

新世纪计算机及相关专业系列教材

计算机

组成与设计

胡越明 编著

 科学出版社
www.sciencep.com

新世纪计算机及相关专业系列教材

计算机组成与设计

胡越明 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍计算机系统的工作原理和设计方法,包括计算机数字电路基础、数据的编码和运算器的设计、存储器的原理与设计、指令系统与控制器的设计,以及输入/输出接口和总线的设计等。本书在介绍计算机硬件工作原理的基础上,还介绍了有关电路的设计细节。通过阅读本书并完成本书的习题,读者可以了解和掌握计算机系统中各个部分的构成,以及用数字电路技术设计计算机系统的基本方法。

本书适合作为大学本科计算机以及相关专业的教材,也可以作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与设计/胡越明编著. —北京:科学出版社, 2006

(新世纪计算机及相关专业系列教材)

ISBN 7-03-017258-2

I. 计… II. 胡… III. ①计算机体系结构②电子计算机-设计
IV. TP30

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 050235 号

责任编辑:陈晓萍/责任校对:耿耘

责任印制:吕春珉/封面设计:王浩

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>

信浩彩色印装有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006年6月第一次印刷 印张:24 1/4

印数:1—3 000 字数:575 000

定价:32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话:010-62136131 编辑部电话:010-62138978-8003

新世纪计算机及相关专业系列教材

编委会

顾问编委

施伯乐教授	复旦大学
何积丰教授	华东师范大学

主任

白英彩教授	上海交通大学
-------	--------

秘书长

张昆藏教授	青岛大学
-------	------

编委

刘 璟教授	南开大学
宋方敏教授	南京大学
何炎祥教授	武汉大学
余雪丽教授	太原理工大学
阮家栋教授	上海工程技术大学
顾训穰教授	上海大学
徐汀荣教授	苏州大学
曾 明教授	西安交通大学
曹元大教授	北京理工大学
曹文君教授	复旦大学
陶树平教授	同济大学
缪淮扣教授	上海大学
谢康林教授	上海交通大学

序 一

电子计算机(又称电脑)自20世纪中叶诞生以来,经历了一个只能由极少数人参与研制、应用的神秘阶段,长达30多年,直到80年代才逐渐进入普遍应用与普适教育阶段。这时的计算机应用已渗透到国民经济的各部门,进而又用于人们的工作、生活和娱乐等方面,此乃是由于计算机与通信技术、自动化技术和微电子技术的密切结合的结果,并以网络形态迅速普及发展开来。与此同时,掀起了以信息技术(IT)为基础的信息经济时代。大致说来,IT经历了三次浪潮,即以1981年个人计算机(PC)的推出乃至广泛应用的阶段为第一次浪潮;20世纪90年代初期,Internet被推向社会进入商用阶段,从而掀起了第二次IT浪潮;本世纪之初又掀起了以发展存储为中心的存储区域网(SAN)和网络附加存储系统(NAS),用以存储和保护海量昂贵数据为目标的第三次IT浪潮。这三次浪潮期间也恰逢我国处于改革开放时期,计算机是IT的重要子集,使全国的计算机教育也得到蓬勃的发展,止于1995年,全国已有137所高校设有计算机系或专业,而到2005年,我国已发展到有505所高校具有计算机本科以上的计算机科学技术专业,其中部分高校还招收相应的硕士、博士研究生,说明最近的10年我国IT技术处于加速发展时期。针对这种情况,我国以往在计算机教育方面多沿用美国的IEEE/ACM组织的CC1991/CC2001计算机学科的课程计划,恐难以适应。

新世纪以来,更多的专家、学者认为,计算机科学技术的教学任务目标,以划分为培养“研究型”、“工程型”和“应用型”三个方面的人才为宜。这三方面不是上、中、下的层次关系,而是处于同一层面。只是培养各类型人才在数量上不同而已。“研究型”人才可能占极少数,“应用型”人才是大多数。而培养“应用型”人才的任务还可以根据各高校的自身情况而细化为是为哪一行业背景而培养相应的应用型人才。这种定位很重要,既涉及各高校的教学设施、教学队伍和生源情况,又涉及当下的人才市场需求情况。我们在科学出版社支持下成立的“新世纪计算机及相关专业系列教材”编委会,其宗旨就是要满足新形势下的计算机教育为己任的。

