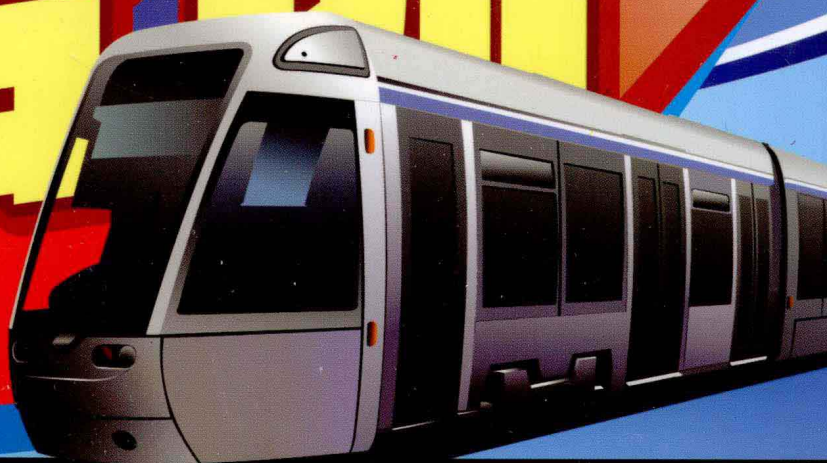


快速培训电气技能丛书

快速 培训



数控技术与数控机床维修技能

孙余凯 吴鸣山 项绮明 等编著

- 取材新颖实用，打破传统模式
- 重点难点点拨，夯实理论基础
- 剖析典型实例，提升技能

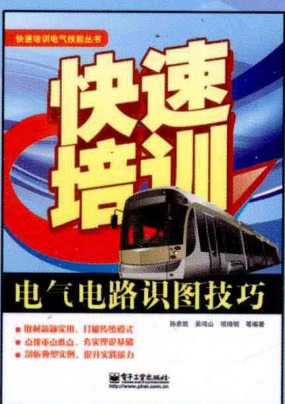
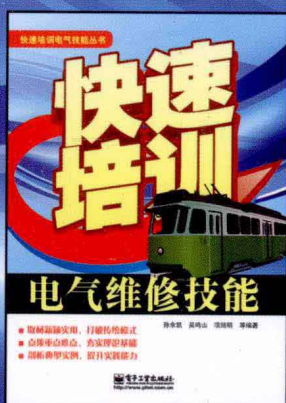
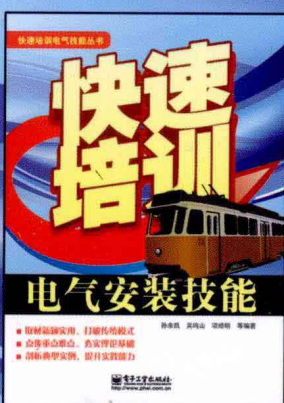
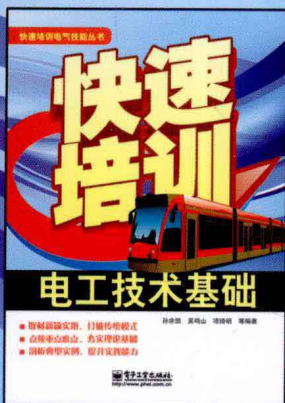
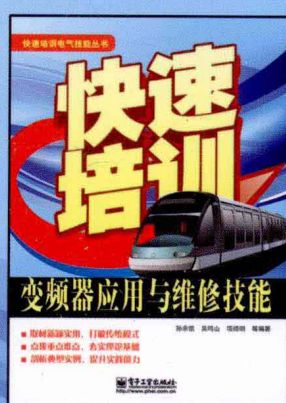
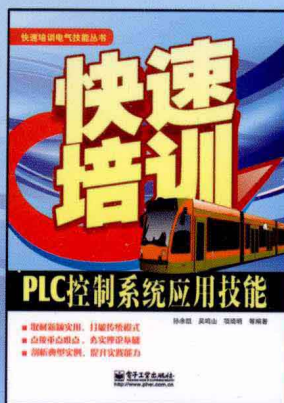


