

21 世纪高职高专计算机系列教材

数字逻辑

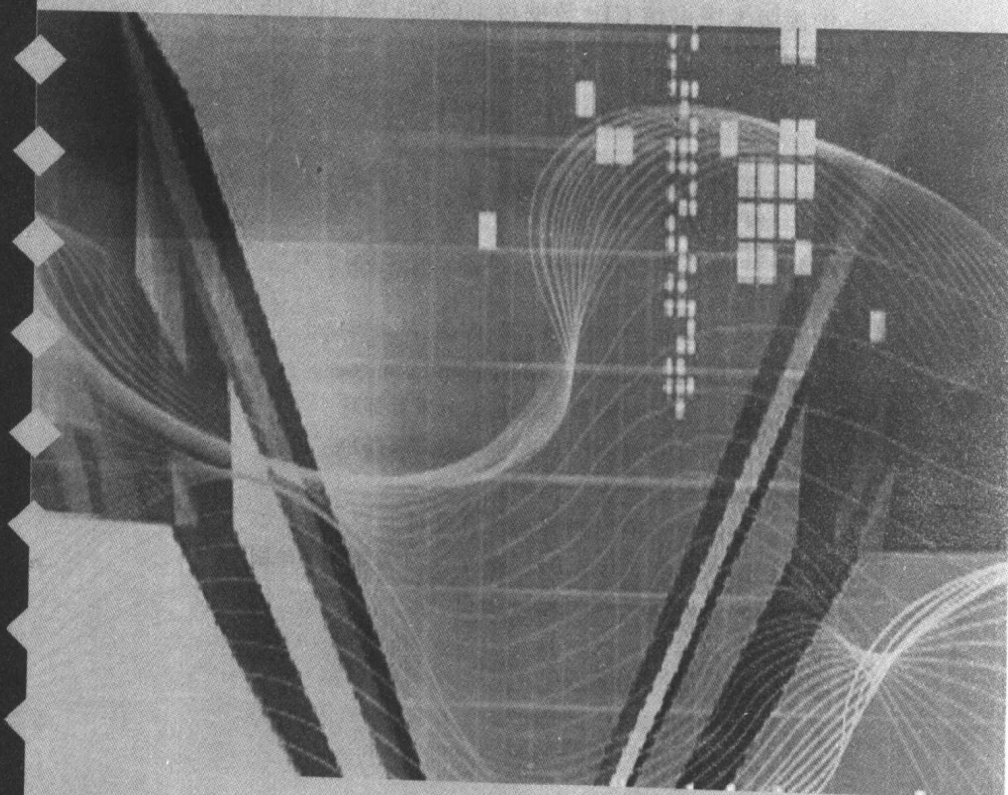
主 编 汉泽西 张 欣
主 审 王公望

西安交通大学出版社

21 世纪高职高专计算机系列教材

数字逻辑

主 编 汉泽西 张 欣
编 者 汉泽西 张 欣
张建锋 于淑贤
主 审 王公望



西安交通大学出版社
· 西 安 ·

内容简介

本书系统地讲述了数字逻辑的基本概念和分析方法。全书内容包括:数字逻辑基础,逻辑门电路,组合逻辑电路,触发器,时序逻辑电路,常用逻辑器件的应用,半导体存储器和可编程逻辑器件,数/模和模/数转换,VHDL语言基础,共9章。

本书突出基本理论、基本概念、基本方法;突出了可读性、完整性、实用性。

本书是为专科及高职学生编写的教材,也可作为有关工程技术人员的参考书。将个别章节内容加以拓展还可作为电子工程类本科学生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑/汉泽西,张欣主编. —西安:西安交通大学出版社,2004.1

(21世纪高职高专计算机系列教材)

ISBN 7-5605-1820-6

I. 数… II. ①汉…②张… III. 数字逻辑-高等学校:技术学校-教材 IV. TP302.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 119315 号

书 名:数字逻辑

主 编:汉泽西 张 欣

策划编辑:贺峰涛 屈晓燕

文字编辑:邹 林

地 址:西安市兴庆南路 25 号(邮编:710049)

