



“十四五”职业教育国家规划教材



扫一扫
学习资源库

大学计算机

(微课版)

主 编 岳 琪 禹谢华



航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书根据《大学计算机基础课程教学基本要求》组织编写，内容不但包括了传统的计算机理论知识，还涵盖了当前信息技术的新知识。主要内容有计算机的发展、计算机中的信息表示以及计算思维、计算机硬件系统和软件系统基础、数据库技术基础及其应用、多媒体技术相关理论、计算机网络结构及 Internet 应用、信息安全相关知识、IT 行业最新发展趋势和最新技术等。

本书力求通俗易懂，选材精练，结构合理，内容新颖，以浅显的方式讲解深奥的理论。具体的相关操作内容在配套的《大学计算机实践教程》中讲述，由此读者可以达到理论和实践相结合的目的。本书可作为职业院校计算机公共基础课教材，也可作为相关教学人员和计算机爱好者的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

大学计算机 / 岳琪, 禹谢华主编. — 北京: 航空工业出版社, 2019. 5 (2024. 6 重印)
ISBN 978-7-5165-1903-5

I . ①大… II . ①岳… ②禹… III . ①电子计算机—高等学校—教材 IV . ① TP3

中国国家版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 093636 号

大学计算机 Daxue Jisuanji

航空工业出版社出版发行
(北京市朝阳区京顺路 5 号曙光大厦 C 座四层 100028)
发行部电话: 010-85672666 010-85672683

北京荣玉印刷有限公司印刷
2019 年 5 月第 1 版
开本: 889×1194 1/16
印张: 18.25

全国各地新华书店经售
2024 年 6 月第 4 次印刷
字数: 438 千字
定价: 49.80 元

近年来,随着科技的进步,计算机教育越来越广泛地普及到中小学的课堂,使得学生们在进入大学后计算机知识的起点越来越高。这就给针对非计算机专业大一学生开设的大学计算机基础课程带来了新的挑战,原来那些仅针对简单操作的课程内容已经远远不适用于新一代大学生的培养要求。在这个数字化、智能化、“互联网+”和大数据高速发展的新时代,如何使大学生具有扎实的信息技术基本知识,掌握未来 IT 科技创新的新动向、新技能、新方法,已成为当前非计算机专业大学计算机基础教育的新课题。为了适应这一新的需求,本书作者根据教育部高等学校计算机基础课程教学指导委员会制定的《大学计算机基础课程教学基本要求》编写了本书。

本书的作者都是从事计算机基础教学的骨干教师,具有丰富的计算机基础课教学经验。在编写之前,还到其他兄弟院校进行了调研及深入的研讨,梳理了新形势下对大学生信息技术的要求,确定了本书的主题和知识结构。本书力求通俗易懂,选材精练,结构合理,内容新颖,以浅显的方式讲解深奥的理论。同时编写了配套教材《大学计算机实践教程》,将本书涉及的理论知识通过精心设计的任务内容付诸实践,由此读者可以达到理论和实践相结合的目的。

本书内容不但包括传统的计算机理论知识,还涵盖当前信息技术的新知识,共分 7 章,主要内容如下。

第 1 章计算机概述,主要介绍计算机的特点;计算机发展的过程和趋势;计算机表示数据的方法,即数制和编码,以及各类数制间的转换,使学生了解计算机是如何表示数值型数据和非数值型数据的;介绍计算思维的概念和应用,使学生建立起计算思维的概念。

第 2 章计算机系统,主要介绍计算机系统的基本组成原理,计算机硬件系统和软件系统,使学生深入了解计算机的结构、组成、各大部件的作用和协调工作过程,了解软件系统的分类,以及软件开发的流程和方法,建立起软件工程的观念。

第 3 章数据库应用基础,主要介绍数据库系统、数据模型、基本的 SQL 语言,并给出一个设计实例,使学生了解数据库的原理和数据库的设计过程,掌握数据库的基本操作。

第 4 章多媒体技术,主要介绍音频、视频、图像、动画等概念和原理,配合配套教材中的相应任务环节,使学生掌握多媒体的相关处理技术和方法。

第 5 章计算机网络,主要介绍网络的概念、发展、分类和体系结构,以及 Internet 的相关概念:IP、子网掩码、域名系统、电子邮件、远程登录等,使学生对身处的网络环境有深入的认知和理解。

