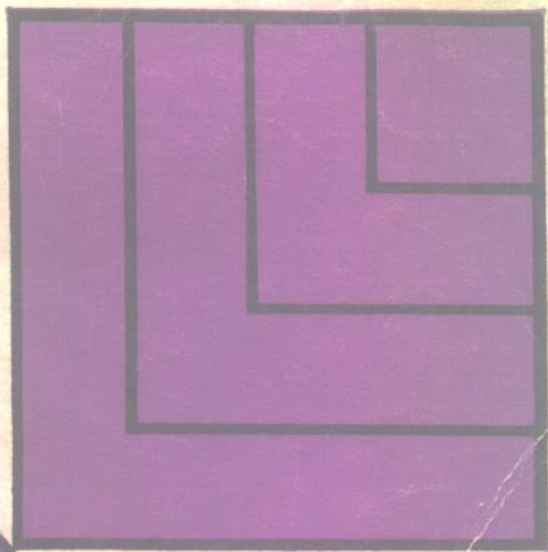




余孟尝 唐竞新 编

# 数字电子技术 基础例题与习题



清华大学出版社

TP331-4

Y10

263515

# 数字电子技术基础 例题与习题

清华大学电子学教研组

余孟尝 唐竞新 编



清华大学出版社

## 内 容 提 要

本书围绕着数字电路中的基本概念、基本方法和典型电路选编了500道习题，分为八章。其中门电路、数字电路的逻辑分析、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形等五章是重点，不仅给出了较多的习题，而且还以问题说明和例题的形式，对许多概念、一些分析设计方法和难点作了深入浅出、通俗易懂的介绍。为了便于自学，书中不仅介绍了数字电路的基本分析方法和设计方法，列举了较多的例子，而且也给出了绝大部分习题的解答提要。

本书不仅可供大专院校及电大学生使用，而且也可作为有关专业的教师和科技人员的参考书。

01109/22

### 数字电子技术基础例题与习题

余孟尝 唐克新 编

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

保定河北新华印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 各地新华书店经售

☆

开本：850×1168 1/32 印张：16 1/4 字数：423 千字

1987年2月第1版 1987年2月第1次印刷

印数：00001—15,000

统一书号：15235·264 定价：2.85 元

## 前 言

本书按照《数字电子技术基础》教材（清华大学电子学教研组阎石主编，高等教育出版社出版）的章节顺序，围绕着数字电路中的基本概念、基本方法和典型电路，选编了500道题。其中相当部分是来源于近几年的教学实践，有的是考试题、有的是课堂练习、有的是课后作业。习题中除基本题和较难题（题号右上角有 $\triangle$ ）外，尚有少量提高题（题号右上角注有\*）。本书可与《数字电子技术基础》教材配合起来使用，既可作大专院校和电大学生的参考书，又可供有关教师及工程技术人员阅读。

为了帮助读者正确理解题意和解题，我们对习题中涉及到的某些概念、基本分析设计方法和难点作了较为详细的介绍，给出了一定数量的例题和绝大部分习题的解答提要。

本书的例题、习题和解答部分由唐竞新执笔，余孟尝编写分析说明部分并担任主编。编写工作是在童诗白和孙家炘同志的指导和帮助下完成的，并得到了教研组阎石、吴年宇等同志的大力支持，特在此表示感谢。

由于我们对先进的数字电子技术了解不够，实践经验不足，必然存在不少缺点错误，殷切期望各方面读者给以批评指正。

编者

# 目 录

<b>第一章 门电路</b> .....	( 1 )
一、几个问题的分析说明.....	( 1 )
二、例题.....	( 17 )
三、习题.....	( 45 )
✓ <b>第二章 数字电路的逻辑分析</b> .....	(106)
一、几个问题的分析说明.....	(106)
二、例题.....	(135)
三、习题.....	(150)
✓ <b>第三章 组合逻辑电路</b> .....	(165)
一、几个问题的分析说明.....	(165)
二、例题.....	(172)
三、习题.....	(192)
✓ <b>第四章 时序逻辑电路</b> .....	(214)
一、几个问题的分析说明.....	(214)
二、例题.....	(269)
三、习题.....	(292)
<b>第五章 脉冲波形的产生和整形</b> .....	(361)
一、脉冲电路的波形分析法.....	(361)
二、例题.....	(366)
三、习题.....	(380)
<b>第六章 MOS 集成电路</b> .....	(410)
一、例题.....	(410)
二、习题.....	(420)
<b>第七章 数模和模数转换</b> .....	(451)

