做中学

ADWIN

电子电路

[日] ADWIN株式会社 著　科创编辑部 译

数字电路

科学出版社

做中学 电子电路

数字电路

〔日〕ADWIN株式会社　著

科创编辑部　译

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是“做中学电子电路”系列教材的第二本，旨在引导读者通过电路制作、实验边做边学，在短时间内掌握电路基础知识。

全书分为32个学习实验步骤，内容涵盖二进制、逻辑运算与真值表、数字电路实验、德摩根定律、有线连接、RS触发器、D触发器、抢答器、计数器、环形计数器、JK触发器、7段显示器电路、BCD计数器、NE555的应用、直流电机控制、往返控制电路。

本书可用作本科和高职高专院校的电子技术专业教材，也可用作科技教育、创客教育培训教材。

All rights reserved.
Originally published in Japan by ADWIN Corporation.
Chinese (in simplified character only) translation rights arranged with ADWIN Corporation.
キットで遊ぼう電子回路 No.3：基本編 vol.1　978-4903272078
キットで遊ぼう電子回路 No.4：基本編 vol.2　978-4903272092

图书在版编目（CIP）数据

做中学电子电路：数字电路 /（日）ADWIN 株式会社著；科创编辑部译 .—北京：科学出版社，2019.1

ISBN　978-7-03-059646-8

Ⅰ.做…　Ⅱ.①A…　②科…　Ⅲ.数字电路　Ⅳ.①TN7

中国版本图书馆CIP数据核字（2018）第260753号

责任编辑：杨　凯　潘玉卿 / 责任制作：魏　谨
责任印制：张克忠 / 封面制作：张　凌

北京东方科龙图文有限公司 制作
http://www.okbook.com.cn

科 学 出 版 社 出版
北京东黄城根北街16号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com

三河市春园印刷有限公司 印刷

科学出版社发行　各地新华书店经销

*

2019年1月第　一　版　　开本：787×1092　1/16
2019年1月第一次印刷　　印张：7 1/4
字数：90 000

定价：68.00元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

前言

如今，科学技术取得了惊人的进步，但在教育领域，笔者认为学习方法和教育方法几乎没有变化。学生不爱学习只是其中的部分原因，教师也存在一定的问题。最终导致学生的个人潜能未能充分发挥，非常可惜。

那么，有没有让学生在短时间内掌握本质、发现兴趣点、独立学习的学习方法和教育方法？在体育界，为了培养奥运选手，人们不断研究出了各种科学训练方法。但笔者认为，在技术教育领域，教材和教育方法的开发还远远不够，可以说几乎没有进步。虽然有教育学这样的学科，但是笔者认为它没有取得本该有的成就。

现在，硬件学习不再是从前师父单独指导弟子的学习方式，网络等各种方式都被运用了起来。但是，只是学习方式发生了变化，重要的教育方法仍然处于原始时代。

笔者认为，有学习欲望，却因没有得到合适的指导而被冠以“差生”称谓的年轻人也很多。

革新之路还很漫长。

与世界上其他国家相比，现在的日本对技术人员的评价总体来看相当低。企业引入大量技术人员，支撑起工业大国日本已成为历史。那么，现在又如何呢？

电子产品深入家庭生活，大量物美价廉的商品从中国等国家流入日本，冲击了本国的市场。产业重组风暴席卷日本，曾经支撑国家的技术人员被大量裁员。

企业自身的生存状况不容乐观，毕业后无法就业的年轻人也在增加。

笔者认为，自己的路要靠自己来开辟。

本系列教材的目的是让大家掌握开辟道路所需的有力武器——电子技术人员的基本能力。

最后，衷心感谢购买本书的各位读者。今后也请各位多多关照。

ADWIN 株式会社　董事长

答岛一成

目录

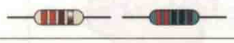
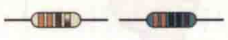
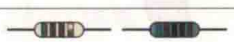
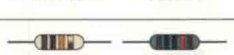
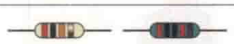
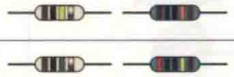
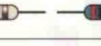
零件清单 …… 1

