



普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等教育机电类规划教材

MICROCOMPUTER THEORY AND APPLICATION

微机原理及应用

第3版

胡 钢 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等教育机电类规划教材

微机原理及应用

第3版

主 编 胡 钢
副主编 王 萍 张慰兮
参 编 田鸿发 厉荣卫 郭 琳
主 审 江正战



机械工业出版社

本书在第2版的基础上进行修订,并根据多年来的教学使用情况及微机发展现状对部分章节进行了补充和调整。全书以16位机为主讲机型,主要内容有计算机基础知识、8086/8088微处理器的结构、8086/8088的指令系统、汇编语言程序设计、存储器、输入/输出接口及中断、计数器/定时器、A-D转换和D-A转换接口、总线技术、计算机发展简介。

本书叙述由浅入深,体系结构合理,理论联系实际,可作为高等院校非计算机类专业的教材,也可作为各类成人教育学校、培训班的教材或参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

微机原理及应用/胡钢主编. —3版. —北京:机械工业出版社, 2015.12

普通高等教育“十三五”规划教材 普通高等教育机电类规划教材
ISBN 978-7-111-52272-0

I. ①微… II. ①胡… III. ①单片微型计算机-高等学校-教材
IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第283327号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:余 皞 责任编辑:余 皞 吴晋瑜 刘丽敏

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:张 静 责任印制:李 洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2016年3月第3版第1次印刷

184mm×260mm·18.75印张·440千字

标准书号:ISBN 978-7-111-52272-0

定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

普通高等教育机电类规划教材编审委员会

主任委员：邱坤荣

副主任委员：黄鹤汀 周骥平 左健民 高文龙

王晓天 蔡慧官

委员：（排名不分先后）

沈世德 周骥平 徐文宽 唐国兴

邓海平 戴国洪 李纪明 吴建华

鲁屏宇 王 钧 赵连生

序

20 世纪末、21 世纪初，在社会主义经济建设、社会进步和科技飞速发展的推动下，在经济全球化、科技创新国际化、人才争夺白炽化的挑战下，我国高等教育迅猛发展，胜利跨入了高等教育大众化阶段，使高等教育理念、定位、目标和思路等发生了革命性变化，正在逐步形成以科学发展观和终身教育思想为指导的新的高等教育体系和人才培养工作体系。在这个过程中，一大批应用型本科院校和高等职业技术学院异军突起，超常发展，1999 年已见端倪。当时我们敏锐地感到，这批应用型本科院校的崛起，必须有相应的应用型本科教材来满足她的教学需求，否则就有可能使她回到老本科院校所走过的学术型办学路子。2000 年下半年，我们就和机械工业出版社、扬州大学工学院、南京工程学院、河海大学常州校区、淮海工学院、南通工学院、盐城工学院、淮阴工学院、常州工学院、江南大学等 12 所高校在南京工程学院开会，讨论策划编写出版机电类应用型本科系列教材问题，规划出版 38 种，并进行了分工，提出了明确的规范要求，得到江苏省各方面的支持和配合。2001 年 5 月开始出书，到 2004 年 7 月已出齐 38 种，还增加了 3 种急需的教材，总册数已达 45 万册。每种至少有 2 次以上印刷，最多的印刷了 5 次、发行量达 2.5 万册。据调查，用户反映良好，并反映这个系列教材基本上体现了我在序言中提出的四个特点，符合地方应用型工科本科院校的教学实际，较好地满足了一般应用型工科本科院校的教学需要。用户的评价使我们很高兴，但更是对我们的鞭策和鼓励，实际上这一轮机电类教材存在的问题还不少，需要改进的地方还很多。我们应当为过去取得的进步和成绩而高兴，同时，我们更应当为今后这些进步和成绩的进一步发展而正视自己，我们并不需要刻意去忧患，但确实存在值得忧患的现实而不去忧患，就很难有更美好的明天。今后怎么办？这是大家最关注的问题，也是我们亟待研讨和解决的问题。我们应该以对国家对人民对社会对受教育者高度负责的精神重新审视这一问题，以寻求更好的解决方案。我们认为，必须在总结前一阶段经验教训的新起点上，坚持以国家新时期教育方针和科学发展观为指导，坚持高标准、严要求，坚持“质量第一、多样发展、打造精品、服务教学”的方针，坚持高标准、严要求，把下一轮机电类教材修订、编写、出版工作做大、做优、做精、做强，为建设有中国特色的高水平的地方工科应用型本科院校做出新的更大贡献。

一、坚持用科学发展观指导教材修订、编写和出版工作

应用型本科院校是我国高等教育在推进大众化过程中崛起的一种新的办学类型，它除应恪守大学教育的一般办学基准外，还应有自己的个性和特色，就是要在培养具有创新精神、创业意识和创造能力的工程、生产、管理、服务一线需要的高级技术应用型人才方面办出自己的特色和水平。应用型本科人才的培养既不能简单“克隆”现有的本科院校，也不能是原有专科培养体系的相似放大。应用型人才的培养，重点仍要思考如何

