善编程①源起

——从河图洛书到人工智能

释佛善（雲途） 编写

释佛导 绘图校对

电邮：shifoshan@gmail.com

网址（建设中）：coxyou.com

目录

1 河图洛书

《周易•系辞上》里记载：河出图，洛出书，圣人则之。也就是说在伏羲主政的时期，距今大约七千多年前，黄河里出现了一匹龙马，身上有一幅图案，因为是黄河里得到的，所以这幅图被称为河图。

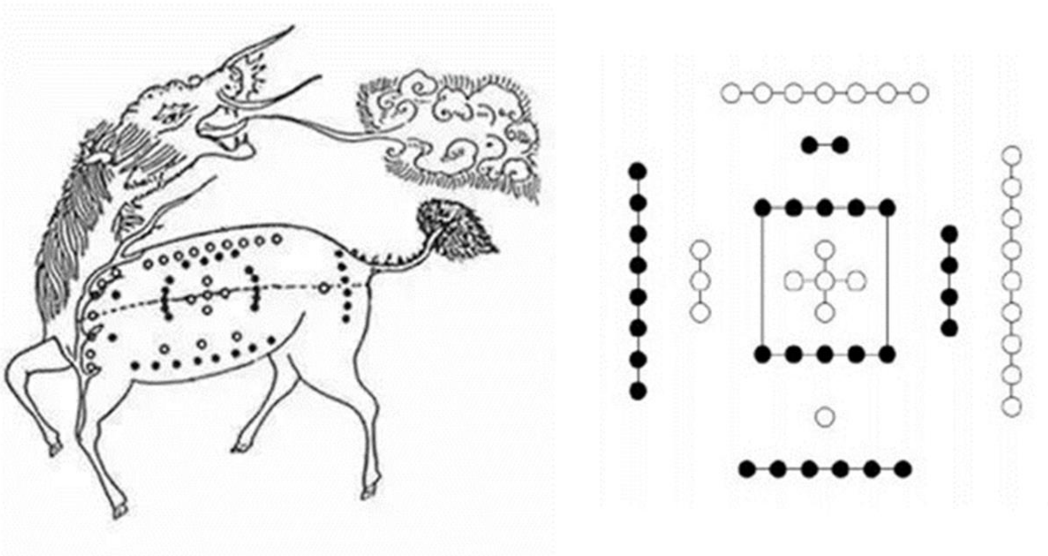


图 1-1 河图

也就是在这个时期，在洛水里出现了一只神龟，背上也有一幅图案，因为是在洛水里得到的，所以这幅图被称为洛书。

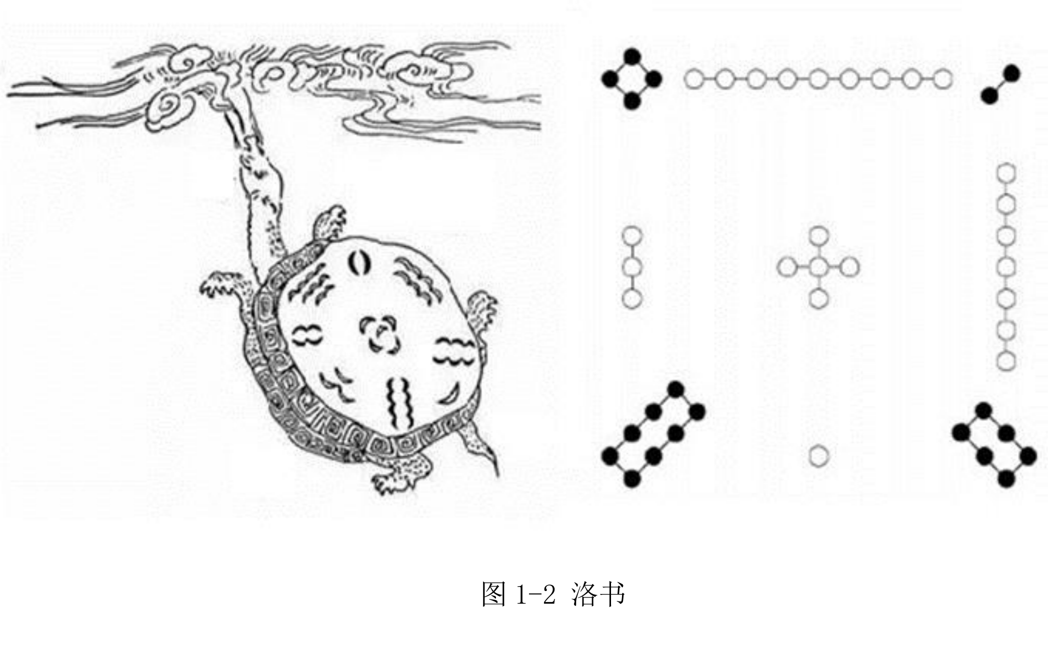


图 1-2 洛书

1.1 一切从数字开始

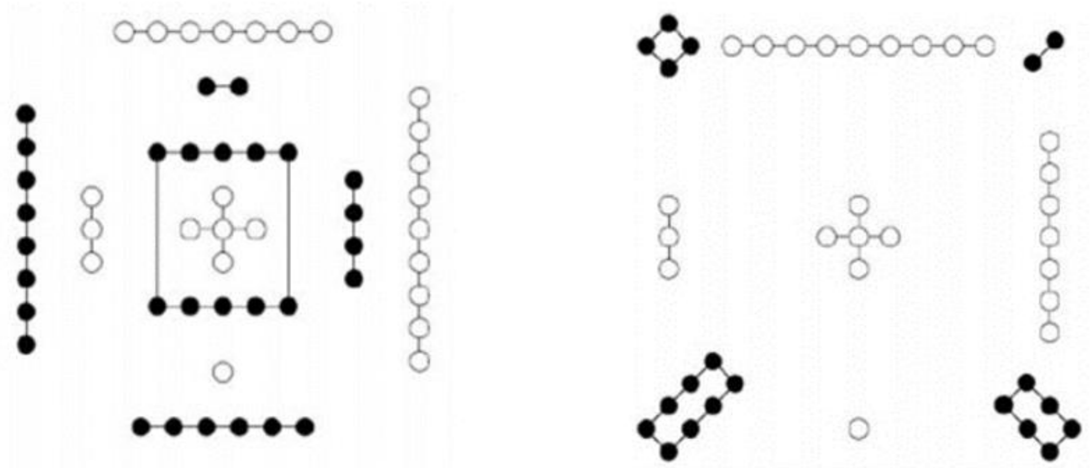


图 1-3 河图和洛书

河图和洛书是中华文明的起源和根本，没有河图和洛书，也就没有了中华文明。我们就来看一下河图和洛书，分析一下伏羲的思路，看看我们的文明是怎么开始的。河图和洛书由黑点、白点和连线组成，连线的用途是分组，一组黑点或白点的个数用来表示具体数字，也就是说河图和洛书在描述数字和数字的关系。对于河图洛书中所阐述的数字关系，以后有机会我们再聊，这不是现在的重点，目前我们只需要看河图和洛书的计数方式。

河图和洛书用黑点和白点来计数，并且黑点和白点不混用，运算规则如下：

●和●得●●

○和○得○○

其实这两条规则是一条规则，总结一下就是，逢一进一。

比如，●●●和●，结果就是●●●●

河图和洛书为什么要用这种方式计数呢？原因很简单，因为这种方式能超越一切语言和文字，也是每个人在婴幼儿时期必学必用的计数方式，比如数手指头。

但是这种方式有一个最大的缺点，那就是需要数一遍才能知道具体数值。正在认真研读河图洛书的伏羲当然意识到了这个问题。于是一切从这里开始了。

1.2 阴阳

河图和洛书有两种计数用的点，黑点和白点，因为黑点和白点不方便书写和识别，于是伏羲发明了两个符号来代替它们。

白点○→━　　　黑点●→╍

—被命名为阳，称为阳爻；**--**被命名为阴，称为阴爻。

阴阳是一切事物的根本，一切皆可分阴阳。阳是空的、连续的、抽象的、等等，以至于无量，阴是实的、可分割的、具体的、等等，以至于无量。

可能有人会觉得这就是二分法，其实并不是，阴阳是两端法，这是我给起的名字，两端法的意思是，阴阳是同一事物的两端，虽然相反却相互依存，一端消失，另一端也会不复存在，比如大小是一对阴阳，没有了大，也就没有了小。《史记·越王勾践世家》有句很有名的话如下：