STEP 01 计算机理解的语言 …… 2
STEP 02 二进制 …… 3
STEP 03 逻辑符号和真值表 …… 7
STEP 04 非门实验电路 1 …… 9
STEP 05 数字 IC：TTL 和 CMOS …… 12
STEP 06 数字 IC 的内部结构 …… 17
STEP 07 非门实验电路 2 …… 18
STEP 08 数字 IC 的特性 …… 20
STEP 09 非门实验电路 3 …… 23
STEP 10 与非门 …… 26
STEP 11 使用与非门的电路实验 …… 28
STEP 12 或非门 …… 34
STEP 13 使用或非门的电路实验 …… 36
STEP 14 德摩根定律 …… 39
STEP 15 有线连接（线与和线或） …… 42
STEP 16 RS 触发器 …… 47
STEP 17 D 触发器 …… 53
STEP 18 抢答器（D 触发器） …… 55
STEP 19 计数器（D 触发器） …… 62
STEP 20 环形计数器（D 触发器） …… 72

STEP 21 JK 触发器……74
STEP 22 7 段显示器……78
STEP 23 7 段显示译码器……81
STEP 24 BCD 计数器 IC……84
STEP 25 1 位 BCD 计数器……86
STEP 26 2 位 BCD 计数器……90
STEP 27 定时器 NE555……92
STEP 28 NE555 单稳态多谐振荡器……94
STEP 29 NE555 非稳态多谐振荡器……96
STEP 30 NE555 闪光电路……100
STEP 31 直流电机控制……103
STEP 32 往返控制电路……107

零件清单

本书所有的电子零件如下。此外，还要准备电烙铁和万用表。

	零件名称	备　注	型　号	数　量
	面包板		MB-102	1
	面包材	面包板接线用		若　干
	电阻器	220Ω	1/4 W	1
	电阻器	330Ω	1/4 W	1
	电阻器	510Ω	1/4 W	3
	电阻器	10kΩ	1/4 W	4
	电阻器	15kΩ	1/4 W	3
	电阻器	20kΩ	1/4 W	1
	电阻器	100kΩ	1/4 W	3
	电阻器	1MΩ	1/4 W	1
	电阻器	1.8MΩ		1
	排电阻	470Ω，7 单元 DIP 型	14 引脚 DIP	1
	可变电阻器	100kΩ VR		3
	LED	红　色		4
	CdS 单元			3
	薄膜电容器	0.1μF	1S1588	1
	7 段 LED			1
	电解电容器	10μF		1
	拨动开关	单刀双掷		1
	轻触开关			3
	数字 IC	十六进制反相器		1
	数字 IC	2 输入或非门		1
	数字 IC	2 输入或非门		1
	数字 IC	D 触发器	74HC74	2
	数字 IC	4 位上 / 下计数器	74HC193	1
	数字 IC	定时器	NE555	1
	电池盒	5 号 ×4（6V）		1

