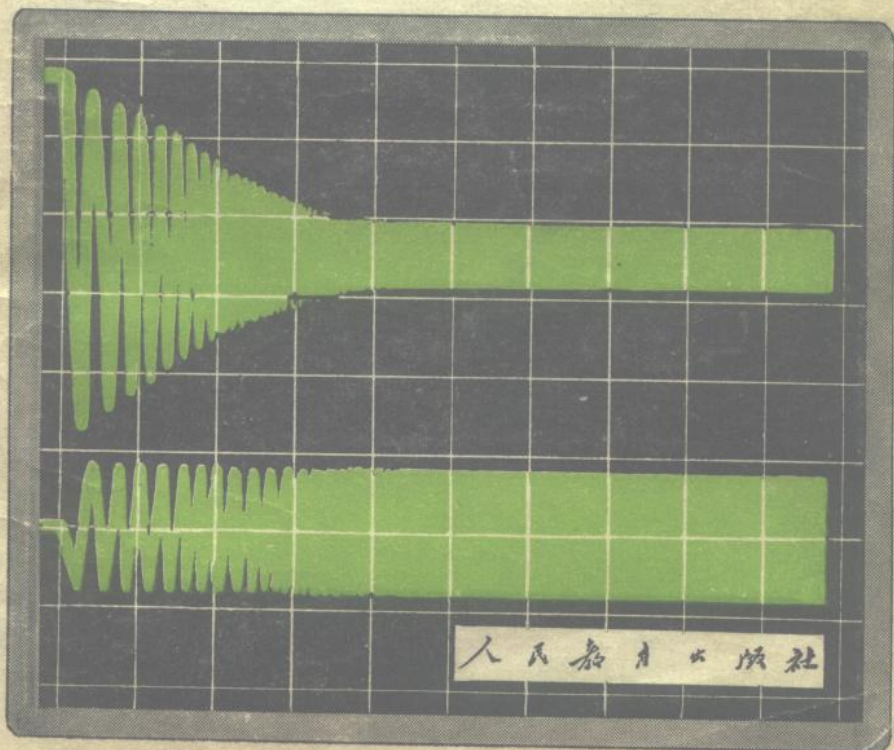


(美) L. W. 沙克利特 H. A. 阿什沃思 编

# 使用数字 和模拟集成电路

张庆男 译 郝克琦 校



# 使用数字和 模拟集成电路

[美] L. W. 沙克利特 编  
H. A. 阿什沃思

张庆男 译  
郝克琦 校

人民教育出版社

本书主要介绍如何使用集成电路,其特点是通过许多实验来说明各种用途及使用方法。书中分三大部分,共有实验 49 个。第一部分为数字电路,实验 24 个,其中 14 个采用 TTL,10 个采用 CMOS,两者可对照。第二部分为模拟电路,13 个实验。第三部分为 12 个选做的设计课题,用以训练学生综合应用所学课程的能力,并有一定的实际用途。

书中对于每一个实验,先叙述原理,然后列出所用器件、实验步骤、注意事项、故障检查等。

本书内容较全、较新、较深,可作为高等学校或科研单位、工厂技术人员学习电子电路的教学参考书。

L. W. Shacklette & H. A. Ashworth

## Using Digital and Analog Integrated Circuits

### 使用数字和模拟集成电路

[美] L. W. 沙奇利特 著  
H. A. 阿什沃思

张庆男 译

郝克琦 校

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 9.75 字数 227,000

1981 年 10 月第 1 版 1982 年 11 月第 1 次印刷

印数 00,001—10,500

书号 15012·0354 定价 1.25 元

## 译者的话

本书系根据美国 Seton Hall 大学 L. W. Shacklette 和 H. A. Ashworth 所编《Using Digital and Analog Integrated Circuits》(1978 年)一书译出。

它是作为配合电子电路理论教学的一本实验教材。也可作为自学电子电路时的实验指导书。其内容和目前国内电子技术课程衔接较好。每个实验不仅有原理说明,还有实验步骤,注意事项以及故障检查等。并列出了所用元件的明细表。除少数组件外,国内均有类似产品可供使用。