飞鸟尽，良弓藏；狡兔死，走狗烹。

这句话就是对阴阳相互依存关系的很好注解。

举个比较直观的例子，下面的三本字典，面为阴，背为阳，因为面是具体的，是提供了具体信息的；背是抽象的，不容易辨识的。从左到右是阴阳阳。

图 1-4

再比如下图，中间的三人，面对我们的是阴，背对我们的是阳，从左到右是阴阴阳。

图 1-5

1.3 运算规则

计数的符号——阴阳爻设计出来了，下面需要设计符号间的运算规则。既然阳是空，阴是实，那么规则就很明显了，伏羲的设计如下：

⚊和⚊得⚊　空和空还是空

⚊和⚋得⚋　空和实被填实

⚋和⚊得⚋　实和空无变化

⚋和⚋得⚎　实和实向前位进位，本位变空，因为卦是从下往上画，所以下面是前位。

1.4 四象

现在增加一个爻位，也就是两个爻位，根据运算规则来进行演算，当然是从⚌开始。

⚌和⚋，上位为阳，阳阴得阴，得⚍

⚍和⚋，上位为阴，阴阴需进位，本位变阳；下位为阳，进位为阴，阳阴得阴，得⚎

⚎和⚋，上位为阳，阳阴得阴，得⚏

⚏和⚋，连续进位，因为只有两个爻位，下位的进位被舍去，所以就回到了

⚌

这样我们就得到了四个数字符号，

⚌命名为太阳，也就是 1

⚍命名为少阴，也就是 2

⚎命名为少阳，也就是 3

⚏命名为太阴，也就是 4

1.5 八卦

现在我们有了四个符号，但是四个符号太少了，符号少就不便于表达复杂的数字，所以需要再增加一个爻位，也就是三个爻位。继续根据规则演算，当然是从☰开始。

☰和⚋ → ☱

☱和⚋ → ☲

☲和⚋ → ☳

☳和⚋ → ☴

☴和⚋ → ☵

☵和⚋ → ☶

☶和⚋ → ☷

这样我们就得到了八个数字符号，数量刚好合适，不多也不少，因为如果再增加一个爻位，就会有十六个数字符号，就太多了，记忆和识别都会比较吃力。

伏羲给这八个符号分别命名：

☰命名为乾，也就是 1

☱命名为兑，也就是 2

☲命名为离，也就是 3

☳命名为震，也就是 4

☴命名为巽，也就是 5

☵命名为坎，也就是 6

☶命名为艮，也就是 7
☷命名为坤，也就是 8

1.6 重卦

有了八卦这八个数字符号，就能以它们为基本元素表示数字了。比如下面这幅图，被称为六十四卦方圆图。里面是方图，外面是圆图。看似复杂，其实就是八卦表示的 1 到 64。因为八卦有八个符号，所以是八进制。为了解读这幅图，我们需要先了解一下什么是进制。

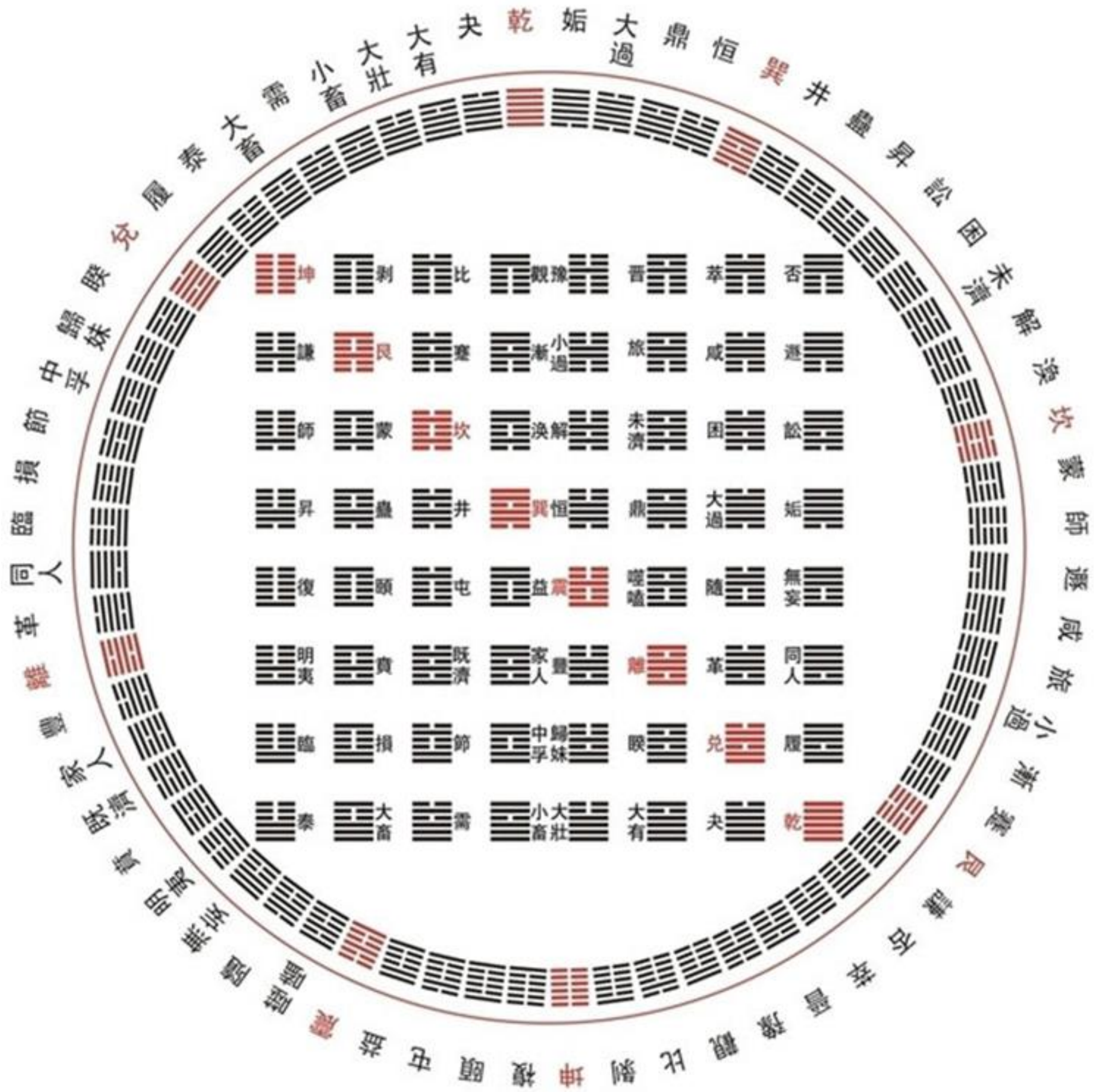


图 1-6 六十四卦方圆图

1.7 进制

进制是进位计数制的简称。我们最常用的是十进制。在十进制数中，每一位有 0 到 9 十个数字符号，所以计数的基数是 10，运算关系是逢十进

一。

对于一个十进制数，比如 125.63，可以表示为：

$125.63 = \ 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2}$

所以任意一个十进制数 D 都可以用下面的公式表示：

$D = \ \sum k_i \times 10^i$

这个公式被称为展开式，式中k_i是第 i 位的系数。

如果用任意自然数 N 取代公式里的 10，就得到了任意进制（N 进制）数的展开式公式，如下：

$D = \ \sum k_i \times N^i$

N 称为计数的基数，k 为第 i 位的系数，N^i称为第 i 位的权。

1.8 求和符号

上面的公式中用到了求和符号，在这里简单介绍一下，Σ 读作“西格玛”，是一个欧拉于 1755 年首先使用的数学符号。

求和是指将给定的数值相加的过程，又称为加总。求和符号常用来简化有多个数值相加的数学表达式。

假设有 n 个数值x_1，x_2， …，x_n，则这 n 个数值的总和

$$x_1 + x_2 + \cdots + x_n$$

可表示为：

$$\sum_{k=1}^{n} x_k$$

用等式来呈现的话就是:

$$\sum_{k=1}^{n} x_k = \ x_1 + x_2 + \cdots + x_n$$

举例来说，若有 4 个数值：$x_1 = 1$，$x_2 = 3$，$x_3 = 4$，$x_4 = 6$ ，则这 4 个数值的总和为：

$$\sum_{k=1}^{4} x_k = \ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 14$$

