11402 11402 11402

高等学校教材

# 电子技术基础

（第二版）

下册

华中工学院工业电子学教研室 编

康华光 主编

高等教育出版社

高等学校教材

# 电子技术基础

（第二版）

下　册

华中工学院工业电子学教研室 编
康华光 主编

高等教育出版社

本书是在第一版的试用基础上，按照高等工业学校《电子技术基础教学大纲》(草案)(四年制自动化类和电力类专业试用)，总结提高、修改增删而成的。本书分上、下两册出版。上册包括：放大电路基础，频率特性与多级放大器，场效应管放大器，反馈放大器与正弦波振荡器，功率放大器，集成运算放大器及其应用，直流稳压电源和晶闸管电路；下册包括：逻辑门电路，逻辑代数及其应用，触发器，基本数字部件，脉冲的产生与整形电路和金属-氧化物-半导体场效应管数字集成电路。

书中通过对各种半导体器件及其电路的分析，阐述电子技术中的基本概念、基本原理和基本分析方法。各部分内容均介绍了电路实例，并配有一定数量的例题、思考题和习题。

本书经高等学校工科电工教材编审委员会电子技术小组委托南京工学院李士雄教授主审。

本书可作为高等学校电力类、自动化类专业"电子技术基础"课程的教材，也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

**本书责任编辑　张志军**

**注意：未经教育部同意，任何单位不得出版本教材的习题解答**

高等学校教材

# 电子技术基础

(第 二 版)

下　册

华中工学院工业电子学教研室 编

康华光 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

二二〇七工厂印装

*

开本 850×1168 1/32　印张 13.625　字数 329,000

1980 年 1 月第 1 版　1983 年 6 月第 2 版　1983 年10月第 1 次印刷

印数 00,001—41,500

书号 15010·0488　　定价 1.60 元

# 目　录


**第九章　逻辑门电路**……1

9·1　数字电路概述……1

9·1·1　数字电路及其特点……1

9·1·2　计数体制……2

9·2　二极管的开关特性……6

9·3　三极管的开关特性……11

9·3·1　三极管的开关作用……11

9·3·2　三极管的开关时间……16

9·3·3　利用加速电容改善开关特性……19

9·4　基本逻辑门电路……21

9·4·1　关于逻辑电路的几个问题……21

9·4·2　与门电路……23

9·4·3　或门电路……26

9·4·4　非门电路……29

9·4·5　复合门电路……32

9·5　三极管-三极管集成逻辑门(TTL)……34

9·5·1　TTL与非门的工作原理……35

9·5·2　TTL与非门的带负载能力……40

9·5·3　TTL与非门的电压传输特性及抗干扰能力……43

9·5·4　TTL与非门的参数……45

9·5·5　抗饱和TTL电路……52

9·5·6　集电极开路与非门和三状态与非门……54

*9·6　高阈值逻辑门(HTL)……60

*9·7　射极耦合逻辑门(ECL)……61

*9·8　集成注入逻辑门($I^2L$)……64

9·9　集成逻辑门使用中的几个实际问题……67

本章小结……71

参考文献……72

思考题和习题 ……72
**第十章 逻辑代数及其应用** ……82
10·1 逻辑函数 ……82
10·2 逻辑代数的基本定律 ……84
10·2·1 基本定律和恒等式 ……84
10·2·2 逻辑代数运算的基本规则 ……86
10·3 逻辑函数的代数化简法 ……87
10·4 逻辑函数的卡诺图化简法 ……90
10·4·1 逻辑函数的最小项及其性质 ……90
10·4·2 逻辑函数的最小项表达式 ……92
10·4·3 用卡诺图表示逻辑函数 ……93
10·4·4 用卡诺图化简逻辑函数 ……98
10·4·5 未用最小项表达的逻辑函数的卡诺图……102
10·4·6 具有无关项的逻辑函数的化简……102
10·5 组合逻辑电路的分析与设计基础……104
10·5·1 组合逻辑电路的分析方法……104
10·5·2 组合逻辑电路的设计举例……110
本章小结……116
参考文献……117
思考题和习题……118
**第十一章 触发器**……121
11·1 触发器的基本电路……121
11·1·1 基本 *RS* 触发器……121
11·1·2 同步 *RS* 触发器……127
11·2 主从触发器……132
11·2·1 主从触发器的工作方式……132
11·2·2 不同逻辑功能的主从触发器……134
11·2·3 主从 *JK* 触发器典型电路分析……140
11·3 维持阻塞触发器……142
11·4 边沿触发器……146
11·4·1 集成负边沿 *JK* 触发器……146
*11·4·2 分立元件触发器……149
11·5 应用集成触发器的几个实际问题……152