译校过程中,西安交大电子学教研组郑崇勋同志曾对译文提出了不少宝贵意见,在此特表感谢。

由于译者知识水平有限和实践经验不足,在译文中难免存在不妥和错误之处,希读者多提宝贵意见。

## 序 言

理工科学生所遇到的电子学问题通常是两类：一类是“现代技术水平”的问题，这种问题需要购买商品化的电子产品；另一类是比较容易的问题，由学生自己设计简单的电路就能解决。集成电路的出现大大减小了设计电子线路方面的困难。现在，集成电路(IC)诸如741线性运算放大器和7400系列TTL数字电路的广泛应用和低廉的价格，意味着在电子学方面经验较少的人也能制作和懂得很多实用的电路。事实上，在今天要求一个人从头开始设计一个晶体管电路是很少的。由于用集成电路来代替分立元件，大多数问题都能更有效而且更便宜地解决。

本书主要是配合为科学或技术工作者所开设的一或两学期的课程所用。课题的选择和研究电路的方法都是为了使学生熟悉集成电路并具有用集成电路“完成某些工作”的信心。本书尽可能地强调实际应用。为此在本书的末尾包括了一系列实用的设计课题。这本实验课本最好是在前面学过一学期的分立元件课后与第二门电子学课程配合进行。然而，由于我们没有过多的引用上述课程中的任何专门知识，若指导教师对电压表、电流表、示波器以及诸如电阻和电容等的用法开出些入门的实验，则它也能用作第一门电子学课程的一部分。本书还可用来作为自学课程的很重要的“动手”部分。因为集成电路在市场上还比较新，许多已经完成正规教育的人们现在希望学习使用集成电路。由于我们把重点放在集成电路的实际问题上，因此这一系列实验对想要在他们工作中学习如何使用集成电路的人尤其适合。

**辅助读物:** 在附录 C 中给出了正式的参考文献目录, 其中包括了一些广泛采用的教科书。在没有要求某一指定的教科书来配合本教材时, 我们推荐采用这些参考书或与其相当的文献。关于模拟电路(运算放大器), 我们要特别推荐 Hoenig 和 Payne 的书(“如何建立……”), 因为它语言通俗且能培养学生一定的信心(有时是有问题的)。我们还要特别推荐使用生产厂的数据手册。我们认为在实验室中, 每 5、6 个学生可合用一本数据手册。

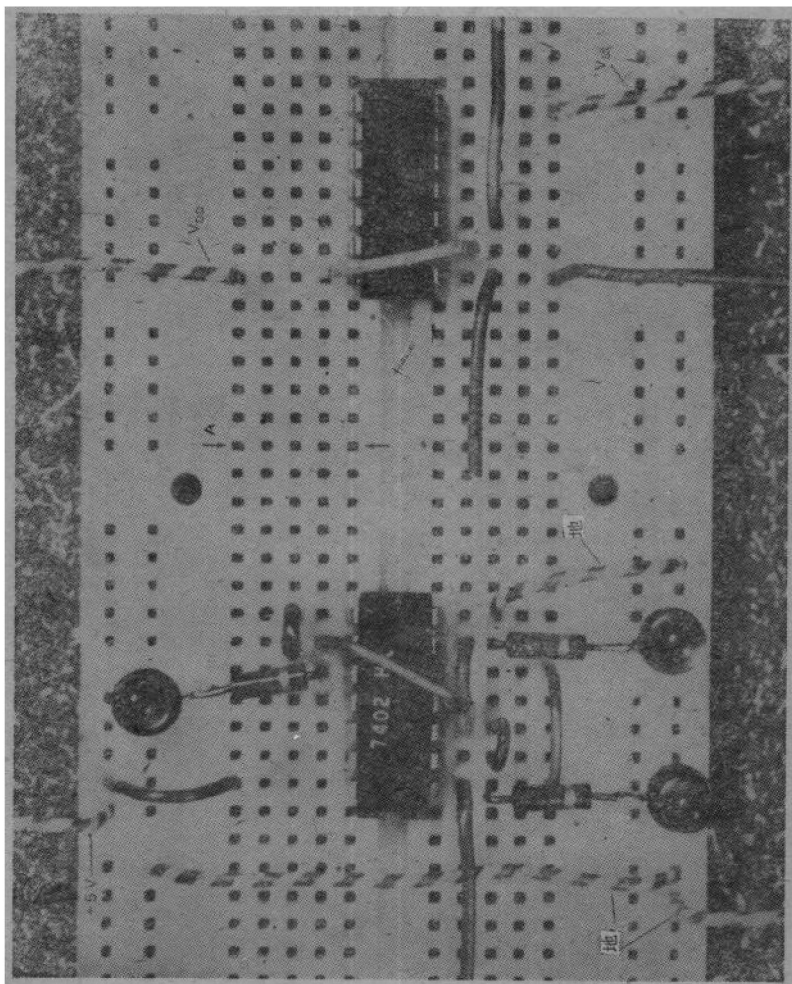
**材料供应:** 我们尽可能地只采用那些便宜而且能很容易得到的元件, 大部分元件可以从剩余产品市场上买到(这些元件是新的, 但价格是正常售价的  $\frac{1}{10}$  到  $\frac{1}{2}$ )。附录 A 提供了这些供应商店的一览表(包括剩余产品和正规产品)。本书所要求的元、器件可从这些来源得到。