1.9 零的问题

进制里有一个需要澄清的问题，那就是“零”是什么——零是进位之后留下的空白。以十进制为例，它有十个数字符号，也就是 0 到 9，计数是从一开始的，所以 0 对应一、1 对应二，乃至 9 对应十。运算规则是：

- 0 加一得 1
- 1 加一得 2
- 2 加一得 3

- 3 加一得 4
- 4 加一得 5
- 5 加一得 6
- 6 加一得 7
- 7 加一得 8
- 8 加一得 9
- 9 加一得 10

我们只进行一位数的运算，当 9 加一，因为 9 是最大的一位数，需要进位，又因为只有一个数位，所以进位被舍弃，于是本位变为了空，也就是什么也没有，而运算规则中，结果为 0。而 0 对应的是一，这就出现了矛盾。为了运算规则成立，就需要给 0 对应的数字减一，使其对应零，而其它的数字符号也要相应都减去一，这样运算规则就没有问题了。

八卦是八进制，卦代表的数字从一开始，所以☰乾一、☱兑二、☲离三、☳震四、☴巽五、☵坎六、☶艮七、☷坤八。进行进制运算的时候减去一，运算完再加一就可以了。

两位八进制转十进制的计算公式是：a×8 + b，这里的 a 是高位数字，b 是低位数字。

我们来验证一下，比如乾☰是 1，两个乾☰相重就是重卦乾䷀，因为卦是从下往上画的，所以下面是高位，上面是低位，

a=1–1=0，b=1–1=0，代入公式，0×8 + 0 = 0，加 1，结果是 1，所以乾䷀是 1。

我们再来看个例子，比如火泽睽䷥，它是在右边第 11 位，也就是说它就是十进制数字 11，我们转换一下看看是不是这样，睽的下卦兑☱是 2，上卦离☲是 3，a=2-1=1，b=3-1=2，代入公式，1×8 + 2 = 10，加 1，结果是 11，所以睽䷥是 11。

1.10 进制转换

任何进制转换为十进制的公式就是用它的展开式：

D = $\sum k_i \times N^i$

比如，八进制的 245 转换为十进制是多少：

$254 = 2 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 4 \times 8^0 = 172$

而十进制转换为其它进制都是用连续求余。比如把十进制的 237 转换为八进制该怎么做呢？方法如下：

8 | $\underline{237}$　余 5

8	29	余 5
8	3	余 3
	0	

余数从下往上依次排列，就是所求结果，所以十进制数 237 转换为八进制，结果为 355。

1.11 加法器

我们回头看一下阴阳的运算规则，如果用 1 和 0 代表阴阳的话，就得到了如下的结果：

- 0 和 0 得 0
- 0 和 1 得 1
- 1 和 0 得 1
- 1 和 1 得 10

这实际上是一个加法器的设计。加法器是执行加法运算的数字电路部件，是构成电子计算机基础逻辑单元。如果没有加法器，也就没有计算机。加法器的门电路如下图所示：

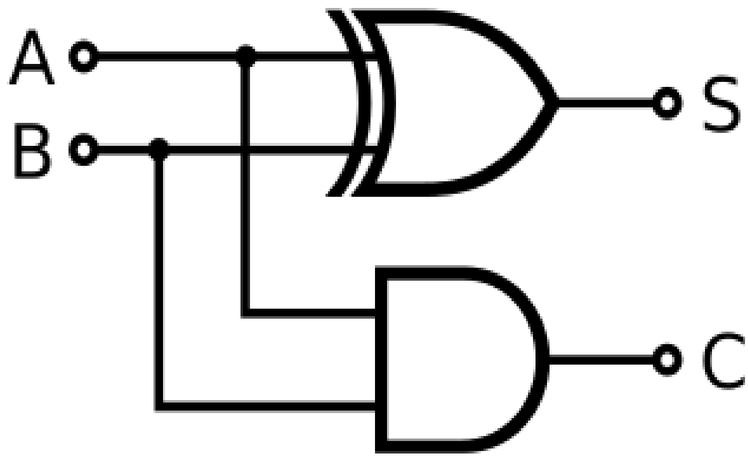


图 1-7 加法器

加法器由一个异或门和一个与门构成，这涉及到逻辑运算的知识，我们来了解一下。

1.12 逻辑运算

1849 年英国数学家乔治·布尔（George Boole）首先提出了进行逻辑运算的数学方法——布尔代数。后来，由于布尔代数被广泛应用于开关电路和数字逻辑电路的分析与设计中，所以也将布尔代数称为开关代数或逻辑代数。

1.12.1 逻辑代数中的三种基本运算

逻辑代数的基本运算有与（AND）、或（OR）、非（NOT）三种。为便于理解它们的含义，先来看一个简单的例子。

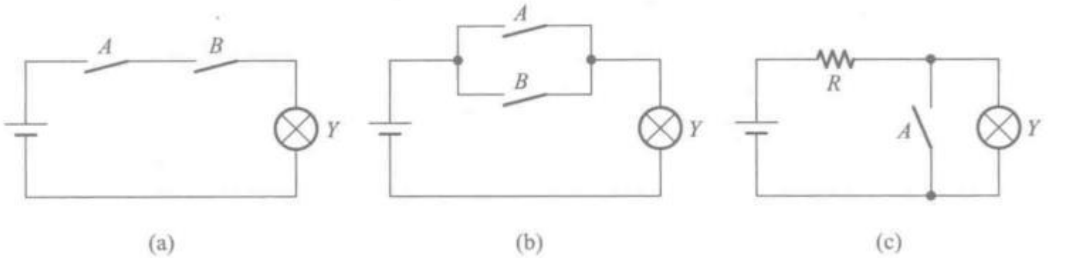


图 1-8 与或非电路

图 1-8 中给出了三个指示灯的控制电路。在 a 电路中，只有当两个开关同时接通时，指示灯才会亮；在 b 电路中，只要有任何一个开关接通，指示灯就亮；而在 c 电路中，开关断开时灯亮，开关接通时灯反而不亮。

如果把开关的通断作为条件，把灯的亮灭作为结果，那么图中的三个电路代表了三种不同的因果关系：

对于 a 电路，只有决定结果的所有条件同时具备时，结果才发生。这种关系称为逻辑与，或称逻辑相乘。

对于 b 电路，条件中只要有任何一个满足，结果就会发生。这种关系称为逻辑或，也称逻辑相加。

对于 c 电路，只要条件具备了，结果便不会发生；而条件不具备时，结果一定发生。这种关系称为逻辑非，也称逻辑求反。

对于开关 A、B，以 1 表示开关闭合，以 0 表示开关断开；对于指示灯 Y，以 1 表示灯亮，以 0 表示不亮，则可以列出与、或、非逻辑关系的图表，如下所示。这种图表称为逻辑真值表（truth table），简称真值表。

与真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

或真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

非真值表

A	Y
0	1
1	0

在逻辑代数中，与、或、非是最基础的三种运算，并以“·”表示与运算，以“+”表示或运算，以变量右上角的“'”表示非运算。

因此，A 和 B 进行与运算时可写成：

Y=A · B

A 和 B 进行或运算时可写成

Y=A+B

对 A 进行非运算时可写成

Y=A'

同时，将实现与逻辑运算的单元电路称为与门，将实现或逻辑运算的单元电路称为或门，将实现非逻辑运算的单元电路称为非门（也称为反相器）。

与、或、非逻辑运算还可以用图形符号表示。图 1-9 中给出了被 IEEE（电气与电子工程师协会）和 IEC（国际电工协会）认定的两套与、或、非的图形符号，其中一套是目前在国外教材和 EDA 软件中普遍使用的特定外形符号，如图中（a）所示。另一套是矩形轮廓的符号，如图中（b）所示。