电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

快速培训电气技能丛书



汇聚电气实操新视角 打造技能培训新模式

上架建议 电工技术



天启星
<http://www.txbook.com>

策划编辑：谭佩香
责任编辑：鄂卫华
封面设计：王 嵩

ISBN 978-7-121-18037-8

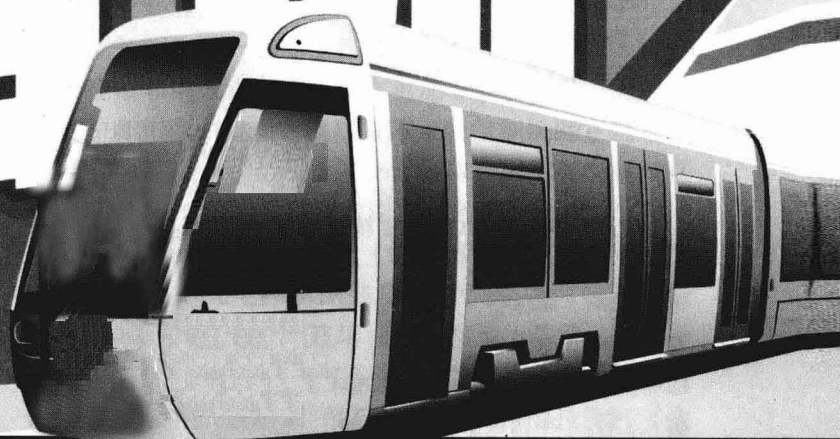


9 787121 180378 >

定价：39.80元

快速培训电气技能丛书

快速 培训



数控技术与数控机床维修技能

凯 吴鸣山 项绮明 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书对数控技术与数控机床维修做了较全面的阐述和讲解,提出了快速培训数控机床维修人员的方法和措施。内容包括数字控制电路的数制与码制,数字逻辑电路基础,数字逻辑代数及其应用技能,数字触发器基础,数字式逻辑部件基础,数字脉冲电路基础,数字与模拟转换电路基础,数控机床的基础知识,数控机床位置检测系统基础,数控机床设备故障的诊断与检测,数控机床设备故障的检测仪表与工具,数控机床故障检修的思路与方法,数控机床易损单元电路的故障检修与数控机床常用器件的故障检测。

本书列目清晰、结构紧凑、论证严谨、例析精当。内容均是初接触数控设备保养、维护、维修人员在实际工作中经常碰到的问题,因此本书具有“拿来就用,一学就会”的特点,是机床维修人员培训的范本。

本书既可作为数控技术与机床维修在岗人员上岗培训教材,也可作为高、中等职业技术学校的数控技术与机床维修专业学科的辅导教材,还可供数控设备技术维修和生产技术人员阅读。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

快速培训数控技术与数控机床维修技能 / 孙余凯等编著. —北京: 电子工业出版社, 2012.10

(快速培训电气技能丛书)

ISBN 978-7-121-18037-8

I. ①快… II. ①孙… III. ①数控技术—技术培训—教材②数控机床—维修—技术培训—教材 IV. ①TP273②TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 200311 号

策划编辑: 谭佩香

责任编辑: 鄂卫华

印 刷: 中国电影出版社印刷厂

装 订: 中国电影出版社印刷厂

出版发行: 电子工业出版社出版

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 16 字数: 389 千字

印 次: 2012 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。



前言

随着电气技术的高速发展，城乡建设步伐不断加快，各种电气设备也随之大量增加，电气技术已渗透到了社会的各个层面，为电气行业的从业人员提供了更为广阔的就业前景。

然而，面对电气行业的人才需求，摆在电气行业从业人员面前的首要问题就是如何掌握规范的操作技能，如何迅速提升安装、调试、检修能力，如何尽快掌握新的电气技术及对电气设备的安装、检测、维修技能，以适应行业发展的需要。为使电气行业的从业人员夯实电气基础知识，提升实际操作技能，在安装、调试、检修电气线路和电气设备中，操作更加专业和规范，并能确保人身和设备的安全，我们特策划和组织编写了这套快速培训电气技能丛书。这是一套非常实用的在岗电气操作人员的技能培训教材及上岗应试的辅导教材。