注：以上零件可能在没有预告的情况下变更，敬请谅解。

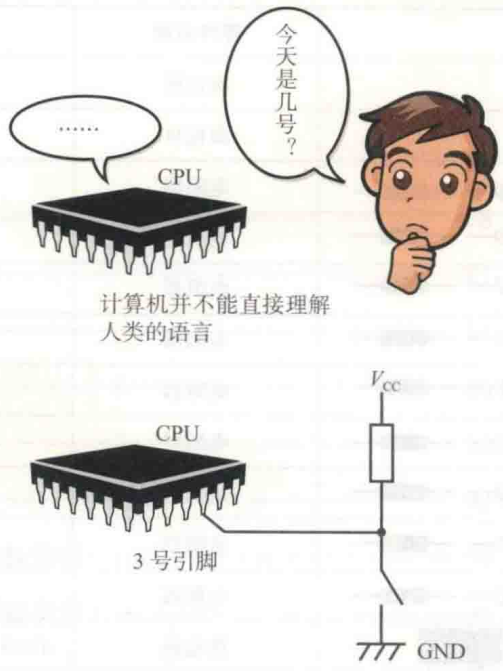
STEP 01　计算机理解的语言

AI（人工智能）能够与人类对话，看起来可以理解人类的语言，但事实上，AI的CPU（中央处理器）并不能直接理解人类的语言。

CPU理解外界的状况，只知道几号信号输入引脚是H（高电平）还是L（低电平）。也就是说，只能做二选一。

如右图所示，开关开通时，3号引脚接地，为低电平（L）；关断时，3号引脚接V_{CC}，为高电平（L）。由此可知，对CPU而言，只要知道3号引脚的电压，就能知道开关状态。

计算机理解人类的语言，归根结底就是快速重复进行H和L的区分。而这也正是数字技术的关键。



计算机理解的语言

数字和模拟

数字万用表和模拟万用表有什么区别？

Digital（数字的）来自英语digit，digit是手指或脚趾的意思，是可以数清的。于是，数字万用表的读数直接显示。

Analog（模拟的）有相似的意思。模拟万用表的表针摆动幅度与电压的大小成正比，电压越大，表针的摆动幅度相应地越大。读数需要参照刻度。

两者各有特点，CPU内部的控制计算是数字的，最终与人交互的界面，如扩音器（声音）和显示器（图像）等是模拟的，可以这样区分。

数字和模拟

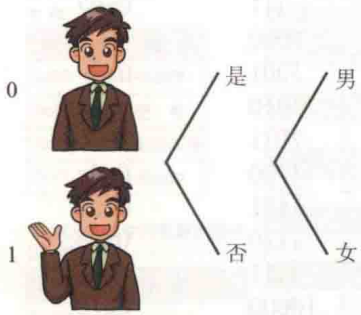
STEP 02　二进制

仅靠区分 H 和 L 两种状态，为什么就能够实现复杂的处理？

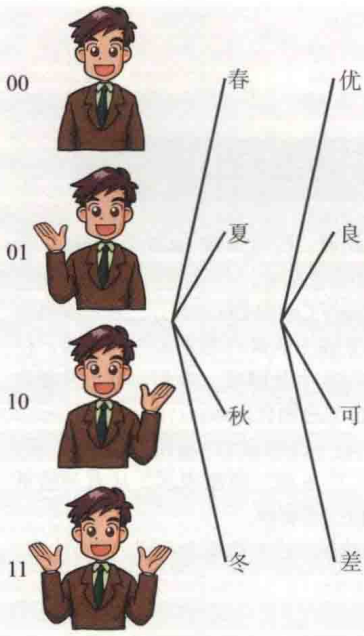
如下图所示，右手的举起和放下可以表示 2 种信息。例如，“赞成意见的人请举手”可以表示是否赞成，“男生请举手”可以区分性别。

如果使用右手和左手，则可以表示 4 种信息。

如果用章鱼的腿来表示，8 条腿可以表示 256 种信息。手的举起和放下、H 和 L，可以称为二进制信息。可以用数字 0 和 1 来表示二进制。此外，也可以用英文字母表示二进制符号（ASCII 码等）。