与社会需求的对接。既要从学生的角度考虑,以人为本,以素质教育的思想贯穿教育教学的每一个环节,实现人的全面发展;又要从经济建设的实际需求考虑,多类型、多样化地培养人才,但最根本的一条还是坚持面向工程实际,面向岗位实务,按照“本科学历+岗位技术”的双重标准,有针对性地进行人才培养。根据这样的要求,“强化理论基础,提升实践能力,突出创新精神,优化综合素质”应当是工作在一线的本科应用人才的基本特征,也是本科应用型人才的总体质量要求。

培养应用型人才的关键在于建立应用型人才的培养模式。而培养模式的核心是课程体系与教学内容。应用型的人才培养必须依靠应用型的课程和内容,用学科型的教材难以保证培养目标的实现。课程体系与教学内容要与应用型的人才的知识、能力、素质结构相适应。在知识结构上,科学文化基础知识、专业基础知识、专业知识、相关学科知识等四类知识在纵向上应向应用前沿拓展,在横向上应注重知识的交叉、联系和衔接。在能力结构上,要强化学生运用专业理论解决实际问题的实践能力、组织管理能力和社会活动能力,还要注重思维能力和创造能力的培养,使学生思路清晰、条理分明,有条不紊地处理头绪纷繁的各项工作,创造性地工作。能力培养要贯彻到教学的整个过程之中。如何引导学生去发现问题、分析问题和解决问题应成为我们应用型本科教学的根本。

探讨课程体系、教学内容和培养方法,还必须服从和服务于大学生全面素质的培养。要通过形成新的知识体系和能力延伸以促进学生思想道德素质、文化素质、专业素质和身体心理素质的全面提高。因此,要在素质教育的思想指导下,对原有的教学计划和课程设置进行新的调整和组合,使学生能够适应社会主义现代化建设的需要。我们强调培养“三创”人才,就应当用“三创教育”、人文教育与科学教育的融合等适应时代的教育理念,选择一些新的课程内容和新的教学形式来实现。

研究课程体系,必须看到经济全球化与我国加入世界贸易组织以及高等教育的国际化对人才培养的影响。如果我们的课程内容缺乏国际性,那么我们所培养的人才就不可能具备参与国际事务、国际交流和国际竞争的能力。应当研究课程的国际性问题,增设具有国际意义的课程,加快与国外同类院校的课程接轨。要努力借鉴国外同类应用型本科院校的办学理念和培养模式、做法来优化我们的教学。

在教材编、修、审全过程中,必须始终坚持以人的全面发展为本,紧紧围绕培养目标和基本规格进行活生生的“人”的教育。一所大学使得师生获得自由的范围和程度,往往是这所大学成功和水平的标志。同样,我们修订和编写教材,提供教学用书,最终是为了把知识转化为能力和智慧,使学生获得谋生的手段和发展的能力。因此,在修订、编写教材过程中,必须始终把师生的需要和追求放在首位,努力提供教的方便和学的便捷,努力为教师和学生留下充分展示自己教和学的风格和特色的发展空间,使他们游刃有余,得心应手,还能激发他们的科学精神和创造热情,为教和学的持续发展服务。教师是课堂教学的组织者、合作者、引导者、参与者,而不应是教学的权威。教学过程是教师引导学生,和学生共同学习、共同发展的双向互促过程。因此,修订、编写教材对于主编和参加编写的教师来说,也是一个重新学习和思想水平、学术水平不断提

高的过程,决不能丢失自我,决不能将“枷锁”移嫁别人,这里“关键在自己战胜自己”,关键在自己的理念、学识、经验和水平。

二、坚持质量第一,努力打造精品教材

教材是教学之本。大学教材不同于学术专著,它既是学术专著,又是教学经验之理性总结,必须经得起实践和时间的考验。学术专著的错误充其量只会贻笑大方,而教材之错误则会贻害一代青年学子。有人说:“时间是真理之母”。时间是对我们所编写教材的最严厉的考官。目前,我们的教材才使用了几十年,还很难说就是好教材,因为前一阶段主要是解决有无问题,用户还没有来得及去总结和反思,所以有的问题可能还没有来得及暴露。我们必须清醒地看到这一点。今后,更要坚持高标准、严要求,用“一丝不苟”“一秒不差”的精神严格要求自己,确保教材质量和特色。为此,必须采取以下措施:第一、高等教育的核心资源是一支优秀的教师队伍,必须重新明确主编和参加编写教师的标准和要求,实行主编招标和负责制,把好质量第一关;第二,教材要从一般工科本科应用型院校实际出发,强调实际、实用、实践,加强技能培养,突出工程实践,内容适度简练,跟踪科技前沿,合理反映时代要求,这就要求我们必须严格把好教材编写或修订计划的评审关,择优而用;第三、加强教材编写或修订的规范管理,确保参编、主编、主审以及交付出版社等各个环节的质量和标准,实行环节负责制和责任追究制;第四、确保出版质量;第五、建立教材评价制度,奖优罚劣。对经过实践使用,用户反映好的教材要进行修订再版,切实培育一批名师编写的精品教材。出版的精品教材必须和多媒体课件配套,并逐步建立在线学习网站。