第 6 章信息安全,主要介绍信息安全的相关概念与相关技术、计算机病毒等知识,使学生了解信息系统存在的安全风险,建立安全意识,

了解信息安全技术在网络信息安全中的应用。

第 7 章 IT 新技术，主要介绍 IT 领域的新技术，大数据和云计算、“互联网 +”、区块链等新知识，使学生对新的 IT 技术及其应用前景有所认知，从而激发读者对 IT 新技术的学习兴趣。

本书第一章由侯锡铭编写，第二章由岳琪编写，第三章由王晶编写，第四章由齐红编写，第五章、第六章由温雪岩编写，第七章由王健、禹谢华编写。

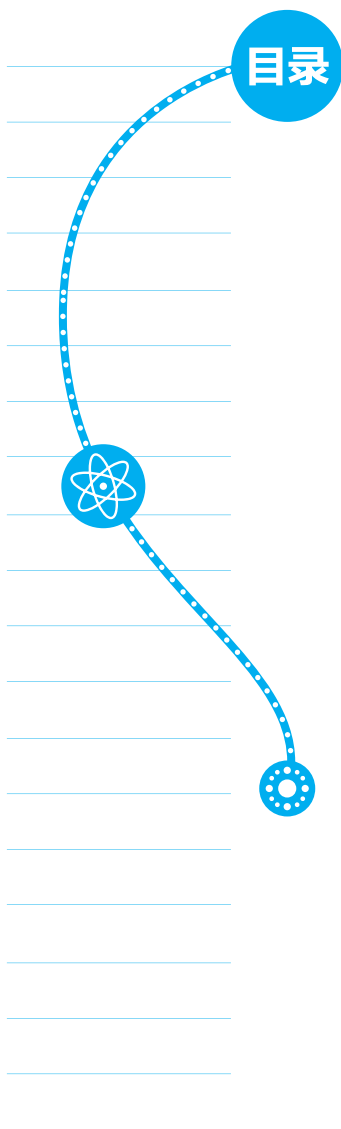
本书落实立德树人的根本任务，贯彻《高等学校课程思政建设指导纲要》和党的二十大精神，在知识讲解和技能训练中融入国产技术的发展、党成立一百周年取得的技术成就、我国的新兴产业和 2035 发展目标等内容，将专业知识与思政教育有机结合，推动价值引领、知识传授和能力培养的紧密结合。

本书为部分知识点提供了拓展学习的途径，通过扫描相应的二维码，可以查阅对应的学习资料，包括文档、网络资源、视频等，为希望深入学习的读者提供支持。

编写过程中作者参阅了大量文献和网站，谨向相关作者表示感谢！

由于作者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，欢迎读者批评指正。

编 者



第1章 计算机概述	1
1.1 计算机基础	2
1.1.1 计算机的特点及应用	2
1.1.2 计算机的发展历史和趋势	6
1.2 计算机中的数制与编码	11
1.2.1 计算机的数制	11
1.2.2 各类数制间的转换	13
1.2.3 数值数据的编码	17
1.2.4 字符编码	22
1.2.5 汉字的编码	24
1.3 新的思维革命——计算思维	25
1.3.1 计算思维的概念	26
1.3.2 计算思维的本质和特征	27
1.3.3 计算思维中的主要方法	27
1.3.4 计算思维的应用领域	30
本章习题	33
第2章 计算机系统	35
2.1 计算机系统基本原理	36
2.1.1 计算机系统理论模型	36
2.1.2 计算机系统组成	39
2.1.3 计算机系统工作过程	43
2.1.4 计算机性能评价指标	44
2.2 计算机硬件系统	46
2.2.1 中央处理器	46
2.2.2 存储系统	48
2.2.3 计算机外部设备	55
2.2.4 总线和接口	59
2.2.5 其他设备	62
2.3 计算机软件系统	64
2.3.1 计算机软件的发展	64
2.3.2 系统软件	67
2.3.3 应用软件	67
2.3.4 计算机操作系统	68
2.3.5 计算机软件设计与开发	81
本章习题	85