右手的举起和放下，可以表示 2 种信息（2^1=2）。

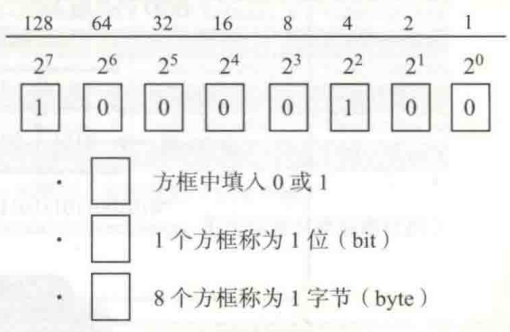


双手的举起和放下，可以表示 4 种信息（2^2=4）

二进制编码（二进制符号）的作用

位（bit）和字节（byte）

如右图所示，8 个方框并排，方框内只能输入 0 或 1，1 个方框称为 1 位（bit），1 位可以表示 2 种信息。集合 8 个这种方框，称为 1 字节（byte），就是表示计算机内存和硬盘容量的那个 byte。1byte 可以表示 256 种信息。方框相连，最右侧为 2 的 0 次方，也就是 1；最左侧为 2 的 7 次方，也就是 128。二进制的 10000100 表示的是十进制的 128+4=132。



位和字节

右图汇总了十进制、二进制、十六进制的关系。二进制从 0 到 1，变为 2 时无法使用 2 这个数字，进一位变为 10（读作一零）。十六进制中，十进制数的 10 是 a、11 是 b……以此类推，10~15 用字母 a~f 表示。4 位全部为 1 时，也就是十进制数 15；进一位，16 为 0x10。

十进制（Decimal）	二进制（Binary）	十六进制（Hexadecimal）
0	0	0x00
1	1	0x01
2	10	0x02
3	11	0x03
4	100	0x04
5	101	0x05
6	110	0x06
7	111	0x07
8	1000	0x08
9	1001	0x09
10	1010	0x0a
11	1011	0x0b
12	1100	0x0c
13	1101	0x0d
14	1110	0x0e
15	1111	0x0f
16	10000	0x10
…	…	…
20	10100	0x14
21	10101	0x15
22	10110	0x16

16+4+2=22　　16+6=22

二进制、十进制、十六进制

BCD 码

处理数字电路时，经常出现 BCD 码和 BCD 计数这样的词语。

BCD 码（Binary Coded Decimal，二进制编码的十进制数）通过 0 和 1 的排列来表示二进制数，位数变多，读取或写入十分困难。为此，将十进制数的各位分别用 4 位二进制数表示。

如下图所示，将十进制数 53776 用 BCD 码表示，分别将 5、3、7、7、6 用二进制表示，从右开始每位转换为 1 个 4 位二进制数。

BCD 码与纯粹的二进制数完全不同，需要注意。

BCD 码是用 4 位二进制数表示十进制数的各位。

例如 53776……

	5	3	7	7	6
BCD 码 →	0101	0011	0111	0111	0110

“01010011011101110110”读作零一零……（表示）

BCD 码

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

ASCII 码

再来介绍 ASCII 码。下图所示为代码表。

ASCII 码是用于计算机键盘的代码。例如，按下键盘的 a 键，输出十六进制数为 0x61（表示十六进制时要在前面加上 0x），按住 Shift 键时变为 0x41。

相反，计算机向屏幕传输字符“0x41”时，屏幕上显示 A。ASCII 码大小为 1 字节，可以显示 256 种信息。其中也包括了英文字母外的图形和退格键等控制符。这张表中还包含了八进制数，八进制数变为 8 时进一位，不使用 8 这个数字。

顺便，汉字是用 2 字节代码表示的。例如，汉字“亚”表示为 0x3021。

◆ ASCII 码概要

▼构 成

代码范围	内 容
0x00～0x1f	控制符
0x20	空 格
0x21～0x7e	图形符号
0x7f	控制符

▼ISO 646 中分配更改获得认可的字符

代 码	符 号
0x23	#
0x24	$
0x40	@
0x5b	[
0x5c	\
0x5d	]
0x5e	^
0x60	`
0x7b	{
0x7c	|
0x7d	}
0x7e	~