网 址:<http://unit.sjtu.edu.cn/unit/jtupress>

电 话:(029)82668357 82667874(发行部)

(029)82668315 82669096(总编办)

电子信箱:eibooks@163.com

印 刷:陕西宝石兰印务有限责任公司

版 次:2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:15.625

印 数:0 001~3 000

字 数:369 千字

书 号:ISBN 7-5605-1820-6/TP·360

定 价:21.00 元

版权所有 侵权必究

21 世纪高职高专计算机系列教材编委会

顾 问：冯博琴

主 编：陈建铎

副 主 编：谢膺白 王四万 何东健 龚尚福

编 委：(以姓氏笔画为序)

王 津 王四万 王佑元 王晓奇 何东健

张水平 张俊兰 张晓云 李银兴 陈建铎

段宏斌 龚尚福 谢膺白 魏玉梅

策划编辑：贺峰涛 屈晓燕

序

随着我国科学技术的发展,全民高等教育已经成为时代的要求。扩大招生规模,发展高等职业教育,已经成为各级政府和广大教育工作者的共识。为了指导和推动全国高等职业教育的健康发展,教育部先后制定了“高职高专教育基础课程教学基本要求”和“高职高专教育专业人才培养目标和规格”两个文件。在此基础上,许多出版社先后出版了相关的系列教材,对推动我国的高等职业教育起到了积极的作用。

时代在前进,科学技术在发展,尤其是计算机信息技术发展的速度更是惊人,这就要求高等学校的教学内容应能跟上科学技术的发展,应能满足新技术对新型人才的需求;教材应当不断地修改和更新。故此,我们组织高校中长期从事高等职业教育的专家、学者编写了“21 世纪高职高专计算机系列教材”。在编写过程中,我们以教育部的上述两个文件为依据,参阅同类教材,汲取多年来在高等专科教育、成人教育中培养应用型人才的成功经验,充分体现高职高专实用型人才的特征,“以应用为目的,以必须、够用为度”,尽量做到从实际应用的需求出发,减少枯燥乏味的纯理论和概念,使学生理论联系实际,学中有用,边学边用,通过学习提高应用和解决实际问题的能力。在编排顺序方面,尽量做到由浅入深,循序渐进,内容多样,结构合理,语言简练,文字流畅,使学生易学、易懂、易掌握。

这套教材目前已列入选题的有 19 种,既有专业基础知识,又有最新技术,可作为高职高专基础课、专业基础课以及最新技术课的教材,也可供自考和学历文凭教育使用。

在 21 世纪到来的时候,我国高等职业教育迅猛发展的格局已经形成。这就要求教育界的志士仁人奋发努力,以自己的心血和汗水去培养时代所需要的一代有理想、有道德、有知识、有能力的高素质、高水平的应用型专业人才。

陈建铎

2002 年 10 月

前 言

我们有幸参加了 21 世纪高职高专计算机系列教材《数字逻辑》一书的编写。这类教材国内已有多种版本,它们各具特色。我们博采众长,结合多年教学经验,编写了本书。

本书针对专科、高职学生的特点,突出基本理论、基本概念、基本方法,遵循由浅入深、便于自学的指导思想。在例题的选编上也作了突出基础、注重应用的有益尝试。

专科、高职学生是我们国家不可轻视的人才群体。正是因为这个原因,我们将多年来的教学过程进行总结,认真编写了这本教材,以期取得更好的教学效果。我们认为这是很有现实意义的。

本教材由汉泽西教授担任主编,第 1,2 章由于淑贤编写,第 3,4 章由汉泽西编写,第 5,6,9 章由张欣编写,第 7,8 章由张建锋编写。全书由汉泽西统稿。本教材由王公望教授主审,王老对本教材的编写提出了许多宝贵意见,使本书增色不少,我们十分感谢。由于我们水平有限,难免有许多不足之处,敬请读者指正。