三、坚持“立足江苏、面向全国、服务教学”的原则,努力扩大教材使用范围,不断提高社会效益

下一轮教材编写和修订工作,必须加快吸收有条件有积极性的外省市同类院校、民办本科院校、独立学院和有关企业参加,以集中更多的力量,建设好应用型本科教材。同时,要相应调整编审委员会的人员组成,特别要注意充实省内外的优秀的“双师型”教师和相关企业专家。

四、建立健全用户评价制度

要在使用这套教材的省市有关高校建立教材使用质量跟踪调查,并建立网站,以便快速、便捷、实时地听取各方面的意见,不断修改、充实和完善我们的教材编写和出版工作,实实在在地为教师和学生提供精品服务,实实在在地为培养高质量的应用型本科人才服务。同时也努力为造就一批工科应用型本科院校高素质高水平的教师提供优良服务。

本套教材的编审和出版一直得到机械工业出版社、江苏省教育厅和各主编、主审和参加编写高校的大力支持和配合,在此,一并表示衷心感谢。今后,我们应一如既往地更加紧密地合作,共同为工科应用型本科院校教材建设作出新的贡献,为培养高质量的应用型本科人才作出新的贡献,为建设有中国特色社会主义的应用型本科教育作出新的努力。

普通高等教育机械工业出版社

机电类规划教材编审委员会

主任 教授 邱坤荣

前 言

随着计算机技术的迅猛发展和广泛应用,计算机已渗透到各行各业,成为人们学习、工作、生活中不可缺少的工具。尤其是进入到 21 世纪,一场以信息技术和信息产业为中心的信息革命正在世界范围内蓬勃发展。如何尽快普及计算机应用知识、提高全民计算机应用水平,则是我们需要解决的问题之一。

由于微型计算机具有高可靠性、高运算速度、大存储容量、价格低、配置灵活、方便等特点,因此,其发展速度最快、应用范围最广。尤其对于工业测控用户而言,控制对象与微型计算机(简称微机)有较多的硬件联系,控制功能上也有实时要求。这就要求用户不但能根据对象的特点设计适用的软件,而且必须对微型计算机系统的硬件有深刻的认识,才能正确地组成测控系统。即使对于单纯用微型计算机进行数据处理和信息管理的用户而言,也需要对微型计算机的原理有一定程度的了解。

本书编写本着以下原则:①重视基础。掌握基础理论,熟悉接口芯片的原理与应用,掌握汇编语言程序设计的方法。②更新知识。了解微机现状及发展方向,加强系统概念,强调新器件的应用。③加强实践。通过实验巩固理论学习,提升学生技能,培养学生的创造能力。

第 3 版是在第 2 版的基础上,根据教学实践和读者的建议进行的修订。主要删减了一些陈旧的落后技术,增加了部分发展较快的新技术和新产品。以适应目前教学和应用的需要。

本书共分 12 章,4 个模块:第一~三章为第一模块,主要介绍计算机基础知识、16 位机硬件系统组成及存储器组织管理。第四章和第五章为第二模块,主要介绍 16 位机指令系统及程序设计。第六~十章为第三模块,主要介绍主机与外设的接口芯片原理及应用,并通过介绍几个典型应用实例,使读者具有组成应用系统的初步能力。第十一章和第十二章为第四模块,主要介绍系统总线技术及 32 位机的基本情况以及多媒体计算机、计算机网络等知识,使读者了解微机的发展状况。

作为江苏省地方高校首批启动的 7 个系列课程教材建设的教材,全书从硬件的角度阐述了 16 位机的基本原理、系统组成及接口芯片等内容。此外,本书紧密结合计算机等级考试的要求,可作为高等院校机电类专业及各类成人教育的教材,也可以作为参加计算机等级考试(偏硬件)考生的参考资料。本书还有一本配套教材《微机原理应用实践》,其中提供了大量的思考题、习题以及参考答案,非常适合读者自学。另外,为提高学生的动手能力,配套教材还提供了很多实验供学生进行技能训练。

本书第一、十一、十二章以及第三章的第四节由河海大学胡钢编写,第二、七章由扬州大学张慰兮编写,第六、八章由河南大学王萍编写,第四、九章由常州工学院田鸿发编写,第五、十章由常州技术师范学院厉荣卫编写,第三章的第一、二、三节由沙洲工学院郭琳编写。全书由胡钢统稿。东南大学江正战教授主审。在全书审定中,江正战教授提出了许多宝贵意见,在此对他表示深深的感谢。