本套丛书共 9 本，包括《快速培训电工技术基础》、《快速培训电气电路识图技巧》、《快速培训电气仪表使用与检测技能》、《快速培训电气接地·防雷·防爆安全技能》、《快速培训电气安装技能》、《快速培训电气维修技能》、《快速培训 PLC 控制系统应用技能》、《快速培训数控技术与数控机床维修技能》、《快速培训变频器应用与维修技能》。

《快速培训数控技术与数控机床维修技能》是本套丛书之一。本书以电气维修行业的国家职业技术考核规范为标准，以市场岗位需求为导向，贴近实际，注重实践。精选了数控技术与数控机床维修的知识内容为题材，采用基础知识培训与检测技能培训相结合的快速培训形式，全面系统地解读了数控机床操作人员必备的数控技术与数控设备维护、检修等方面的基础知识和检测技能。

本书具有以下特色。

1. 取材新颖和实用, 理论与实践融会贯通

本书在内容的选取上打破了传统模式, 以讲解数控技术的基础知识为切入点, 重点突出对数控机床的维护、检修方面知识进行讲解, 特别是将重点放在应用检测仪表和工具及采取不同的检测方法, 检测各种电气参数的技能实训上。全书在所贯通的典型检测实例的实测过程中, 融汇了作者多年积累的宝贵检测经验。

2. 讲解精细, 突出重点和难点

本书在对数控方面基础知识的讲解上突出了轻松学的特点, 在讲解方法上, 先简略介绍共性方面的知识, 使读者初步入门; 再通过选择和操作数控设备与器件的过程, 归纳出需重点掌握的知识, 为读者夯实知识基础; 最后在检测实际数控技术参数的培训中, 再对知识和技能的难点进行点拨, 达到对读者进行知识和技能的快速培训之目的。

3. 技能培训注重实践, 把目标落实到能力的提升上

本书对数控方面知识和检测技能的讲解, 都是以典型检测实例为题材, 教会读者先掌握检测前将检测设备接入检测电路的连接方法及在检测过程中重点掌握的检测技能; 再将检测数据用图表列出, 显示出正常状态下的参数和波形; 最后教会读者从检测的数据和波形的分析中判断数控设备和电气线路的故障, 并准确找出故障部位及处理故障的方法和措施, 把正确使用电气仪表和对数控设备与电气线路的准确检测落到工作的实处, 真正实现提升实践能力的目标。

4. 亮色标注, 重点、要点、难点鲜明

本书充分利用采取双色印刷的功能、用鲜亮的颜色, 在文和图中关键部位标出让读者应掌握的重点、要点及难点, 起到点拨的作用, 使读者收到轻松、愉悦地阅读效果。

本书由孙余凯、吴鸣山、项绮明统稿编著, 参加编写的人员还有王华君、孙静、吴永平、项宏宇、陈帆、刘忠德、周志平、王五春、丁秀梅、孙莹、王国太、吕晨等。

本书在编写过程中, 参考了大量的国内、外有关电气技术方面的期刊、图书和相关资料, 在此表示感谢。由于作者水平有限, 书中存在不足之处, 诚请专家和读者指正。

编著者

2012年8月

目 录 CONTENTS

第 1 章 数字控制电路的数制与码制	1
1.1 数字电路基础知识	1
1.2 数字电路的计数体制	2
1.3 数字电路的码制	6
第 2 章 数字逻辑电路基础	9
2.1 数字逻辑的基本状态	9
2.2 数字逻辑门电路	9
2.3 数字逻辑门电路的使用	16
第 3 章 数字逻辑代数及其应用	23
3.1 数字逻辑代数的三种基本逻辑关系	23
3.2 数字逻辑代数的基本定律与公式	24
3.3 数字逻辑代数的三个基本法则	24
3.4 数字逻辑函数的标准表达式	25
3.5 数字逻辑函数的化简	28
第 4 章 数字触发器电路基础	35
4.1 数字触发器的特点及类型	35
4.2 数字基本 RS 触发器	36
4.3 数字式同步触发器	40
4.4 数字式边沿触发器	48
4.5 数字式主从触发器	52
4.6 集成电路 CMOS 触发器的功能及应用说明	
4.7 数字式触发器电路的使用	