编 者

2003 年 3 月

目 录

前言

第 1 章 数字逻辑基础

1.1 逻辑代数的基本运算	(1)
1.1.1 基本逻辑	(1)
1.1.2 基本逻辑运算	(3)
1.1.3 逻辑函数	(7)
1.2 逻辑代数的定律和运算规则	(8)
1.2.1 逻辑函数值相等	(8)
1.2.2 关于等式的三个规则	(10)
1.2.3 若干常用公式	(11)
1.3 逻辑函数的化简	(12)
1.3.1 逻辑函数的代数化简法	(13)
1.3.2 逻辑函数的卡诺图化简法	(14)
小结	(18)
习题与思考题	(18)

第 2 章 逻辑门电路

2.1 半导体二极管和三极管的开关特性	(20)
2.1.1 半导体二极管的开关特性	(20)
2.1.2 半导体三极管的开关特性	(21)
2.2 TTL 集成逻辑门	(22)
2.2.1 TTL 与非门的工作原理	(22)
2.2.2 TTL 与非门的主要外部特性	(23)
2.2.3 集电极开路门和三态门	(25)
2.2.4 TTL 与非门电路的改进	(27)
2.3 其他双极型数字集成电路简介	(29)
2.4 MOS 逻辑门	(30)
2.4.1 NMOS 反相器	(30)
2.4.2 CMOS 反相器	(30)
2.4.3 MOS 与非门和或非门	(33)
2.4.4 CMOS 传输门	(34)
2.4.5 CMOS 三态门	(34)

2.4.6 CMOS 电路的正确使用方法	(36)
小结	(36)
习题与思考题	(36)

第3章 组合逻辑电路

3.1 组合逻辑电路分析	(38)
3.1.1 分析步骤	(39)
3.1.2 分析举例	(39)
3.2 组合逻辑电路设计	(41)
3.2.1 逻辑设计方法	(41)
3.2.2 设计举例	(42)
3.3 编码器与译码器	(44)
3.3.1 编码器	(44)
3.3.2 译码器	(49)
3.4 数字显示	(54)
3.4.1 半导体数码管	(54)
3.4.2 七段显示译码器	(55)
3.5 数据选择器与数据分配器	(56)
3.5.1 数据选择器	(57)
3.5.2 数据分配器	(65)
3.6 数据比较器	(66)
3.6.1 1 位数字比较器	(66)
3.6.2 集成数字比较器	(66)
3.6.3 集成比较器功能的扩展	(67)
3.7 加法器	(68)
3.7.1 半加器	(68)
3.7.2 全加器	(69)
3.7.3 串行进位加法器	(70)
3.7.4 超前进位加法器	(70)
3.7.5 全加器的应用	(71)
3.8 组合逻辑电路的竞争-冒险	(72)
3.8.1 竞争-冒险	(72)
3.8.2 竞争-冒险的判断	(73)
3.8.3 消除竞争-冒险的方法	(75)
小结	(76)
习题与思考题	(76)

第4章 触发器

4.1 时序电路概述	(78)
------------------	------

4.1.1	时序电路特点	(78)
4.1.2	时序电路分类	(79)
4.1.3	状态表和状态图	(79)
4.2	双稳态触发器	(82)
4.2.1	RS 触发器	(82)
4.2.2	JK 触发器	(85)
4.2.3	D 触发器	(88)
4.2.4	触发器逻辑功能的转换	(89)
4.3	单稳态触发器	(90)
4.3.1	555 集成定时器	(90)
4.3.2	由 555 定时器组成的单稳态触发器	(91)
4.4	多谐振荡器	(93)
	小结	(95)
	习题与思考题	(95)