由于作者水平有限,时间仓促,书中可能会有不足之处,恳请读者批评指正。

联系方式: hug_5810@sohu.com。

作 者

目 录

序	
前言	
第一章 计算机基础知识	1
第一节 概述	1
第二节 计算机中的数和编码	3
第三节 微型计算机系统组成	14
第二章 8086/8088 微处理器	18
第一节 8086/8088 微处理器的结构	18
第二节 8086/8088 典型时序分析	34
第三章 存储器	42
第一节 存储器的分类	42
第二节 随机存取存储器	43
第三节 只读存储器	52
第四节 外存储器	55
第四章 8086/8088 的指令系统	58
第一节 指令格式	58
第二节 寻址方式	60
第三节 8086/8088 指令系统	63
第五章 汇编语言	89
第一节 汇编语言概述	89
第二节 伪指令	95
第三节 汇编语言程序设计	103
第四节 DOS 功能调用	117
第六章 输入/输出	124
第一节 输入/输出的编址方式	124
第二节 CPU 与外设之间的数据传送	125
第三节 中断	132
第四节 8086/8088 的中断方式	137
第五节 中断控制器 8259A	140
第七章 并行接口	151
第一节 接口的功能及分类	151
第二节 可编程并行通信接口 8255A	152
第三节 键盘接口	169
第四节 LED 显示器接口	172
第八章 串行通信及接口电路	178
第一节 串行通信的基本概念	178
第二节 可编程串行通信接口芯片 8251A	181
第三节 串行接口标准	188
第四节 串行通信实例	196
第九章 计数器和定时器电路	199
第一节 8253 的内部结构和工作原理	199
第二节 8253 的工作方式	203
第三节 8253 应用举例	212
第四节 综合应用实例	221
第十章 数模转换 (D-A) 和模数 转换 (A-D) 接口	225
第一节 D-A 接口芯片	225
第二节 A-D 接口芯片	229
第三节 CPU 与 8 位、12 位接口芯片	234
第四节 数据采集系统实例	239
第十一章 总线技术	245
第一节 概述	245
第二节 ISA 总线	249
第三节 EISA 总线	250
第四节 其他总线	252
第十二章 计算机发展简介	253
第一节 80386 微处理器	253
第二节 80486 微处理器	262
第三节 Pentium 微处理器	264
第四节 多媒体计算机	268
第五节 计算机网络概述	272
附录	291
参考文献	292

第一章 计算机基础知识

计算机作为 20 世纪最伟大的发明之一，其应用日渐广泛，现在已经渗透到工业、农业、国防、文化教育、家庭以及日常生活的各个领域。可以说，计算机已经无处不在。

随着半导体技术的迅速发展，运算器、控制器可以集成于一个芯片中。1971 年，第一片微处理器芯片诞生，使得以微处理器为核心的微型计算机成为现实。

微处理器经过 40 多年的发展，已历经 4 位机、8 位机、16 位机、32 位机四个时代，现在正朝着 64 位机、128 位机迈进。可以预见，功能更为强大、速度更快、性价比更为优越的微型计算机将不断涌现。

本章主要介绍计算机的基础知识。

第一节 概 述

一、微型计算机的产生与发展

计算机是 20 世纪发展最为迅速、普及程度最高、应用最为广泛的一种科学技术。自 20 世纪 40 年代问世至今，计算机的发展已历经了四代。

第一代：电子管计算机——20 世纪 40 年代中期开始。

第二代：晶体管计算机——20 世纪 50 年代后期开始。

第三代：中小规模集成电路计算机——20 世纪 60 年代中期开始。

第四代：大规模、超大规模集成电路计算机——20 世纪 70 年代开始。

在此期间，虽然计算机的功能有了极大的发展，其速度和性能也有了极大的提高，但其基本工作原理没有改变，其核心部件仍然是由运算器和控制器构成的中央处理器（CPU）。半导体技术的发展使得计算机的运算器、控制器可以集成于一个芯片中。1971 年，美国 Intel 公司成功研制出了微处理器（Microprocessor）——Intel4004CPU 芯片。以微处理器为核心构成的计算机统称为微型计算机（Microcomputer）。

微型计算机亦经历了 4 个发展时期（又称为四代）。

第一代是从 1971 年到 1972 年。典型产品有 Intel4004/8008，字长为 4 位或 8 位，集成度约为每片 2000/3500 个晶体管，时钟频率为 1MHz，指令周期约为 10~20 μ s。

第二代是从 1973 年到 1977 年。典型产品有 Intel 公司的 8080、Motorola 公司的 MC6800 以及 Zilog 公司的 Z80，此外还有 Intel8085、MC6802，字长为 8 位，集成度约为每片 9000 个晶体管电路，时钟频率为 2MHz，指令周期约为 2 μ s。16 根地址线，可寻址 64K 个存储单元。