此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

11·5·1 触发器逻辑功能的转换……152
11·5·2 集成触发器的脉冲工作特性……154
11·5·3 集成触发器的参数及其测试方法……159
本章小结……165
参考文献……168
思考题和习题……168
第十二章 基本数字部件……176
12·1 时序逻辑电路概述……176
12·2 寄存器……177
12·2·1 数码寄存器……177
12·2·2 单向移位寄存器……179
12·2·3 双向移位寄存器……182
12·3 二进制计数器……185
12·3·1 异步二进制计数器……186
12·3·2 同步二进制计数器……192
12·4 非二进制计数器……197
12·4·1 十进制计数器……197
12·4·2 其他进制计数器及计数器的组合……212
*12·4·3 循环码计数器……219
12·5 译码器和数字显示电路……221
12·5·1 数码显示器……221
12·5·2 基本的译码电路……228
12·5·3 分段式数码管译码驱动电路……233
12·5·4 字形重叠式数码管译码驱动电路……240
*12·6 时序脉冲产生器……244
*12·7 编码器……245
12·8 数据选择器与数据分配器……247
12·9 数-模与模-数转换器……250
12·9·1 D/A 转换器……251
12·9·2 A/D 转换器……255
本章小结……260
参考文献……261
思考题和习题……262

**第十三章　脉冲的产生与整形电路**……270
13·1　单稳态触发器……270
13·1·1　微分型单稳态触发器……270
13·1·2　积分型单稳态触发器……281
*13·1·3　分立元件单稳态触发器……284
13·1·4　单稳态触发器的应用……286
13·2　多谐振荡器……288
13·2·1　*RC* 环形多谐振荡器……288
*13·2·2　分立元件多谐振荡器……298
13·3　施密特触发器……301
13·4　用定时器组成的脉冲产生与整形电路……307
13·4·1　一种典型的定时器……308
13·4·2　定时器应用举例……309
本章小结……314
参考文献……315
思考题和习题……315
**第十四章　金属-氧化物-半导体场效应管数字集成电路**……320
14·1　*N* 沟道 MOS 数字集成电路……321
14·1·1　基本的静态 *N* 沟道 MOS 反相器……321
14·1·2　NMOS 反相器的改进……329
14·1·3　NMOS 门电路……332
14·1·4　NMOS 驱动电路……335
14·1·5　NMOS 门控管……337
14·1·6　NMOS 触发器……338
14·2　CMOS集成电路……341
14·2·1　CMOS 反相器……342
14·2·2　CMOS 门电路……344
14·2·3　CMOS 传输门……346
14·2·4　CMOS 触发器……348
14·3　动态 MOS 逻辑电路……352
14·3·1　MOS 器件的电荷存贮特性……352
14·3·2　动态移位寄存器……352
14·4　随机存取存贮器 (RAM)……358

14·4·1 RAM的组成——单元矩阵结构及地址选择 ……358
14·4·2 存贮单元……360
14·5 只读存贮器(ROM)和可编逻辑阵列(PLA)……364
14·5·1 只读存贮器的结构和原理……364
14·5·2 可编逻辑阵列……368
*14·6 电荷耦合器件(CCD)……372
14·7 数字石英钟……379
14·7·1 数字石英钟电路的组成……379
14·7·2 工作原理……382
*14·8 数字仪器实例……386
14·8·1 DF6型数字繁用表的组成……386
14·8·2 数字直流电压表……387
14·8·3 前置放大器及变换器……407
本章小结……413
参考文献……414
思考题和习题……415

# 第九章　逻辑门电路

本章先介绍二极管和三极管的开关特性，作为数字电路的入门。在此基础上讨论门电路，从分立元件逻辑门入手，过渡到集成逻辑门。集成逻辑门最基本的形式是**与非**电路。本章着重介绍三极管-三极管逻辑门(TTL)的工作原理、逻辑关系和参数。同时也简要介绍高阈值逻辑门(HTL)、射极耦合逻辑门(ECL)和集成注入逻辑门($I^2L$)。最后介绍集成逻辑门在使用中的几个问题。