我们认为,针对“研究型”人才的计算机教育,其课程设置应有:程序设计基础、离散结构、数据结构、算法分析、计算机组成基础、计算机体系结构、操作系统、数据库原理、编译原理、软件工程、计算机网络等为核心课程。而培养“应用型”人才的计算机的课程设置,只选上述大部分的核心课程即可,代之以更靠近行业应用和更侧重实训性的课程,例如嵌入式系统、计算机网络通信、微机原理与接口、数字逻辑、人工智能、计算机图形学和信息系统工程等,也可以为面向某行业应用背景,开设相应的组合式的课程,其中包括一些对口的选修课和实训性课程。培养“工程型”人才,则介于上述两者之间。在此恕不再赘述。

由于信息技术发展迅猛,其教育内容也日益增多,为使学生既打好基础,又培养其具有实践能力和适应市场需要而精心地设计好课程设置计划是各院校一项首要任务。本编委会的任务在于组织业内的知名教授、专家和学者专心编审出一批相应的教材为

己任。

本套教材的出版工作于 2000 年正式启动，由上海交通大学左孝凌教授负责协调、组织工作。几年来，一批优秀教材陆续出版，在读者中反映良好。2004 年 8 月，左教授因病去世。编委会于 2005 年 1 月聘上海交通大学白英彩教授接任编委会主任，并增补青岛大学张昆藏教授为编委会秘书长，协助继续完善这套教材。我们诚恳希望各兄弟院校的教师能够参与、协助、承担和分享编委会的任务。

编委会
(白英彩执笔)
2006 年 5 月

序 二

20年来, 计算机学科的发展日新月异, 促使现代科学在各个领域突飞猛进。目前, 计算机科学技术已应用在实时控制、信息处理、通信传输、企事业管理等领域, 成为人们工作、学习、生活必不可少的工具。计算机技术的发展瞬息万变, 具有以下三方面特点:

(一) 传统的工、理、文、医、商、农在计算机的应用方面都有着各自专业的需要, 例如, 经济、艺术、法律、管理、医学等各种学科都需要依赖于计算机技术的应用。除了各自领域的专业实践外, 应用计算机已是各个专业提高效率、发挥潜能、促进发展的必不可少的手段。因此现在很难用传统的工、理、文、医、商、农等去界定学科的分类。

(二) 计算机网络改变了计算机通信的时空距离。计算机应用的发展是与计算机网络的发展紧密相连的。从最初的局域网 (LAN) 到广域网 (WAN), 以至用一种新的方法将 LAN 和 WAN 互联起来, 即成为网际网 (Internetwork)。这种网际网的实验原型 Internetwork, 通常缩写为 Internet。计算机网络将计算机互联起来, 从而使计算机之间可以交换信息, 而且这种信息交换可以在几分钟内就影响到世界各地。计算机网络的发展, 带动了计算机学科在很多领域的拓展。

(三) 现代计算机学科向综合性发展。计算技术发展伊始, 每种学科均以软硬件分类, 泾渭分明。但自网络发展以来, Internet 软件中的两部分变得特别重要和特别具有开创性, 即网际协议 (Internet protocol, 简称 IP) 和传输控制协议 (transmission control protocol, 简称 TCP)。这些协议是必不可少的软件系统。但是在网络系统中, 网络的互联必须依靠路由器、服务器、接口插座、调制解调器等硬件设施, 所以计算机网络很难归结为软件或硬件的单一体系。