第三代是从 1978 年到 1984 年，典型产品有 Intel8086、Motorola 的 MC 6809 和 Zilog 的

Z8000 等, 字长为 16 位, 采用 HMOS 高密度工艺, 集成度为每片几万至几十万个晶体管, 时钟频率为几十至几百 MHz, 指令周期小于 $0.5\mu\text{s}$, 赶上并超过了 20 世纪 70 年代小型机的水平, 使传统的小型机受到严峻的挑战。

第四代是从 1985 年至今, 典型产品有 Intel80386 和 Motorola 的 MC68030 等, 字长为 32 位, 集成度约为每片 27.5 万个晶体管。Intel 公司还陆续推出了 80486、80586 (通常称为 Pentium, 中文名为奔腾)、80686 (称为 Pentium pro, 中文名为高能奔腾)、P III 及 P IV 等。这些产品可满足多用户/多任务系统要求, 支持虚拟存储体系。

近年来, Intel 公司又推出了 64 位外部数据总线 Pentium 微处理器 PS, 集成度约为每片数百万个晶体管电路, 在这些微处理器的基础上相继产生了各种各样的个人微型计算机、专用微型计算机。

目前, 微型计算机仍向着微型化的方向发展, 同时也在向着网络化和智能化方向发展。随着微电子技术的发展, 微处理器的集成度越来越高, 芯片的功能越来越强, 从而使微型计算机的体积进一步减小, 质量进一步减轻, 而功能则在不断地增强。如今的高档微型机, 其功能已经远远超过了小型机。

网络化是整个计算机发展的一个重要方向, 也是微型计算机发展的一个重要方向。所谓网络化, 是用通信线路并依据共同遵守的通信协议, 把不同地域的多台独立的计算机连接起来, 以实现信息交流和资源共享。随着信息高速公路的实施, 遍及全球的各种局域网、广域网相互联接, 使微型计算机作为工作站成为网络中的重要成员。如今的个人计算机可通过电话线方便地进入国际互联网, 从而获得网上的各种资源。

智能化是微型计算机发展的又一重要方向。所谓智能化, 是指计算机能够模拟人脑进行逻辑思维、逻辑推理、自主学习、知识积累、知识重构和自我完善。自从 L. A. Zadeh 创立模糊集合论以来, 人们对智能化计算机的研究从未停止, 专家系统、人工智能和神经网络技术也随即出现。在计算机组成方面, 模糊信息存储器和模糊控制器也出现了。这些虽然还称不上智能化计算机, 但是正在向智能化的方向迈进。

二、微型计算机的组成特点

电子计算机按其组成规模和性能可分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机五种类型。

微型计算机的基本组成与其他任何一种计算机相同, 也是由中央处理器、存储器、输入设备和输出设备组成。其特点可概括如下:

1. 结构紧凑, 体积小, 重量轻, 使用方便灵活

随着大规模集成电路 (LSI) 和超大规模集成电路 (VLSI) 的发展, 组成计算机的中央处理器 CPU、输入/输出接口电路、存储器以及一些专用电路可制作在一块集成电路芯片之中。这种集成电路芯片被称为微处理器 (MPU)。

2. 功耗低, 价格低廉

采用大规模和超大规模集成电路使得功耗大幅下降。例如, 一台配置齐全的微型机, 功率仅几十瓦, 笔记本式计算机的功耗则更低, 仅需电池供电。由于其功耗低、价格低廉, 普

通家庭均可购置，因此如今的微型计算机已发展成为家庭计算机。

3. 可靠性高，应用范围广

一台微机仅需十几至几十块集成电路芯片即可组成，减少了电路之间的外部连线，减少了焊点，从而使可靠性大幅提高。加之体积小、价格低廉，因而使用相当广泛。

本书主要介绍 16 位机 8086/8088，这是因为 8086、80286、80386、80486、奔腾同属一个系列。它们是向上兼容的。80386 以后的芯片是以 8086 为基础的，其指令系统也是以 8086 的指令为基础。只有深入掌握了 8086，才能进一步掌握 80386 以后的芯片。现在的存储器芯片规模已经很大，但是它们的工作原理以及与 CPU 的接口方法仍是一样的。所以，其工作原理、应用技术与应用方法对于现在的 PC 仍然适用。