习题.....	(451)
<b>第八章 电子电路中元、器件的选择和抗干扰问题.....</b>	<b>(471)</b>
习题.....	(471)
<b>部分习题解答提要.....</b>	<b>(474)</b>
第一章.....	(474)
第二章.....	(481)
第三章.....	(486)
第四章.....	(491)
第五章.....	(508)
第六章.....	(511)
第七章.....	(513)

# 第一章 门电路

## 一、几个问题的分析说明

### (一) 门电路的分析估算

在开始学习数字电路的时候，许多同志不仅对电路形式（电源、输入、输出等等，都不画成回路，而只给出电位）不习惯，对二极管和三极管的钳位作用不理解，而且对于给定的具体电路，常常不知从何入手进行分析计算。因此简要地介绍一下门电路的分析估算方法，将有助于大家分析和解题能力的提高。

在分析解题时，常常遇到的问题大致可分成两个方面；一是确定逻辑功能——输出电压和输入电压之间的关系；二是估算外特性——电气特性，主要是输入特性和输出特性。而求解的主要困难则是怎样确定二极管和三极管的工作状态，因为它们的状态一旦确定下来，门电路就变成了比较简单的线性电路，从而可以很容易地得到解答。

#### 1. 一般分析估算步骤

##### (1) 进行假设

根据门电路的具体工作情况，假设二极管导通或截止，三极管饱和和导通或截止。

##### (2) 分析估算

根据假设和给定的参数，利用电路原理中的基本定律分析估算，以论证假设是否成立。对二极管来说，就是估算  $V_D$  或  $I_D$ ；

对三极管来说，就是估算  $V_B$  或  $I_B$  和  $I_{BS}$ 。

### (3) 比较检查

根据分析估算的结果，对照二极管和三极管的开关条件，进行比较检查，以确定假设是否成立。若不成立，则应重新假设，再分析估算，比较检查；若成立，则可进行 (4)。

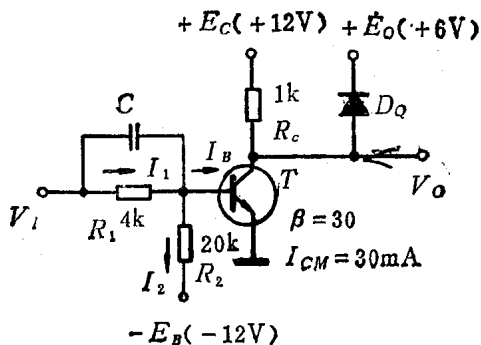
### (4) 写出结果

利用二极管和三极管在开、关状态下的工作特点，即可写出有关结果，或者通过比较简单的估算，求出结果。

值得注意的是，这些步骤只是说明了分析问题的思路，并不是必须遵守的固定程序。实际解题时，常常可以根据问题的难易程度进行取舍，有时甚至可以根据给定条件直接写出有关结果。

## 2. 分析估算举例

**例析 1.1** 非门电路如图析 1.1 所示，计算  $V_I = 0.3V$  和  $6.7V$  时的  $V_O$ ，输出高电平时带拉电流负载和低电平时带灌电流负载的能力。



图析 1.1 非门电路

**解：**

(1)  $V_I = 0.3V$  时

① 进行假设

假设  $T$  截止，则有  $I_B = 0$ 、 $I_C = 0$ ， $R_1$ 、 $R_2$  串联。



②分析估算

$$V_B = V_I - I_1 R_1 = V_I - \frac{V_I - (-E_B)}{R_1 + R_2} R_1$$
$$= 0.3 - \frac{0.3 - (-12)}{4 + 20} \times 4 = -1.65\text{V}$$