我们所采用的是诸如 741 和 555 那样的 TTL 和 CMOS 数字逻辑元件以及“普通的”运算放大器。只要有可能我们特别避免采用更高级的(和更贵的)集成电路和组件。

**设计课题:** 我们曾发现, 学习传统电子学课程和实验的学生, 虽然他或她的课程作业和实验取得正式的“A”等成绩, 但若要求他们做一个超出课程内容的小电路时就无能为力了。因此本书包括了一系列不同难度的设计课题, 这些课题学生应能在一个三小时的实验课中完成。一般说来, 设计课题虽然结构不够严密, 但却要求比实验更多地依靠自己。

**课程大纲:** 理想的安排是, 在两学期的课程中用 30 个实验课时来完成全部 20 个基本实验以及向教师申请做一些课题。在一学期课程中, 我们建议大致先做两个入门实验, 然后做实验 A1、A2、A4、A6、A12、D1、D2、D3、D4、D7、D9、D13, 最后完成两个设计课题。

**设备：**建议每组不超过两个学生。每一组应有一台函数发生器，一台单通道和双通道示波器，一些接线板和一台可变电源。固定电压为  $+5V$  和  $\pm 15V$  的电源也是很方便的，但不是绝对必须的（见附录 E）。特别要建议的是选用一个数字电压表来代替一个老式的真空管电压表。附录 A 中列出了合适而且便宜的设备来源。



# 目 录

序言	1
概述 I: 数字电路实验	1
实验 D1: 逻辑门 (TTL)	4
C1: 逻辑门 (CMOS)	13
D2: 布尔代数 (TTL)	18
C2: 布尔代数 (CMOS)	27
D3: 缓冲器 (TTL)	28
C3: 缓冲器 (CMOS)	35
D4: 无稳态多谐振荡器和施密特触发器 (CMOS)	40
D5: 单稳态触发器 (TTL)	45
C5: 单稳态触发器 (CMOS)	50
D6: 触发器 I (TTL)	54
D7: 触发器 II (TTL)	59
C7: 触发器 (CMOS)	65
D8: 译码器和显示器 (TTL)	68
C8: BCD-七段锁存译码驱动器 (CMOS)	74
D9: 二进制计数器 (TTL)	76
D10: $N$ 进制计数器 (TTL)	80
C10: $N$ 进制计数器 (CMOS)	84
D11: 全加器和半加器 (TTL)	88
C11: 全加器和半加器 (CMOS)	93
D12: 减法器: 算术逻辑单元 (TTL)	95
D13: 寄存器 (TTL)	100
C13: 寄存器 (CMOS)	106
D14: 通用移位寄存器 (TTL)	109
D15: 存储器 (TTL)	114
概述 II: 模拟电路实验	121
实验 A1: 运算放大器	123
A2: 同相放大器	131



A3: 求和及求差电路 .....	137
A4: 实际的运算放大器 .....	142
A5: 积分和微分电路 .....	155
A6: 比较器 .....	161
A7: 运算放大器的施密特触发器 .....	167
A8: 对数放大器 .....	173
A9: 恒压源和恒流源 .....	179
A10: 功率放大器 .....	185
A11: 驱动继电器和可控硅整流器 .....	191
A12: 有源滤波器 .....	196
A13: 振荡器 .....	205