第二节 计算机中的数和编码

一、数制

数制是人们利用符号来计数的科学方法，数制可以有很多种，但在计算机的设计和应用中，常用的则为十进制、二进制、八进制和十六进制。

数制中所使用数码的个数称为基；数制每一位所具有的值称为权。

(一) 数制简介

1. 十进制

十进制有 10 个不同的数字符号，即 0~9，因此其基为“10”。十进制各位的权是以 10 为底的幂，如下面这个数：

2	3	8.	5	1
10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}

该数即为 $238.51 = 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2}$ 。

由上可见，每一位的值等于该位数字与该位权的乘积，各位值的累加和表示整个数的大小。

2. 二进制

一个二进制数具有以下基本特点：有两个不同的数字符号，即 0 和 1，且逢二进一。

可见，二进制的基为 2，其各位的权是以 2 为底的幂，如下面这个数：

1	0	1.	0	1
2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}

该数即为 $101.01 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$
 $= 5.25$ （十进制数）。

二进制各位的值也是该位数字与该位权的乘积，各位值的累加和表示整个数的大小。

3. 八进制

八进制的特点是：有 8 个不同的数字符号，即 0~7，且逢 8 进 1。八进制的基为 8，其

各位的权是以 8 为底的幂，如下面这个数：

2	3	7.	5	1
8^2	8^1	8^0	8^{-1}	8^{-2}

$$\begin{aligned} \text{该数即为 } 237.51 &= 2 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} + 1 \times 8^{-2} \\ &= 159.640625 \text{ (十进制数)}. \end{aligned}$$

4. 十六进制

十六进制的特点是：有 16 个不同的数字符号，即 0~9 和 A~F，且逢 16 进 1。十六进制的基为 16，其各位的权是以 16 为底的幂，如下面这个数：

B	1	3.	9	A
16^2	16^1	16^0	16^{-1}	16^{-2}

$$\begin{aligned} \text{该数即为 } B13.9A &= 11 \times 16^2 + 1 \times 16^1 + 3 \times 16^0 + 9 \times 16^{-1} + 10 \times 16^{-2} \\ &= 2835.6015625 \text{ (十进制数)}. \end{aligned}$$

二进制、八进制、十进制、十六进制数，可分别在数字后面加后缀 B、Q（或 O）、D、H 表示。例如，1101B、25Q、19D、2AH 分别表示二进制数 1101、八进制数 25、十进制数 19、十六进制数 2A。十进制数经常可省略后缀不写。

(二) 不同进位制间的转换

1. 二进制数转换为十进制数

由上述内容可知，只需将二进制数每一位的数字与该位的权相乘，便可得到该位的数值，再将各位的数值加在一起就得到了相应的十进制数。例如：

$$\begin{aligned} 111010.011B &= 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 58.375D \end{aligned}$$

2. 十进制数转换为二进制数

(1) 十进制整数转换为二进制整数 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位，最初得到的余数是二进制结果的最低位，最后得到的余数是二进制结果的最高位，这就是所谓的“除 2 取余”法。例如：

2	78	
2	39	 余0
2	19	 余1
2	9	 余1
2	4	 余1
2	2	 余0
	1	 余0
	0	 余1

则 78D=1001110B

(2) 十进制小数转换为二进制小数 用 2 不断地去乘要转换的十进制小数，直至乘积的小数部分为 0。每次所得的整数部分即为二进制数位，最初得到的整数即是二进制小数的最高位，这就是所谓的“乘 2 取整”法。

需要注意的是：十进制小数不能都用有限二进制小数精确表示，这时可根据精度要求取有限位二进制小数近似表示。例如：

$$\begin{array}{r}
 0.6 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.2 \quad \cdots \text{取整数部分 } 1 \\
 \\
 0.2 \\
 \times 2 \\
 \hline
 0.4 \quad \cdots \text{取整数部分 } 0 \\
 \\
 0.4 \\
 \times 2 \\
 \hline
 0.8 \quad \cdots \text{取整数部分 } 0 \\
 \\
 0.8 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.6 \quad \cdots \text{取整数部分 } 1 \\
 \\
 0.6 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.2 \quad \cdots \text{取整数部分 } 1
 \end{array}$$

可见, $0.6D$ 不能用有限二进制小数精确表示, 若取近似值 $0.6D \approx 0.10011B$, 则说明精确到小数点后第 5 位。

3. 二进制数与八进制数之间的转换

二进制数转换为八进制数时, 每 3 位二进制数对应 1 位八进制数。以小数点为界, 整数部分从低位向高位, 每 3 位一组, 不足 3 位高位补 0; 小数部分从高位向低位, 每 3 位一组, 不足 3 位低位补 0, 便可写出相应的八进制数。例如,

$$1110101.1011B = \frac{001}{1} \frac{110}{6} \frac{101}{5} \frac{101}{5} \frac{100}{4} = 165.54Q$$

八进制数转换为二进制数时, 只需将每位八进制数用 3 位二进制数表示即可。例如,

$$753.25Q = 111101011.010101B$$

4. 二进制数与十六进制数之间的转换

二进制数转换为十六进制数时, 每 4 位二进制数对应 1 位十六进制数。以小数点为界, 整数部分从低位向高位, 每 4 位一组, 不足 4 位时高位补 0; 小数部分从高位向低位, 每 4 位一组, 不足 4 位时低位补 0, 便可写出相应的十六进制数。例如,

$$\begin{aligned}
 1011110111.110111011B &= \frac{0010}{2} \frac{1111}{F} \frac{0111}{7} \frac{1101}{D} \frac{1101}{D} \frac{1000}{8} \\
 &= 2F7.DD8H
 \end{aligned}$$