◆ ASCII 码表

字符	ASII码 十进制	八进制	十六进制	字符	ASII码 十进制	八进制	十六进制	字符	ASII码 十进制	八进制	十六进制	字符	ASII码 十进制	八进制	十六进制
NUL	0	00	0x00	SP	32	040	0x20	@	64	0100	0x40	`	96	0140	0x60
SOH	1	01	0x01	!	33	041	0x21	A	65	0101	0x41	a	97	0141	0x61
STX	2	02	0x02	"	34	042	0x22	B	66	0102	0x42	b	98	0142	0x62
ETX	3	03	0x03	#	35	043	0x23	C	67	0103	0x43	c	99	0143	0x63
EOT	4	04	0x04	$	36	044	0x24	D	68	0104	0x44	d	100	0144	0x64
ENQ	5	05	0x05	%	37	045	0x25	E	69	0105	0x45	e	101	0145	0x65
ACK	6	06	0x06	&	38	046	0x26	F	70	0106	0x46	f	102	0146	0x66
BEL	7	07	0x07	'	39	047	0x27	G	71	0107	0x47	g	103	0147	0x67
BS	8	010	0x08	(	40	050	0x28	H	72	0110	0x48	h	104	0150	0x68
HT	9	011	0x09	)	41	051	0x29	I	73	0111	0x49	i	105	0151	0x69
NL*	10	012	0x0a	*	42	052	0x2a	J	74	0112	0x4a	j	106	0152	0x6a
VT	11	013	0x0b	+	43	053	0x2b	K	75	0113	0x4b	k	107	0153	0x6b
NP	12	014	0x0c	,	44	054	0x2c	L	76	0114	0x4c	l	108	0154	0x6c
CR	13	015	0x0d	-	45	055	0x2d	M	77	0115	0x4d	m	109	0155	0x6d
SO	14	016	0x0e	.	46	056	0x2e	N	78	0116	0x4e	n	110	0156	0x6e
SI	15	017	0x0f	/	47	057	0x2f	O	79	0117	0x4f	o	111	0157	0x6f
DLE	16	020	0x10	0	48	060	0x30	P	80	0120	0x50	p	112	0160	0x70
DC1	17	021	0x11	1	49	061	0x31	Q	81	0121	0x51	q	113	0161	0x71
DC2	18	022	0x12	2	50	062	0x32	R	82	0122	0x52	r	114	0162	0x72
DC3	19	023	0x13	3	51	063	0x33	S	83	0123	0x53	s	115	0163	0x73
DC4	20	024	0x14	4	52	064	0x34	T	84	0124	0x54	t	116	0164	0x74
NAK	21	025	0x15	5	53	065	0x35	U	85	0125	0x55	u	117	0165	0x75
SYN	22	026	0x16	6	54	066	0x36	V	86	0126	0x56	v	118	0166	0x76
ETB	23	027	0x17	7	55	067	0x37	W	87	0127	0x57	w	119	0167	0x77
CAN	24	030	0x18	8	56	070	0x38	X	88	0130	0x58	x	120	0170	0x78
EM	25	031	0x19	9	57	071	0x39	Y	89	0131	0x59	y	121	0171	0x79
SUB	26	032	0x1a	:	58	072	0x3a	Z	90	0132	0x5a	z	122	0172	0x7a
ESC	27	033	0x1b	;	59	073	0x3b	[	91	0133	0x5b	{	123	0173	0x7b
FS	28	034	0x1c	<	60	074	0x3c	¥	92	0134	0x5c	¦	124	0174	0x7c
GS	29	035	0x1d	=	61	075	0x3d	]	93	0135	0x5d	}	125	0175	0x7d
RS	30	036	0x1e	>	62	076	0x3e	^	94	0136	0x5e	~	126	0176	0x7e
US	31	037	0x1f	?	63	077	0x3f	_	95	0137	0x5f	DEL	127	0177	0x7f

注：NL 是 New Line（换行）的缩写，也称为 LF（Line Feed）

ASCII 码（American Standard Code for Extended Information Interchange，美国信息交换标准代码）由美国国家标准学会（ANSI）制定。