## 9·1　数字电路概述

### 9·1·1　数字电路及其特点

电子电路中的电信号可以分为两类：一类是随时间连续变化的模拟信号，例如音频电压信号；另一类是在时间上和数量上都不连续变化的信号，例如各种数字信号。这两类信号在处理方法上各不相同。处理模拟信号的电路称为模拟电路，如交流和直流放大电路等。处理数字信号的电路称为数字电路。

**1. 数字电路举例**

数字电路大致包括信号的产生、放大、整形、传送、控制、记忆、计数等内容。下面以数字频率计为例说明它们的应用。

图 9·1·1 表示一个数字频率计的方框图，它是用来测量周期信号频率的。被测信号假定为正弦波，它的频率为 $f_x$。为了要把被测信号的频率用数字直接显示出来，首先要经过放大与整形电路，使被测信号变换为频率与它相同的矩形脉冲信号，然后把它送到门电路的一个输入端 $A$。门电路是用来控制电路的**开通**与**关断**的一种电路。在图 9·1·1 中，门电路的开与关是由加到 $B$ 端的秒脉冲

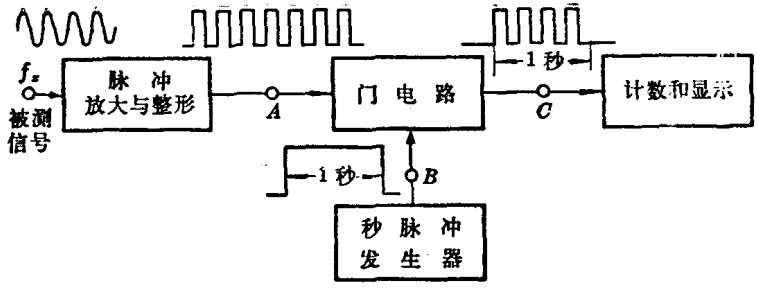


图 9·1·1　数字频率计方框图

信号所控制的。秒脉冲把门打开一秒钟，在这段时间内，矩形脉冲通过门电路进入计数器，计数器累计的信号个数就是被测信号在一秒钟内重复的次数，也就是信号的频率。最后通过数字显示电路直接显示出来。

在上述简单的实例中，它包含有被测信号的放大与整形，脉冲信号的产生、控制以及计数、显示等典型的数字单元电路，可见，数字电路包含的内容是很广泛的。

**2. 数字电路的特点**

数字电路的工作信号是不连续变化的数字信号，所以在数字电路中工作的半导体管多数工作在开关状态，即不是工作在饱和区，就是工作在截止区，而放大区只是其过渡状态。

数字电路的主要研究对象是电路的输入和输出之间的逻辑关系，因而在这种电路中就不能采用模拟电路的分析方法了。例如微变等效电路法等就不适用了。这里主要的分析工具是逻辑代数，表达电路的功能主要是真值表、逻辑函数表达式及波形图等。

### 9·1·2　计数体制

数字电路中经常要遇到计数问题。在日常生活中，我们习惯

于用十进制数，而在数字系统中多采用二进制数。有时也常采用八进制数和十六进制数。

**1．十进制数**

大家都熟悉，十进制是用十个不同的数码 0、1、2、3……9 来表示数的。任何一个数都可以用上述十个数码按一定规律排列起来表示，其计数规律是“逢十进一”，即 9＋1＝10，这右边的“0”为个位数，左边的“1”为十位数，也就是 $10=1\times10^1+0\times10^0$。所谓十进制就是以 10 为基数的计数体制。

这样，每一数码处于不同的位置时（数位），它代表的数值是不同的。例如，数 234 可写为

$$234=2\times10^2+3\times10^1+4\times10^0$$

从计数电路的角度看来，采用十进制是不方便的。因为构成计数电路的基本想法是把电路的状态跟数码对应起来，而十进制的十个数码，必须由十个不同的而且能严格区分的电路状态与之对应，这样将在技术上带来许多困难，而且也不经济。因此在计数电路中一般不直接采用十进制。