③比较检查

$\therefore V_B = -1.65\text{V} < 0.5\text{V}$

$\therefore T$  截止的假设成立

④写出结果

$$V_O = V_{OH} = E_Q + V_{DQ} = 6 + 0.7 = 6.7\text{V}$$

带拉电流负载的能力

$$I_{LM} = \frac{E_C - V_{OH}}{R_c} = \frac{12 - 6.7}{1} = 5.3\text{mA}$$

(2)  $V_I = 6.7\text{V}$  时

①进行假设

假设  $T$  饱和导通, 则有  $V_B = 0.7\text{V}$ 、 $V_C = V_{CES} = V_O = 0.3\text{V}$

②分析估算

$$I_B = I_1 - I_2$$

$$I_1 = \frac{V_I - V_B}{R_1} = \frac{6.7 - 0.7}{4} = 1.5\text{mA}$$

$$I_2 = \frac{V_B - (-E_B)}{R_2} = \frac{0.7 - (-12)}{20} = 0.635\text{mA}$$

$$I_B = I_1 - I_2 = 1.5 - 0.635 = 0.865\text{mA}$$

$$I_{BS} = \frac{E_C - V_{CES}}{\beta R_c} = \frac{12 - 0.3}{30 \times 1} \approx 0.4\text{mA}$$

③比较检查

$\therefore I_B = 0.865\text{mA} > I_{BS} = 0.4\text{mA}$

$\therefore T$  饱和导通的假设成立

④写出结果

$$V_O = V_{OL} = V_{CES} = 0.3V$$

带灌电流负载的能力

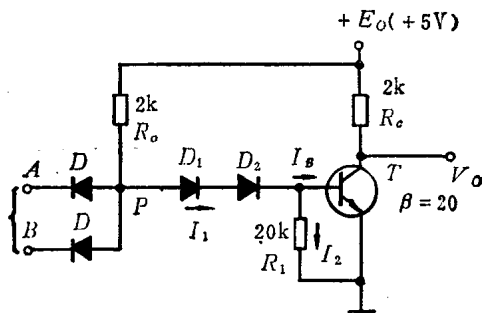
$$I_L = \beta I_B - \frac{E_C - V_{OL}}{R_c} = 30 \times 0.865 - \frac{12 - 0.3}{1} \approx 14\text{mA}$$

$$\beta I_B = 30 \times 0.865 = 26\text{mA} < I_{CM}$$

$$I_{LM} = 14\text{mA}$$

从本题具体情况看，分析估算过程可以大大简化。例如  $V_I = 0.3V$  时，可直接得到  $T$  截止的结论。因为从电位关系看， $V_B < V_I = 0.3V < 0.5V$ ，满足截止条件，所以  $T$  必然截止，从而得到  $V_O = 6.7V$ 。

例析 1.2 与非门电路如图析 1.2 所示，计算  $V_I = 0.3V$  和  $3.7V$  时的  $V_O$ 。



图析 1.2 与非门电路

解：

(1)  $V_I = 0.3V$  时

①进行假设

假设  $D$  截止， $D_1$ 、 $D_2$  导通， $T$  饱和。则有  $R_o$  与  $D_1$ 、 $D_2$  串联， $V_{D_1} = V_{D_2} = V_B = 0.7V$ ， $V_C = V_{CES} = V_O = 0.3V$ 。

②分析估算

$$V_P = V_{D_1} + V_{D_2} + V_B = 0.7 + 0.7 + 0.7 = 2.1V$$

$$V_D = V_P - V_I = 2.1 - 0.3 = 1.8\text{V}$$

③比较检查

$$\because V_D = 1.8\text{V} > 0.7\text{V}$$

$\therefore D$  截止的假设不成立, 可见  $D$  是导通的

重新假设

假设  $D$  导通,  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $T$  截止. 则有  $V_D = 0.7\text{V}$ ,  $I_B = I_C = 0$ .

分析估算

$$V_P = V_I + V_D = 0.3 + 0.7 = 1\text{V}$$

比较检查

$$\because V_P = 1\text{V}$$

$\therefore D_1$ 、 $D_2$ 、 $T$  截止的假设成立

④写出结果

$$V_O = V_{OH} = E_C = 5\text{V}$$

(2)  $V_I = 3.7\text{V}$  时

①进行假设

假设  $D$  截止,  $D_1$ 、 $D_2$  导通,  $T$  饱和. 则有  $R_o$ 、 $D_1$ 、 $D_2$  串联,  $V_{D1} = V_{D2} = V_B = 0.7\text{V}$ ,  $V_C = V_{CES} = V_O = 0.3\text{V}$ .