十六进制数转换为二进制数时, 只需将每位十六进制数用 4 位二进制数表示即可。例如,

$$27.FCH = \frac{2}{0010} \frac{7}{0111} \frac{F}{1111} \frac{C}{1100} = 100111.111111B$$

(三) 二进制与十六进制

二进制数的位数多, 比十进制数难认难记。但从技术实现的难易或从经济性、可靠性等方面考虑, 二进制具有以下优点:

1. 数的状态简单，容易实现

二进制只有 0 与 1 两个状态。脉冲的有与无、电位的高与低、晶体管的导通与截止等都可表示为 0 与 1 两种状态。所以二进制状态简单，容易实现，工作状态可靠。

2. 运算规则简单，节约设备

由于二进制的运算规则简单，可使运算器的结构简化，使控制机构简化，同时二进制要比十进制节省存储空间，因此采用二进制将大大节约设备。

3. 逻辑判断

由于二进制可以进行逻辑运算，而逻辑变量的取值只有 0 与 1 两种可能。（这里的 0 与 1 代表了所研究问题的两种可能性：是与非、真与假、正确与错误等），因此可使计算机具有判断功能。

二进制虽然具有上述优点，但也有书写不便的缺点，尤其对于程序员而言更是如此。于是引入了十六进制，这样既可简化书写，又便于记忆，也为程序员提供了极大的方便。

二、编码

如上所述，计算机可以处理二进制数，但对于广大用户而言，仅仅处理二进制数显然是不够的。例如，英文字母、标点符号、运算符号等在计算机中如何表示？对于汉字用户而言，如何在计算机中表示汉字？这些都是计算机应用必须解决的问题。

众所周知，计算机中的数可以用 0 与 1 两种状态表示，那么是否可用多位二进制的组合来表示上述的英文字母、标点符号、汉字呢？这就产生了所谓“二进制编码”。

（一）二进制编码的十进制数（BCD 码）

尽管二进制数具有运算简单、容易实现、工作可靠等优点，但是对于用户而言，输入、输出比较麻烦，而且不直观，容易出错。所以，计算机在输入、输出时通常还是采用十进制数。只是这样的十进制数，要用二进制编码来实现。

1 位十进制数可采用 4 位二进制编码来表示，常采用的是按权值 8421 编码，通常称为 BCD 码。表 1-1 列出了它们之间的关系。

表 1-1 8421BCD 编码表

十进制数	BCD 码	十进制数	BCD 码
0	0000	6	0110
1	0001	7	0111
2	0010	8	1000
3	0011	9	1001
4	0100	10	0001 0000
5	0101	11	0001 0001

由表 1-1 可以看出，BCD 码逢十进位，所以说它是十进制数。但每 1 位十进制数又是由 4 位二进制数表示的，因此，称之为二进制编码的十进制数（BCD）。若十进制数有 2 位，则各用 4 位二进制数表示，其他以此类推。

BCD 码和十进制数的转换非常直观。如：

$$(0100\ 1001\ 1000\ 0101.0111)_{\text{BCD}} = (4985.7)_{10}$$

（二）字符的编码（ASCII 码）

如上所述，字母和各种符号也必须按特定的规则用二进制编码才能在计算机中表示。编码可以有各种方式。目前，微机中普遍采用美国标准信息交换码，即 ASCII 码，编码表见附录。

ASCII 码是用 7 位二进制编码，故可表示 128 个字符，其中包括数字 0~9、英文大小写字母以及各种符号等。从编码表（见附录）中可看到，数字 0~9 对应于 0110000~0111001。微机在数字通信时以位 7 作奇偶校验位，但在一般情况下可将位 7 看作零，故用一个字节来表示一个 ASCII 字符。于是 0~9 的 ASCII 码为 30H~39H；大写字母 A~Z 的 ASCII 码为 41H~5AH。

（三）汉字的编码

对于使用汉语的用户来说，他们要求计算机能够输入、处理和输出汉字。显然，汉字在计算机中也只能用若干位的二进制编码来表示。但是用 8 位二进制编码来表示汉字是远远不够的，那么要用多少位来表示汉字呢？我国根据汉字的常用情况定出了一级和二级汉字字符集，并规定了编码，这就是《信息交换用汉字编码字符集 基本集》（GB 2312—1980）。该标准编码字符集共收录汉字和图形符号 7445 个，其中包括：