**2．二进制数**

二进制数与十进制数的区别在于数码的个数和进位的规律不同，十进制数用十个数码，并且“逢十进一”；而二进制数则用两个数码 0 和 1，并且“逢二进一”，即 1＋1＝10（读为“壹零”）。必须注意，这里的“10”与十进制数的“10”是完全不同的，它并不代表“拾”。右边的“0”表示 $2^0$ 位数，左边的“1”表示 $2^1$ 位数，也就是 $10=1\times2^1+0\times2^0$。因此，所谓二进制就是以 2 为基数的计数体制。这样，我们可将任一个二进制数转换为十进制数，例如，二进制数 1001 转换为十进制数等于

$$1\times2^3+0\times2^2+0\times2^1+1\times2^0=9$$

由于二进制具有一定的优点，因此它在计算技术中被广泛采



此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

用。

(1) 二进制的数字装置简单可靠，所用元件少；二进制只有两个数码 0 和 1，因此它的每一位数都可以用任何具有两个不同稳定状态的元件来表示，如三极管的饱和与截止，继电器的闭合和断开，灯泡的亮和灭等。只要规定其中一种状态表示 **1**，另一种状态表示 **0**，就可以表示二进制数。这样，数码的存贮和传送，就可以用简单而可靠的方式进行。

(2) 二进制的基本运算规则简单，运算操作简便。

但是，采用二进制也有一些缺点。用二进制表示一个数时，位数多，例如十进制数 49 表示为二进制数时，即为 110001，使用起来不方便也不习惯。因此，在运算时原始数据多用人们习惯的十进制数，在送入机器时，就必须将十进制的原始数据转换成数字系统能接受的二进制数。而在运算结束后，再将二进制数转换为十进制数，表示最终结果。

### 3. 十六进制数和八进制数

十六进制数采用十六个数码，而且"逢十六进一"，这种数制中有十六个不同的数字：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A(对应于十进制中的 10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15)。它是以十六为基数的计数体制。例如将十六进制数 4E6 转换为十进制数：

$$4\times16^2+14\times16^1+6\times16^0=1254$$

在数字计算机中经常采用十六进制，因为使用二进制经常是很长的，不易书写和记忆，同时它与二进制之间的转换也比较方便。例如$(0101\ \ 1001)_B^{\dagger}$写成十六进制是

$$(0101\ \ 1001)_B=(1\times2^2+1\times2^0)\times16^1+(1\times2^3+1\times2^0)\times16^0=(59)_H^{\dagger\dagger}$$

---

† 下标 B(Binary)表示二进制，同样用D(Decimal)表示十进制，用H(Hexadecimal)和 O(Octal)分别表示十六进制和八进制。

†† $(59)_H$ 又可写成 59 H。

可以看出，每四位二进制数对应于一位十六进制数，如

$$(1001, 1100, 1011, 0100, 1000)_B = (9CB48)_H$$

同理，对于八进制数，可将三位二进制数分为一组，对应于一位八进制数。对于上述二进制数，可写成

$$(10, 011, 100, 101, 101, 001, 000)_B = (2345510)_O$$

为便于对照，将十进制、二进制、八进制及十六进制之间的关系列于表 9·1·1 中。

**表 9·1·1　几种数制之间的关系对照表**

| 十进制数 | 二 进 制 数 | 八进制数 | 十六进制数 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 0 0 0 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 0 0 0 1 | 1 | 1 |
| 2 | 0 0 0 1 0 | 2 | 2 |
| 3 | 0 0 0 1 1 | 3 | 3 |
| 4 | 0 0 1 0 0 | 4 | 4 |
| 5 | 0 0 1 0 1 | 5 | 5 |
| 6 | 0 0 1 1 0 | 6 | 6 |
| 7 | 0 0 1 1 1 | 7 | 7 |
| 8 | 0 1 0 0 0 | 10 | 8 |
| 9 | 0 1 0 0 1 | 11 | 9 |
| 10 | 0 1 0 1 0 | 12 | A |
| 11 | 0 1 0 1 1 | 13 | B |
| 12 | 0 1 1 0 0 | 14 | C |
| 13 | 0 1 1 0 1 | 15 | D |
| 14 | 0 1 1 1 0 | 16 | E |
| 15 | 0 1 1 1 1 | 17 | F |
| 16 | 1 0 0 0 0 | 20 | 10 |
| 17 | 1 0 0 0 1 | 21 | 11 |
| 18 | 1 0 0 1 0 | 22 | 12 |
| 19 | 1 0 0 1 1 | 23 | 13 |
| 20 | 1 0 1 0 0 | 24 | 14 |

