

# CMOS 集成电路入门

基本原理、应用电路和故障对策

〔日〕 铃木八十二 著

王志宏 译

唐泽荷 校



机械工业出版社

本书介绍了 CMOS 集成电路的基本原理及其应用电路，如逻辑门、振荡、运算、计数等电路，并对 CMOS 集成电路的接口方法、使用注意事项和故障对策作了较详细的讨论和分析。最后还列出了国外部分公司的主要产品型号表，以便于读者参考。

本书可供科研、生产等单位中从事电子技术的工程技术人员和大专院校有关专业的师生参考。

## CMOS デバイスの徹底入門 CMOS ロジックの基本，応用，トラブル対策

鈴木八十二 著  
産報出版株式会社

1982

\* \* \*

## CMOS 集成电路入门 基本原理、应用电路和故障对策

〔日〕 鈴木八十二 著

王志宏 译  
唐泽荷 校

\*

责任编辑：严蕊琪 版式设计：胡金瑛  
封面设计：王伦 责任校对：陈松

\*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

\*

开本 787×1092  $1/32$ ·印张 5  $5/8$ ·字数 119 千字  
1989 年 3 月北京第一版·1989 年 3 月北京第一次印刷  
印数 0,001—3,650·定价：4.25 元

\*

ISBN 7-111-00049-8/TP·5

## 原 序 (节译)

现在工业上都在使用集成电路 (IC)和大规模集成电路 (LSI),但是要把它们说成是工业上的粮食,还为时过早。CMOS组件在1963年生产于美国,由于其在耗电、噪声和电源电压等方面比其它器件优越,所以不久就商品化了。目前生产的标准CMOS逻辑系列产品,一般说来易于买到,其应用范围也在逐年扩大。

虽然CMOS组件的应用范围很广,但在实际应用中却常听到使用者认为“使用困难”、“容易损坏”等意见。这多半是因为结构上的自锁和静电感应以及大电流浪涌等的影响而形成的损坏,另一原因是缺乏关于CMOS逻辑电路从基本应用到故障排除的说明书。

本书是把以前连载于《电子科学》杂志中的《CMOS组件的彻底入门》汇总整理而成。在整理过程中着眼于CMOS逻辑电路的使用方法,并力求通俗易懂。

本书第一章说明CMOS组件中每个MOS管的特性和结构,以及CMOS组件的特性和结构等;第二章说明查阅产品目录的方法和使用时的注意事项;第三章叙述考虑温度特性时的CMOS门的使用方法;第四章说明与各组件间的接口技术;第五章说明各种集成运算电路的使用方法;第六章说明各种集成计数器的运用;第七章从原理和结构说明自锁现象,并叙述了其处理方法,还对CMOS逻辑系列的种类进行了介绍和说明。

由于本书是CMOS组件的入门书，所以逻辑电平的表示方法各章有所不同，阅读时请注意：当主要叙述产品时，以高电平、低电平表示逻辑电平；但是在说明基本结构和布尔代数时，又以“1”电平、“0”电平来表示逻辑电平。

铃木八十二 1980年5月

# 目 录

<b>第一章 CMOS 的基础知识</b> .....	1
1.1 为什么叫 CMOS? .....	1
1.2 CMOS 的结构怎样? .....	2
1.2.1 单沟道 MOS 的结构 .....	2
1.2.2 CMOS 的结构 .....	5
1.3 CMOS 的工作原理 .....	6
1.4 CMOS 的优点 .....	8
1.4.1 功耗小 .....	8
1.4.2 噪声容限大, 抗干扰能力强 .....	12
1.4.3 可在单电源下工作, 电源电压范围宽 .....	15
1.4.4 输入阻抗高, 具有电容性 .....	16
1.4.5 可获得高集成度, 适用于大规模集成电路 (LSI) .....	17
1.4.6 价格低, 有利于系统装置 .....	18
<b>第二章 掌握和使用 CMOS 逻辑电路</b> .....	20
2.1 产品目录使用的术语及其说明 .....	20
2.1.1 最大定额 .....	21
2.1.2 电气特性 .....	21
2.2 产品的个别参数及其说明 .....	29
2.2.1 逻辑门 .....	31
2.2.2 触发器 .....	34
2.2.3 模拟开关 .....	46
2.3 设计电路的注意事项 .....	52
2.3.1 对策的基本设想 .....	52
2.3.2 具体对策实例 .....	52
<b>第三章 很好地掌握使用 CMOS 门振荡器</b> .....	57