第5章 数字式逻辑部件基础.....57

5.1 数字式逻辑部件中的加法器	57
5.2 数字式逻辑部件中的编码器	59
5.3 数字式逻辑部件中的译码器	61
5.4 数字式逻辑部件中的数据选择器与数据分配器.....	66
5.5 数字式逻辑部件中的寄存器	71
5.6 数字式逻辑部件中的数字计数器	74
5.7 数字式逻辑部件中的同步计数器	77
5.8 数字式逻辑部件中的异步计数器	85
5.9 数字式逻辑部件中计数器的应用	91

第6章 数字脉冲电路基础.....93

6.1 数字电路的脉冲信号	93
6.2 数字脉冲电路的单稳态触发器	95
6.3 数字脉冲电路的双稳态触发器	99
6.4 数字脉冲电路的多谐振荡器	104
6.5 读识数字脉冲电路图指导	108

第7章 数字与模拟转换电路基础.....109

7.1 A/D 转换与 D/A 转换.....	109
7.2 数字电路的 D/A 转换器.....	109
7.3 数字电路的 A/D 转换器.....	112

第8章 数控机床的基础知识.....119

8.1 数控机床与数控装置	119
8.2 数控机床的加工过程	120
8.3 数控装置的基本类型	121
8.4 数控机床的点位控制装置	125
8.5 数控机床的高精度点位控制系统	130
8.6 数控机床的轮廓控制系统	132
数控机床轮廓控制系统中直线与圆弧插补控制.....	134

8.8 数控机床闭环数字控制系统的基本组成.....	140
第9章 数控机床位置检测系统基础.....	143
9.1 数控机床位置检测系统的类型	143
9.2 数控机床位置检测系统的计数式测量元件.....	143
9.3 数控机床位置检测系统的直接编码式测量元件.....	144
9.4 数控机床中感应同步器及磁尺位置检测系统.....	146
9.5 数控机床中光栅位置检测系统	149
9.6 数控机床中激光位置检测系统	152
第10章 数控机床设备故障的诊断与检测	155
10.1 数控机床设备故障的检修原则	155
10.2 数控机床设备检修时询问用户的方法.....	156
10.3 数控机床设备故障检修的直观检查法.....	159
10.4 数控机床设备的清洁检查与原理分析.....	161
10.5 数控机床设备故障检修的脱开检查法与整机比较测量法.....	162
10.6 数控机床设备故障的判断与功能测试及操作压缩法.....	163
10.7 数控机床设备故障检修的直流电压检查法.....	164
10.8 数控机床设备故障检修的电流测量法.....	166
10.9 数控机床设备故障检修的在路电阻测量法.....	167
10.10 数控机床设备故障检修的开路电阻测量法.....	169
10.11 数控机床设备故障元器件的替换与并联及短路检查法.....	174
10.12 数控机床设备故障的加温与冷却检查法.....	175
10.13 数控机床设备故障的对号入座与参数检查法.....	175
10.14 数控机床设备故障的重焊重接与敲击检查法.....	176
第11章 数控机床设备故障的检测仪表与工具	177
11.1 数控机床系统故障检测仪表的选用.....	177
11.2 数控机床设备故障检测时指针式万用表的使用.....	177
11.3 数控机床设备故障检测时数字式万用表的使用.....	181
11.4 数控机床设备故障检测时示波器的使用.....	
11.5 数控机床设备故障检测时逻辑分析仪的使用.....	
11.6 数控机床设备故障检测时相序表的使用.....	

11.7	数控机床设备故障检测时短路追踪仪的使用	195
11.8	数控机床设备故障检测时逻辑测试笔与脉冲信号笔的使用	196
第 12 章	数控机床故障检修的思路与方法	197
12.1	数控机床维修时必须具备的知识与要求	197
12.2	数控机床常见故障的类型	198
12.3	数控机床的故障分析与检修思路	201
12.4	数控机床无显示或显示异常的故障分析与检修思路	206
12.5	数控机床位置检测系统的故障分析与检修思路	207
12.6	数控机床设备检修时必须注意的问题	208
12.7	数控机床系统电路信号流程故障的检修思路	210
第 13 章	数控机床易损单元电路的故障检修	211
13.1	数控机床步进电动机控制电路的基础知识	211
13.2	数控机床步进电动机控制电路故障的检修	216
13.3	数控机床伺服进给驱动控制单元故障的检修	219
13.4	数控机床伺服电动机的测速反馈电路	220
13.5	数控机床可编程控制器电源系统故障的检修	223
第 14 章	数控机床常用器件的故障检测	225
14.1	数控机床模拟集成电路的检测	225
14.2	数控机床系统数字逻辑门集成电路的检测	228
14.3	数字触发器与计数器集成电路的检测	233
14.4	稳压二极管的判别与检测	236
14.5	发光二极管的检测与判别	237
14.6	光电耦合器的检测与判别	238
14.7	压敏电阻器的判别与检测	239
14.8	稳压集成电路的判别与检测	240
14.9	场效应晶体管的判别与检测	242
14.10	单向晶闸管的判别检测	244
14.11	门极可关断晶闸管的判别与检测	246
	桥式整流器的判别与检测	247