**4. 不同数制之间的转换**

现以二、十进制之间的转换为例来说明不同数制之间的转换

方法。

既然同一个数可以用二进制和十进制两种不同形式来表示，那么两者之间就必然有一定的转换关系。例如将十进制数 25 用二进制表示时可写成：

$$(25)_{10}=K_4\times2^4+K_3\times2^3+K_2\times2^2+K_1\times2^1+K_0\times2^0$$

式中 $K_4$、$K_3$、$K_2$、$K_1$、$K_0$ 分别是各位中的数字。25 被 2 除后得到的余数就是 $K_0$；其商再连续除以 2 后得余数 $K_1$、$K_2$、$K_3$、$K_4$，直至最后的商等于 0 为止。这样 $K_4$、$K_3$、$K_2$、$K_1$、$K_0$ 就是十进制数 25 的二进制形式，即

$$\begin{array}{l}2\underline{|25}\cdots\cdots\cdots\cdots\text{余 }1\cdots\cdots\cdots\cdots K_0\\2\underline{|12}\cdots\cdots\cdots\cdots\text{余 }0\cdots\cdots\cdots\cdots K_1\\2\underline{|\ 6}\cdots\cdots\cdots\cdots\text{余 }0\cdots\cdots\cdots\cdots K_2\\2\underline{|\ 3}\cdots\cdots\cdots\cdots\text{余 }1\cdots\cdots\cdots\cdots K_3\\2\underline{|\ 1}\cdots\cdots\cdots\cdots\text{余 }1\cdots\cdots\cdots\cdots K_4\\\quad 0\end{array}$$

所以 $(25)_{10}=(K_4K_3K_2K_1K_0)_2=(11001)_2$

由此可见，将十进制整数用二进制表示时，只要把这个数不断除以 2，直至出现商等于零为止，每次所得到的余数（必为 0 或 1）就是二进制整数从低位到高位的各位数字。

其它数制之间的转换，可按类似方法处理。

## 9·2 二极管的开关特性

用来接通或断开电路的开关元件具有两种工作状态：一种是接通（要求其阻抗很小，相当于短路），另一种是断开（要求其阻抗很大，相当于开路）。

在脉冲数字电路中，二极管和三极管大多数是工作在开关状态。它们在脉冲信号作用下，时而饱和导通，时而截止，相当于开

关的“接通”和“断开”。研究它们的开关特性，就是具体分析饱和导通和截止之间的转化问题。当脉冲信号频率很高时，开关变化的速度非常快，可达每秒百万次数量级，这就要求管子的饱和导通与截止两种状态的转换要在瞬刻完成。

二极管的开关特性表现在正向导通与反向截止这样两种不同状态之间的转换过程。二极管从反向截止到正向导通与从正向导通到反向截止相比所需的时间很短，一般可以忽略不计，因此下面着重讨论二极管从正向导通到反向截止的转换过程。

**1. 二极管从正向导通到截止有一个反向恢复过程**

我们先通过实验观察二极管从导通到截止的物理现象。在图 9·2·1(*a*)所示的硅二极管电路中，加入一个如图 9·2·1(*b*)所示的

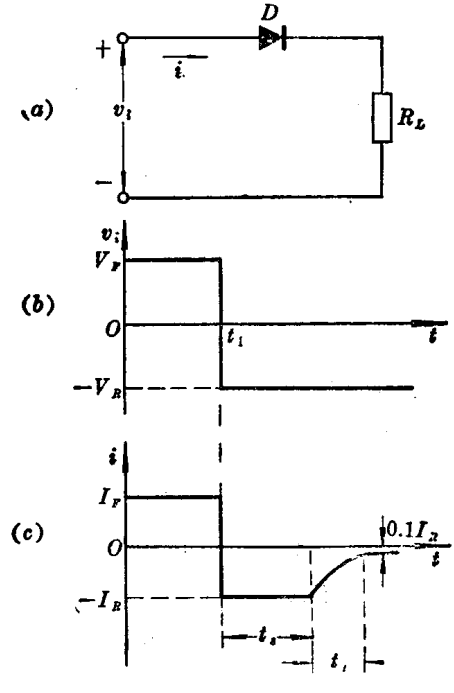


图 9·2·1　二极管开关特性

(*a*) 电路　(*b*) 输入电压　(*c*) 二极管电流

输入电压。在0～$t_1$ 时间内，输入为$+V_F$，二极管导通，电路中有电流流通。设 $V_D$ 为二极管正向压降(硅管为 0.7V 左右，锗管为 0.2 V 左右)，当 $V_F$ 远大于 $V_D$ 时，$V_D$ 可略去不计，则