第 3 章 数据库应用基础	87
3.1 数据库系统概述	88
3.1.1 数据库系统基本概念	88
3.1.2 数据库系统的体系结构	89
3.2 数据模型	91
3.2.1 数据模型的分类	91
3.2.2 E-R 模型	92
3.3 关系模型	93
3.3.1 关系模型的基本概念	93
3.3.2 关系模型的完整性规则	95
3.3.3 关系运算	96
3.4 关系数据库标准 SQL 语言	98
3.4.1 SQL 语言概述	98
3.4.2 数据定义语句	99
3.4.3 数据操纵语句	104
3.4.4 数据查询语句	106
3.5 数据库设计	115
3.5.1 数据库设计概述	115
3.5.2 需求分析	117
3.5.3 数据库结构设计	118
3.5.4 数据库行为设计	121
3.5.5 数据库的实施和维护	122
3.6 数据库应用示例	123
3.6.1 需求分析	123
3.6.2 数据库结构设计	124
3.6.3 数据库行为设计	126
本章习题	127

第 4 章 多媒体技术	131
4.1 多媒体技术基础	132
4.1.1 媒体、多媒体和新媒体	132
4.1.2 多媒体技术的应用与发展	134
4.1.3 多媒体软件工具概述	137
4.2 音 频	141
4.2.1 声音的特性	141
4.2.2 模拟音频的数字化	143

4.2.3 数字音频的技术指标	144
4.2.4 数字音频的文件格式	145
4.2.5 数字语音的应用	148
4.3 图 像	149
4.3.1 图像的基本概念及属性	150
4.3.2 图像的颜色构成	152
4.3.3 常用图像文件格式	158
4.3.4 数字图像处理的主要研究内容	160
4.4 动 画	161
4.4.1 动画的基本概念	161
4.4.2 计算机动画	162
4.4.3 常见动画文件的格式	164
4.5 视 频	166
4.5.1 视频的定义及视频技术	166
4.5.2 视频的分类	166
4.5.3 数字化视频的特点	167
4.5.4 常用的视频文件格式	168
4.6 多媒体数据压缩	169
4.6.1 数据压缩的必要性和可能性	169
4.6.2 数据压缩的技术指标	171
4.6.3 数据压缩的方法分类	172
4.6.4 压缩编码标准	172
本章习题	173

第 5 章 计算机网络	175
5.1 计算机网络简介	176
5.1.1 计算机网络的概念	176
5.1.2 计算机网络的发展	176
5.1.3 计算机网络的分类	179
5.1.4 计算机网络互联设备	185
5.1.5 网络协议与服务	187
5.1.6 计算机网络体系结构	187
5.2 Internet 技术	188
5.2.1 Internet 的概念	188
5.2.2 IP 地址	188
5.2.3 子网的划分	192

5.2.4 Internet 计算实例	198
5.3 计算机网络应用	199
5.3.1 域名系统	199
5.3.2 电子邮件	204
5.3.3 远程登录	209
5.3.4 文件传输	210
5.3.5 博客与微博	212
5.3.6 搜索引擎	213
5.3.7 电子商务	214
本章习题	214
第 6 章 信息安全	217
6.1 信息安全综述	218
6.1.1 信息安全概念	218
6.1.2 计算机安全	218
6.1.3 网络安全	219
6.2 信息安全技术	220
6.2.1 信息保密技术	220
6.2.2 信息认证技术	221
6.2.3 访问控制技术	222
6.2.4 信息安全监测	223
6.2.5 信息内容安全	224
6.2.6 信息安全管理	224
6.3 信息安全的解决方案	225
6.3.1 服务器安全防护措施	225
6.3.2 网络与数据安全保障措施	225
6.3.3 信息加密技术	226
6.3.4 信息加密实例	228
6.4 个人网络信息安全的策略	232
6.4.1 个人网络信息不安全的因素	233
6.4.2 网络环境下如何保护个人信息安全	234
6.4.3 中国信息安全的相关法律法规	235

