王… 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（2005）第089082号

书　名	高等学校精品规划教材 **数字电子技术基础**
作　者	何首贤　王小红　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） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sales@waterpub.com.cn 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　15.75印张　373千字
版　次	2005年8月第1版　2005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

随着信息时代的不断深入，电子技术突飞猛进地向前发展，并日益广泛地渗透到科学技术和工业生产的各个领域，为国民经济的发展带来了新的生机与活力。为了适应 21 世纪信息时代的要求，结合高职高专教育特点，适应社会实际需要，提高学生创新能力为目的，结合多年的实践教学，编写了《数字电子技术基础》教材。本教材是《高等学校精品规划教材》之一。

本教材主要特点：以集成电路为主，重点放在集成电路的功能和使用上；内容安排实用，通俗易懂，简捷明快，深入浅出，目的是为了培养学生的自学能力；突出理论与实践结合，着重培养学生实际动手能力。

全书共分 10 部分，主要内容有逻辑代数基础、集成逻辑门电路　组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形、半导体存储器和可编程逻辑部件、数模与模数转换电路、数字电路读图练习和实验指导。

本教材建议教学时数为 100 学时左右，其中技能训练内容（含讨论课、实验课等）约 30 学时，各校根据具体情况自行增减。

本书第一、四、五、九章由何首贤编写，第二、三章由王小红编写，第六章由王小红、袁东明合编，第八章由王小红、何东钢合编，第七章由袁东明编写，实验指导由何东钢编写。何首贤负责全书统稿，何首贤、王小红担任主编，邢迎春任主审。

由于科学技术的不断发展，集成电路工艺水平、集成度以及器件功能不断完善，新技术的不断涌现；同时限于编者水平有限，书中难免存在许多缺点错误，恳请广大读者批评指正。

编者

2005 年 6 月

目　　录

第一章　逻辑代数基础

本章介绍数制与各种数制之间的转换、常用编码，以及逻辑代数的基本概念、公式、规则，并讨论逻辑函数的表示方法及其化简方法。

第一节　数制与码制

一、数制

数制是计数方法和进位的简称。人们习惯使用十进制的计数方法，而在数字系统中多采用二进制数，有时采用八进制或十六进制。

1. 十进制

十进制数的数码有十个，为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9，其计数规律是“逢十进一”。任意一个十进制数可表示为

$$N_{10} = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} K_{\mathrm{i}} \times 10^{i} \tag{1-1}$$

式中　K_{i}——第 i 位上的数码，即 0～9 中的任一个数；

10——进位基数；

10^{i}——第 i 位的权；

式（1-1）也称为按权展开式。也可用下标 D 表示十进制。

【例 1-1】　2568.43 可表示为

$2568.43_{10} = 2\times10^3+5\times10^2+6\times10^1+8\times10^0+4\times10^{-1}+3\times10^{-2}$

2. 二进制

二进制数的数码只有 0 或 1，计数规律是“逢二进一”，二进制数的进位基数是 2，第 i 位的权是 2^i。任一个二进制数可表示为

$$N_2 = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} K_{\mathrm{i}} \times 2^{i} \tag{1-2}$$

【例 1-2】　$101101.01_2 = 1\times2^5+0\times10^4+1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+0\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}$

也可用下标 B 表示二进制。

3. 八进制和十六进制

二进制数的运算规则和实现电路比较简单、方便，但一个较大的十进制数用二进制数表示时位数较多，给数的读和写带来麻烦，且容易出错。为此人们常用八进制或十六进制数来读、写二进制数。

八进制数的数码有八个，为 0、1、2、3、4、5、6、7，按“逢八进一”的规律计数，计数基数是 8，第 i 位的权是 8^i。任一个八进制数可表示为

$$N_8 = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} K_i \times 8^i \tag{1-3}$$

【例 1-3】 $36.21_8 = 3\times8^1 + 6\times8^0 + 2\times8^{-1} + 1\times8^{-2}$

十六进制数的数码有十六个，为 0～9 和 A、B、C、D、E、F，按“逢十六进一”的规则计数，其计数基数是 16、第 i 位的权是 16^i，任一个十六进制数可表示为

$$N_{16} = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} K_i \times 16^i \tag{1-4}$$