第 5 章 时序逻辑电路

5.1	时序电路的结构与描述方法	(97)
5.1.1	时序电路的一般结构	(97)
5.1.2	同步时序电路的描述方法	(98)
5.1.3	脉冲异步时序电路	(99)
5.2	时序电路的分析	(100)
5.2.1	分析步骤	(100)
5.2.2	同步时序电路分析举例	(100)
5.2.3	异步时序电路分析举例	(104)
5.3	同步时序电路设计	(106)
5.4	计数器	(108)
5.4.1	计数器的分类	(108)
5.4.2	2^n 进制计数器组成规律	(109)
5.4.3	十进制计数器	(111)
5.4.4	其他集成计数器介绍	(115)
5.5	寄存器与移位寄存器	(115)
5.5.1	寄存器	(116)
5.5.2	移位寄存器	(117)
5.5.3	集成移位寄存器 74LS194	(119)
	小结	(123)
	习题与思考题	(124)

第 6 章 常用逻辑器件的应用

6.1	集成中规模异步计数器	(125)
-----	------------	-------

6.1.1 异步集成计数器 74LS290	(125)
6.2 集成中规模同步计数器	(127)
6.3 集成中规模移位寄存器	(131)
6.4 综合应用	(132)
小结	(134)
习题与思考题	(134)

第7章 半导体存储器和可编程逻辑器件

7.1 半导体存储器概述	(136)
7.1.1 半导体存储器的特点及分类	(136)
7.1.2 存储器的技术指标	(137)
7.2 只读存储器(ROM)	(137)
7.2.1 掩模 ROM	(138)
7.2.2 可编程只读存储器(PROM)	(140)
7.2.3 可擦除可编程只读存储器(EPROM)	(141)
7.3 随机存取存储器(RAM)	(143)
7.3.1 静态随机存储器(SRAM)	(143)
7.3.2 动态随机存储器(DRAM)	(144)
7.3.3 集成随机存储器简介	(145)
7.3.4 存储容量的扩展	(146)
7.4 可编程逻辑器件(PLD)	(148)
7.4.1 可编程逻辑器件概述	(148)
7.4.2 PLD 逻辑表示法	(148)
7.4.3 可编程逻辑阵列(PLA)	(150)
7.4.4 可编程阵列逻辑(PAL)	(150)
7.4.5 通用阵列逻辑(GAL)	(153)
7.4.6 组合可编程逻辑器件(CPLD)和现场可编程门阵列(FPGA)	(156)
7.4.7 PLD 的编程	(157)
小结	(158)
习题与思考题	(158)

第8章 数/模和模/数转换

8.1 概述	(160)
8.2 D/A 转换器(DAC)	(161)
8.2.1 权电阻网络 DAC	(161)
8.2.2 倒 T 型电阻网络 DAC	(162)
8.2.3 权电流型 DAC	(163)
8.2.4 DAC 的主要技术指标	(163)
8.2.5 集成 DAC	(164)

8.3 A/D 转换器(ADC)	(167)
8.3.1 A/D 转换的基本原理	(167)
8.3.2 并联比较型 ADC	(169)
8.3.3 反馈比较型 ADC	(170)
8.3.4 双积分 ADC	(172)
8.3.5 ADC 的主要技术性能指标	(175)
8.3.6 集成 ADC	(176)
小结	(178)
习题与思考题	(178)

第 9 章 VHDL 语言基础

9.1 序言	(180)
9.1.1 集成电路设计的层次	(180)
9.1.2 VHDL 基础	(181)
9.2 VHDL 语言组成	(185)
9.2.1 VHDL 语言程序的基本结构	(185)
9.2.2 数据类型及运算操作符	(191)
9.3 VHDL 主要描述语句	(197)
9.3.1 顺序描述语句	(197)
9.3.2 并发描述语句	(210)
9.4 基本电路设计	(216)
9.4.1 组合逻辑电路设计	(216)
9.4.2 时序逻辑电路设计	(226)
9.4.3 综合举例	(232)
小结	(235)
习题与思考题	(235)
参考文献	(236)