3.1	在施密特触发器中的应用	57
3.2	在 RC 振荡器中的应用	61
3.2.1	多谐振荡器	61
3.2.2	单稳态触发器	72
3.3	在 LC 振荡器中的应用	76
3.4	在晶体振荡器中的应用	87
<b>第四章 很好地使用 CMOS 接口电路</b>		<b>82</b>
4.1	很好地使用 CMOS 相互间的接口电路	82
4.1.1	扇出和扇入的关系	82
4.1.2	“线或”逻辑的接口电路	85
4.1.3	三态缓冲器的接口电路	89
4.2	与 PMOS、NMOS 如何接口?	92
4.2.1	CMOS $\leftrightarrow$ PMOS	92
4.2.2	CMOS $\leftrightarrow$ NMOS	94
4.3	巧妙地进行 CMOS 与 TTL 接口	95
4.3.1	TTL 特性表	95
4.3.2	CMOS $\rightarrow$ TTL	95
4.3.3	TTL $\rightarrow$ CMOS	98
4.4	与分立元件的接口	99
4.5	与开关触点的接口	101
4.5.1	由电容和电阻消除自激振荡	101
4.5.2	由 R-S 触发器消除自激振荡	101
4.6	与显示元件的接口	103
4.6.1	与发光二极管的接口	103
4.6.2	与液晶元件的接口	105
<b>第五章 很好地使用 CMOS 运算逻辑</b>		<b>110</b>
5.1	由逻辑运算方式形成的 CMOS 逻辑电路	110
5.1.1	一致、不一致检出电路	110
5.1.2	多数表决逻辑电路	112

5.1.3	奇偶校验电路 .....	115
5.1.4	比较电路 .....	116
5.2	算术运算方式的 CMOS 逻辑电路 .....	120
5.2.1	加法电路 .....	121
5.2.2	减法电路 .....	125
5.2.3	乘法运算方式 .....	126
5.2.4	除法运算方式 .....	128
5.3	很好地使用 CMOS 运算逻辑电路 .....	129
5.3.1	传输延迟时间的故障对策 .....	129
5.3.2	“竞争冒险”的对策 .....	130
5.3.3	运算误差及其检测 .....	130
第六章	很好地使用 CMOS 计数器 .....	131
6.1	各种集成计数器 .....	131
6.1.1	集成计数器的分类 .....	131
6.1.2	异步型 2 进制计数器 .....	131
6.1.3	同步型 4 位计数器 .....	133
6.1.4	多位 BCD 码 10 进制计数器 .....	134
6.1.5	其他计数器 .....	135
6.2	集成计数器的应用 .....	136
6.2.1	异步型计数器 .....	136
6.2.2	同步型 4 位计数器 .....	137
6.2.3	多位 BCD 码 10 进制计数器 .....	139
6.2.4	其他计数器 .....	141
6.3	很好地使用集成计数器 .....	142
6.3.1	异步型计数器的竞争冒险 .....	142
6.3.2	环形计数器 .....	143
6.3.3	低速时钟 .....	144
6.3.4	最大频率 .....	145
第七章	CMOS 集成电路的自锁现象及其对策 .....	147

7.1 自锁现象及其对策 .....	147
7.1.1 CMOS 集成电路的寄生结构及其等效电路 .....	147
7.1.2 自锁现象 .....	149
7.1.3 自锁强度测试和故障对策 .....	150
7.1.4 自锁对策 .....	154
7.2 CMOS 集成电路类型一览表 .....	156
参考文献 .....	170



# 第一章 CMOS的基础知识

目前CMOS组件以其功耗小、可以单电源驱动等优点在MOS集成电路中占领先地位，而且是完全定型了的组件，但由于电路复杂，工序多，静电、浪涌等的破坏，还有电路易于出现使用不当和自锁现象，常可以听到使用者提出的“使用难”“容易坏”等意见。

本书针对这些问题，介绍CMOS的应用实例，在叙述CMOS使用方法的同时，也考虑了故障的对策，介绍力求通俗易懂，使初次使用CMOS组件的人也可以充分了解。

第一章是基础篇，以CMOS的结构为中心，叙述其特点。

## 1.1 为什么叫CMOS?

CMOS是Complementary Metal Oxide Semiconductor的简称，意义为互补型金属氧化膜半导体。

这个名词什么时候产生的呢?