②分析估算

$$V_P = V_{D1} + V_{D2} + V_B = 0.7 + 0.7 + 0.7 = 2.1\text{V}$$

$$V_D = V_P - V_I = 2.1 - 3.7 = -1.6\text{V}$$

$\therefore D$  截止,  $D_1$ 、 $D_2$  导通的假设成立

$$I_B = I_1 - I_2$$

$$I_1 = \frac{E_C - V_P}{R_o} = \frac{5 - 2.1}{2} = 1.45\text{mA}$$

$$I_2 = \frac{V_B}{R_1} = \frac{0.7}{20} = 0.035\text{mA}$$

$$I_B = I_1 - I_2 = 1.45 - 0.035 \approx 1.4\text{mA}$$

$$I_{BS} = \frac{E_C - V_{CES}}{\beta R_c} = \frac{5 - 0.3}{20 \times 2} \approx 0.125\text{mA}$$

③比较检查

$$\because I_B = 1.4\text{mA} > I_{BS} = 0.125\text{mA}$$

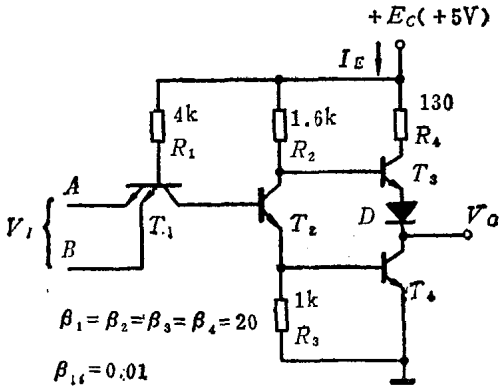
\therefore T 饱和的假设成立

④写出结果

$$V_O = V_{OL} = 0.3\text{V}$$

从与非门的工作特点出发,  $V_I = 0.3\text{V}$  时, 一开始就假设  $D$  导通,  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $T$  截止, 可以简化分析估算过程。

例析 1.3 与非门电路如图析 1.3 所示, 计算  $V_I = 0.3\text{V}$  和  $3.6\text{V}$  时的  $V_O$  和电源电流  $I_E$ 。



图析 1.3 与非门电路

解:

(1)  $V_I = 0.3\text{V}$  时

①进行假设

假设  $T_1$  饱和,  $T_2$ 、 $T_4$  截止,  $T_3$  导通。

②分析估算

$$V_{B1} = V_{BE1} + V_I = 0.7 + 0.3 = 1\text{V}$$

$$I_{B1} = \frac{E_C - V_{B1}}{R_1} = \frac{5 - 1}{4} = 1\text{mA}$$

$$I_{BS1} = \frac{I_{CS1}}{\beta_1} = \frac{-I_{B2}}{\beta_1} \approx \frac{0}{20} = 0$$

$$I_{B3} = \frac{I_{C3}}{\beta_3} = \frac{0}{20} = 0$$

③ 比较检查

$$\because I_{B1} = 1\text{mA} > I_{BS1} \approx 0, \therefore T_1 \text{ 深度饱和, } V_{CE1} = 0.1\text{V}$$

$$\because V_{B2} = V_I + V_{CE1} = 0.3 + 0.1 = 0.4\text{V}, \therefore T_2 \text{ 截止}$$

$$\because V_{B4} = V_{E2} = 0 < 0.5\text{V}, \therefore T_4 \text{ 截止}$$

$$\because V_{B3} \approx E_C = 5\text{V}, \therefore T_3, D \text{ 导通}$$

\(\therefore\) 假设成立

④ 写出结果

$$V_O = V_{OH} = V_{B3} - V_{BE3} - V_D \approx 5 - 0.7 - 0.7 = 3.6\text{V}$$

$$I_E = I_{B1} = 1\text{mA}$$

(2)  $V_I = 3.6\text{V}$  时

① 进行假设

假设  $T_1$  倒置 (即发射极成了集电极, 集电极成了发射极),

$T_2, T_4$  饱和,  $T_3, D$  截止。

② 分析估算

$$V_{B1} = V_{BC1} + V_{BE2} + V_{BE3} = 0.7 + 0.7 + 0.7 = 2.1\text{V}$$

$$I_{B1} = \frac{E_C - V_{B1}}{R_1} = \frac{5 - 2.1}{4} = 0.73\text{mA}$$

$$I_{B2} = I_{B1} + 2\beta_{i1} \cdot I_{B1} = 0.73 + 2 \times 0.01 \times 0.73 = 0.74\text{mA}$$