随着计算机技术的发展, 计算机与通信、视频、声音等密不可分; 随着多媒体的发展和应用, 计算机科学已经愈来愈成为与数字传输、视频、声、光、电等综合的学科。

尽管计算机技术的发展如此神速、新异, 但像一切新学科的发展一样, 计算机教育水平仍滞后于计算机技术的发展。为了适应计算机教学改革的需要, 我们国内部分重点院校的教授、学者, 在科学出版社的积极鼓励和支持下, 成立了新世纪计算机及相关专业系列教材编委会。自 2000 年 10 月以来, 我们群策群力, 多次探讨了当前教育与技术进展之间的差距, 并且仔细研讨了美国 ACM/IEEE-CS 公布的 *Computing Curricula 2001* 的优点与不足, 结合我国计算机教育的实际情况, 提出了编著一套适用于计算机本科专业的励精图治的教材计划。这套教材的选题、定位乃至作者的遴选都得到了国内很多著名教授和学者的认同, 并且有很多选题争取到了由一些著名教授亲自参与编写。这套教材立意着重基础, 反映导向, 注重实践。

因此我们在基础课目方面, 首先列选了数据库原理、操作系统、编译程序原理、智能基础等基础教程。这些基础课教材都由一些国内著名学者执笔, 论述内容既注意打

好扎实基础，又注意要反映最新导向，高屋建瓴，使读者迅速接近最新领域。

同时，为了反映导向，我们抓住网络课程作为计算机专业学生的应用基础，编写了一本实用性极强的《计算机网络教程》。这本教材的编著思想是以基础-理论-应用为主线，通信是基础，协议是核心，互联是重点，应用是目标。

其次，为了拓展学生的网络应用本领，我们还安排了电子商务、多媒体应用以及 Web 数据库技术三门应用课程。电子商务和多媒体应用是计算机应用中最为热门的课程，也是拓展性极广的计算机应用领域，应用前景极为广阔。

Web 数据库技术是一种随着互联网技术发展起来的应用技术。它涉及网络、HTTP 协议、Script 语言、动态网页开发平台、远程数据访问技术等各种网络应用技术。目前国内外还无适合教材，因此，编写 Web 数据库技术的教材，可以说是填补了应用领域的空白。

在研究美国公布的“计算 2001-CS 教程”中，我们仔细探讨了数据结构这一课程的变化。在“计算 1991 教程”中，数据结构内容明确放在算法与数据结构之中，而“2001-CS 教程”却无数据结构的课程名称，代之以程序设计基础（programming fundamentals）。文件中提到了基本数据结构和抽象数据类型以及面向对象的程序设计等内容。从这里可以看出，数据结构是以程序设计基础作为研究对象的。另外该教程把算法与复杂性作为一个单独课程列出，这一方面说明算法是一种问题求解的策略；另一方面也说明基本算法及复杂性的讨论对于程序设计是多么重要。

为此在这套丛书中我们安排了一个软件课程系列，即开设从语言、数据结构、算法到软件工程的课程。首先我们从面向对象的 C++ 语言入手，进一步讲解语言学概论。主要内容是分析语法结构，掌握语言构成规律，读懂语言文本。任何计算机语言均可触类旁通，这种从结构规律来学会应用的方法，就是以不变应万变，因为从根本上说，尽管计算机语言千变万化，但万变不离其宗。在搞通语言的基础上，我们组编了数据结构，或者说是研究程序设计基础。然后是学习基本算法，也就是为了程序设计需要，而进行问题求解，即进行常用算法讨论。为了使开发软件遵循工程管理方法，软件工程的学习将是计算机专业学生规范软件开发的必不可少的训练课程。

我们筹组这套丛书时，希望每本教材都有创意，能引起共鸣，能被关注，能被采纳，能被推广。但是我们也注意到，由于各个学校情况不同，各人观点不同，理解角度也有所不同，所以对教材的选用和编著，不易一致认同。不过我们希望这套教材能够反映当前学校动向，在促进学以致用等方面有所促进、有所推动，更希望兄弟院校的教师、学者能够积极使用，参与讨论，以使本套丛书能够不断修改，日臻完善。

最后，我要感谢科学出版社的领导对本套丛书的列选、报审、出版所给予的鼓励和支持。

左孝凌

前 言

计算机科学是一门发展迅速的学科，计算机技术是发展迅速的工程技术。尽管在计算机组成原理的课程方面，已经有许多教材，但是，由于这一学科和技术的发展在不断涌现出新的理念、新的方法、新的技术和新的标准，因此促使我们不断更新这一课程的教学内容。本书就是在这一背景下编写完成的。