研究CMOS的万勒斯(Wanlass)一开始把这种器件称为Complementary Field Effect Circuitry (互补型场效应电路)，后来又称之为Complementary Symmetry MOS Transistor Circuits (互补对称型金属氧化物半导体晶体管电路)，以后就简称CMOS。

CMOS的逻辑系列商品示于表1.1，附有COS/MOS(RCA公司)，Mc-MOS(Motorola公司)，C<sup>2</sup>MOS(东芝)

8910157

表1.1 各公司的CMOS标准逻辑系列商品名称的例子

符 号 和 全 称	译 名
①COS/MOS……Complementary Symmetry/Metal Oxide Semiconductor	④互补对称半导体/金属氧化物半导体
②McMOS……Motorola Complementary Metal Oxide Semiconductor	⑤莫托洛拉公司的互补金属氧化物半导体
③C <sup>2</sup> MOS……Clocked Complementary Metal Oxide Semiconductor	⑥时钟互补金属氧化物半导体

等产品。

## 1.2 CMOS的结构怎样?

CMOS是由不同类型的N沟道MOS管(简称N-MOS管)和P沟道MOS管(简称P-MOS管)所构成,前者作为驱动MOS管,后者作为负载MOS管,所以,CMOS有其独特的优点。

### 1.2.1 单沟道MOS的结构

要了解CMOS,必须先了解单沟道MOS管。

单沟道MOS的结构示于图1.1,在掺磷的P型硅衬底(基片)上,作出两个很接近的N型扩散层,在其上生长硅氧化膜,再喷上(蒸发)一层金属(如铝)作电极。

两个N型扩散层上的铝分别为漏极和源极,其间的硅氧化膜层上的铝为栅极,这样构成了N沟道MOS管,如图1.1 a所示。

若在这种结构的栅极上相对于衬底(基片)加正电压,则栅极下的硅表面就N型化,形成一个N型层,在漏-源两极间产生电流通路(沟道)。

若栅极电压为某值,如图1.1 b那样,则漏极、源极之

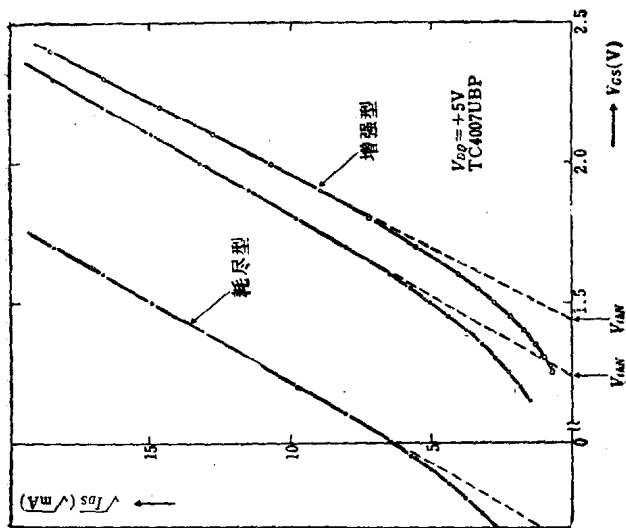
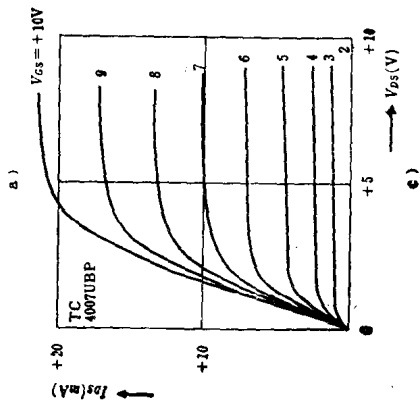
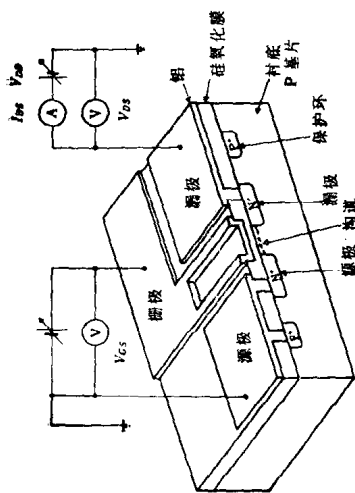