第1章

数字逻辑基础

逻辑代数也称为布尔代数(Bool Algebra),是由美国数学家乔治·布尔(George Bool)创建的。逻辑代数是分析和设计逻辑电路的基本数学工具,是数字计算机、数字化通信、数字化测量及控制等高技术的基础。

本章着重介绍逻辑代数的基本概念,并给出逻辑代数的基本定律和运算规则以及逻辑函数的代数化简法和卡诺图化简法。

1.1 逻辑代数的基本运算

1.1.1 基本逻辑

逻辑代数和普通代数一样,也是用字母表示变量。在逻辑代数中,事物的状态皆可用真(true)和假(false)来表示,它们分别用离散变量的1和0来代表。因此,逻辑代数中变量(简称逻辑变量)的取值只有“0”和“1”两种可能性。

逻辑代数中的基本运算有三种:两种二元运算——逻辑与(AND)、逻辑或(OR);一种一元运算——逻辑非(NOT)。通过这三种逻辑运算就可以表示出所有的逻辑关系。这是因为在开关线路中,“0”和“1”可以反映开关的接通和断开、电压的高和低、晶体管的导通和截止、信号的有和无等两种稳定的物理状态。而各种复杂的开关线路不外乎都是由开关元件通过这三种关系组合而成的。

1. 或逻辑

研究一下如图1.1(a)所示的电路。有时我们为了使用上方便,常用两只开关控制一只电灯。当某一开关“或”另一开关合上时灯都亮,当两个开关都合上时灯也亮,这时我们称这两只并联连接的开关之间的联系为“或”的关系。

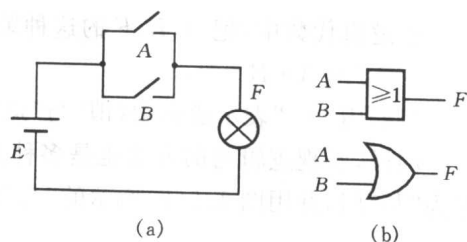


图 1.1 或逻辑实例及图形符号

如果把 A, B 作为逻辑变量, F 作为由 A, B 构成的逻辑函数。当开关闭合时为 1, 断开时为 0, 灯泡点亮为 1, 熄灭为 0。把这样的功能归纳成表格, 则如表 1.1 所示。这样的表格称为真值表(truth table)。

表 1.1 或运算真值表

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

在逻辑代数中, 把 A, B, F 的这种关系定义为逻辑或, 也称为逻辑加, 可以记作:

$$F = A + B$$

我们用“+”表示逻辑加(即“或”运算)的符号。

实现逻辑加的技术途径很多, 除了图 1.1 以外, 也可以用晶体二极管或三极管实现, 还可以用集成电路来实现。但它们均符合表 1.1 所规定的逻辑关系, 因而可用一种“或”门符号加以表示, 这种符号示于图 1.1(b)中。

2. 与逻辑

研究一下如图 1.2(a)所示的电路。房间里的电灯是受房间里的开关和楼道里的总闸双重控制的, 只有当这两个串联开关都合上时灯才会亮。我们称这两只串联连接的开关之间的联系为“与”的关系。

如果把 A, B 作为逻辑变量, F 作为由 A, B 构成的逻辑函数。当开关闭合时为 1, 断开时为 0, 灯泡点亮为 1, 熄灭为 0。把这样的功能归纳成真值表, 则如表 1.2 所示。