$$I_F=\frac{V_F-V_D}{R_L}\approx\frac{V_F}{R_L}$$

在 $t_1$ 时，$v_i$ 突然从$+V_F$ 变为$-V_R$。在理想情况下，二极管将立刻转为截止，电路中应只有很小的反向电流。但实际情况是，二极管并不立刻截止，而是先由正向的 $I_F$ 变到一个很大的反向电流 $I_R=V_R/R_L$，这个电流维持一段时间 $t_s$ 后才开始逐渐下降，再经过 $t_t$ 后，下降到一个很小的数值 $0.1I_R$，这时二极管才进入反向截止状态，如图 9·2·1(*c*)所示。

通常把二极管从正向导通转为反向截止所经过的转换过程称为反向恢复过程。其中 $t_s$ 称为**存贮时间**，$t_t$ 称为**渡越时间**，$t_{re}=t_s+t_t$ 称为**反向恢复时间**。

由于反向恢复时间的存在，使二极管的开关速度受到限制。

**2. 产生反向恢复过程的原因——电荷存贮效应**

产生上述现象的原因是由于二极管外加正向电压 $V_F$ 时，载流子不断扩散而存贮的结果。当外加正向电压时，$P$区空穴向$N$区扩散，$N$区电子向$P$区扩散；这样，不仅使势垒区(阻挡层)变窄，而且使载流子有相当数量的存贮，在$P$区内存贮了电子，而在$N$区内存贮了空穴，它们都是非平衡少数载流子，如图 9·2·2(*a*)所示。例如，空穴由$P$区扩散到$N$区后，并不是立即与$N$区电子复合而消失，而是在一定的路程 $L_p$ 内(这段路程 $L_p$ 通常称为扩散长度)，一方面继续扩散，一方面与电子复合消失，这样就会在 $L_p$ 范围内存贮一定数量的空穴，并建立起一定空穴浓度分布，靠近结边缘的浓度最大，离结越远，浓度越小。当正向电流越大，存贮的空穴数目越多，浓度分布的梯度也越大。电子扩散到$P$区的情况也

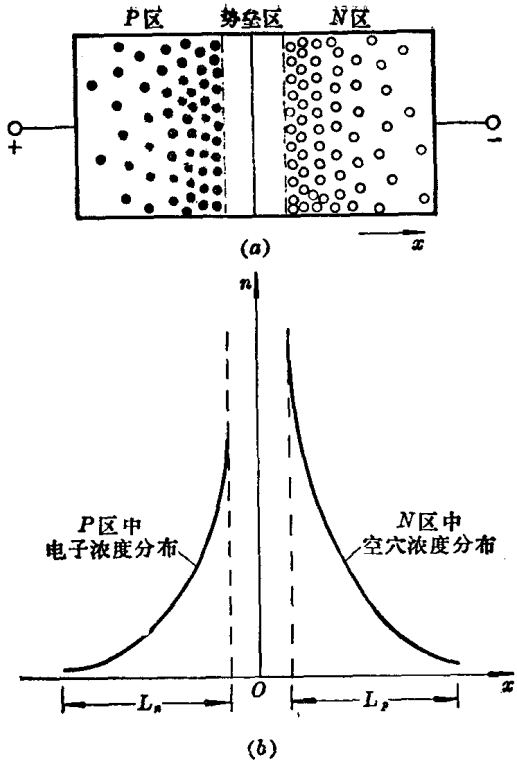


图 9·2·2　二极管中存贮电荷的分布
(a)示意图　(b)浓度分布曲线

一样，图 9·2·2(b)表示二极管中存贮电荷的分布。

我们把正向导通时非平衡少数载流子积累的现象叫做**电荷存贮效应**。

当输入电压突然由 $+V_F$ 变为 $-V_R$ 时，$P$ 区存贮的电子和 $N$ 区存贮的空穴不会马上消失，但它们将通过下列两个途径逐渐减少：① 在反向电场作用下，$P$ 区电子被拉回 $N$ 区，$N$ 区空穴被拉回 $P$ 区，形成反向漂移电流 $I_R$，如图 9·2·3 所示；② 与多数载流子复合。

在这些存贮电荷消失之前，$PN$ 结仍处于正向偏置，亦即势垒



此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com