图 1.1 N-MOS 管的结构和典型特性  
 a) N-MOS 管的结构 b) N-MOS 管的输入  
 ( $V_{GS}-I_{DS}$ ) 特性 c) N-MOS 管的输出  
 ( $I_{DS}-V_{DS}$ ) 特性

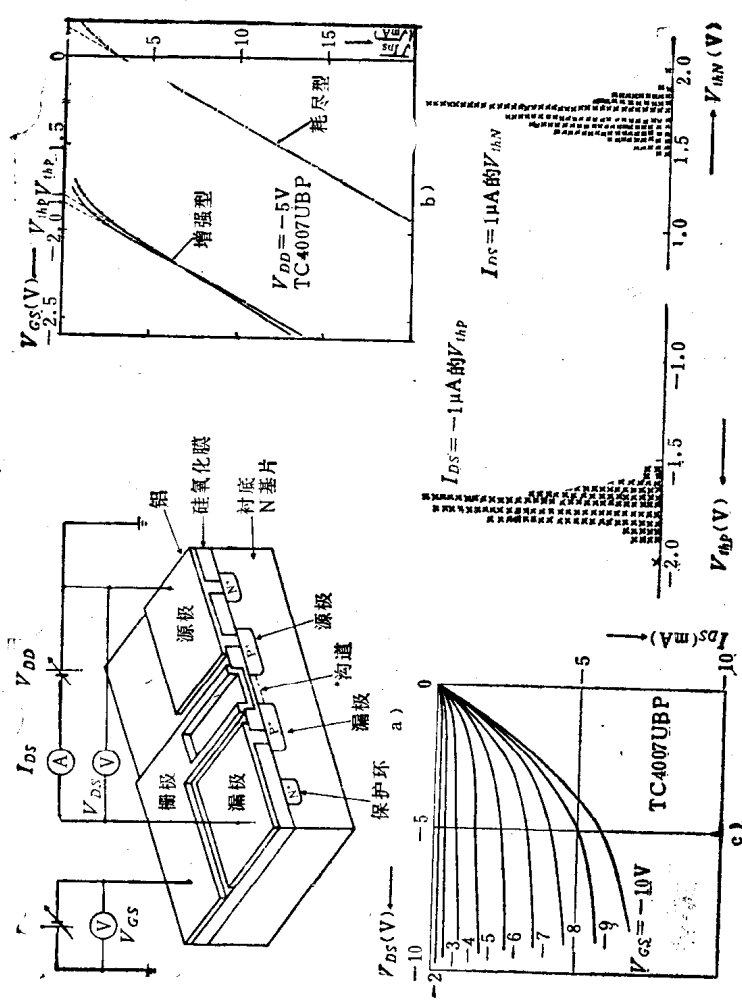


图1.2 P-MOS管的结构和典型特性  
 a) P-MOS管的结构 b) P-MOS管的输入 ( $V_{GS}-I_{DS}$ ) 特性 c) P-MOS管的输出 ( $I_{DS}-V_{DS}$ ) 特性  
 d) N-MOS管、P-MOS管的元件阈值电压离散例子 (TC4011BP)

间开始流过电流。此时的栅极电压定义为N-MOS管的元件阈值电压( $V_{thN}$ )。此电压若为足够的正电压,则漏-源两极间为低阻抗。相反,栅极相对衬底电极没有电位差时(栅极电压0V时),MOS管截止,漏-源两极间为高阻抗,此MOS管称为增强型MOS管。

这种MOS管的输出特性示于图1.1c。

相对于增强型MOS管(如图1.1b所示),若栅极电压由0V变到正电压仍不截止,则这种MOS管称为耗尽型MOS管。耗尽型MOS管除特殊的场合外,一般不用于CMOS。

P-MOS管也有完全同样的结构。P-MOS管栅极电压相对衬底电极若为负电压,则栅极下面的硅表面就P型化,形成P型层,产生电流通路(沟道),漏-源两极之间流过电流。这样P-MOS管与N-MOS管工作的栅极电压具有完全相反的极性,由这样的P-MOS管和N-MOS管就构成了CMOS管。P-MOS管的结构和特性示于图1.2。