**概述 III: 设计**.....212

设计 P1: 稳压器 .....	212
P2: 555 计时器 .....	221
P3: 温度控制器 .....	225
P4: 音频功率放大器 .....	231
P5: 采样和保持电路 .....	233
P6: 编码和转换 .....	237
P7: 多路转换器 .....	241
P8: 电子奏乐器 .....	245
P9: 布尔游戏 .....	249
P10: 比反应时间快慢的游戏 .....	254
P11: 分计时表 .....	257
P12: 频率计数器 .....	260

附录 A: 设备和来源 .....	265
B: 熟悉数据表 .....	268
C: 参考资料 .....	284
D: 逻辑探头 .....	289
E: 供集成电路实验用的稳压电源 .....	289
F: 术语汇编 .....	292

<b>索引</b> .....	297
-----------------	-----

## 概述 I 数字电路实验

实验 D1—D15 是有关非线性电路的实验,在这种电路中只有两种可能的电压:高电平或低电平。大多数实验是用晶体管-晶体管逻辑(TTL)或互补-对称金属氧化物半导体(COS/MOS)电路完成的。我们把后者缩写为 CMOS。

每当在做数字电路实验时,我们必须记住几条规则:

1. 每个组件都必须接到电源上。对 TTL 组件电源必须供给  $V_{CC}$  (+5V) 和接地(GND)。对于 CMOS 电路,电源端子标为  $V_{DD}$  和  $V_{SS}$ 。  $V_{DD}-V_{SS}$  值的变动范围从 +3V 到 +15V,对  $V_{DD}$  和  $V_{SS}$  为负值并没有限制。通常遇到的电源范围是  $V_{DD}=5V$  和  $V_{SS}=0$ ,  $V_{DD}=10V$  和  $V_{SS}=0$ , 或  $V_{DD}=+5V$  和  $V_{SS}=-5V$ 。

对 TTL 和 CMOS 集成电路(IC)的实际接法如前页附图所示。接点均在板下。如箭头 A 所指的任何一组的五个孔是连在一起的。没有穿过中间部分的内部连接。为了识别集成电路的插脚,先寻找某一端的一个缺口或小圆圈。从顶部往下看,如缺口在集成电路的左侧则插脚 1 是在左下角。然后沿反时针方向依次数出其他插脚。如 7402 插脚 1 的正对面就是插脚 14,插脚 14 接 +5V 电源。插脚 7 接地。对于右边的 CMOS 电路,插脚 14 接  $V_{DD}$ ,插脚 7 接  $V_{SS}$ 。接到合适插脚上的三个发光二极管(LED)通过降压电阻接地,亦示于图中。所示的实际 TTL 电路与实验 D2 的步骤 2 是相同的。步骤 2 可用另一根电线把插脚 2 和 3(输入 A)分别

接到高电平(5V)和低电平(地)来完成。插脚 10 的输出状态用一只发光二极管的亮(高)或灭(低)来检测。

2. 若没有从外部接到低电平上,则 TTL 器件的输入端通常是高电平。若在某一电路中你遇到了困难,可以把不用的输入端接到高电平。什么是高或低电平将在实验 D1 中说明。

3. 若 CMOS 电路没有连接,就不可能具有可预知的输入和输出。为了保护组件,应该把不用的输入端通过一个大电阻,例如 100k $\Omega$ ,接到高电平或低电平上。因为,我们已对不用的输入端反复提出照例的警告,实际上,即使你不采用价格很贵的(大约 1 美元) CMOS 电路,大概你也不会损坏足够多的组件才认识到这种麻烦事(对未用输入端保护)的必要了。同样的道理可推广到 CMOS 的其他预防措施:防止组件受到静电荷的影响,要保存在导电的泡沫塑料中,使你自己和你的电烙铁(如果你用的话)接地,在通电时不要改动接线等等。这些预防措施就像我们要接受定期锻炼,睡眠八小时和不要贪吃等等规定一样。为了安全,应采取一切预防措施。我们认为使用廉价的电路还是要小心的。我们要重复必须遵守的一条规则:如果一个 CMOS 的输入端应为高电平或低电平,则它就应该接到高电平或低电平上。你不能违反这一规则。