- 1) 一般符号 202 个，包括间隔符、标点、运算符、单位符号、制表符等。
- 2) 序号 60 个，它们是 1~20（20 个），(1)~(20)（20 个），①~⑩（10 个）和（一）~（十）（10 个）。
- 3) 数字 22 个，它们是 0~9 和 I~XII。
- 4) 英文字母 52 个，大、小写各 26 个。
- 5) 日文假名 169 个，其中平假名 83 个，片假名 86 个。
- 6) 希腊字母 48 个，其中大、小写各 24 个。
- 7) 俄文字母 66 个，其中大、小写各 33 个。
- 8) 汉语拼音符号 26 个。
- 9) 汉语拼音字母 37 个。
- 10) 汉字 6763 个。这些汉字分为两级，第一级汉字 3755 个，第二级汉字 3008 个。

上述字符在计算机中编码时采用两个字节编码（为和 ASCII 码保持统一，两个字节的最高位用 0 表示）。具有 $2^{14} = 16\,384$ 个编码。如“啊”字国标码为 00110000、00100001，即 30H、21H。在国标码中，汉字的排列顺序为：一级汉字按汉语拼音字母顺序排列，同音字母以笔画顺序为序；二级汉字按部首顺序排列。

为了使汉字的编码与常用的 ASCII 码区别开来，在机器中，汉字是以内码形式存储和传输的。一种机器常用若干种汉字输入方式（输入码），但其内码是统一的。通常都是用汉字国标码的两字节的最高位置“1”形成。如汉字“啊”的国标码为 00110000、00100001，则其内码为 10110000、10100001 即 B0H、A1H。

（四）Unicode 字符编码

正式公布于 1994 年的 Unicode（统一码、万国码、单一码）是一种在计算机上使用的字符编码，是为了解决传统的字符编码方案的局限而产生的。它为每种语言中的每个字符设

定了统一并且唯一的二进制编码,以满足跨语言、跨平台进行文本转换、处理的要求。

传统的编码方式无法同时支持多语言环境(指可同时处理多种语言混合的情况)。Unicode 是以一种抽象的方式(即数字)来处理字符,并将视觉上的演绎工作(例如字体大小、外观形状、字体形态、文体等)留给其他软件(如网页浏览器或文字处理器)来处理。它是能够使计算机实现跨语言、跨平台的文本转换及处理的一种编码方式。

Unicode 是国际组织制定的可以容纳世界上所有文字和符号的字符编码方案。Unicode 用数字 $0 \sim 0 \times 10FFFF$ 来映射这些字符,最多可以容纳 1 114 112 个字符,或者说有 1 114 112 个码位。

通用字符集(Universal Character Set, UCS)是由国际标准化组织(ISO)制定的 ISO 10646(或称 ISO/IEC 10646)标准所定义的标准字符集。UCS-2 用两个字节编码,UCS-4 用 4 个字节编码。

Unicode 目前普遍采用的是 UCS-2,即用两个字节(即 16 位)来编码一个字符, $2^{16} = 65536$,所以 UCS-2 最多能编码 65 536 个字符。如汉字“经”的编码是 $0x7ECF$ (注意:字符编码一般用十六进制来表示,为了与十进制相区分,十六进制以 $0x$ 开头),转换成十进制就是 32463。而编码 $0 \sim 127$ 的字符与 ASCII 编码的字符一样,比如字母“a”的 Unicode 编码是 $0x0061$,十进制是 97,而“a”的 ASCII 编码是 $0x61$,十进制也是 97。

由于 UCS-2 最多能表示 65 536 个汉字,而全部汉字总数远超这个数,因此 Unicode 只能排除一些几乎不用的汉字,好在常用的简体汉字也不过七千多个,所以 UCS-2 可以满足需要。如果要表示所有汉字,Unicode 也有 UCS-4 规范,即用 4 个字节来编码字符,可以满足所有需要。

三、二进制数的运算

(一) 算术运算

一个数字系统只要能进行加法和减法运算,就可以利用加法和减法进行乘法、除法及其他数值运算。

1. 加法

运算规则为: $0 + 0 = 0$, $0 + 1 = 1 + 0 = 1$, $1 + 1 = 10$ (逢 2 进 1)。例如, $1100 + 1010$,从最低位开始一个加数与另一个加数逐位相加,则有

$$\begin{array}{r} 1100 \cdots \cdots \text{一个加数} \\ + 1010 \cdots \cdots \text{另一个加数} \\ \hline 10110 \cdots \cdots \text{和数} \end{array}$$

2. 减法

运算法则为: $0 - 0 = 1 - 1 = 0$, $1 - 0 = 1$, $0 - 1 = 1$ (0 减 1 不够减,从高位借 1 当 2)。例如, $1110 - 1001$,从最低位开始被减数与减数逐位相减,则有

$$\begin{array}{r} 1110 \cdots \cdots \text{被减数} \\ - 1001 \cdots \cdots \text{减数} \\ \hline 0101 \cdots \cdots \text{差数} \end{array}$$