上述单沟道MOS管是使栅极下面的硅表面反型层流过电流的组件,N-MOS管的沟道(反型层)由电子构成,P-MOS管的沟道由空穴构成,这些电子和空穴都称为载流子。

构成反型层时的栅极电压称为元件阈值电压( $V_{thN}$ 、 $V_{thP}$ ),一般为了定义方便,将漏源极电流 $I_{DS}$ 为 $1\mu\text{A}$ 或 $10\mu\text{A}$ 时的栅源电压 $V_{GS}$ 定义为元件阈值电压 $V_{th}$ 。

这样设定的标准逻辑系列TC4011BP的 $V_{th}$ ,其离散性(偏差)示于图1.2d,可见, $V_{th}$ 多少有些离散。

### 1.2.2 CMOS的结构

N-MOS管和P-MOS管的工作栅压其极性相反,而CMOS正巧妙地利用了这一点,如图1.3所示。在同一个N

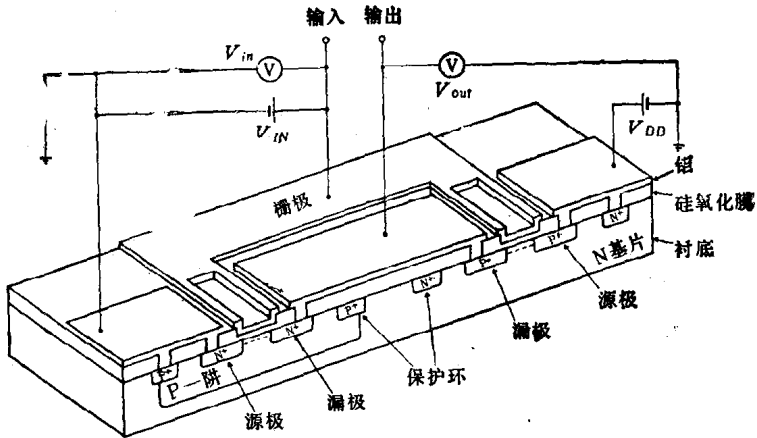


图1.3 CMOS结构和CMOS反相器电路

型衬底上制作面积较大的P型扩散区，这个区称为P-阱、P-槽或P-斗，就作为N-MOS管的P型衬底，在内部又制作两个N型扩散层，就形成了N-MOS管。

P-MOS管是在P-阱区外的N型衬底上利用同样方法制成的。

### 1.3 CMOS的工作原理

CMOS反相器示于图1.4 a。其工作原理像图1.4 a ~ d那样，用一个单刀双掷开关来说明就容易理解了。

在图1.4 b中输入若为低电平(例如接地电压)，则N-MOS管不导通(截止)，输出-地之间为高阻抗；P-MOS管导通(非饱和状态)，输出-电源之间为低阻抗，因而输出为电源电压 $V_{DD}$ 。相反，若图1.4 c输入为高电平(例如电源电压 $V_{DD}$ )，则N-MOS管导通(非饱和状态)，输出-地之间为低

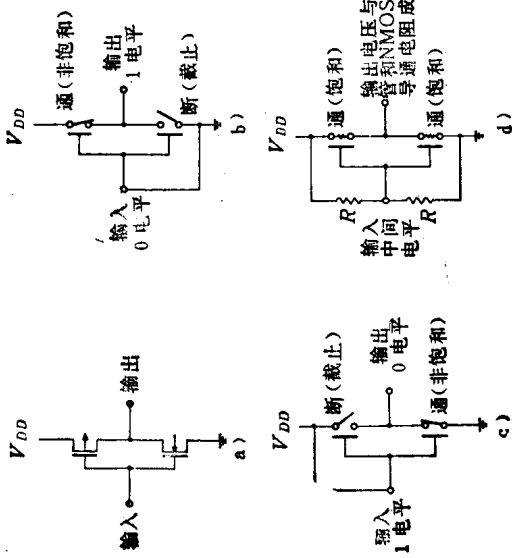
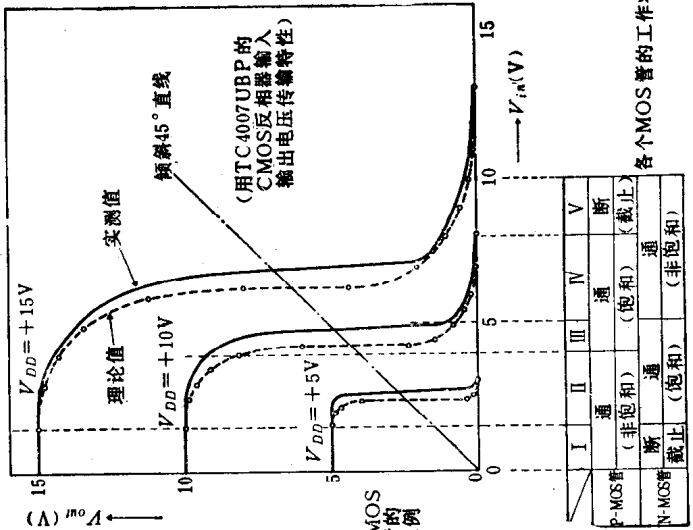