注：来自 http://ew.hitachi-system.co.jp/p/r-ascii.html。

ASCII 码一览表

为了巩固之前的学习内容，来做一做下列题目吧！

做一做

在方框中填入 0 或 1。

① A 的 ASCII 码：

□□□□□□□□

②十进制 37 转换为二进制：

□□□□□□□□

③十进制 37 的 BCD 码：

□□□□□□□□

答案在第 10 页

问题 1

备 忘

STEP 03　逻辑符号和真值表

作为学习数字电路的第一步，已经对二进制的意义和作用进行了说明，接下来学习逻辑符号和真值表。

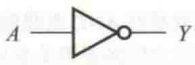
非门（NOT）

右图为非门在数字电路图中的逻辑符号，也称为反相器。

输入为 L 时，输出为 H。

输入为 H 时，输出为 L。

真值表中用 *A* 输入和 *Y* 输出来表示各种情况。



真值表	
A 输入	*Y* 输出
L	H
H	L

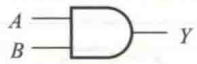
NOT

与门（AND）

右图所示为有 2 个输入的与门。

A 输入和 *B* 输入都是 H 时，*Y* 输出为 H。

在数字 IC 中，这样的输入不限于 2 个，也有 3 个以上的情况。



真值表		
A 输入	*B* 输出	*Y* 输出
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

AND

或门（OR）

右图所示为或门。

A、*B* 输入中有一个为 H，则 *Y* 输出为 H。

真值表		
A 输入	*B* 输出	*Y* 输出
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H

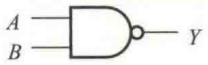
OR

STEP 03

逻辑符号和真值表

与非门（NAND）

右图所示为 NAND 电路。
简单来说就是在 AND 电路前加入了 NOT 电路。
输入、输出之间的逻辑关系见右图真值表。

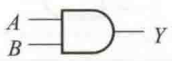


真值表		
A 输入	*B* 输出	*Y* 输出
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	H

与非门

数字电路中用线连接这些符号，形成电路图。

图（a）是电压为 H 或 L 的真值表。将 H 替换为 1，L 替换为 0 形成图（b）所示的真值表，是正逻辑。图（c）是将 H 替换为 0，L 替换为 1，是负逻辑。通常使用正逻辑，在这里只需要了解负逻辑的意思。



与门的功能在正逻辑和负逻辑中不同

真值表		
A 输入	*B* 输出	*Y* 输出
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

(a)

真值表（正逻辑为 AND 功能）		
A 输入	*B* 输出	*Y* 输出
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(b)

真值表（负逻辑为 OR 功能）		
A 输入	*B* 输出	*Y* 输出
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

(c)

正逻辑和负逻辑

答 案

在方框中填入 0 或 1。

① A 的 ASCII 码：

0 1 0 0 0 0 0 1

②十进制 37 转换为二进制：

0 0 1 0 0 1 0 1

③十进制 37 的 BCD 码中是：

0 0 1 1 0 1 1 1

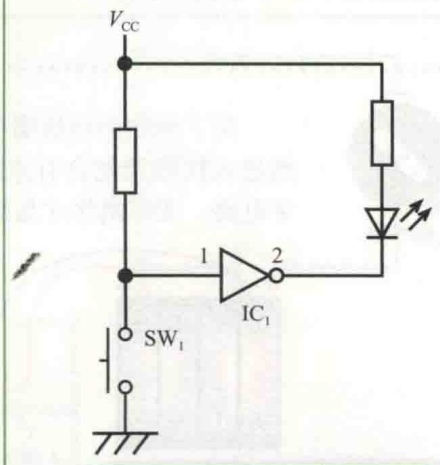
答 案

STEP 04　非门实验电路 1

终于要实际制作使用数字 IC 的实验电路了。

右图所示为非门的示例。SW_1 关断时，反相器 IC_1 的输入，1 号引脚为 V_{CC}，也就是 H，因此输出 2 号引脚为 L，电流流入 LED，LED 点亮。SW_1 开通时输入为 L，所以输出是 H，LED 熄灭。