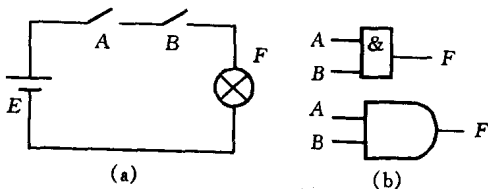


图 1.2 与逻辑实例及图形符号

表 1.2 与运算真值表

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

在逻辑代数中, 把 A, B, F 的这种关系定义为逻辑与, 也称为逻辑乘, 可以记作:

$$F = A \cdot B$$

我们用“ $\cdot$ ”表示逻辑乘(即“与”运算)符号。

同样, 实现逻辑与的方法也是多种多样的, 只要电路的逻辑功能符合表 1.2 的规定, 就都称为“与”门, 并用图 1.2(b)所示的“与”门符号加以表示。

3. 非逻辑

在开关电路中, 除了串联、并联外, 还存在另外一种情况, 如图 1.3(a)所示。开关合上时灯不亮, 开关断开时灯亮。对于开关的两个触点, 可分别记作 A 和 $\bar{A}$ 。当 A 被接通时, $\bar{A}$ 必然

断开;而当 A 断开时, $\bar{A}$ 必然接通。也就是说两者的关系“相反”。“非”运算的符号如图 1.3 (b) 所示。

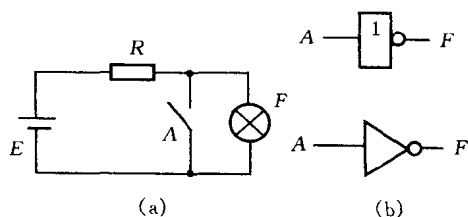


图 1.3 非逻辑实例及图形符号

表 1.3 非逻辑真值表

A	F
0	1
1	0

如果用“1”表示开关的接通,用“0”表示开关的断开,则有:

若 $A=1$,则 $\bar{A}=0$;

若 $A=0$,则 $\bar{A}=1$ 。

我们称 $\bar{A}$ 对 A 进行“非”运算, $\bar{A}$ 读作“ A 反”(或“ A 非”)。对于任意一个逻辑变量 A ,其“非”逻辑真值表见表 1.3 所示。

在逻辑代数中,把 A, F 的这种关系定义为逻辑非,可以记作:

$$F = \bar{A}$$

在数字逻辑电路中,把能实现基本逻辑关系的单元电路称为逻辑门电路。把能实现与逻辑的基本单元电路称为与门,把能实现或逻辑的基本单元电路称为或门,把能实现非逻辑的基本单元电路称为非门(或称反相器)。上面介绍的逻辑符号也用于表示相应的逻辑门。

1.1.2 基本逻辑运算

在逻辑代数中,有三种最基本的运算:逻辑加、逻辑乘和逻辑非。逻辑变量只有 0 或 1 两种取值。

1. 逻辑加(“或”运算)

$$F = A + B$$

逻辑加的意义是 A 或者 B 中只要有一个为 1,则函数值 F 就为 1。它表示或逻辑关系。在电路上可用或门实现逻辑加运算,因此逻辑加又称为或运算。

逻辑加的运算规则如下:

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 1$$

请注意:逻辑加的运算和二进制加法规则不同。

还可以推出逻辑加运算的一般形式:

$$A + 0 = A$$

$$A + 1 = 1$$

$$A + A = A$$

2. 逻辑乘(“与”运算)

$$F = A \cdot B$$

逻辑乘的意义是只有 A 和 B 都为 1 时,函数值 F 才为 1。它表示与逻辑关系。在电路上可用与门实现逻辑与运算,因此逻辑乘又称为与运算。

逻辑与的运算规则如下:

$$0 \cdot 0 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0$$

$$1 \cdot 0 = 0$$

$$1 \cdot 1 = 1$$

还可以推出逻辑与运算的一般形式:

$$A \cdot 0 = 0$$

$$A \cdot 1 = A$$

$$A \cdot A = A$$

3. 逻辑非(“非”运算)

$$F = \bar{A}$$

逻辑非的意义是把输出当作输入的反相。在电路上可以用非门来实现逻辑非运算。因此,非逻辑又称非运算。

逻辑非的运算规则为:

$$\bar{0} = 1$$

$$\bar{1} = 0$$

由此可以推出:

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

$$A + \bar{A} = 1$$

$$A \cdot \bar{A} = 0$$

4. 复合逻辑运算

在逻辑代数中,除上面介绍的与、或、非三种基本运算外,还常采用一些复合逻辑运算。

(1) 与非逻辑

与非逻辑是逻辑与和逻辑非运算的复合,它是将输入变量先进行与运算,再进行非运算。其表达式为:

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

与非逻辑的真值表如表 1.4 所示。由真值表可见,对与非逻辑来说,只要输入变量中有一个为 0,输出就为 1。或者说,只有输入变量全部为 1 时,输出才为 0。与非逻辑符号如图 1.4 (a) 所示。

表 1.4 两输入变量与非逻辑真值表

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

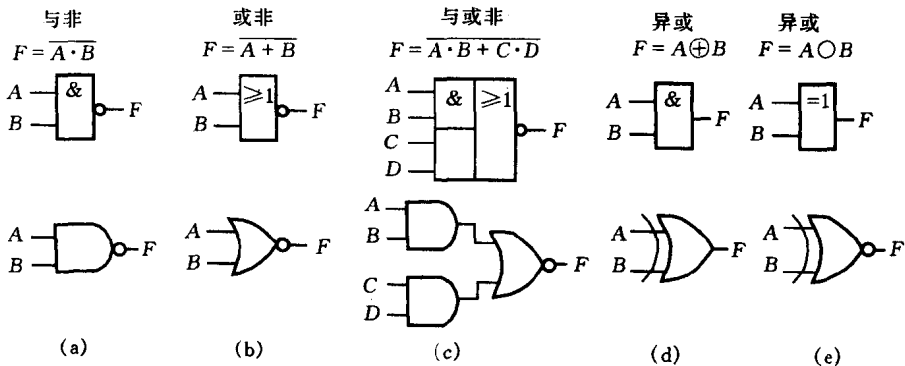


图 1.4 复合逻辑符号

(2)或非逻辑

或非逻辑是或逻辑运算和非逻辑运算的复合,它是将输入变量先进行或运算,然后再进行非运算。其表达式为:

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

或非运算的真值表如表 1.5 所示。由真值表可见对或非逻辑来说,只要输入变量中有一个为 1,输出就为 0。或者说,只有输入变量全部为 0 时,输出才为 1。或非逻辑符号如图 1.4 (b)所示。

表 1.5 两输入变量或非逻辑真值表

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

(3)与或非逻辑

与或非逻辑是与逻辑运算和或非逻辑运算的复合,它是先将输入变量 A,B;C,D 分别进行与运算,然后再进行或非运算。其表达式为:

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

与或非运算的真值表如表 1.6 所示。与或非逻辑符号如图 1.4(c)所示。

表 1.6 与或非逻辑真值表

A	B	C	D	F
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1

续表				
A	B	C	D	F
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0

(4) 异或逻辑

异或逻辑是只有 2 个输入变量的函数。当 2 个输入变量 A 和 B 的取值相异时, 输出 F 才为 1, 否则 F 为 0, 这种逻辑关系叫异或。其表达式为:

$$F = A \oplus B = A\bar{B} + \bar{A}B$$

$\oplus$ 符号是异或运算符号。其真值表如表 1.7 所示, 逻辑符号如图 1.4(d) 所示。

表 1.7 异或逻辑真值表

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

异或逻辑的运算规则为:

$$0 \oplus 0 = 0$$

$$0 \oplus 1 = 1$$

$$1 \oplus 0 = 1$$

$$1 \oplus 1 = 0$$

由此可以推出异或逻辑的一般形式:

$$A \oplus 0 = A$$

$$A \oplus 1 = \bar{A}$$

$$A \oplus \bar{A} = 1$$

$$A \oplus A = 0$$

(5) 同或逻辑

也是只有 2 个输入变量的函数。当 2 个输入变量 A 和 B 的值都相同时, 输出 F 才为 1。