第 1 章 数字控制电路的数制与码制

1.1 数字电路基础知识

数字电路是处理数字信号并能完成数值运算的电路。在电子计算机、电动机、通信设备、自动控制、雷达、家用电器、日用电子小产品、汽车电子等许多领域得到了广泛的应用。

1.1.1 数字电路特点及组成

电信号通常分为模拟信号和数字信号两类，模拟信号是连续变化的，而数字信号是断续变化（即离散）的。处理加工数字信号的电路称为数字电路。

1. 数字电路的特点

数字信号目前常取二值信息，它用两个有一定数值范围的高、低电平来表示，也可用两个不同状态的逻辑符号如“1”或“H”和“0”或“L”来表示。典型的数字信号波形是具有一定幅度的矩形波，当它作用在某些电子电路上时，其半导体器件就会在截止与导通（或饱和）状态下工作，这和模拟信号作用于电路时器件工作在线性放大状态相比有根本的不同。

2. 数字电路的组成

数字电路组成的一般方框图如图 1-1 所示，其数据输入与输出的信号及控制与操作的变量都是数字信号。

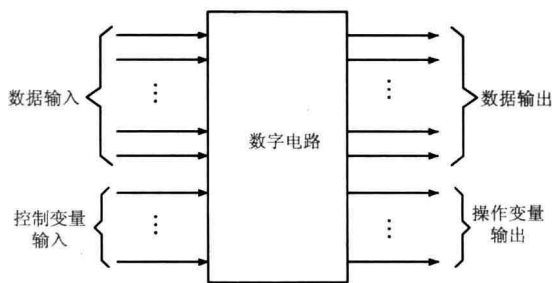
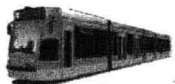


图 1-1 数字电路组成的一般方框图

图 1-1 中含有对数字信号进行传送、逻辑运算、控制、计数、寄存、显示及信号的产生、整形、变换等不同功能的数字部件。

在数字电路中，电压或电流通常只有两个状态：高电平或低电平，有电流或无电流。



数字信号通常是以时间上或空间上的 0、1 符号序列来表示。数字电路输入与输出的 0、1 符号序列间的逻辑关系就是数字电路的逻辑功能。因此，数字电路也可以认为是实现各种逻辑关系的电路。

数字电路通常由逻辑门、触发器、计数器及寄存器等逻辑部件构成，可以用来对数字信号进行传送、逻辑运算、控制、计数、寄存、显示及信号的产生、整形、变换等。

1.1.2 数字电路的优点

数字电路的优点很多，归纳起来主要有以下 3 个方面。

① 数字电路结构简单，器件容易制造、便于集成并实施系列化生产，且成本低廉，使用方便。

② 由数字电路组成的数字系统，工作稳定可靠、精度高、信息容量大、运算速度快。

③ 数字电路不仅能完成数值运算，还可以进行逻辑运算与判断，在控制系统中是不可缺少的，因此又把数字电路称做“数字逻辑电路”。

1.1.3 数字电路的类型

数字电路根据分类方式的不同，通常有以下两种分类方法。

1. 按所用器件分类

数字电路按电路所用器件分类，可分为双极型（如 DTL、TTL、ECL、IIL、HTL）和单极型（如 NMOS、PMOS、CMOS）电路。

2. 按逻辑功能分类

数字电路按其逻辑功能分类，可分为组合逻辑电路和时序电路两大类。

1.2 数字电路的计数体制

计数体制即计数的方法。在生产实践中，人们习惯各种计数方法，如二进制、十进制、十六进制等，但平时最常用的是十进制数，而在数字电路中经常使用的是二进制数和十六进制数。