本电路使用的 IC 是 TC74HC04AP 型 CMOS 反相器，下图所示为它的特性表。这个 IC 中有 6 个反相器。使用其中的 1 个。数字电路中 IC 的电源和地线（GND）不画在电路图上。但是实际上如顶视图所示，14 号引脚接电源，7 号引脚接地。



实验电路①：非门电路

TOSHIBA　TC74HC04AP/AF

东芝 CMOS 数字集成电路 硅单片

TC74HC04AP,TC74HC04AF

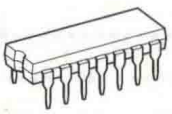
十六进制反相器

TC74HC04A 是采用了硅栅 CMOS 技术的高速 CMOS 反相器。利用 CMOS 的低功耗特性实现了与 LSTTL 相当的高速动作。

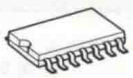
内部电路是带缓冲器的 3 级结构，可以得到高噪声裕度和稳定的输出。另外，所有的输入为了保护元件不受静电破坏，添加了二极管。

特　性

- 高速动作　：t_{pd} = 6ns（标准）（V_{CC} = 5V）
- 低功耗　：I_{CC} = 1μA（最大）（T_a = 25℃）
- 高噪声裕度　：$V_{NIH} = V_{NIL}$ = 28% V_{CC}（最小）
- 高扇出　：可以直接驱动 10 个 LSTTL
- 对称式输出阻抗　：$|I_{OH}| = I_{OL}$ = 4mA（最小）
- 平衡延迟时间　：$t_{pLH} \approx t_{pHL}$
- 工作电压范围大　：V_{CC}（opr）=2~6V
- 与 LSTTL（74LS04）的引脚相同，具有相同功能