6.5 计算机病毒	235
6.5.1 计算机病毒的定义	235
6.5.2 计算机病毒的种类	235
6.5.3 计算机病毒的传播及预防	236
本章习题	239
第 7 章 IT 新技术	241
7.1 物联网	242
7.1.1 物联网定义	242
7.1.2 物联网特征及体系结构	242
7.1.3 物联网识别技术	246
7.1.4 无线传感器网络	250
7.1.5 智能处理技术	257
7.2 云计算与大数据	260
7.2.1 云计算	260
7.2.2 大数据	265
7.3 人工智能	269
7.3.1 人工智能的概念	269
7.3.2 人工智能的研究途径与方法	270
7.3.3 人工智能的研究领域	271
7.4 区块链技术	273
7.4.1 区块链简介	273
7.4.2 区块链的特征	276
7.4.3 区块链的分类	277
7.4.4 区块链的应用	277
本章习题	278
参考文献	281



本章概述

计算机俗称电脑，是一种用于高速计算的电子计算机器，既可以进行数值计算，又可以进行逻辑计算，还具有存储记忆功能，是能够按照程序运行，自动、高速处理海量数据的现代化智能电子设备。计算机对人类的生产和活动产生了极其重要的影响，并以强大的生命力飞速发展。它的应用领域从最初的军事科研应用扩展到社会的各个领域，已形成规模巨大的计算机产业，带动了全球范围的技术进步，由此引发了深刻的社会变革，计算机已成为信息社会中必不可少的工具。

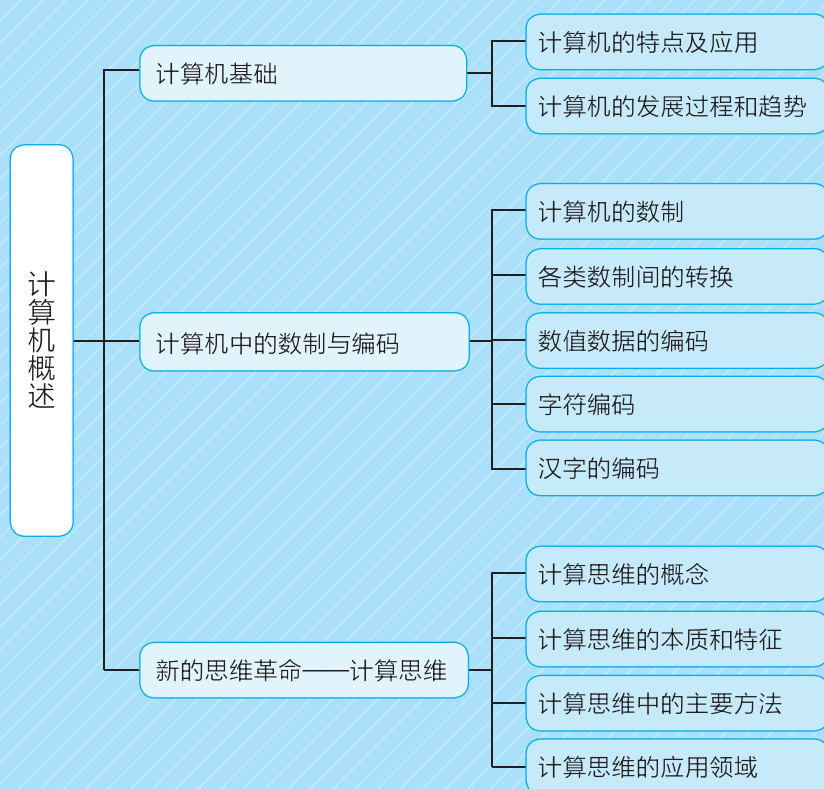


章节目标

- ①了解计算机的特点、应用和发展趋势。
- ②掌握计算机中的数制及之间的转换方法。
- ③学会补码的加减法运算。
- ④了解数字编码和字符编码。
- ⑤了解计算思维的概念。
- ⑥提高科技自信，增强民族自豪感。



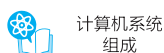
知识导图



计算机是 20 世纪人类最伟大的发明之一，也是发展最快的技术之一。随着集成电路技术的发展及信息社会的需要，计算机技术得到了飞速的发展，计算机的结构变得越来越复杂，功能变得越来越强大，计算机的应用也越来越广泛。目前，计算机已经成为人们日常工作和生活中不可缺少的重要组成部分，计算机正以迅猛的速度渗入到社会的各个角落，在不同的领域见证着它的辉煌。