4. 不要施加超过电源电压的输入信号。TTL 电路只希望“看到”输入是在 0 和 5V 之间。有较小的但不超过 10% 的误差幅度。例如,若你把一个对地为 2V 有效值的信号加到 TTL 门上,组件很可能自行损坏。CMOS 的性能也差不多如此。然而若使用双极性电源( $\pm$ ), CMOS 器件将接受过零的信号。你仍必须遵守不能超过电源电压(在任一方向)的规定。

5. 生产厂的词首和词尾:我们谈到组件总是用它的“类号”,例如 7400。许多公司生产同样的组件,但为了识别就使它们带有

不同的词首。例如 SN7400 是由得克萨斯(Texas) 仪器公司生产的, N7400 是由 Signetics 生产的。所有标为 7400 的组件都是等效的。有时一个字母插在数字的中间(74L00, 74S00), 这些字母通常可以不管(见实验 D3)。

词尾, 例如, N7400-A 或 N7400-W 与封装型式有关。例如 A 表示 14 脚的双列直插式(DIP)塑料封装, 而 W 是双列直插式陶瓷封装。对于本书中所有的电路, 不管你所用的数字集成电路有什么特殊的词尾, 插脚的用途都是相同的。

对 CMOS 集成电路, 这些规则稍有改变。4001B 集成电路能够提供的输出电流比 4001A(或者 4001AE)大。除非另有说明, 你可以用词尾为 A 也可以用词尾为 B 的组件。词尾为 B 的组件可承受的电源电压高达 18V, 而词尾为 A 的组件为 15V。

6. 所有 TTL 能做到的功能, CMOS 都能做得更好。这种说法是有争议的。但你应该知道它们的一些优缺点。在任何如此广泛的比较中, 每一种逻辑器件的拥护者都能指出有些例外, 或者特殊的变化。下面的概括有些人也持异议。

a. CMOS 功耗很小, 比 TTL 小 1000 倍(但是也有诸如标号为 74L00 的低功耗 TTL 组件。L 表示低功耗)。

b. TTL 较便宜(但 CMOS 也“便宜”, 而且越来越便宜)。

c. CMOS 速度慢, 这是真的, 但 CMOS 的延时值一般为 30 纳秒, 而 TTL 也有 10 纳秒。除非你设计的是高速计算机或频率计数器, 不然这种速度的区别是不重要的。

d. TTL 有较多的品种。这点我们没有争论 但应用最广的 TTL 电路都有相应的 CMOS 电路。

e. CMOS 与外部接口的连接比较困难(意思是用发光二极管与外部相连或与其他电路相连)。完全不是这样。

f. CMOS 对噪声有较好的抗干扰能力。这是事实, 但在许多

应用中,对 TTL 来说噪声是不成为问题的。

g. TTL 对电源稳定性要求比较高,而 CMOS 要求不高。TTL 和 CMOS 之间的选择在许多情况下可以归结为这样一个事实,即 CMOS 集成电路可用不贵的电源。

h. 若希望用电池供电,则显然宁愿选择 CMOS。

TTL 逻辑元件是一个工业上的标准,充作 CMOS 的内行而排斥 TTL 是很卤莽的。幸而,在本书中大多数实验所说明的概念与 TTL 和 CMOS 间的选择完全无关。

## 实验 D1 逻辑门(TTL)

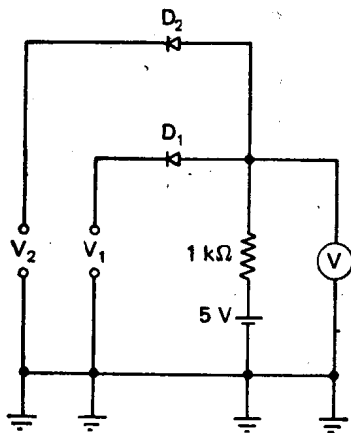
最早的数字计算机用继电器和开关来完成二进制计算及逻辑分析。一个开关的断开或闭合状态相当于 1 或 0, 二进制算术运算仅需要两个数字。在逻辑分析中,“真”与“伪”也可用一个开关的断开或闭合来表示。

