

材料科学与工程系列教材(三)

朱波 蔡珣 钱宇白 编著
姜江 审

现代材料处理工艺过程计算机控制

哈尔滨工业大学出版社

材料科学与工程系列教材(三)

现代材料处理工艺过程 计算机控制

朱波 蔡珣 钱宇白 编著
姜江 审

哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨

内容简介

本书概括介绍现代控制理论和方法在材料处理工艺过程中的应用,阐述计算机测试与控制系统在材料处理工艺中的实现方法。主要包括:基本控制理论及数值分析方法,材料处理工艺过程参数测量及传感器技术,工艺参数计算机控制系统设计,典型化学热处理工艺过程数学模型及计算机控制,材料处理工艺过程计算机管理,以 8086/88 微处理器为核心的热处理温度控制系统的设计和实现等。每章配有思考题,并配有微机温度控制实验指导书。

本书是高等学校材料科学与工程各专业本科生教材,也可供广大科技人员自学或参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代材料处理工艺过程计算机控制/朱波等编著.

哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.9

ISBN 7-5603-2087-2

I. 现… II. 朱… III. 计算机控制-计算机应用-
工程材料-处理 IV. TB3-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 102192 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

印 刷 肇东粮食印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 16 字数 370 千字

版 次 2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5603-2087-2/TB·48

印 数 1~4 000

定 价 22.00 元

序 言

材料科学与工程系列教材是由哈尔滨工业大学出版社组织国内部分高校专家学者共同编写的大型系列教学丛书,其中第一系列、第二系列教材已分别被列为国家新闻出版总署“九五”、“十五”重点图书出版计划。第一系列教材 9 种已于 1999 年陆续出版。编写本系列教材丛书的基本指导思想是:总结已有、通向未来、面向 21 世纪,以优化教材链为宗旨,依照为培养材料科学人才提供一个较为广泛的知识平台的原则,并根据培养目标,确定书目、编写大纲及主干内容。为确保图书品位,体现较高水平,编审委员会全体成员对国内外同类教材进行了细致的调查研究,广泛征求各参编院校第一线任课教师的意见,认真分析国家教育部新的学科专业目录和全国材料工程类专业教学指导委员会第一届全体会议的基本精神,进而制定了具体的编写大纲。在此基础上,聘请了国内一批知名的专家,对本系列教材书目和编写大纲审查认定,最后确定各册的体系结构。经过全体编审人员的共同努力,第二系列教材即将出版发行,我们热切期望这套大型系列教学丛书能够满足国内高等学校材料工程类专业教育改革发展的需要,并且在教学实践中得以不断充实、完善和发展。

在本书的编写过程中,注意突出了以下几方面特色:

1. 根据科学技术发展的最新动态和我国高等学校专业学科归并的现实需求,坚持面向一级学科、加强基础、拓宽专业面、更新教材内容的基本原则。
2. 注重优化课程体系,探索教材新结构,即兼顾材料工程类学科中金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料共性与个性的结合,实现多学科知识的交叉与渗透。
3. 反映当代科学技术的新概念、新知识、新理论、新技术、新工艺,突出反映教材内容的现代化。
4. 注重协调材料科学与材料工程的关系,既加强材料科学基础的内容,又强调材料工程基础,以满足培养宽口径材料学人才的需要。
5. 坚持体现教材内容深广度适中、够用的原则,增强教材的适用性和针对性。
6. 在系列教材编写过程中,进行了国内外同类教材对比研究,吸取了国内外同类教材的精华,重点反映新教材体系结构特色,把握教材的科学性、系统性和适用性。

此外,本系列教材还兼顾了内容丰富、叙述深入浅出、简明扼要、重点突出等特色,能充分满足少学时教学的要求。

参加本系列教材编审工作的单位有:清华大学、哈尔滨工业大学、北京科技大学、北京

航空航天大学、北京理工大学、哈尔滨工程大学、北京化工大学、燕山大学、哈尔滨理工大学、华东船舶工业学院、北京钢铁研究总院等 22 所院校 100 余名专家学者,他们为本系列教材的编审付出了大量心血。在此,编审委员会对这些同志无私的奉献致以崇高的敬意。此外,编审委员会特别鸣谢中国科学院院士肖纪美教授、中国工程院院士徐滨士少将、中国工程院院士杜善义教授,感谢他们对本系列教材编审工作的指导与大力支持。