随着我国 IC 产业（集成电路产业）的发展，芯片设计需要大量的人才。这个产业的技术人才不仅需要了解计算机硬件的工作原理，还需要掌握相应的设计技术。为此，本书在介绍计算机硬件工作原理的基础上，还介绍了有关电路的设计，以满足国家经济建设对 IC 人才培养的需求。

在编写本书时，我们在已有教材内容的基础上，融入了一些新的内容，舍去了一些陈旧的内容。本书的编写还在教学方法上作了新的尝试，教材的第一章专门介绍数字系统以及相关的设计开发知识，如可编程器件、硬件描述语言等，增加了教学内容的实用性。考虑到目前各种 EDA 软件的推广和普及，教材中将许多计算机的部件都以 EDA 软件绘制的电路图形式出现，从而可以提供更多细节的信息，以便学生熟悉和掌握 EDA 工程图纸，以及掌握和巩固所学的 EDA 软件工具知识，从而将原理的学习与工程实践更好地结合，为学生将来从事计算机系统和芯片设计行业打下良好的基础。

本书的另一个特色是与实验指导书的内容相互衔接，在计算机硬件设计与实现方面作了更加深入的介绍，使得学生在课程实验中能够较快地开始动手。学生通过这一门课程的学习能够获得计算机以及数字系统开发的实用知识和技能。在内容方面，本书也力图与配套的实验教程相衔接，书中介绍了一些与实验相关的基础知识、基本实验电路、实验手段等知识。书中介绍了实验中用到的部分芯片，如存储器芯片，同时还介绍了实验中需要了解的一些概念，如指令的流水执行方式。

本书的编写是作者在上海交通大学计算机系十多年教学实践的基础上完成的，编写工作得到上海交通大学白英彩教授的支持和指导，以及配套实验教程的作者王炜老师的支持与配合，在此表示衷心的感谢。书中可能存在缺点、错误和不足之处，欢迎广大师生和读者提出批评和建议。

胡越明

2006 年 2 月

目 录

序一

序二

前言

1 数字系统及其设计	1
1.1 数字逻辑与数字电路	1
1.1.1 逻辑代数的基本知识	2
1.1.2 常见的门电路	5
1.2 数字系统基础	18
1.2.1 数字系统的表示	18
1.2.2 数字系统的实现	19
1.2.3 数字系统中的信号延迟与干扰	25
1.2.4 数字系统的可靠性	28
1.2.5 数字系统的功率消耗	30
1.3 数字系统设计	31
1.3.1 EDA 简介	31
1.3.2 硬件描述语言	35
习题 1	41
2 计算机系统概论	44
2.1 计算机的基本构成	44
2.1.1 运算器	45
2.1.2 存储器	45
2.1.3 控制器	47
2.1.4 输入/输出设备	48
2.1.5 系统连接	49
2.2 计算机软件概述	50
2.2.1 软件分类	50
2.2.2 操作系统的概念	51
2.2.3 计算机语言及其编译	53
2.3 计算机系统的历史与发展	56
2.3.1 计算机的发展历史	57
2.3.2 计算机的分类	60
2.3.3 计算机的应用领域	63
习题 2	66
3 数据编码	68
3.1 数制的转换	68
3.2 定点数的编码	71

3.2.1	无符号数的编码	71
3.2.2	有符号数的编码	72
3.3	浮点数的编码	76
3.4	文字的编码	81
3.4.1	英文字符的编码	82
3.4.2	汉字的编码	83
3.4.3	十进制数的编码	84
3.5	检错码和纠错码	85
3.5.1	奇偶校验码	86
3.5.2	海明码	87
3.5.3	循环码	91
3.6	图形数据编码	96
	习题 3	98
4	数据运算与运算器	102
4.1	定点数加减法运算	102
4.1.1	补码加法	102
4.1.2	补码减法	103
4.1.3	溢出概念与检测方法	103
4.1.4	基本的二进制加法/减法器	106
4.2	定点数乘除法运算	109
4.2.1	原码一位乘法	109
4.2.2	补码一位乘法	111
4.2.3	定点数除法运算	115
4.3	逻辑运算	119
4.4	定点运算器的组成结构	121
4.5	浮点数运算和浮点运算器	124
4.5.1	浮点加法和减法	124
4.5.2	浮点乘、除法运算	129
4.6	图形数据运算	131
	习题 4	137
5	存储系统	139
5.1	存储器芯片简介	139
5.1.1	SRAM 芯片的结构和工作原理	139
5.1.2	DRAM 芯片的结构和工作原理	143
5.1.3	ROM 的结构和原理	150
5.1.4	相联存储器	154
5.2	存储系统的构成	156
5.2.1	位扩展	157
5.2.2	字扩展	159
5.2.3	字位扩展	160
5.3	高速缓冲存储器	162