图1.4 用单刀双掷开关来说明CMOS反相器的工作原理图

- a) CMOS反相器
- b) 输入0电平
- c) 输入1电平
- d) 输入中间电平
- e) CMOS反相器的输入输出电压传输特性

各个MOS管的工作状态

e)

阻抗，P-MOS管不导通(截止)，输出-电源之间为高阻抗，因而输出为地电平。

若图 1.4 d 的输入为中间电平(例如  $\frac{1}{2}V_{DD}$ )，则 N-MOS管、P-MOS管都导通(饱和状态)，输出电平与两个MOS管导通电阻成比例关系。

为了容易理解其工作状态，用标准逻辑系列 TC4007 UBP构成CMOS反相器，把其输入电压  $V_{in}$  由 0 V 逐渐变到电源电压  $V_{DD}$ ，就可以画出输入电压  $V_{in}$  和其输出电压  $V_{out}$  的关系特性曲线，如图 1.4 e 所示。

这个特性曲线通常称为输入输出电压传输特性。此特性图的 I 区相当于前面介绍的图 1.4 b 的工作状态，III 区相当于图 1.4 d 的工作状态，同样 V 区相当于图 1.4 c 的工作状态。II 和 IV 区表示前述 I、III、V 区的中间工作状态。

此特性图的虚点曲线是用肖克莱公式计算出来的理论曲线。

在此图中特性曲线与倾斜  $45^\circ$  直线的交点为 CMOS 反相器的电路阈值电压  $V_{thc}$ 。这个电路阈值电压和以前介绍的元件阈值电压  $V_{thN}$ 、 $V_{thP}$  不同，它是由物理参数和工艺参数之比决定的，一般约为电源电压  $V_{DD}$  的一半。

如上所述，CMOS 电路的工作原理是非常简单的。

## 1.4 CMOS 的优点

CMOS 经常被做成超大规模的组件，因而具有很多优点。今将 CMOS 的优点分别介绍如下。

### 1.4.1 功耗小

CMOS 的工作原理前面已作了介绍，其输入电压不管是



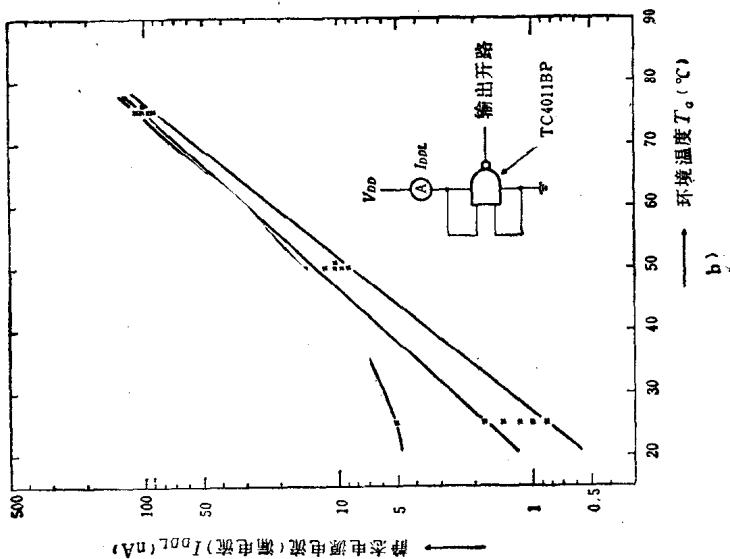


图 1.5 CMOS 的静态电源电流

a) 输入 0 电平时  $I_{DD}$  只有漏电流

b)  $C^2MOS$  逻辑电路系列 TC4011BP 的静态电流特性