【例 1-4】 $3AB.12_{16} = 3\times16^2 + 10\times16^1 + 11\times16^0 + 1\times16^{-1} + 2\times16^{-2}$

也可用下标 O、H 表示八进制和十六进制。

二、数制间的转换

1. 二进制数与十进制数的转换

（1）二进制数转换为十进制数。

将二进制数按权展开后，将各乘积项的积算出来，再将各项积相加，就可得到等值的十进制数。

【例 1-5】 将 110101.011_2 转换为十进制数。

解 $110101.011_2 = 1\times10^5 + 1\times10^4 + 0\times10^3 + 1\times10^2 + 0\times10^1 + 1\times10^0 + 0\times10^{-1} + 1\times10^{-2} + 1\times10^{-3} = 53.375_{10}$

（2）十进制数转换为二进制数。

十进制整数转换为二进制整数是将十进制数除以 2，依次记录余数，直到除到商为零为止，然后将余数从后往前排列，即得到从高位到低位的二进制数。

【例 1-6】 将十进制数整数 23_{10} 转换成二进制数。

解

2	23	余数	1 ↑	低位
2	11		1	
2	5		1	
2	2		0	
2	1		1	高位
	0			

即 $23_{10} = 10111_2$

十进制小数转换为二进制小数的方法是乘 2 取整法。是用该小数乘 2，第一次乘得结果的整数部分为最高位，其小数部分再乘 2，所得结果的整数部分为次高位，依次类推，继续上述过程，直至小数部分为 0 或达到要求精度为止。

【例 1-7】 将十进制小数 0.625 转换成二进制数。

解

$$
\begin{array}{rlll}
 & 0.625 & & \\
\times & 2 & & \\
\hline
 & 1.250 & 1 & \text{高位} \\
\times & 2 & \downarrow & \\
\hline
 & 0.500 & 0 & \\
\times & 2 & & \\
\hline
 & 1.000 & 1 & \text{低位}
\end{array}
$$

即 $$0.625_{10}=0.101_2$$

2. 十六进制数与二进制数、十进制数的转换

(1) 十六进制数与二进制数的转换。

将二进制转换为十六进制是从二进制的小数点开始，分别向左、右按 4 位分组，最后不满 4 位的，用 0 补。将每组用对应的十六进制数代替，就是等值的十六进制数。

【例 1－8】 将二进制数 1001101.100111 转换为十六进制数。

$1001101.100111_2=(0100\quad 1101.1001\quad 1100)_2=4D.9C_{16}$

十六进制数转换为二进制数，只要将每一位变成 4 位二进制数，按位的高低依次排列即可。

(2) 十六进制数与十进制数的转换。

十六进制转换为十进制时，也是按权展开求和进行的，只是它们的权与二进制的权不同。

十进制数转换为十六进制数时，可参照十进制数转换为二进制数的方法进行，整数部分除 16（或小数部分乘 16），结果取余（或取整）数；也可以把十进制数转换成二进制数，然后按二进制转换十六进制数的方法，间接将十进制数转换成十六进制。

三、码制

在数字系统中为使二进制码表示更多的信息，可以把若干个 0 和 1 按一定规律编排在一起，组成不同的代码，并赋予每一个代码固定的含义，这叫做编码。编制代码所遵循的规则叫码制。

用四位二进制码来表示十进制码的方法称为二—十进制编码，即 BCD 码。它形式上是二进制码，实质上是十进制数。四位二进制数共有十六种组合，任意取其中十个与 0～9 十个数码一一对应就构成一种 BCD 编码。常见的有 8421 码、5421 码、2421 码、余 3 码、格雷码等，前三者是有权码，后两者是无权码。编码的方式见表 1－1。格雷码不仅是无权码，而且任意相邻两个码之间只有一位不同。

表 1－1　　几种常见的 BCD 编码

十进制数	二进制数	8421 码	5421 码	2421 码	余 3 码	格雷码
0	0000	0	0	0		0
1	0001	1	1	1		1
2	0010	2	2	2		3
3	0011	3	3	3	0	2