5.3.1	基本原理	162
5.3.2	地址映像	165
5.3.3	替换策略及更新策略	174
5.4	虚拟存储器	177
5.4.1	页式虚拟存储器	179
5.4.2	段式虚拟存储器	181
5.4.3	段页式虚拟存储器	182
	习题 5	184
6	指令系统	191
6.1	指令格式和指令编码	191
6.1.1	操作码	192
6.1.2	地址码	194
6.1.3	指令字	195
6.2	操作数的存储及其寻址方式	197
6.2.1	操作数的类型和存储方式	197
6.2.2	数据的寻址方式	200
6.3	指令系统	204
6.3.1	指令系统的设计	204
6.3.2	常见指令类型	205
6.3.3	指令系统设计思想	209
6.3.4	指令系统实例	211
	习题 6	215
7	控制器	222
7.1	基本概念	222
7.2	指令周期	230
7.2.1	运算指令周期	230
7.2.2	访存指令周期	232
7.2.3	控制指令周期	234
7.3	硬连线控制器	235
7.3.1	指令周期流程图	235
7.3.2	硬连线控制器的设计	237
7.4	微程序控制器	241
7.4.1	微程序和微指令	241
7.4.2	微程序控制器原理	242
7.4.3	微程序的设计	242
7.5	阵列逻辑控制器	249
7.6	指令的流水执行	253
	习题 7	258
8	系统总线	263
8.1	总线的基本概念	263
8.1.1	总线的分类	263

8.1.2	总线的信息传输方式	265
8.1.3	总线通信的定时方式	268
8.2	总线控制	272
8.2.1	链式查询方式	272
8.2.2	计数器定时查询方式	273
8.2.3	独立请求方式	274
8.3	总线信号传输技术	276
8.4	总线接口	281
8.4.1	串行总线接口	282
8.4.2	并行总线接口	286
	习题 8	295
9	外围设备	298
9.1	输出设备	298
9.1.1	显示设备	298
9.1.2	打印设备	301
9.2	输入设备	305
9.2.1	文字输入设备	305
9.2.2	图形输入设备	306
9.2.3	图像输入设备	308
9.2.4	音频输入/输出设备	310
9.3	磁盘存储设备	311
9.3.1	磁记录原理与记录方式	311
9.3.2	硬磁盘存储设备	314
9.3.3	磁盘阵列	318
9.4	光盘存储设备	321
9.4.1	光盘的分类	321
9.4.2	光盘的结构	321
9.4.3	信息存储方式	322
9.4.4	光盘驱动器	323
9.4.5	可擦写光盘	324
	习题 9	325
10	输入/输出系统	328
10.1	基本的输入/输出方式	328
10.1.1	外围设备的寻址	329
10.1.2	外围设备的定时	330
10.1.3	程序查询输入/输出方式	331
10.2	中断	334
10.2.1	中断的基本概念	334
10.2.2	中断响应的过程	335
10.2.3	中断请求与裁决	337
10.2.4	多重中断与中断屏蔽	339

10.2.5 中断的类型与应用	344
0.3 直接存储器访问的输入/输出方式	345
10.3.1 DMA 方式的基本概念	345
10.3.2 DMA 传送方式	346
10.3.3 基本的 DMA 接口	347
10.4 通道输入/输出方式	349
10.4.1 通道的类型	350
10.4.2 通道的功能	352
10.4.3 通道工作过程	353
10.4.4 输入/输出接口与总线	354
习题 10	369
主要参考文献	371