限于编审者的水平,疏漏和错误之处在所难免,欢迎同行和读者批评指正。

材料科学与工程系列教材编审委员会

2001 年 7 月

前 言

材料、信息和能源被誉为社会经济发展的三大支柱,而材料处理工艺是决定材料性能的关键因素之一。

随着计算机技术的飞速发展,计算机在材料处理工艺过程中的应用日趋扩大,交叉学科在材料处理中的体现越来越突出。工艺参数的计算机控制,工艺过程的计算机管理,工艺过程数学模型的研究及建立,材料性能的计算机预测,计算机仿真,网络管理,数据库技术,CAD/CAM 等现代控制理论和计算机技术将材料处理发展到一个新的高度。

材料工艺过程控制是一门综合性的应用学科,涉及基本控制理论和数值分析方法,涉及现代传感技术及计算机控制技术,涉及材料科学基本原理以及材料微观组织结构和材料最终机械性能之间的关系,涉及多门学科的交叉和综合运用。

近年来,国内外科技工作者为促进先进技术在材料处理过程中的应用做了大量工作,国外发展尤为迅速。我国由于地域差别较大,科技发展的不平衡性也比较突出,20 世纪五六十年代的材料处理设备与 21 世纪最新科技共存,传统材料处理工艺与现代处理方法共存,高能耗装备与现代绿色环保设备共存。现代科技发展要求我们必须加快步伐,从实践中不断完善,赶超世界先进水平,全面保持材料处理设备、工艺和管理等与科技发展同步。

为了适应高等院校教育体制改革的需要,提高大学生的实践工作能力,为更好地使广大科技工作者了解材料处理领域的现状和未来发展趋势,特编写这本《现代材料处理工艺过程计算机控制》。本书可作为高等学校材料科学与工程各专业的教材,也可作为本学科科技人员自学的教材或参考书。

本书共分六章,第 1 章主要介绍控制理论的基础知识和工艺过程微机控制,及数学模型建模求解所需的数值分析方法;第 2 章主要介绍 8086/88 微处理器原理及其在温度控制中应用的设计和实现;第 3 章主要介绍材料处理工艺过程参数测量及传感器技术;第 4 章主要介绍温度控制系统设计的基本方法;第 5 章主要论述典型化学热处理渗碳工艺过程数学模型及计算机控制;第 6 章主要论述碳纤维材料处理工艺过程计算机控制及管理。

为提高本书的实用性,在内容上重点突出实用性和工程性。另外,各章附有思考题,可进一步加强读者对所学知识的了解,提高分析问题和解决问题的能力。

本书由朱波、蔡珣、钱宇白编著。作者在多年从事本学科教学、科研和教材编写过程中,得到了山东大学黄国靖教授、蔡华甦教授,北京科技大学高仲龙教授的教诲和指导,在此表示衷心的感谢。

本书由山东大学姜江教授审。

书中的部分资料和图表选自有关书刊资料,在此谨向原著作者表示谢意。

由于本书是初次编写,且编者水平有限,存在问题在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2004 年 9 月

目 录

第 1 章 计算机自动控制基础	1
1.1 计算机基础知识	1
1.1.1 数制和编码	1
1.1.2 布尔代数	8
1.1.3 接口技术	11
1.1.4 通信技术	17
1.2 自动控制基础理论	21
1.2.1 采样及其处理	21
1.2.2 测量及误差	29
1.2.3 典型环节	31
1.3 计算机控制系统组成	35
1.3.1 计算机控制系统的组成和工业控制机的特点	35
1.3.2 微型机在控制中的典型应用	37
1.4 计算机控制策略	38
1.4.1 位式控制	39
1.4.2 模糊控制	39
1.4.3 专家系统	40
1.4.4 PID 调节控制策略	43
1.5 最小二乘法曲线拟合	51
1.5.1 最小二乘原理	51
1.5.2 用最小二乘法求数据的曲线拟合	52
思考题	54
第 2 章 微机原理及其工艺过程控制应用	55
2.1 86 系列微处理器结构	55
2.1.1 16 位微处理器概述	55
2.1.2 8086/8088CPU 结构	56
2.2 86 系列微型计算机的指令系统	65
2.2.1 86 系列汇编语言指令语句格式	65
2.2.2 86 系列 CPU 的寻址方式	66
2.2.3 传送类指令	69
2.2.4 算术运算类指令	72
2.2.5 逻辑运算和移位指令	76
2.2.6 串操作指令	79