1.1.1 计算机的特点及应用

1. 计算机的基本概念



计算机系统组成



计算机是由一系列电子元器件组成的机器，具有存储信息的能力。当用计算机进行数据处理时，首先需要将要解决的实际问题用计算机可以识别的语言编写成计算机程序，然后将程序输入到计算机中。计算机按程序的步骤一步一步地进行各种运算，直到存入的整个程序执行完毕为止。因此，计算机必须是能存储源程序 and 数据的装置。

计算机不仅可以进行加、减、乘、除等算术运算，而且可以进行逻辑运算并对运算结果进行判断从而决定执行什么操作。正是由于具有这种逻辑运算和推理判断的能力，使计算机成为一种特殊机器的专用名词，而不再是简单的计算工具。为了强调计算机的这些特点，有人把它称为“电脑”，以说明它既有记忆能力、计算能力，又有逻辑推理能力。至于有没有思维能力，这是一个目前人们正在深入研究的问题。

计算机除了具有计算功能，还能进行信息处理。在信息化社会中，各行各业随时随地都会产生大量的信息，而人们为了获取、传送、检索信息，就必须将信息进行有效的组织和管理。这一切都必须在计算机的控制之下才能实现，所以说计算机是信息处理的工具。

因此，可以给计算机下这样一个定义：计算机是一种能高速度、高精度及自动完成信息处理的电子设备。

2. 计算机的特点

计算机之所以具有很强的生命力，能够飞速地发展，并得到广泛的应用，是因为计算机本身具有许多特点，具体体现在以下几个方面。

(1) 运算速度快。

计算机的运算速度（也称处理速度）是衡量计算机性能的重要指标之一，计算机处理速度一般是指计算机一秒内所能执行加法运算的次数，常用 MIPS（每秒百万条机器语言指令）来表示。

坐落于国家超级计算无锡中心的“神威·太湖之光”超级计算机（图 1-1），其系统的峰值性能为 12.5 亿亿次 / 秒，持续性能为 9.3 亿亿次 / 秒，2016 年排世界第一。根据国际组织“TOP500”编制的 2022 年上半年全球超级计算机 500 强排行榜，在全球浮点运算性能最强的 500 台超级计算机中，中国部署的超级计算机数量继续位列全球第一，达到 173 台，占总体份额的 34.6%。

计算机如此高的运算速度是其他任何计算工具无法比拟的，它使得过去需要几年甚至几

十年才能完成的复杂运算任务，现在只需几天、几小时，甚至更短的时间就可完成。这正是计算机被广泛使用的主要原因之一。



图 1-1 “神威·太湖之光”超级计算机

计算机的高速运算为人们节省了大量的计算时间，使得人们可以将更多的精力用于创造性活动。同时计算机的高速运算也使得以前不可能的事情变成了现实。比如不使用计算机，就无法实现天气预报。

(2) 计算精度高。

由于计算机内部采用二进制数进行运算，数值在计算机内部是用二进制数表示的，因此数的精度由二进制编码的位数决定，可以通过增加二进制位数来提高精度，位数越多精度就越高。计算机运算的有效位数远远超过了以往的任何计算工具，数值计算非常精确，并且计算机的高速运算也为增加运算位数提供了可靠的硬件基础。

(3) 存储能力强。

计算机的存储设备可以把原始数据、中间结果、计算结果、程序等信息存储起来以备使用。存储信息的多少取决于所配备的存储设备的容量。目前的计算机不仅提供了大容量的主存储器，能够存储计算机工作时的大量信息，同时还提供各种外存储器，以保存备份信息，如移动硬盘、U 盘和光盘等。就一个存储器来说，存储量是有限的，但配多少个取决于个人的需求，从这个意义上讲，可以说存储容量是巨大的。

(4) 具有逻辑判断能力。

计算机不仅能进行算术运算，同时也能进行各种逻辑运算，具有逻辑判断能力，并能根据判断的结果自动决定以后执行的命令，因而能解决各种各样的问题。布尔代数是建立计算机的逻辑基础，或者说计算机就是一个逻辑机。计算机的逻辑判断能力也是计算机智能化必备的基本条件。

(5) 高度自动化和人机交互。

由于完成任务的程序和数据存储在计算机中，一旦向计算机发出运行命令，计算机就能在程序的控制下，按事先规定的步骤一步一步地执行，直到完成指定的任务为止。这一切都是计算机自动完成的，不需要人工干预。自动连续的处理能力是计算机区别于其他工具的本质特点。但当需要人工干预时，计算机又可及时响应，实现人机交互。