1.2.1 十进位计数制

十进位计数制即十进制，是人们最熟悉的一种进位计数制。十进位计数制是目前国际上通用的计数制。

1. 十进位计数制的数码

十进位计数制简称十进制，采用 10 个数字符号，即 0，1，2，3，…，9。这些数字符号称为数码（或数字）。

2. 十进制数的计数原则

十进制数的计数原则是：逢 10 进 1，借 1 当 10。

例如,十进制数 3743.3 由 5 位数字组成,小数点左边有 4 位,右边有 1 位。这个数实际上是由以下多项式缩写而成的,即

$$3743.3=3 \times 10^3+7 \times 10^2+4 \times 10^1+3 \times 10^0+3 \times 10^{-1}$$

依此类推,任何一个 n 位整数、 m 位小数的十进制数 N_{10} 均可记为

$$N_{10}=(a_{n-1} \times 10^{n-1}+a_{n-2} \times 10^{n-2}+\cdots+a_1 \times 10^1+a_0 \times 10^0+a_{-1} \times 10^{-1}+\cdots+a_{-m} \times 10^{-m})$$

其值为

$$N_D=N_{10}=\sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i$$

式中 a_i ——十进制数中第 i 位的值,它可以是 0~9 中的任何一个;

10^i ——第 i 位的权(也称为位权),10 为进位的基数,也就是基本计数符号的个数;

n, m ——为正整数, n 代表整数位数, m 代表小数位数;

N_{10} ——下标 10 表示十进制,也可以用 D 表示。

1.2.2 二进位计数制

在现代数字系统中,应用较多的是二进位计数制,简称二进制数。

1. 二进位计数制的数码

在二进制计数中,每个数字只能有两个不同的取值,即“0”和“1”。任何一个二进制数均由这两个数码来表示。

2. 二进制数的计数原则

二进制数的计数原则是:逢 2 进 1,借 1 当 2。

一个二进制数也可以用类似十进制数按权展开的方法展开。例如, $(1110.11)_2$ 可以写成

$$1110.11_2=1 \times 2^3+1 \times 2^2+1 \times 2^1+0 \times 2^0+1 \times 2^{-1}+1 \times 2^{-2}$$

依此类推,任何一个 n 位整数、 m 位小数的二进制数 N_2 均可记为

$$N_2=b_{n-1} \times 2^{n-1}+b_{n-2} \times 2^{n-2}+\cdots+b_1 \times 2^1+b_0 \times 2^0+b_{-1} \times 2^{-1}+\cdots+b_{-m} \times 2^{-m}$$

其值为

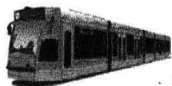
$$N_B=N_2=\sum_{i=-m}^{n-1} b_i \times 2^i$$

式中 b_i ——二进制数中第 i 位的值,可以是 0 或 1;

2^i ——第 i 位的权(也称为位权),2 为进位的基数;

n, m ——均为正整数, n 代表整数位数, m 代表小数位数;

N_2 ——下标 2 表示二进制数,也可以用 B 表示。



3. 二进制数运算规则

在二进制数中仅有 0、1 两个数码，相应的运算规则也比较简单。表 1-1 所示为二进制数的运算规则。

表 1-1 二进制数的运算规则

加 法	减 法	乘 法
$0+0=0$	$0-0=0$	$0\times 0=0$
$1+0=0+1=1$	$1-0=0-1=1$ （借 1 当 2）	$1\times 0=0\times 1=0$
$1+1=10$ （向高位进位）	$1-1=0$	$1\times 1=1$

1.2.3 常用进位计数制之间的对应关系

一个数从一种进位计数制表示法转换成另一种进位计数制表示法，称为数制转换。

二进制数、八进制数、十六进制数及十进制数是现代数字系统中常用的 4 种数制。这几种进位计数制之间的对应关系如表 1-2 所示。

表 1-2 常用进位计数制之间的对应关系

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10
17	10001	21	11
18	10010	22	12
19	10011	23	13
20	10100	24	14
32	100000	40	20
50	110010	62	32
60	111100	74	3C
64	1000000	100	40
100	1100100	144	64
255	1111111	377	FF
1000	1111101000	1750	3E8