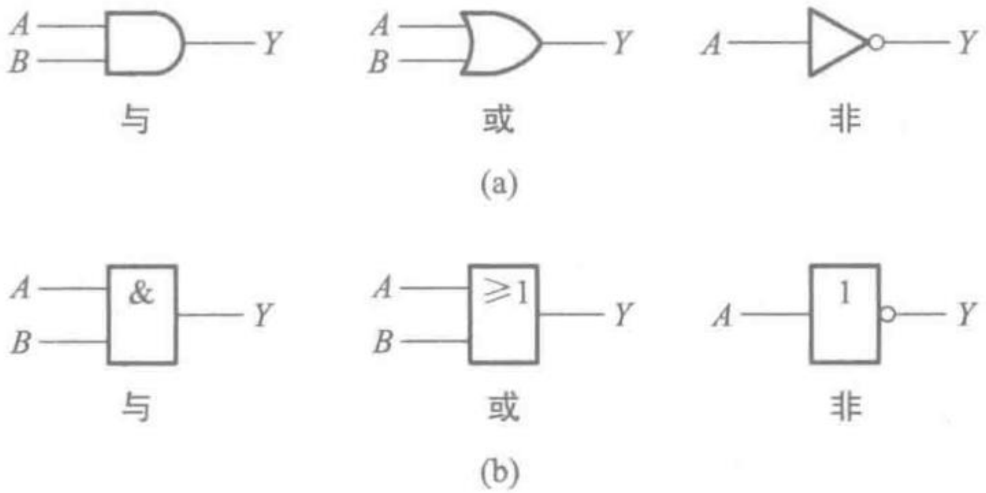


图 1-9 与或非图形符号

1.12.2 复合逻辑运算

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。比如加法器中的异或，异或的符号是：

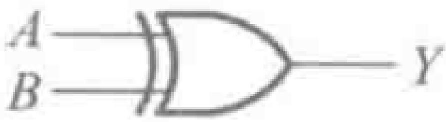


图 1-10 异或符号

异或的逻辑是：

A 和 B 相同为时结果 Y 为 0，不同时 Y 为 1。真值表如下：

异或真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

异或的逻辑电路如下：

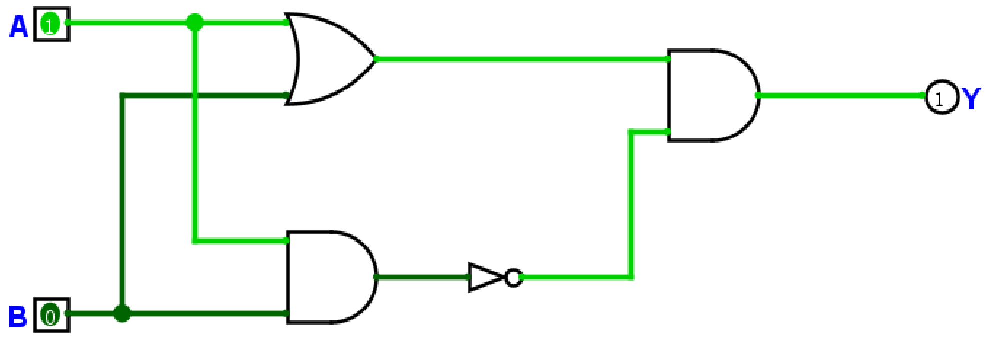


图 1-10 异或门电路

1.12.3 加法器逻辑

伏羲设计的阴阳运算规则是：

- 阳和阳得阳
- 阳和阴得阴
- 阴和阳得阴
- 阴和阴得阴阳

如果用 1 和 0 代替阴阳，这就是加法器的真值表：

加法器真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	10

加法器的逻辑电路如下：

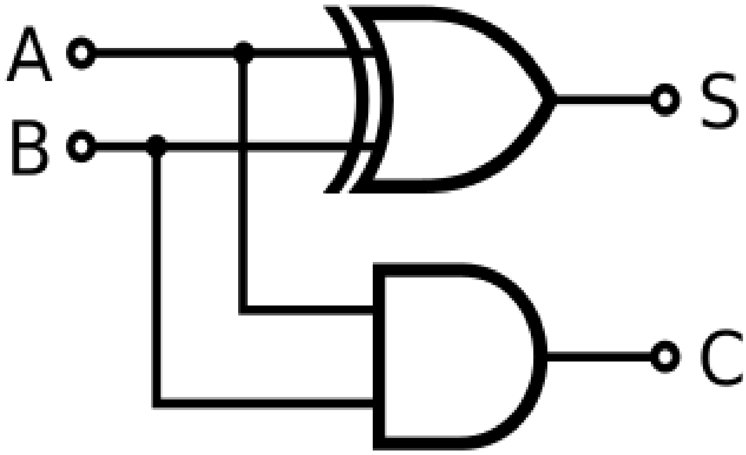


图 1-11 加法器

S 代表和，C 代表进位。S 是异或的结果，A、B 相同为 0，不同为 1；C 是进位，是与的结果，只有当 A、B 都为 1 时为 1，其它都为 0。与伏羲的设计完全相同。

1.13 开关电路

实现逻辑运算的单元电路称为门电路（Gate Circuit）或逻辑门（Logic Gate）。门电路是数字集成电路中最基本的逻辑单元。常用的门电路在逻辑功能上有与门、或门、非门、与非门、或非门、与或非门、异或门等等。

在电子电路中，用高、低电平表示 1 和 0 两种逻辑状态。图 1-11 中的两个电路，说明了获得高、低输出电平的方法。

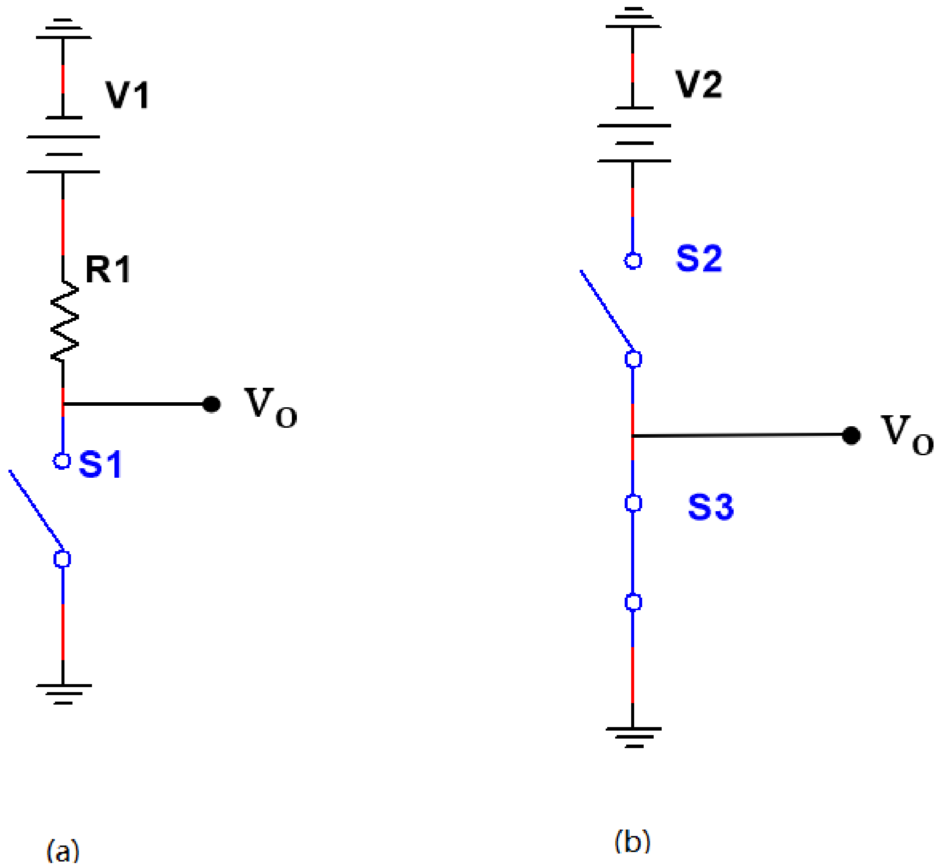


图 1-11 开关电路

如图所示，a 是单开关电路，当开关 S1 断开时，输出电压v_o为高电平（电源电压）；而当 S1 接通以后，输出便为低电平（为零）。

单开关电路的主要缺点是功耗比较大。当 S1 导通使v_o为低电平时，电源电压全部加在电阻 R1 上，消耗在 R1 上的功率为$V1^2/R$。为了克服这个缺点，将 a 中的电阻用开关代替，就形成了 b 所示的互补开关电路。在互补开关电路中，S2 和 S3 两个开关同时开闭，并且状态相反。当 S3 接通时，S2 断开，则v_o为低电平；当 S2 接通，S3 断开，则v_o为高电平。无论v_o是高电平还是低电平，S2 和 S3 总有一个是断开的，所以电流始终为零，电路的功耗极小。因此，这种互补式的开关电路应用非常广泛。