2.2.7 控制指令	81
2.3 86 系列微型计算机汇编语言程序设计	83
2.3.1 程序设计步骤	83
2.3.2 典型程序编写方法	84
2.3.3 汇编语言及程序设计	92
2.4 微机控制系统应用	125
2.4.1 微机在干燥道控制系统中的应用	125
2.4.2 微机在网络教学系统中的应用	129
思考题	132
第 3 章 材料处理工艺过程参量检测及传感器技术	133
3.1 温度测量及其传感器	133
3.1.1 热电偶	133
3.1.2 热电阻	137
3.1.3 其他温度检测仪器及元件	138
3.2 气氛测量及其传感器	140
3.2.1 气氛传感器	140
3.2.2 加热设备气氛控制要求的类别	147
3.3 压力测量及其传感器	147
3.3.1 弹性式压力测量元件	148
3.3.2 力平衡式压力(差压)变送器	148
3.4 流量测量及其传感器	149
3.4.1 流量检测仪表	149
3.4.2 液位检测仪表	151
3.4.3 阀门	152
思考题	152
第 4 章 温度计算机控制系统设计	153
4.1 常规温度控制仪表	153
4.1.1 动圈式温度指示调节仪	153
4.1.2 电子自动平衡式温度显示与调节仪表	155
4.1.3 辐射测温的物理基础及其基本方法	158
4.1.4 红外测温及其敏感元件	161
4.2 计算机温度控制系统组成	163
4.2.1 数字式温度显示调节仪表	163
4.2.2 工业计算机	164
4.2.3 温度控制调节仪的选择	165
4.3 温度控制实现	166
4.3.1 温度控制执行器	166
4.3.2 加热设备温度自动控制回路	167

4.3.3 燃料炉温度自动控制系统	168
思考题	172
综合设计	172
第 5 章 气体渗碳工艺过程计算机控制	173
5.1 气体渗碳基本原理	173
5.1.1 渗碳过程概述	173
5.1.2 气体渗碳影响因素	174
5.1.3 气体渗碳控制原理	176
5.1.4 气体渗碳设备及工艺	178
5.2 分布式渗碳计算机控制监控系统	180
5.2.1 分布式渗碳计算机控制监控系统组成	180
5.2.2 碳扩散数学模型及数值求解	181
5.2.3 渗碳模型应用	183
5.3 多用炉控制系统实例	189
5.3.1 生产线组成	189
5.3.2 控制系统和控制任务	189
5.3.3 生产线辅助设备及控制	191
思考题	192
第 6 章 碳纤维生产工艺过程计算机监控	193
6.1 碳纤维生产设备及工艺	193
6.1.1 碳纤维及其生产工艺	193
6.1.2 碳纤维生产设备	194
6.2 碳纤维生产工艺过程计算机控制	198
6.2.1 系统组成	198
6.2.2 系统功能	199
6.3 碳纤维前驱体聚丙烯腈纤维生产及计算机信息管理系统	203
6.3.1 聚丙烯腈生产工艺	203
6.3.2 系统设计	203
思考题	209
附录	210
附录 1 热电偶温度与毫伏对照表	210
表 1-1 铂铑 - 铂热电偶分度表	210
表 1-2 镍铬 - 镍硅热电偶分度表	214
表 1-3 镍铬 - 考铜热电偶分度表	217
表 1-4 热电阻分度特征表	219
附录 2 DOS 功能调用一览表	225
表 2-1 软件中断总表	225
表 2-2 INT21H 功能调用一览表	226

附录 3 ASCII 码字符表 231

附录 4 86 系列指令系统汇总 232

 表 4-1 指令操作数(operands)使用符号说明 232

 表 4-2 8086/88 指令系统..... 233

 表 4-3 常用指令对标志寄存器标志位的影响汇总表 242

 表 4-4 MASM 宏汇编语言的保留字 243

参考文献 244

第 1 章 计算机自动控制基础

1.1 计算机基础知识

1.1.1 数制和编码

1. 数制

数制是人们利用符号来记数的科学方法。数制可以有很多种,但在计算机的设计与使用上常使用的则为十进制、二进制、八进制和十六进制。

(1) 数制的基与权

数制所使用的数码的个数称为基;数制每一位所具有的值称为权。

十进制(Decimal System)的基为“10”,即它所使用的数码为 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,共有 10 个。十进制各位的权是以 10 为底的幂,如下面这个数:

8	9	7	2	5	0	1
10^6	10^5	10^4	10^3	10^2	10^1	10^0
百万	十万	万	千	百	十	个

其各位的权为个、十、百、千、万、十万、百万,即以 10 为底的 0 次幂、1 次幂、2 次幂等,顺次称其各位为 0 权位、1 权位、2 权位等。

二进制(Binary System)的基为“2”,即其使用的数码为 0 和 1,共两个。

二进制各位的权是以 2 为底的幂,如下面这个二进制数:

	1	1	0	0	1	0	1
	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
十进制	64	32	16	8	4	2	1

其各位的权为 1,2,4...,即以 2 为底的 0 次幂、1 次幂、2 次幂等,也依次称其各位为 0 权位、1 权位、2 权位等。

八进制(Octave System)的基为“8”,即其数码共有 8 个:0,1,2,3,4,5,6,7。八进制的权为以 8 为底的幂,顺次称其各位为 0 权位、1 权位、2 权位等。

十六进制(Hexadecimal System)的基为“16”,即其数码共有 16 个:0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F。十六进制的权为以 16 为底的幂,也依次称其各位为 0 权位、1 权位、2 权位等。

在日常生活中及计算机高级语言编程过程中,我们最经常使用的是十进制数,但在微机原理及应用中,二进制和十六进制更为常用。

为了便于区分,常在数字后加注数制类别,在数字后面加上(2)和(16)是指二进制和十六进制。同理,如写(8)和(10)则表示为八进制和十进制。也有用字母符号来表示这些数制的:

D 表示十进制,B 表示二进制,O 表示八进制,H 表示十六进制。

例如:

$$4736D = 1001010000000B = 11200O = 1280H$$

$$168_{(10)} = 10101000_{(2)} = 250_{(8)} = A8_{(16)}$$

(2) 数制的转换

① 十进制数转换成二进制数的方法。十进制整数转换成二进制数的方法称做“除 2 取余法”,过程如下:

用 2 不断地去除要转换的十进制数,直至商为 0。每次的余数即为二进制数码,最初得到的为整数的最低有效位(LSB—Least Significant Bit),最后得到的为整数的最高有效位(MSB—Most Significant Bit)。

例 1.1 求 13 的二进制代码,其过程如下:

2		13		
2		6	余 1	第一个余数
2		3	余 0	第二个余数
2		1	余 1	第三个余数
		0	余 1	第四个余数

结果为:1101₍₂₎。

如果十进制小数要转换成二进制小数,则要采取“乘 2 取整法”:不断用 2 去乘要转换的十进制数,每次所得的整数序列即为二进制数。举例如下:

例 1.2 求十进制数 0.625 的二进制数。

用乘法的竖式计算,步骤如下:

0.625	
× 2	

1.25	整数部为 1,即二进制小数后第一位为 1
0.25	
× 2	

0.50	整数部为 0,即二进制小数后第二位为 0
0.50	
× 2	

1.000	整数部为 1,即二进制小数后第三位为 1

结果为:0.101₍₂₎。

至此就不用再算下去了。如果小数位不是 0.00,则还需继续乘下去,直至变成 0.00 为止。因此,一个十进制小数在转换为二进制小数时有可能无法准确地转换。如十进制数 0.1 转换为二进制数时为 0.0001100110…。因此,只能近似地以 0.00011001 来表示。

一个具有整数和小数部分的十进制数,在转换为二进制数时,把它分为整数和小数两部分,然后把它们分别转换为二进制表达式,最后用小数点把这两部分连接起来即可。

② 二进制数转换成十进制数的方法。由二进制数各位的权乘以各位的数(0 或 1)再加起来就得到十进制数。

例 1.3 求二进制数 101011 的十进制数。

	1	0	1	0	1	1
权:	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
乘积:	32	0	8	0	2	1
累加:	43					
结果为:	43 ₍₁₀₎					