续表

十进制数	二进制数	8421 码	5421 码	2421 码	余 3 码	格雷码
4	0100	4	4	4	1	7
5	0101	5			2	6
6	0110	6			3	4
7	0111	7			4	5
8	1000	8	5		5	
9	1001	9	6		6	
10	1010		7		7	
11	1011		8	5	8	
12	1100		9	6	9	8
13	1101			7		9
14	1110			8		
15	1111			9		

注 空位表示无效组合。

用四位二进制码来表示的只是十进制的一位，如果是多位十进制数，应将每一位用BCD码表示，然后组合起来。

另外人们通过键盘上的字母、符号、数字等向计算机发送数据和指令，每一个键符可用一个二进制码来表示，如美国标准信息码，即ASCII码就是其中一种。

第二节 基本逻辑运算和逻辑电路

逻辑代数又称布尔代数或开关代数，是由英国数学家乔治·布尔创立的，它是分析和设计数字电路的数学工具。

逻辑是指事物的因果关系，即事件的发生和决定该事件发生的条件之间的因果关系。条件是原因、事件的发生是结果。这里引入逻辑变量来描述因果关系。把表示原因的量称为输入逻辑变量，把表示结果的量称为输出逻辑变量。输入与输出逻辑变量之间的逻辑关系称为逻辑函数。当输入变量的取值确定下来以后，输出变量的值也随之确定。

逻辑变量的取值只有两种可能“0”和“1”。这里的“0”和“1”仅代表不同的逻辑状态，如灯的亮与灭、电路的通与断等。“0”和“1”无数量上的大小关系。

任何一个复杂的逻辑关系都可以用三种基本逻辑运算组合而成。这三种基本的逻辑运算是与、或、非运算。

一、基本逻辑运算

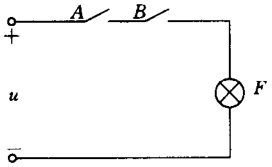
1. 与逻辑

决定某一事件发生的所有条件全部具备时，这一事件才会发生，这种逻辑关系称为与逻辑。

图1-1（a）中电路中灯 F 亮这一事件发生必须具备开关 A 和 B 都闭合这样两个条

件，否则灯 F 亮这一事件就不会发生。所以灯亮与开关 A 和 B 符合与逻辑关系。

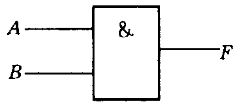
为了具体描述上述逻辑关系，可以把条件和结果列成表。开关接通为 1，断开为 0，灯亮为 1，灯灭为 0，如图 1 - 1（b）所示。这种能全面反映输出函数和输入变量之间的逻辑关系的 0、1 表叫逻辑真值表。



(a)

A	B	F
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(b)



(c)

图 1 - 1　与逻辑

(a) 电路；(b) 逻辑真值表；(c) 符号

由图 1 - 1（b）可知，只有当 $A=1$，$B=1$ 时，F 才会为 1；当 A，B 中至少有一个为 0 时，L 就为 0。若用逻辑表达式描述，可记作：

$$F = A \cdot B \tag{1-5}$$

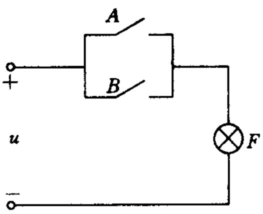
这种与逻辑关系又叫逻辑乘，式中“•”叫逻辑与或逻辑乘符号，一般情况下可以省略。与运算规则为：$0 \cdot 0=0$；$0 \cdot 1=0$；$1 \cdot 0=0$；$1 \cdot 1=1$；可以概括为输入有 0，输出为 0；输入全 1，输出为 1。

与逻辑符号如图 1 - 1（c）所示。

2. 或逻辑

当决定事件发生的条件至少有一个具备，这一事件就会发生。这种逻辑关系叫或逻辑。

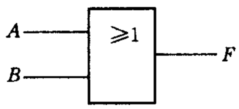
图 1 - 2（a）灯 F 亮这一事件要发生，开关 A、B 至少有一个闭合就行。



(a)

A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(b)



(c)