1.14 门电路

在数字电路中，门电路是数字电路的基本单元，很多复杂的数字电路都是由这些基本的单元组成的。最基本的门电路是与门、或门、非门。

这三种基本的逻辑门电路相互组合，可以实现复杂的逻辑运算。

门电路是这样的一种电路，它的输入输出只有两种状态，要么是 0，要么是 1，通常是这样规定的，1 为高电平，0 为低电平。

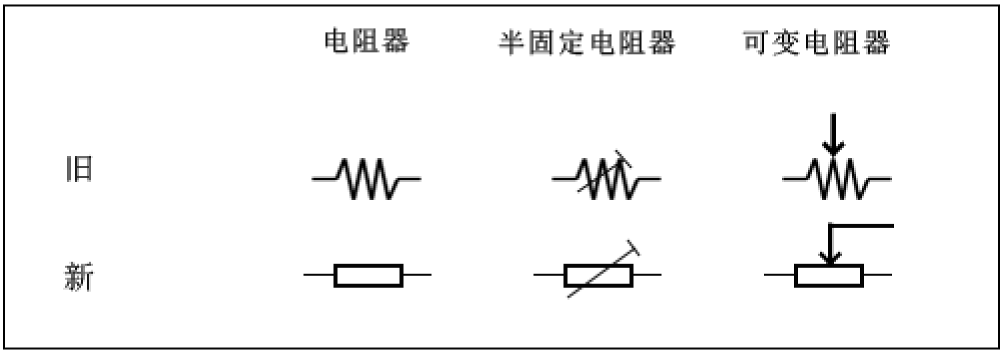
1.14.1　电子元件

1.14.1.1 电阻器

电阻器是具有特定电阻的电路元件。其外表色码标识出它的电阻值。制备电阻器所使用的原料有很多种；应该使用哪种原料，要视指定的电阻、能量耗散、准确度和成本等因素而定。

图 1-12 一个 6.5 MΩ 的电阻器

电阻器的符号如下：



1.14.1.2 二极管

二极管（英语：diode）又称二极体，具有单向导电性。它在一个方向为低电阻（理想情况下是零），高电流，而在另一个方向为高电阻。下图是硅二极管的微距照片，左端黑色方形物为半导体。

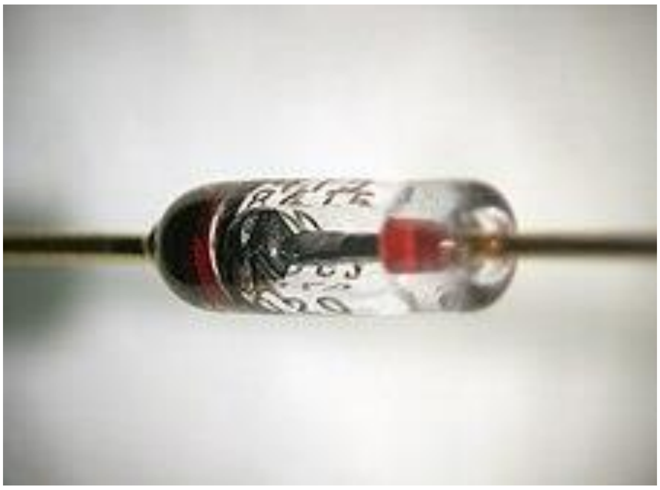
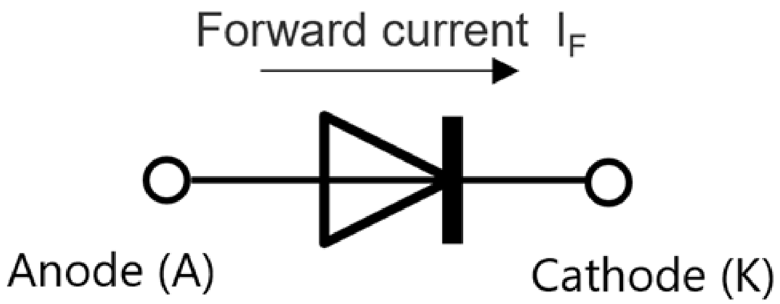


图 1-12 硅二极管

电路符号如下：

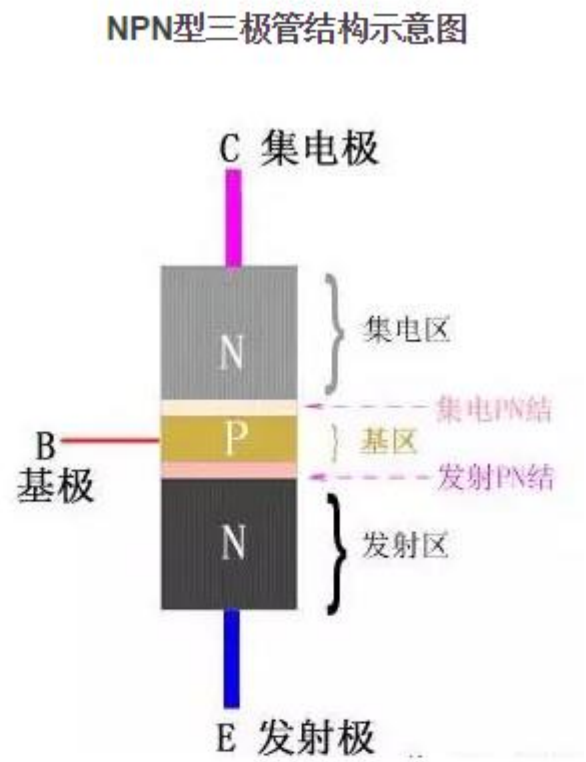


1.14.1.3 三极管

三极管是半导体基本元器件，具有电流放大作用，是电子电路的核心元件。

三极管的核心是“PN”结，两个背对背的 PN 结，可以是 NPN 组合，也可以是 PNP 组合。

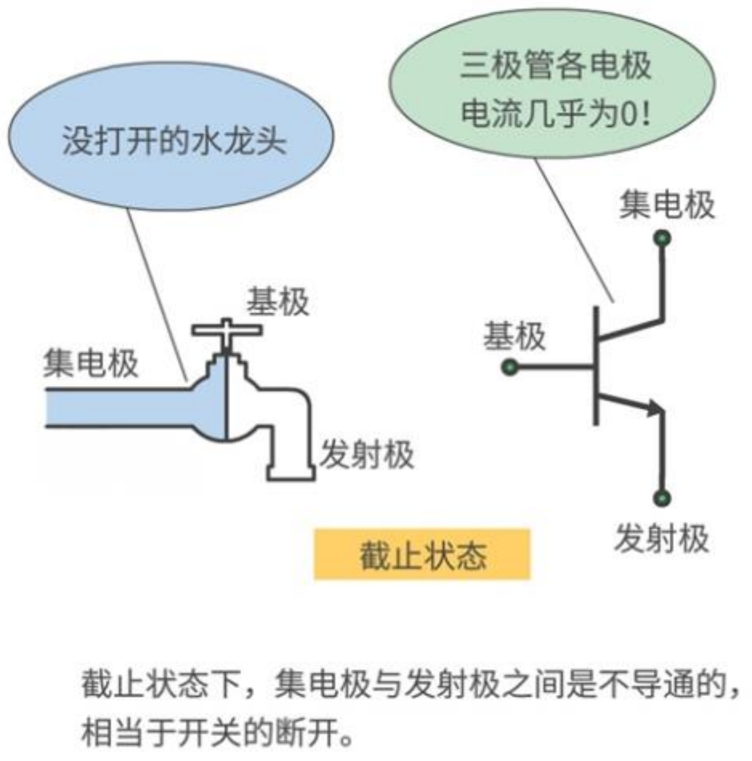
由于硅 NPN 型是当下三极管的主流，所以介绍一下它的结构。NPN 型三极管结构如下：