$$I_{BS2} = \frac{E_C - V_{CES2} - V_{B4}}{\beta_2 R_2} = \frac{5 - 0.3 - 0.7}{20 \times 1.6} \approx 0.13\text{mA}$$

$$V_{B3} = V_{C2} = V_{CES2} + V_{B4} = 0.3 + 0.7 = 1\text{V}$$

$$I_{B4} = I_{E2} - \frac{V_{B4}}{R_3} = I_{C2} + I_{B2} - \frac{V_{B4}}{R_3} = \frac{E_C - V_{C2}}{R_2} + I_{B2} - \frac{V_{B4}}{R_3}$$

$$= \frac{5 - 1}{1.6} + 0.74 - \frac{0.7}{1} = 2.54\text{mA}$$

$$I_{BS4} = \frac{I_{CS4}}{\beta_4} \approx \frac{0}{20} = 0$$

### ③比较检查

$\because V_{E1} = V_I = 3.6\text{V}$ ,  $V_{B1} = 2.1\text{V}$ ,  $V_{C1} = V_{B2} = V_{BE2} + V_{B4} = 0.7 + 0.7 = 1.4\text{V}$ ,  $\therefore T_1$  倒置

$\because I_{B2} > I_{BS2}$ ,  $\therefore T_2$  饱和

$\because I_{B4} > I_{BS4}$ ,  $\therefore T_4$  饱和

$\because V_{B3} = V_{C2} = 1\text{V}$ ,  $\therefore T_3$ 、 $D$  截止

$\therefore$  假设均成立

### ④写出结果

$$V_O = V_{O2} = V_{CFS4} = 0.3\text{V}$$

$$I_E = I_{B1} + I_{C2} = I_{B1} + \frac{E_C - V_{C2}}{R_2} = 0.73 + \frac{5 - 1}{1.6} = 3.23\text{mA}$$

为了具体地说明分析估算方法，举了三个例子，而且按步就班地作出了解答。实际上许多地方都可以简化。假设、估算、检查也不必截然分开，有时交叉起来反而更好。

## (二) 正逻辑、负逻辑与混合逻辑

正逻辑、负逻辑与混合逻辑是数字电路中使用的概念。为了更好地理解它们，首先介绍一下状态真值表、状态赋值与逻辑真值表。

### 1. 状态真值表、状态赋值与逻辑真值表

**状态真值表：**表示输入、输出信号状态关系的表格叫状态真值表。

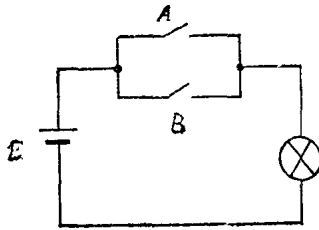
**状态赋值：**用“0”、“1”两个符号表示输入、输出信号相应状态的过程，叫做状态赋值。

**逻辑真值表：**经状态赋值后，所得到的反映输入、输出信号取值关系的表格叫逻辑真值表。

同一状态真值表，由于状态赋值方法不同，会得到不同的逻辑真值表，因而所实现的逻辑功能也会各异。

**例析 1.4** 试说图析 1.4 所示电灯控制电路中，开关 A、B 的状态和电灯 L 亮、灭之间的逻辑关系。

解:



图析 1.4 例析1.4 的电路

列出状态真值表

表析 1.4(a) 例析 1.4 的状态真值表

开关 A	开关 B	电灯 L
断 开	断 开	灭
断 开	闭 合	亮
闭 合	断 开	亮
闭 合	闭 合	亮

进行状态赋值

有四种不同的赋值方法: 1) 用“0”表示开关断开和灯灭, 用“1”表示开关闭合和灯亮; 2) 用“0”表示开关闭合和灯亮, 用“1”表示开关断开和灯灭; 3) 用“0”表示开关闭合和灯灭, 用“1”表示开关断开和灯亮; 4) 用“0”表示开关断开和灯亮, 用“1”表示开关闭合和灯灭。由于输入、输出都是只有两个状态的信号, 所以状态赋值也只有上述四种可能。