图 1 - 2　或逻辑

(a) 电路；(b) 逻辑真值表；(c) 符号

或逻辑的逻辑真值表如图 1 - 2（b），由表知，当 A，B 至少有一个为 1 时，F 就为 1，只有 A，B 均为 0 时，F 才为 0。若用逻辑表达式描述，可记作

$$F = A + B \tag{1-6}$$

式（1 - 6）是或逻辑关系的函数表达式。“+”是或运算符号，叫逻辑或，也叫逻辑加，其运算规则是：$0+0=0$；$0+1=1$；$1+0=1$；$1+1=1$；可以概括为输入有 1，输出

为 1；输入全 0，输出为 0。

或逻辑符号如图 1－2（c）所示。

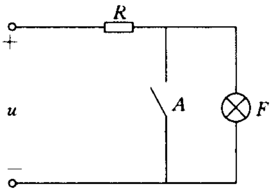
3. 非逻辑

事件的发生和条件的具备总是相反的逻辑关系叫非逻辑。即条件具备时事件不发生，条件不具备时事件发生。

图 1－3（a）所示灯 F 亮这一事件发生时，开关 A 不闭合，而开关 A 闭合时，灯 F 不亮，把这种逻辑关系，记作：$F=\overline{A}$。式中 A 上面的"－"表示非运算。

其运算规则是：$A=0$，$F=\overline{A}=1$；$A=1$，$F=\overline{A}=0$。

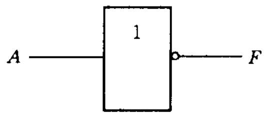
非逻辑符号如图 1－3（c）所示。



(a)

A	F
0	1
1	0

(b)



(c)

图 1－3　非逻辑

(a) 电路；(b) 逻辑真值表；(c) 符号

二、基本逻辑门电路

能够实现逻辑运算的电路称为逻辑门电路，简称门电路。把门电路的输入端作为条件或变量，输出端作为结果，即输出函数。

1. 与门电路

把输入端、输出端能满足"与"逻辑关系的电路称为与门电路。

如图 1－4 是二极管与门电路。A、B 为输入端，F 为输出端。A、B 输入端中只要有一个为低电平，则与该输入端相连的二极管因正向偏置导通，使输出端为低电平。只有输入端同时为高电平时，二极管因反向偏置截止，输出才是高电平，见表 1－2。

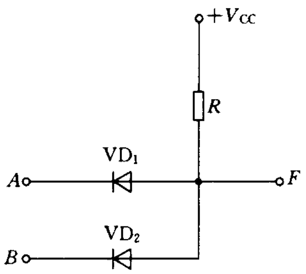


图 1－4　二极管与门电路

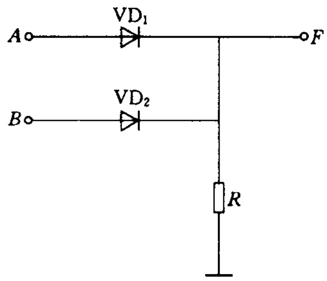


图 1－5　二极管或门电路

2. 或门电路

图 1－5 是二极管或门电路。A、B 为输入端，F 为输出端。A、B 输入端中只要有一个为高电平，则与该输入端相连的二极管因正向偏置导通，使输出端为高电平。只有输入

端同时为低电平时，二极管截止，输出才是低电平，见表 1-3。

表 1-2　与门输入输出关系表

输　入		输　出
u_A	u_B	u_F
低	低	低
低	高	低
高	低	低
高	高	高

表 1-3　或门输入输出关系表

输　入		输　出
u_A	u_B	u_F
低	低	低
低	高	高
高	低	高
高	高	高

3. 非门电路

图 1-6 是三极管非门电路。当输入为高电平时，三极管饱和，输出为低电平，当输入为低电平时，三极管截止，输出为高电平，实现了“非”逻辑功能。表 1-4 为非逻辑输入输出关系。