三极管有 3 种工作状态，分别是截止状态、放大状态、饱和状态。

三极管的截止状态，这应该是比较好理解的，当三极管的发射结反偏，集电结反偏时，三极管就会进入截止状态。

这就相当于一个关紧了的水龙头，水龙头里的水是流不出来的。

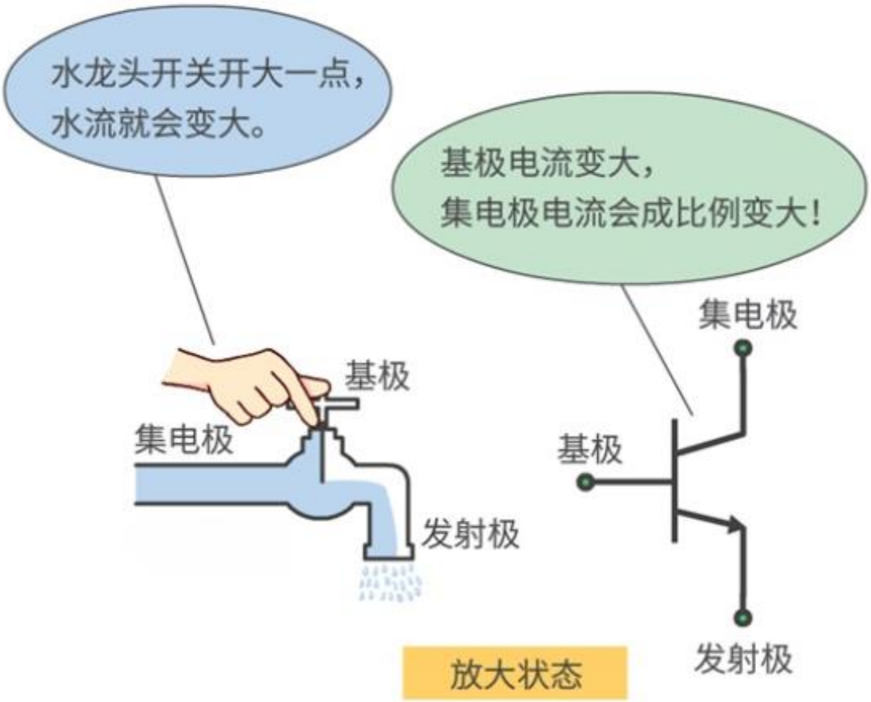


截止状态下，三极管各电极的电流几乎为 0，集电极和发射极互不相通。

当三极管发射结正偏，集电结反偏，三极管就会进入放大状态。

在放大状态下，三极管就相当于是一个受控制的水龙头，水龙头流出水流的大小受开关（基极）控制，开关拧大一点，流出的水就会大一点。

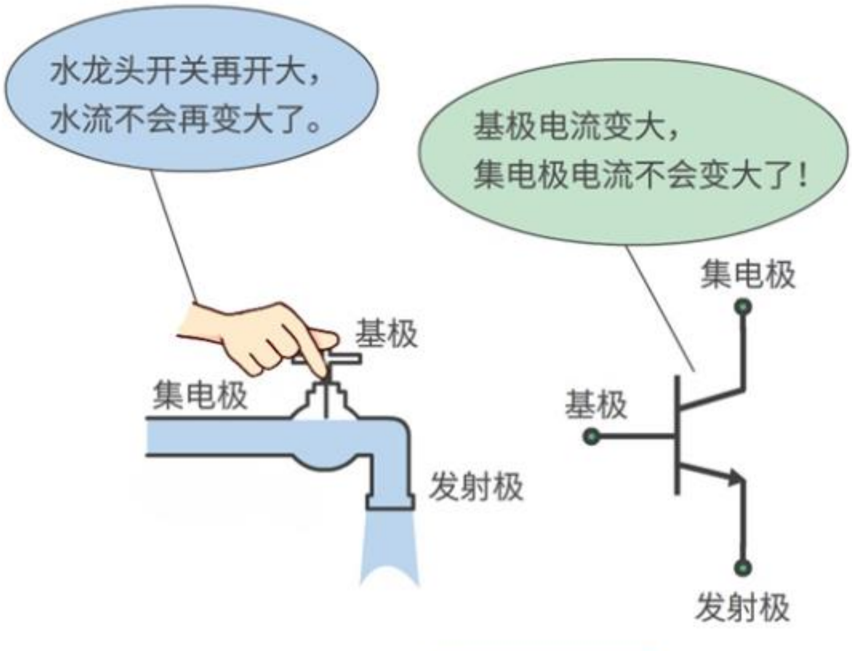
也就是放大状态下，基极的电流大一点，集电极的电流也会跟着变大！并且i_c与i_b存在一定比例关系，$i_c = \beta i_b$，β 是直流电流放大系数，标志着三极管放大能力的大小。