3. 计算机的应用

随着计算机技术的不断发展和功能的不断增强，计算机的应用领域越来越广泛，应用水平也越来越高。尤其是伴随着通信技术、网络技术的空前发展和普及推广，计算机的应用已经渗透到人类生活的方方面面，改变着人们传统的工作、学习和生活方式，推动着人类社会的不断发展。总体来说，计算机主要有以下几个方面的应用。



(1) 科学计算。

计算机是为科学计算的需要而发明的,科学计算也称为数值计算,是指用于完成科学研究和工程技术中提出的数学问题的计算,是计算机最早也是最基本的应用领域。科学计算所解决的是科学研究和工程技术中提出的一些复杂的数学问题,计算量大而且精度要求高,只有具有高速运算能力和大存储量的计算机系统才能完成。利用计算机进行科学计算可以完成人工无法完成的计算,达到人工计算无法达到的精度。如果没有计算机系统高速而又精确的计算,许多现代科学是难以发展的。多年来,一些现代尖端科学技术的发展,都是建立在计算机应用的基础上的,如高能物理方面的原子和粒子结构分析、卫星轨迹计算、气象预报等。

(2) 数据处理。

数据处理也称为非数值处理或事务处理,是指对大量信息进行存储、加工、分类、统计、查询及报表等操作。一般来说,科学计算的数据量不大,但计算过程比较复杂,而数据处理的数据量很大,但计算方法较简单。

当今社会已从工业社会进入信息社会,面对积聚起来的浩如烟海的各种信息,为了全面、深入、精确地认识和掌握这些信息所反映的事物本质,就必须用计算机对信息进行组织和管理。目前,数据处理在计算机应用中占有相当大的比重,而且越来越大,如办公自动化、企业管理、事务处理、情报检索等。

(3) 过程控制。

过程控制也称为实时控制,是指利用计算机及时采集检测数据,按最佳值迅速地对控制对象进行自动控制或自动调节,如对数控机床和生产流水线的控制(图 1-2)。在日常生产中,有一些控制问题是人们无法亲自操作的,有了计算机就可以精确地进行控制,用计算机来代替人完成那些繁重或危险的工作,是生产自动化的重要技术和手段,是计算机应用的重要领域。



图 1-2 数控机床控制台

(4) 计算机辅助工程。

计算机辅助工程是以计算机为工具,配备专用软件辅助人们完成特定任务的工作,以提高工作效率和工作质量。

✿ 计算机辅助设计 (computer aided design, CAD) 技术: 利用计算机及图形设备帮助设计人员进行设计工作。在工程和产品设计中,计算机可以帮助设计人员担负计算、信息存储和制图等工作。在设计中通常要用计算机对不同方案进行大量的计算、分析和比较,以决定最优方案;各种设计信息,不论是数字的、文字的还是图形的,都能存放在计算机的内存或外存里,并能快速地检索;设计人员通常用草图开始设计,将草图变为工作图的繁重工作可以交给计算机完成;由计算机自动产生的设计结果,可以快速做出图形显示出来,使设计人员能及时对设计做出判断和修改;CAD 能够减轻设计人员的劳动,缩短设计周期并提高设计质量。

✿ 计算机辅助制造 (computer aided manufacturing, CAM) 技术: 利用计算机控制各种数值控制机床和设备,自动完成离散产品的加工、装配、检测和包装等制造过程。除 CAM 的狭义定义外,国际计算机辅助制造组织关于计算机辅助制造有一个广义的定义:“通过直接的

或间接的计算机与企业的物质资源或人力资源的联接界面，把计算机技术有效地应用于企业的管理、控制和加工操作。”按照这一定义，计算机辅助制造包括企业生产信息管理、计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助生产、制造三部分。计算机辅助生产、制造又包括连续生产过程控制和离散零件自动制造两种计算机控制方式。广义的计算机辅助制造系统又称为整体制造系统。

✿ 计算机辅助教育（computer based education, CBE）技术：主要包括计算机辅助教学（computer assisted instruction, CAI）、计算机辅助测试（computer aided test, CAT）和计算机管理教学（computer management instruction, CMI）等。其中，CAI 技术是利用计算机模拟教师的教学行为进行授课，学生通过与计算机的交互进行学习并自测学习效果。CAI 是为适应信息化社会对教学的要求而出现的一种新的教学模式和教学方法，是提高教学效率和教学质量的新途径。