数字系统及其设计

现实世界中存在着许多物理量。这些物理量可以分为模拟量和数字量两种。模拟量具有连续变化的特点，如温度、水位、电压、物体的运动速度等；数字量是一种表示非连续数值的量，这些非连续的数字量可以是各种数字、字母、算符及符号等，如数字 0, 1, 2, …, 9 是 10 个离散的数值。现实世界有许多数字量的例子，如人数、姓名、日期、考试分数等。使用数字量来传递和加工处理信息的实际工程系统称为数字系统。数字系统的特点是它所处理的信息都是离散的数值元素，将模拟量也表示成数字量。离散数值元素按不同方式排列可以表示各种信息，连续的物理量在一定精度范围内可以表示为数字量。在数字系统中，用一定位数的数值表示物理量，形成数据。数字系统在对离散的物理量进行加工处理和传输的过程中，可以保持数据的精度。实际上，数字量的处理过程可以达到比模拟量处理更高的精度，数字量特别适合于进行复杂的处理，而且数字量便于数据的存储和传输，因此数字系统成为目前信息处理的主流以及未来信息处理系统的发展方向。

数字计算机是一种完成各种数据计算和信息处理任务的数字系统。离散的数字量有无穷多个，但在计算机中只能表示有限个。计算机中表示的数字信息是一种具有有限离散数值的信息，每一个数字量信息在计算机中用有限数量的离散状态的代码表示。计算机的基本功能是数据的存储和运算。为了便于数字量在计算机中的表示，数字系统采用二进制代码。这种二进制代码以电压、电流等物理量表示。电压的高和低、电流的有和无可以表示二进制的 0 和 1。信息在计算机中的二进制数值表示使得电路中只需要表示两种状态，数据的传递、存储和运算可靠性更高，不易受到电路中物理参数变化的影响，结果更加精确。由于数字电路的简单性，容易用晶体管集成电路实现，从而发展成数字电路技术。

在介绍计算机系统基本原理之前，本章先介绍数字逻辑以及数字系统的基本概念。

1.1 数字逻辑与数字电路

在数字电路中，信息以二进制数据的代码形式表示。采用二进制数的系统只有两个记数符号，0 和 1。二进制数据中的一个记数符号称为“位”（bit），信息通常表示为若干个位，通过这种位的组合，计算机中就可以表示各种数据和字符，如十进制数值和英文字母。这种把数据信息表示成二进制位组合的表示过程称为编码。每个二进制位组合又称为代码，它是编码的结果。1 个二进制位可以有 0 和 1 两个代码，2 个

二进制的位可以有 4 个代码 (00, 01, 10, 11), 3 个二进制的位可以有 8 个代码 (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111)。一般而言, n 个二进制位可构成 2^n 个代码。

数字电路所表示的逻辑意义以及运算关系的抽象构成了数字逻辑代数。数字逻辑代数研究如何把复杂的逻辑关系分解成许多简单的逻辑函数的表示, 使得这种逻辑函数的表示能够用数字电路实现。它是学习和理解数字电路的基础。

1.1.1 逻辑代数的基本知识

在数字逻辑中, 把客观世界中反映“是”和“非”、“真”和“假”、“开”和“关”的现象称为逻辑现象, 用数值 1 和 0 表示。通常, 1 代表“真”, 1 信号又称为有效信号, 或者升起 (asserted) 的信号; 0 代表“假”, 是信号的无效状态, 或降落 (deasserted) 的信号。这种数值称为逻辑值。这两个逻辑值代表相反的含义, 称为互补的, 或者互反的。逻辑值之间可以根据一定的规则进行运算。逻辑值的基本运算有逻辑加、逻辑乘和逻辑非; 把这些基本运算组合起来, 可以构成各种复杂的逻辑关系的表达。关于逻辑运算的代数称为逻辑代数或布尔代数 (Boolean algebra)。布尔代数是一种定义在有限数值空间中的数学理论。