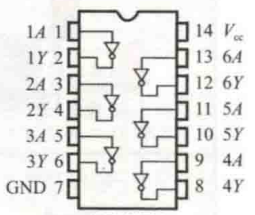


P（DIP14-P-300-2.54）
质量：0.96g（标准）



P（SOP14-P-300-1.27）
质量：0.18g（标准）

引脚图



（顶视图）

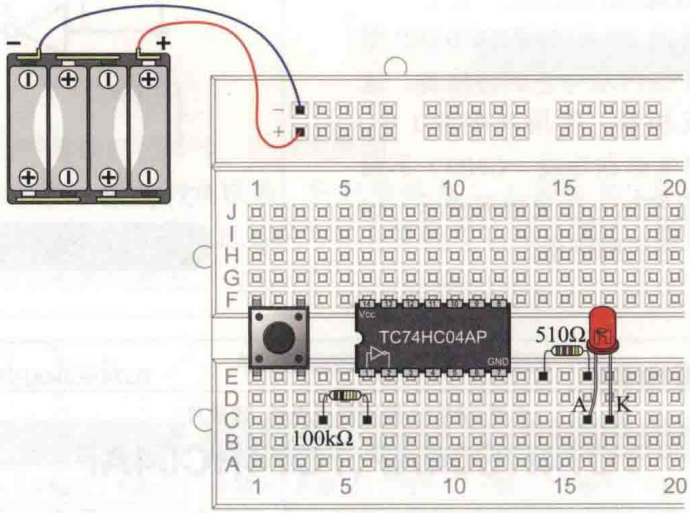
TC74HC04AP 的数据表

STEP 04 非门实验电路 1

实验电路①：非门电路的接线

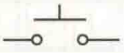
做一做

在下面的面包板图中画出图 13 的电路图接线，完成实物接线图。突然进入接线课题会有点困难，不过动手操作有助于理解和记忆。学习数字电路，实际制作才是捷径。

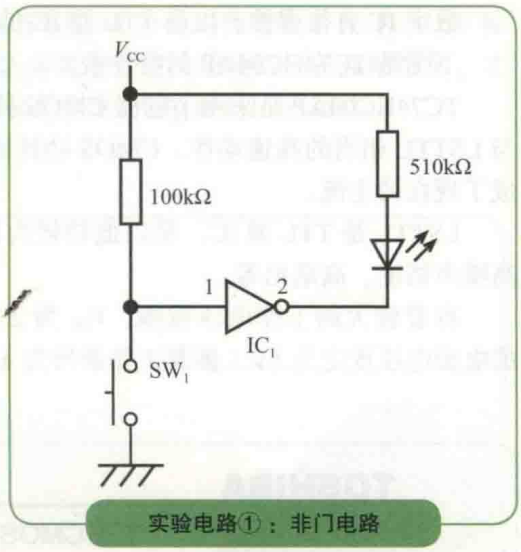


实验电路①：非门电路

专 栏

名 称	符 号	说 明
电阻器		用来控制电流 电阻值越大，电流越难流动 单位是欧姆（Ω）
LED		LED（Light-Emitting Diode，发光二极管）是二极管（整流器）的一种，电流在其内只能朝一个方向流动，具有极性
轻触开关		直接安装在基板上使用，建议用万用表确认导通情况

通过 SW_1 的开 / 关，LED 亮 / 灭了吗？首次制作数字电路，我们使用了 TC74HC04AP。虽然电路很简单，但作为初次制作的数字电路，还是有一些值得学习的地方。



实验电路①：非门电路

（1）在开关 SW_1 开通时，IC_1 的输入 1 号引脚接 GND，也就是 L。所以，输出 2 号引脚为 H，电流不会流入 LED，LED 不亮。此时电流流入 100kΩ 电阻，假如 V_{CC} 为 5V，那么电路中的电流为 0.05mA。

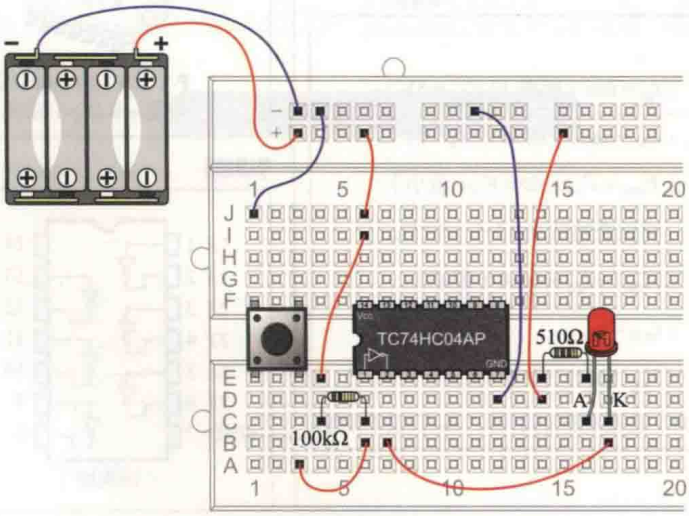
（2）开关 SW_1 关断时，IC_1 的输入 1 号引脚通过 100kΩ 电阻接电源。此时，输入 1 号引脚无电流流入（最大 1μA）。

（3）这时，输出 2 号引脚为 L，电流流入 LED，LED 点亮。

（4）电路图中没有画反相器的电源和地线。TC74HC04AP 中含有 6 个反相器单元，将 TC74HC04AP 的 7 号引脚接地、14 号引脚接电源，电源可以给所有元件供电。

（5）输出 2 号引脚为 L 时能输出电压的大小和流入 LED 的电流的大小等类似的数字电路的基本研究可通过这个简单电路进行。

下面是“做一做”的答案。尽量自己实际进行实验。



答 案

实验电路①：非门电路

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com