逻辑门是一个具有两个或更多个“逻辑”输入和一个输出的电路。因为二极管和晶体管既可工作于“接通”(导通)状态又可工作于“截止”(不导通)状态,所以它们都是用于门电路的理想元件。

为了理解门的工作,最容易的方法是分析图 D1-1(a)所示的电路。电路的输出是  $V$ ,  $V_1$  和  $V_2$  是两个输入。若  $V_1$  和  $V_2$  两者都是零,则输出  $V$  将几乎等于 0。两个二极管都导通,在它们两端将有一个小的电压降。若  $V_1=5V$  和  $V_2=0$ ,则  $D_1$  被反向偏置, $V$  还是等于零。当  $V_2=5V$  且  $V_1=0$ ,则  $V$  仍为零。可是,若  $V_1$  和  $V_2$  两者均为  $5V$ , $V$  将上升到  $5V$ 。

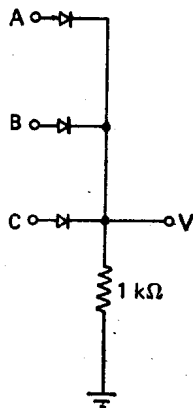
在数字电子学中,通常电压总被限制到两个电平,它们可称为逻辑“1”和逻辑“0”,或“真”和“伪”,或“高”和“低”,或“导通”和“截止”。假使我们指定某个等于或小于  $0.6V$  的电压为 0,而某个大

于 3V(譬如说)的电压为 1,图 D1-1(a)的输入输出特性可以用表 D1-1 来概括之。如果你用“真”来代替所有的 1,用“伪”来代替 0,你可以用真值表来表达与门的逻辑关系。用文字来说明表 D1-1



$V_1$	$V_2$	$V$
0	0	0.6
0	5	0.6
5	0	0.6
5	5	5

(a)



A	B	C	V
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	1	1

(b)

图 D1-1 (a) 二极管逻辑电路的与门。其各点电压值也列于表 D1-1; (b) 二极管逻辑电路组成的三输入端或门。

表 D1-1 与门真值表

$V_1$	$V_2$	$V$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

就是，“若  $V_1$  和  $V_2$  都是高电平 ( $>3V$ )，则输出为高电平。否则，输出为低电平”。须注意，称呼高和 1 及低和 0，在使用时可以互换。

第二种门电路示于图 D1-1(b)。逻辑或用文字来表达就是，“如果输入中的任一个为 1 (即为真或高)，那末输出就是 1”。电路的分析是很简单的，因为若  $A, B$  和  $C$  中任一个是正电压， $V$  就是一个正电压。若  $A, B$  和  $C$  允许有不同的正电压值，我们就不能确定输出的电压值。在一个数字系统内， $A, B$  和  $C$  具有相应于 1 的同样大小的电压值，通常是  $5V$ ，所以  $V$  就近似于  $5V$  (减去二极管的正向压降)。

另一种有意义的逻辑操作是非，非的意思是“若  $A$  为 1，非  $A$  即为 0，或  $A$  为 0，非  $A$  即为 1”。我们把非  $A$  写成  $\bar{A}$ 。你可能已经发现把  $\bar{A}$  可看成  $A$  的补码或反码。一般说来  $\bar{A}$  不是  $A$  以伏特表示的负值。

在图 D1-2 中总结了逻辑语句和它们的电路符号。虽然只用三种门就可以完成所有可能的逻辑运算，但事实上用两种另外的门作为数字电路的基本单元是更方便的。一个与非门 (或非-与门) 不过是一个与门后面跟着一个反相器。其真值表和电路符号示于图 D1-2。粗略一看与非门的符号好像和与门相同，但必须注意，在与非门的图上多一个小圆圈。跟着一个逻辑符号的小圆圈意味着操作是被反相 (或是被否定、或是被禁止) 的。与非门的功能用文字来表达就是，“如果  $A$  和  $B$  是高电平，则  $C$  是低电平，否则  $C$  为高电平”。

你可以把继电器这样地接在一起，使它们能完成图 D1-2 中任何一种逻辑功能。在不久以前，常常用分立元件，例如二极管和晶体管来做成逻辑门。今天，可以用二极管、晶体管及电阻组合成的集成电路来做成快速而高效率的门。例如包括有几个如图 D1-1 所示的由二极管和电阻组成的与门的集成电路称为 DL (二极管逻