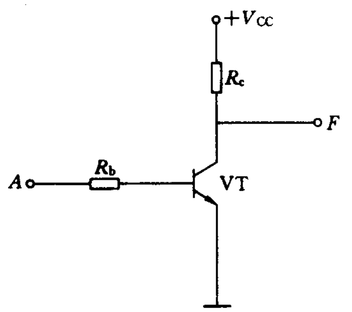


图 1-6　三极管非门电路

表 1-4　非逻辑输入输出关系表

输　入	输　出
u_A	u_F
高	低
低	高

三、复合逻辑门

实际的逻辑问题往往比与、或、非复杂得多，不过它们都可以用与、或、非的组合来实现，如与非、或非、与或非等。利用基本的逻辑门电路组合而成的门电路叫复合门。

1. 与非门

图 1-7 (a)、(b) 分别是与非门电路及其逻辑符号。它由二极管与门和三极管非门串接而成，当输入中至少有一个为低电平时，u_P为低电平，三极管截止，输出为高电平；当输入全为高电平时，u_P为高电平，三极管饱和，输出为低电平，实现了与非的逻辑功能，其逻辑关系表达式为 $F=\overline{AB}$。表 1-5 是与非逻辑真值表。

2. 或非门

图 1-8 (a)、(b) 分别是或非门电路及其逻辑符号。它是由二极管或门和三极管非门串接而成。当输入中至少有一个为高电平时，u_P为高电平，三极管饱和，输出为低电平；当输入全为低电平时，u_P为低电平，三极管截止，输出为高电平。实现了或非的逻辑功能。或非的逻辑关系表达式为：$F=\overline{A+B}$。表 1-6 是或非逻辑真值表。

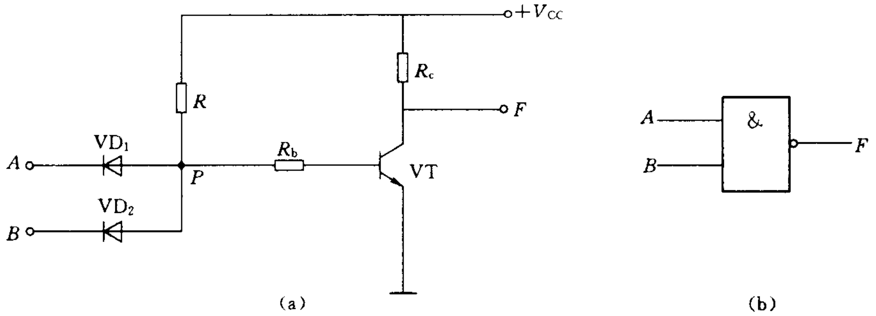


图 1-7　与非门电路

(a) 电路；(b) 逻辑符号

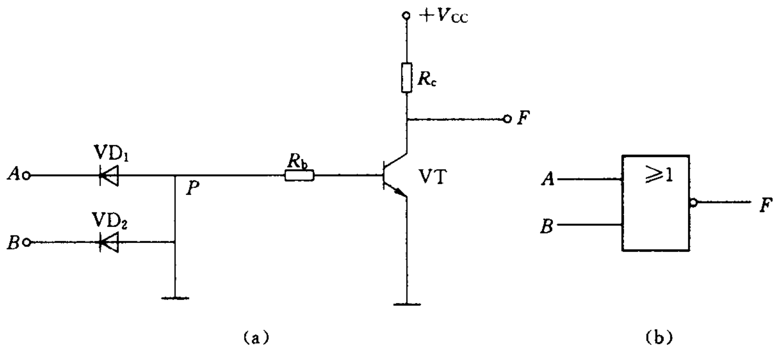


图 1-8　或非门电路

(a) 电路；(b) 逻辑符号

表 1-5　与非逻辑真值表

A	B	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

表 1-6　或非逻辑真值表

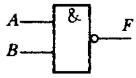
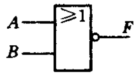
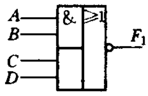
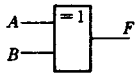
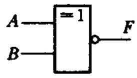
A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	1	0
1	0	0

表 1-7 为常用的复合逻辑门的名称、逻辑功能、符号、函数表达式。

表 1-7 中异或逻辑关系是：当输入相同，即 $A=B=0$ 或 $A=B=1$ 时，输出 $F=0$；当输入相异，即 $A=0$、$B=1$ 或 $A=1$、$B=0$ 时，输出 $F=1$。同或逻辑关系是：当输入相同，即 $A=B=0$ 或 $A=B=1$ 时，输出 $F=1$；当输入相异，即 $A=0$、$B=1$ 或 $A=1$、$B=0$ 时，输出 $F=0$。