当三极管发射结正偏，集电结正偏时，三极管工作在饱和状态。

在饱和状态下，三极管集电极电流i_c的大小已经不受基极电流i_b的控制，i_c与i_b不再成比例关系。

饱和状态下的三极管基极电流i_b变大时，集电极电流i_c也不会变大了，这就相当于水龙头的开关已经开得比较大了，开关再开大时，流出的水流也不会再变大了。

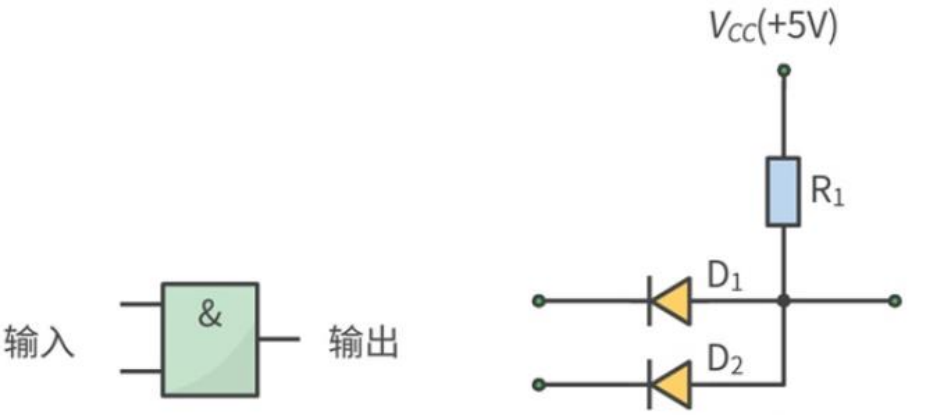


饱和状态下，集电极与发射极之间的电压降 UCE 很小，约 0.1V 左右，相当于开关的闭合。

三极管在电路中的使用，通常可以作放大器件（工作在放大状态），还有就是作无触点开关来使用（工作在截止、饱和状态）。

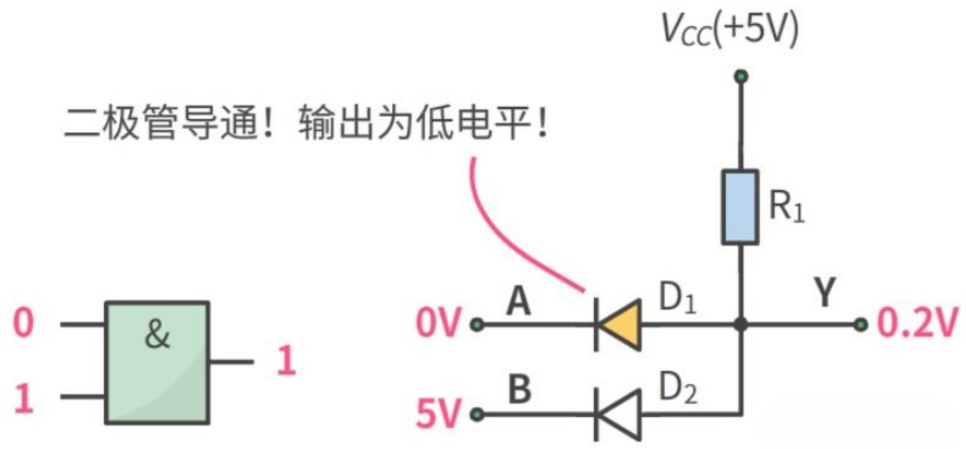
1.14.2 与门电路

与门电路能实现“与”逻辑关系，与门有两个以上的输入端，一个输出端，与门电路的逻辑符号如下图中 a 所示。

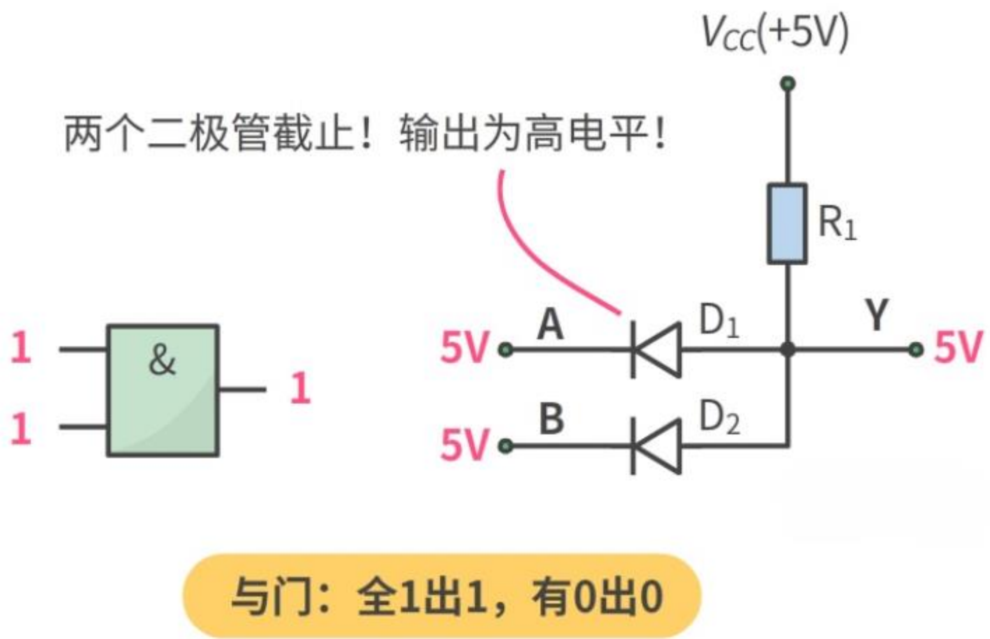


（a）与门电路符号　（b）电路图

与门电路可以由上图（b）的二极管和电阻器电路实现，与门电路的输入端都输入 1（高电平）时，输出端 Y 才会输出 1，否则输出端 Y 输出 0。



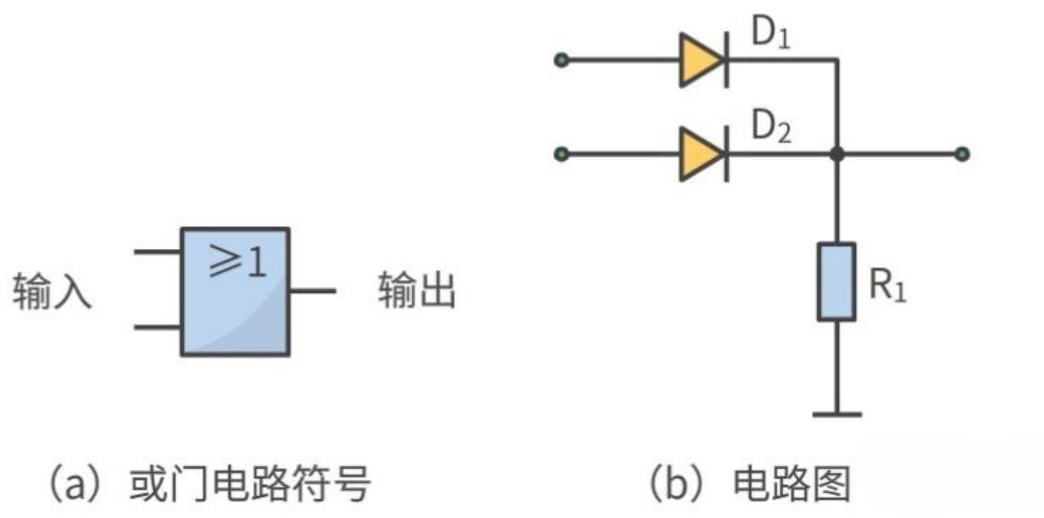
例如，在上图中，与门电路输入 0 和 1，假设电源电压为+5V，那 5V 就是高电平，0V 是低电平，只要其中任意一个二极管导通，输出端 Y 就会被钳位为 0.2V（低电平）。