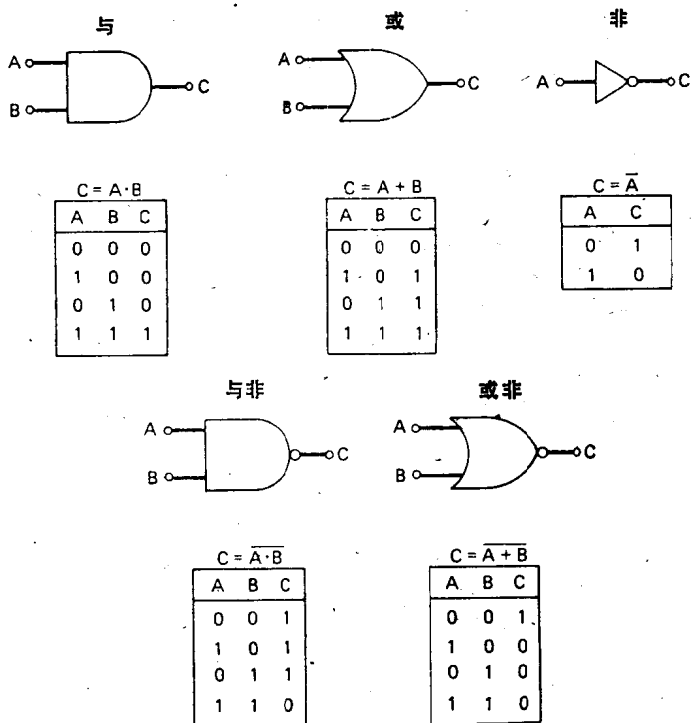


图 D1-2 逻辑符号及其真值表

辑)集成电路。

可得到各种不同的逻辑系列。每一个系列都有值得推荐的某些东西，但是我们只任意地选择了用最普通的和最便宜的逻辑系列(TTL)，以及比较新的且用途多的称为互补 MOS(CMOS)的逻辑系列。在附录 C 的大多数文献中有各种逻辑系列的讨论。两种逻辑系列孰优孰劣在理论上讨论的困难，是在于往往对非常实际的考虑有所忽视。TTL 逻辑已经充斥了数字电子工业。其他的逻辑系列已被降到相对次要的地位。

下面是最普通的几种逻辑门：

1. 电阻-晶体管逻辑(RTL): 60 年代中期最流行, 便宜, 但是



现在仅有历史上的意义了。其典型电路是 RTL923。

2. 二极管-晶体管逻辑(DTL): 速度比 TTL 稍慢, 价格比 RTL 贵些。

3. 射极耦合逻辑(ECL): 速度非常快但价格贵, 功耗大。典型电路是 1004。

4. 晶体管-晶体管逻辑(TTL): 速度中等, 价格便宜, 抗干扰能力中等。典型电路就是在这个实验中使用的 7400。

5. 互补金属氧化物半导体管(CMOS): 功耗非常小, 抗干扰能力强, 与其他数字电路和模拟电路容易配合(接口)。从发展上看, 会很便宜。典型电路是 4001。

当然, 所有逻辑系列都有一个重要的共同点。逻辑功能是相同的, TTL 的与门和其他系列的与门是完全一样的。各系列间的不同之处只限于一些实际问题上, 如电源电压, 相当于逻辑 1 或逻辑 0 的电平, 以及能连接在一起的门数。假如你能根据图 D1-2 中的与非门及或非门符号设计一个电路, 你就能够用任何可能得到的逻辑系列构成这个电路。

## 元件

二极管: 通用的二极管(2), (1N914 或相似的型号)

电阻: 1 个  $10\text{k}\Omega$  的十进制电阻箱

集成电路: 7400, 7402

输出正弦波或方波的脉冲发生器或振荡器

电源: 0—5V 可调直流电源,  $5 \pm 0.25\text{V}$  不可调直流电源

## 步骤

1. 与门。接成图 D1-1(a)的电路。不需要使用三个独立的电源, 如我们希望使  $V_1$  和  $V_2$  分别等于 0 和 5V, 我们只要把  $V_1$  和