逻辑代数是关于逻辑变量之间数学关系的科学。它研究逻辑运算的规则和规律。和普通代数一样, 逻辑代数也用字母表示变量, 如 A 和 B 。所不同的是, 在普通代数中, 变量的取值可以是任意实数, 而逻辑代数是一种二值代数系统, 任何变量的取值只有 0 和 1 两种可能。逻辑代数是关于数字系统的描述, 它描述逻辑变量之间的运算关系。逻辑代数的基础是一整套定义了基本函数的逻辑运算。这些函数是由通过一个或多个输入变量产生一位输出来实现的。

逻辑“加”运算又称为逻辑“或”, 用运算符号“+”表示。它的运算规则是: 在 $A+B$ 中, 只要 A 和 B 有一个为 1, 则结果为 1, A 和 B 都为 0 时结果为 0。如果逻辑加的结果用 L 表示, 那么逻辑加表示为 $L=A+B$ 。

逻辑“乘”运算又称为逻辑“与”, 用运算符号“ \cdot ”表示, 运算符号一般可以省略。如果逻辑乘的结果用 L 表示, 那么逻辑乘表示为 $L=A \cdot B$ 或 $L=AB$ 。它的运算规则是: 在 $A \cdot B$ 中, 只要 A 和 B 有一个为 0, 则结果为 0, A 和 B 都为 1 时结果为 1。

逻辑“非”运算将 1 变成 0, 将 0 变成 1, 运算符号用变量名称上方的一个横杠表示。如果逻辑变量为 A , 它的逻辑非的运算结果为 L , 那么逻辑非表示为 $L=\bar{A}$ 。当 A 为 0 时, L 为 1; A 为 1 时, L 为 0。

用若干个逻辑变量和逻辑运算符组成的数学式称为逻辑表达式。如 $L=AB+C$ 。对于参与运算的各个逻辑变量的所有取值组合, 都可以列出逻辑表达式的运算结果表格, 这种表格称为真值表。它是逻辑代数特有的一种表示方式。因为在逻辑代数中, 数值是有限的, 我们可以把逻辑变量的所有可能的值的组合都罗列出来, 在一般代数中则不可能。

在逻辑加运算中, 当参与运算的每一项都为 0 时, 结果才为 0; 只要有一项为 1, 结果就为 1。这样的逻辑函数可以用一个真值表来表示, 在真值表中可以把自变量的各

种可能的状态组合都罗列出来并给出在各种状态组合下的因变量的值。对于逻辑加的情况，如果只有两个自变量，如 $A+B$ ，那么 A 和 B 的各种取值组合只有四种情况，即 $A=0$ 且 $B=0$ ， $A=0$ 且 $B=1$ ， $A=1$ 且 $B=0$ ， $A=1$ 且 $B=1$ 。四种情况下的运算结果只有第一种为 0，其余都为 1。这样，我们可以列出真值表，如表 1-1 所示。

用代数形式表示，逻辑加的运算规则可以表示为

$$0+0=0$$

$$0+1=1$$

$$1+0=1$$

$$1+1=1$$

同样，可以列出逻辑乘的真值表，如表 1-2 所示。逻辑乘的运算规则的代数表示是

$$0 \cdot 0=0$$

$$0 \cdot 1=0$$

$$1 \cdot 0=0$$

$$1 \cdot 1=1$$

表 1-1 逻辑加的真值表

A	B	A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

表 1-2 逻辑乘的真值表

A	B	A · B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

逻辑非的真值表如表 1-3 所示，它的代数表示为

$$\bar{0}=1$$

$$\bar{1}=0$$

表 1-3 逻辑非的真值表

A	\bar{A}
0	1
1	0

逻辑加和逻辑乘满足交换律、结合律和分配律等运算法则，即

交换律： $A+B=B+A$

$$AB=BA$$

结合律： $(A+B)+C=A+(B+C)$

$$(AB)C = A(BC)$$

分配律： $A(B+C) = AB+AC$

$$A+(BC) = (A+B)(A+C)$$

吸收律： $A + AB = A$

$$A(A+B)=A$$

$$A + \bar{A} B = A+B$$

$$A(\bar{A}+B) = AB$$

反演律： $\bar{\bar{A}+B}=\overline{A+B}$