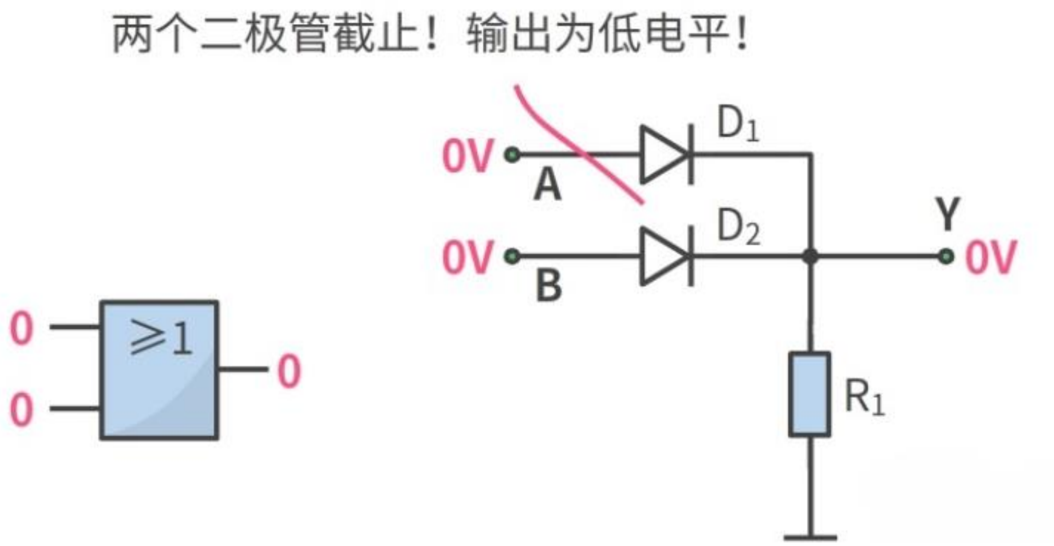
只有当两个二极管截止时，输出端 Y 才输出 5V（高电平），这就是与门。

1.14.3 或门电路

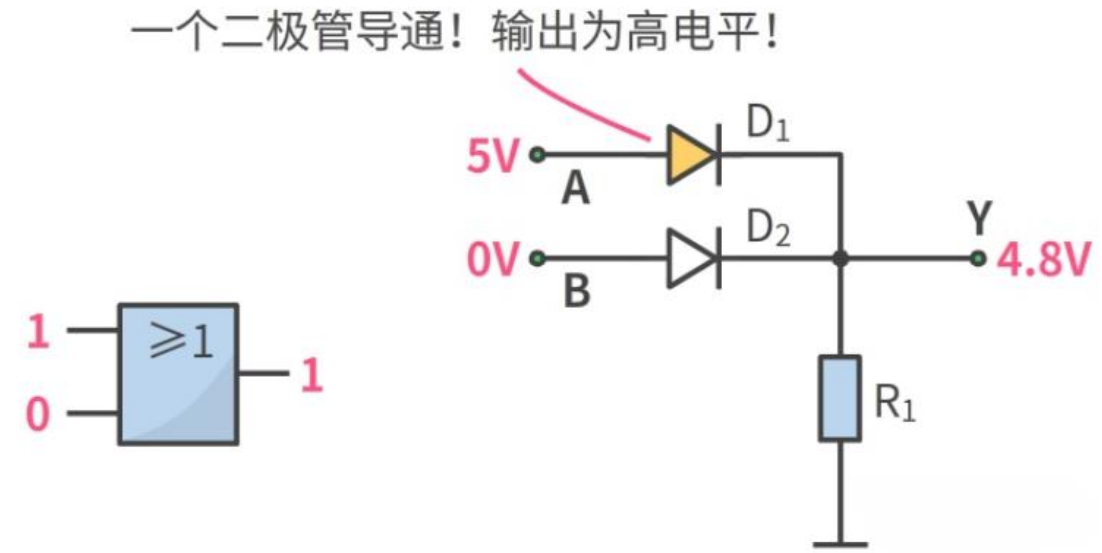
或门电路能实现“或”逻辑关系，或门电路的逻辑符号如下图中 a 所示。



或门电路可由上图（b）的电路实现，或门电路的输入端只要有一个为 1（高电平）时，输出端 Y 就会输出 1；当输入端都为 0 时，输出端 Y 输出 0。



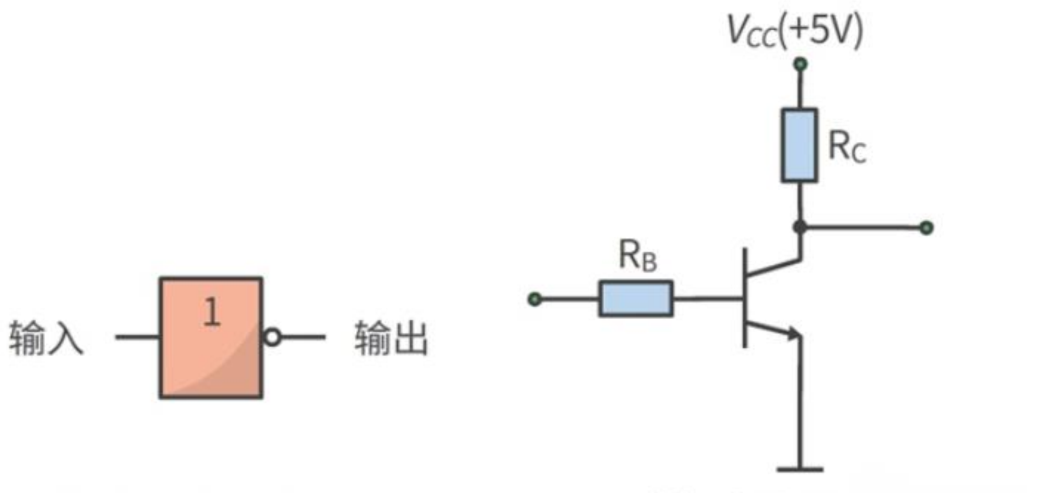
例如，在上图中，当输入低电平（0V）时，两个二极管截止，输出端为低电平。



而当输入端的输入任意一个为高电平（1）时，就会有一个二极管导通，输出端 Y 就会钳位为高电平（4.8V），这就是或门。

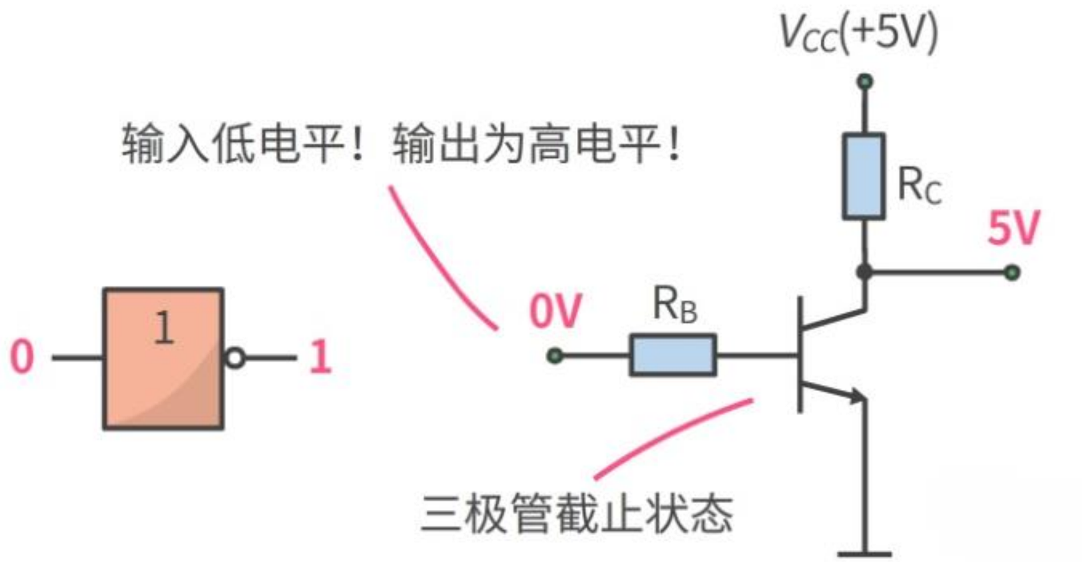
1.14.4 非门电路

非与门电路能实现“非”逻辑关系，非门只有一个输入端，一个输出端，非门电路的逻辑符号如下图中 a 所示。

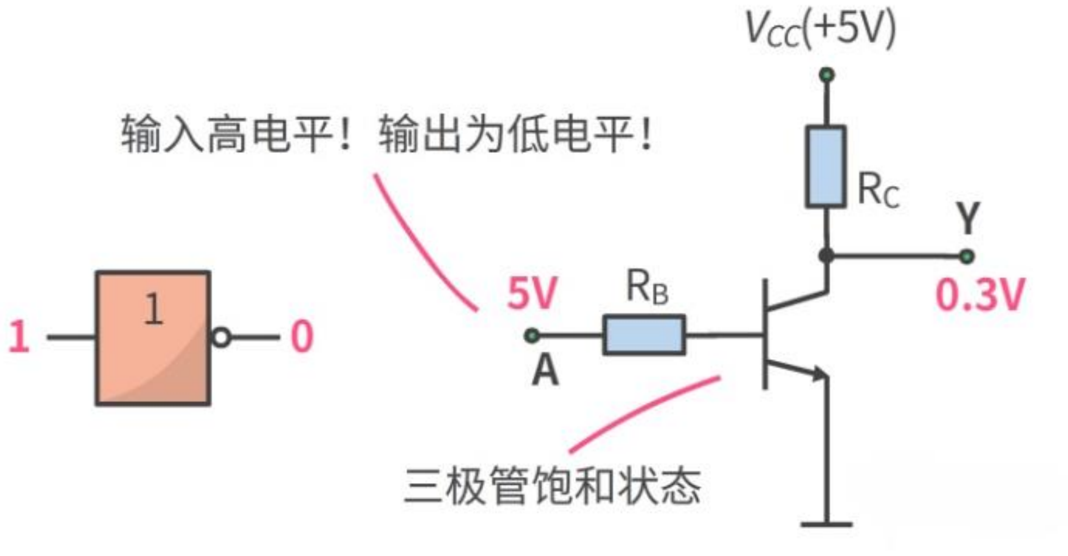


(a) 非门电路符号 (b) 电路图

非门电路可以由上图（b）的三极管电路来实现，当非门电路输入高电平（1）时，输出端会输出低电平（0）。



如上图所示，上图的三极管是 NPN 型三极管，当输入端输入 0V 时（低电平），三极管就会进入截止状态，输出端就会 5V（高电平）。



非门：0出1，1出0

而当输入端如果输入 5V 时（高电平），三极管会进入饱和状态，集电极和发射极压降很小，就像是开关闭合，所以输出端 Y 为低电平。