二进制小数转换为十进制数时也可用同样的方法,不过二进制小数各位的权是 2^{-1} , 2^{-2} , 2^{-3} …。

例 1.4 求二进制数 0.1011 的十进制数。

	0	1	0	1	1
权:	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}
乘积:	0	0.5	0	0.125	0.0625
累加:	0.6875				
结果为:	0.6875 ₍₁₀₎				

由此可见,一个二进制数可以准确地转换为十进制数,而一个带小数的十进制数不一定能够准确地用二进制数来表示。带小数的十进制数在转换为二进制数时,以小数点为界,整数和小数要分别转换。

其他各种数制之间的转换,其方法和上述方法类似,可以从数制的定义中找到转换的方法。

2. 二进制编码

计算机采用二进制表示的数、字母、符号等都是特定的二进制码来表示,这就是二进制编码。

(1) 二进制编码的十进制数

二进制数虽然实现容易、可靠,运算规律简单,但不直观,在计算机的输入输出时通常还是用十进制表示,不过这样的十进制数,要用二进制编码来表示。

一位十进制数用四位二进制编码来表示,最常使用的是 8421 BCD 码。表 1-1 列出了

一部分编码关系。

表 1-1 BCD 编码表

十进制数	8421 BCD 码	十进制数	8421 BCD 码
0	0000	8	1000
1	0001	9	1001
2	0010	10	00010000
3	0011	11	00010001
4	0100	12	00010010
5	0101	13	00010011
6	0110	14	00010100
7	0111	15	00010101

8421 BCD 码有 10 个不同的数字符号,逢“十”进位,所以它是十进制数,但它的每一位用四位二进制编码来表示,因此称为二进制编码的十进制数 (BCD—Binary Coded Decimal)。

BCD 码非常直观,可以方便地识别出来。

例如(0100 1001 0111 1000. 0001 0100 1001)_{BCD} = (4 978.149)_D

只要熟悉了 BCD 码的 10 个编码,可以很容易地实现十进制与 BCD 码之间的转换。但 BCD 码与二进制之间的转换不是直接的,要先经过十进制。即 BCD 码先转换为十进制码然后再转换为二进制,反之亦然。

(2) 字母与字符的编码

字母和各种字符也必须按特定的规则用二进制编码才能在计算机中表示。目前在微型机中最普遍采用的是 ASCII(American Standard Code for Information Interchange 美国标准信息交换码)码,编码表见附录 3。

ASCII 码采用七位二进制编码,可表示 128 个字符,其中包括数码(0~9)及英文字母等可打印的字符。从表中可以看出,数码 0~9 相应地用 0110000~0111001 来表示。因微型机通常字长为 8 位,所以通常将第 8 位 bit7 用做奇偶校验位。但在计算机中表示时,常认其为 0,故用一个字长(即一个字节)来表示一个 ASCII 码。于是 0~9 的 ASCII 码为 30H~39H,大写字母 A~Z 的 ASCII 码为 41H~5AH。

3. 带符号数的表示法

(1) 机器数与真值

在计算机中,数显然有正有负,那么符号是怎么表示的呢? 通常一个数的最高位为符号位。即若字长为 8 位, D_7 为符号位, $D_6 \sim D_0$ 为数字位。符号位用 0 表示正,用 1 表示负。如

$$X = (010111011)_2 = +91$$

而 $X = (110111011)_2 = -91$

连同一个符号位在一起作为一个数,称为机器数,而它的数值称做机器数的真值。

为了运算方便,在计算机中负数有三种表示法——原码、反码和补码。

(2) 原码

按上所述,正数的符号位用 0 表示,负数的符号位用 1 表示。这种表示法称做原码表示法。

$$X = +105, [X]_{\text{原}} = 0 \quad 1101001$$

$$X = -105, [X]_{\text{原}} = 1 \quad 1101001$$

原码表示简单易懂,与真值转换方便。但若是两个异号数相加(或两个同号数相减),就要做减法。为了把上述运算转化为加法运算,引进了反码和补码。

(3) 反码

正数的反码表示与原码相同,最高位为符号位,用“0”表示正,其余位为数值位。而负数的反码表示其正数按位取反(连同符号位)数值,如

$$(+31)_{10} = 0 \quad 0011111$$

$$(-31)_{10} = 1 \quad 1100000 \quad \text{——反码表示}$$

$$(+127)_{10} = 0 \quad 1111111$$

$$(-127)_{10} = 1 \quad 0000000 \quad \text{——反码表示}$$

表 1-2 所示为 8 位二进制数的反码,它有以下特点:

- ① “0”有两种表示方法。
- ② 8 位二进制反码所能表示的数值范围为 $+127 \sim -127$ 。
- ③ 当一个带符号数用反码表示时,最高位为符号位。当符号位为 0(即正数)时,后面的七位为数值部分,但当符号位为 1(即负数)时,后面几位表示的不是此负数的数值,一定要把它们按位取反才表示它的二进制数值。

- ④ 当计算机字长超过 8 位时,其数值位数值保持不变,符号位数值向高端扩展。

表 1-2 不同数的表示方法

二进制数码	无符号二进制	原码	补码	反码
00000000	0	+0	+0	+0
00000001	1	+1	+1	+1
00000010	2	+2	+2	+2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
01111100	124	+124	+124	+124
01111101	125	+125	+125	+125
01111110	126	+126	+126	+126
01111111	127	+127	+127	+127
10000000	128	-0	-128	-127
10000001	129	-1	-127	-126
10000010	130	-2	-126	-125
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
11111100	252	-124	-4	-3
11111101	253	-125	-3	-2
11111110	254	-126	-2	-1
11111111	255	-127	-1	-0

(4) 补码

正数的补码表示与原码相同,即最高位为符号位,用“0”表示,其余位为数值位;而负数的补码为在它的反码的最后位(即最低位)加1。如

$$[+31]_{\text{原}} = 0 \quad 0011111$$

$$[-31]_{\text{反}} = 1 \quad 1100000 \quad \text{——反码表示}$$

$$[-31]_{\text{补}} = 1 \quad 1100001 \quad \text{——补码表示}$$

$$[+127]_{\text{原}} = 0 \quad 1111111$$

$$[-127]_{\text{反}} = 1 \quad 0000000 \quad \text{——反码表示}$$

$$[-127]_{\text{补}} = 1 \quad 0000001 \quad \text{——补码表示}$$

8位带符号数的补码也列在表1-2中,它有以下特点:

① $[+0]_{\text{补}} = [-0]_{\text{补}} = 00000000$ 。

② 8位二进制补码所能表示的数值为 $+127 \sim -128$ 。

③ 用一个补码表示的二进制数,最高位为符号位,当符号位为0(即正数)时,其余7位即为此数的二进制数值;但当符号位为1(即负数)时,其余几位不是此数的二进制数值,把它们按位取反,并在最低位加1才表示它的二进制数值。

4. 定点数与浮点数

在微型计算机中,不但有整数运算,还有小数运算。小数在计算机中的存放形式主要有两种,即定点数和浮点数。

(1) 定点小数的表示方法

定点小数是指小数点准确固定在数据某个位置上的小数。从实用看,都把小数点固定在最高数值位的左边,小数点前边再设1位符号位。按此规则,任何一个小数都可以被写成

$$N = N_s.N_{-1}N_{-2}\cdots N_{-m}$$

如果在计算机中用 $m+1$ 个二进制位表示上述小数,则可以用最高(最左)一个二进制位表示符号(如用0表示正号,则1表示负号),而用后面的 m 个二进制位表示该小数的数值。小数点不用明确表示出来,因为它总是定在符号位与最高数值位之间,已经成为定论。定点小数的值的范围很小,对用 $m+1$ 个二进制位表示的小数来说,其值的范围为

$$|N| \leq 1 - 2^{-m}$$

小于1的纯小数对用户算题是十分不方便的,在算题前,必须把要用的数,通过合适的“比例因子”化成绝对值小于1的小数,并保证运算的中间和最终结果的绝对值也都小于1,在输出真正结果时,还要把计算的结果按相应比例加以扩大。

定点小数也被用来表示浮点数的尾数部分。

(2) 浮点数的表示方法

浮点数是指小数点在数据中的位置可以左右移动的数据。它通常被表示成

$$N = M \cdot R^E$$

这里 M (Mantissa) 被称为浮点数的尾数, R (Radix) 被称为阶的基数, E (Exponent) 被称为阶的阶码。计算机中一般规定 R 为2、8或16,是一个常数,不需要在浮点数中明确表示。因此,要表示浮点数,一是要给出尾数 M ,通常用定点小数形式表示,它决定了浮点数