注：A、B、C、D、E、F 代表十六进制的 10、11、12、13、14、15 数码

1.2.4 二进制数转换为十进制数

二进制数转换为十进制数的方法，是将二进制数按权展开，然后将所有各项的数值按十进制数相加即得。

例 1-1 把二进制数 101101.01_B 转换成十进制数 N_D 。

解：

按权展开后计算得

$$101101.01_B = 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 45.25_D$$

1.2.5 十进制数转换为二进制数

十进制数转换为二进制数时，需要将十进制数的整数部分和小数部分分别进行转换，最后再将转换结果相加即可得到完整的转换结果。

1. 整数部分的转换

整数部分的转换采用除以 2 取余法，也就是将十进制整数逐次除以 2，并依次记下余数，一直除到商为零时结束，就得到等值的二进制数。

例 1-2 将 47_D 转换成等值的二进制数。

解：

	余数	读数方向
2 47		
2 23	 1	高位
2 11	 1	↑
2 5	 1	
2 2	 1	
2 1	 0	
0	 1	低位

由此可得 $47_D = 101111_B$ 。

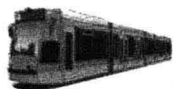
2. 小数部分的转换

小数部分的转换采用乘以 2 取整法，也就是将十进制数的小数逐次乘以 2（每次只将小数部分乘以 2）并依次记下整数，然后把全部整数按次序排列起来，即可得到等值的二进制数。

例 1-3 将 0.39_D 转换为等值的二进制数小数。

解：

按照乘以 2 取整法进行转换，即



$0.39 \times 2 = 0.78$	整数部分	0
	(取出整数部分 0, 小数部分继续乘以 2)	
$0.78 \times 2 = 1.56$	整数部分	1
	(取出整数部分 1, 小数部分继续乘以 2)	
$0.56 \times 2 = 1.12$	整数部分	1
	(取出整数部分 1, 小数部分继续乘以 2)	
$0.12 \times 2 = 0.24$	整数部分	0
	(取出整数部分 0, 小数部分继续乘以 2)	
.....		

由此即得 $0.39_D = 0.01110_B$, 误差 $\leq 2^{-3}$ 。如果精度要求较高, 如 10 位, 则上述乘以 2 的过程一直继续下去, 直到达到所需 10 位数为止。

3. 需要说明的问题

对于一个既有整数部分又有小数部分的十进制数转换成二进制数时, 则要将其整数部分采用除以 2 取余法转换成二进制数的整数, 将其小数部分采用乘以 2 取整法转换成二进制数的小数, 然后将二进制数的整数部分和小数部分合并即可得到等值的二进制数。

二进制数转换为十进制数时, 可以完整地进行转换; 但十进制数转换为二进制数时, 有时不能完全转换, 只能达到一定的精度。

例 1-4 将 47.39_D 转换为等值的二进制数。

解:

47.39_D 包含整数部分和小数部分, 分别采用除以 2 取余法和乘以 2 取整法对整数和小数部分进行转换。根据上面的转换结果, 可以得到

$$47.39_D = 47 + 0.39 = 101111 + 0.01110 = 101111.011_B$$

1.3 数字电路的码制

数码除了可以表示量的大小之外, 有时还可以用来表示不同的事物, 也就是不同的数码可以表示不同的事物。当用数码为代号来表示不同的事物时, 称其为代码。不同的代码都有一定的规则, 通常将这些规则称为码制。

人们较熟悉的是十进制代码, 而数字系统中是以二进制代码为处理对象的, 进而就产生了一种利用四位二进制数表示一位十进制数的计数方式, 将这种表示十进制数的四位二进制代码称为二-十进制代码 (Binary Coded Decimal), 简称为 BCD 码。常见的 BCD 码有以下 3 种。

1. 数字电路的 8421 码

8421 码是最基本最常用的 BCD 码, 是一种有权码或加权码。其权值由高到低分别为 $8 (2^3)$, $4 (2^2)$, $2 (2^1)$, $1 (2^0)$ 。假设 8421 码为 $a_3 a_2 a_1 a_0$, 则一位十进制数 N_D 可表示为