具有偶数个变量的异或和同或互为相反关系。即：$A\oplus B=\overline{A\odot B}$、$\overline{A\oplus B}=A\odot B$。具有奇数个变量的异或和同或是相等的。

表 1-7　　常用的复合逻辑门

逻辑门名称	逻辑功能	逻辑符号	函数表达式
与非门	与　非		$F=\overline{AB}$
或非门	或　非		$F=\overline{A+B}$
与或非门	与或非		$F=\overline{AB+CD}$
异或门	异　或		$F=A\oplus B=\overline{A}B+A\overline{B}$
同或门	同　或		$F=A\odot B=\overline{A}\,\overline{B}+AB$

四、常用公式和运算规则

1. 常用公式

(1) 0—1 定律。

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

(2) 重叠律。

$$A+A=A \qquad A\cdot A=A$$

(3) 还原律。

$$\overline{\overline{A}}=A$$

(4) 互补律。

$$A+\overline{A}=1 \qquad A\cdot\overline{A}=0$$

(5) 交换律。

$$A+B=B+A \qquad A\cdot B=B\cdot A$$

(6) 结合律。

$$(A+B)+C=A+(B+C) \qquad (AB)C=A(BC)$$

(7) 分配律。

$$A+BC=(A+B)(A+C) \qquad A(B+C)=AB+AC$$

(8) 反演律（摩根定律）

$$\overline{A+B}=\overline{A}\cdot\overline{B} \qquad \overline{AB}=\overline{A}+\overline{B}$$

(9) 吸收律。

$$A+AB=A \qquad A\cdot(A+B)=A$$
$$A+\overline{A}B=A+B \qquad A\cdot(\overline{A}+B)=AB$$

（10）常用公式。

$$AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{A}C$$
$$(A+B)(\overline{A}+C)(B+C)=(A+B)(\overline{A}+C)$$
$$AB+\overline{A}C+BCD\cdots=AB+\overline{A}C$$
$$(A+B)(\overline{A}+C)(B+C+D+\cdots)=(A+B)(\overline{A}+C)$$

以上公式可用公式证明，也可用真值表证明。

【例 1-9】 证明：$A+\overline{A}B=A+B$。可列左、右两函数真值表，如表 1-8 所示。

表 1-8 **例 1-9 的真值表**

A	B	$\overline{A}$	$\overline{A}B$	$A+\overline{A}B$	$A+B$
0	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1
1	1	0	0	1	1

由真值表可以看出左右表达式的真值表每一行都相等，则等式成立。

2. 运算规则

逻辑代数中有三个重要的运算规则：

（1）代入规则。

在任一个逻辑等式中，将等式两边的同一变量用同一个函数代替，则等式仍然成立，这个规则叫代入规则。利用代入规则可以扩展公式的范围。

【例 1-10】 $\overline{A+B}=\overline{A}\cdot\overline{B}$

用 $A+C$ 代替式中的 A，则

$$\overline{A+C+B}=\overline{A+C}\cdot\overline{B}$$

即

$$\overline{A+C+B}=\overline{A}\cdot\overline{C}\cdot\overline{B}$$

（2）反演规则。

对于一个逻辑函数 F，若将其所有 0 变成 1，1 变成 0，与变成或，或变成与，原变量变成反变量，反变量变成原变量，可得到$\overline{F}$。这个规则叫反演规则。利用反演规则可求出一个函数的非函数（反函数）。

在运用反演规则求非函数时要注意两点：

1）应保证函数的运算顺序不变。遵守“先括号、然后乘、最后加”。

2）不属于单个变量上的反号应保留不变，即两个以上变量的公用非号保持不变，长非号下的函数按反演规则一一变换。

【例 1-11】 $F=(\overline{A}B+\overline{\overline{B}C})D$

解 $\overline{F}=(A+\overline{B})\overline{B+\overline{C}}+\overline{D}=(A+\overline{B})\overline{B}C+\overline{D}$