列出逻辑真值表

由表析 1.4(b)①可得  $L = A + B$ , 是或逻辑关系; 由表析 1.4(b)②可得  $L = A \cdot B$ , 是与的关系; 由表析 1.4(b)③可得  $L = \overline{A + B}$ , 是或非关系; 由表析 1.4(b)④可得  $L = \overline{A \cdot B}$  是与非关系。四种不同的赋值方法, 得到了四种不同的逻辑关系。一般地

表析1.4(b) 四种不同赋值情况下的逻辑真值表

A	B	L	A	B	L	A	B	L	A	B	L
0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0
0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1
1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1

① “0”表示  $\begin{cases} \text{断开} \\ \text{灭} \end{cases}$     ② “0”表示  $\begin{cases} \text{闭合} \\ \text{亮} \end{cases}$     ③ “0”表示  $\begin{cases} \text{断开} \\ \text{亮} \end{cases}$     ④ “0”表示  $\begin{cases} \text{闭合} \\ \text{灭} \end{cases}$   
 “1”表示  $\begin{cases} \text{闭合} \\ \text{亮} \end{cases}$     “1”表示  $\begin{cases} \text{断开} \\ \text{灭} \end{cases}$     “1”表示  $\begin{cases} \text{闭合} \\ \text{灭} \end{cases}$     “1”表示  $\begin{cases} \text{断开} \\ \text{亮} \end{cases}$

说，只有在确定了状态赋值之后，才能清楚准确地回答是什么样的逻辑关系。

## 2. 正逻辑、负逻辑与混合逻辑

在数字电路中，输入、输出信号的状态通常都是用电位的高低来表示的，而且不是高电平就是低电平。因此与状态真值表相对应的就是电压真值表。四种不同的状态赋值方法具体到数字电路中，就是所谓的正逻辑，负逻辑和混合逻辑。也可以说电压真值表，正逻辑、负逻辑与混合逻辑是特例，是状态真值表和状态赋值方法在数字电路中的具体化。

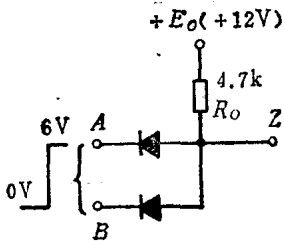
**正逻辑：**用“1”表示高电平、“0”表示低电平的赋值方法叫正逻辑。

**负逻辑：**用“1”表示低电平、“0”表示高电平的赋值方法叫负逻辑。

**混合逻辑：**有两种情况。一是输入用正逻辑、输出用负逻辑，即输入用“1”表示高电平、“0”表示低电平，输出用“1”表示低电平、“0”表示高电平。二是输入用负逻辑、输出用正逻辑，即输入用“1”表示低电平、“0”表示高电平，输出用“1”表示高电平、“0”表示低电平。这两种赋值方法都叫做混合逻辑。



**例析 1.5** 试分析图析 1.5(a)所示电路输入、输出之间的逻辑关系。



**表析 1.5(a) 例析 1.5 的电压真值表**

$V_A(V)$	$V_B(V)$	$V_Z(V)$
0	0	0.7
0	6	0.7
6	0	0.7
6	6	6.7

图析 1.5(a) 例析 1.5 的电路

列电压真值表，见表析 1.5(a)。

列逻辑真值表

**表析 1.5(b) 不同状态赋值情况下的逻辑真值表**

A	B	Z	A	B	Z	A	B	Z	A	B	Z
0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1
1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1
1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0

① 正逻辑      ② 负逻辑      ③ 混合逻辑      ④ 混合逻辑

$$Z = A \cdot B$$

$$Z = A + B$$

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

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

通过这个比较简单的例子可以说明，同一电路，如果采用不同的赋值方法，则可得到不同的逻辑关系。

对于图析 1.5(a)所示电路，如果用“+”表示正逻辑、“-”表示负逻辑，则可将几种赋值方法、相应的逻辑真值表和逻辑门符号汇集成表析 1.5(c)。

在数字电路中，经常使用的是正逻辑，因而在无特殊说明时，就意味着是正逻辑。在实际工作中，人们为了在表示方法上消除