✿ 电子设计自动化（electronic design automation, EDA）技术：利用计算机中安装的专用软件和接口设备，用硬件描述语言开发可编程芯片，将软件进行固化，从而扩充硬件系统的功能，提高系统的可靠性和运行速度。

（5）通信。

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合的产物，通过将不同地理位置上的计算机有机地连接在一起，实现了计算机之间的资源共享及通信，大大提高了通信的速度与效率，降低了软件与硬件的使用，提高了计算机系统的可靠性。

（6）人工智能。

人工智能是用计算机模拟人类的智能活动，如模拟人脑学习、推理、判断、理解及问题求解等过程，辅助人类进行决策，如专家系统。人工智能是计算机科学研究领域最前沿的学科，近年来已具体应用于机器人（图 1-3）、医疗诊断等方面。



图 1-3 酒店智能服务机器人

当前，我国人工智能技术快速发展、数据和算力资源日益丰富、应用场景不断拓展，为开展人工智能场景创新奠定了坚实基础。在 2021 世界人工智能大会上，腾讯与国家天文台联合启动“探星计划”，用 AI 帮助“中国天眼”FAST 处理每天接收到的庞大数据量，寻找脉冲星。2022 年先后发布了《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》和《关于支持建设新一代人工智能示范应用场景的通知》，为我国人工智能的发展提供了政策支持。

（7）电子商务。

电子商务（electronic commerce）通常是指在全球各地广泛的商业贸易活动中，在因特网开放的网络环境下，基于浏览器/服务器应用方式，买卖双方互不谋面地进行各种商贸活动，实现消费者的网上购物、商户之间的网上交易和在线电子支付以及各种商务活动、交易活动、金融活动和相关的综合服务活动的一种新型的商业运营模式。电子商务涵盖的范围很广，一般可分为企业对企业（business-to-business, B2B），或企业对消费者（business-to-consumer, B2C）两种，另外还有消费者对消费者（consumer-to-consumer, C2C）。电子商务最常见的安全机制有 SSL 及 SET 两种。

中国电子商务始于 1997 年。如果说美国电子商务是“商务推动型”，那么中国电子商务

则更多的是“技术拉动型”，这是在发展模式上中国电子商务与美国电子商务的最大不同。在美国，电子商务实践早于电子商务概念，企业的商务需求“推动”了网络和电子商务技术的进步，并促成电子商务概念的形成。当因特网时代到来的时候，美国已经有了一个比较先进和发达的电子商务基础。在中国，电子商务概念先于电子商务应用与发展，网络和电子商务技术需要不断“拉动”企业的商务需求，进而引领中国电子商务的应用与发展。了解这一不同点是很重要的，这既是中国电子商务发展的一大特点，也是理解中国电子商务应用与发展的一把钥匙。

（8）文化教育。

利用信息高速公路实现远距离双向交互式教学和多媒体结合的网上教学方式，为教育带动经济发展创造了良好的条件。它改变了传统的以教师课堂传授为主、学生被动学习的方式，使学习内容和形式更加丰富灵活，同时也加强了信息处理、计算机、通信技术和多媒体等方面内容的教育，提高了全民族的文化素质与信息化意识。

（9）娱乐。

计算机已经走进家庭，在工作之余人们可以使用计算机看电影，听音乐，进行游戏娱乐等活动。这标志着计算机的应用已经普及到人类生活的方方面面，使人类具有更高品质的生活。

1.1.2 计算机的发展历程和趋势

在漫长的人类进化和文明发展过程中，人类的大脑逐渐具有了一种特殊的本领，这就是把直观的形象变成抽象的数字，进行抽象的思维活动。人类最初的计算工具是双手，掰着指数数就是最早的计算方法。由于双手的局限性，人类开始学习用小木棍、石子等小巧方便的物体作为计算工具。公元 600 年左右，中国人发明了更为方便的计算工具——算盘。它利用十进制计数法和一整套计算口诀，实现了各种基本的十进制计算。

17 世纪中叶，随着工业革命的开始，各种机械设备被发明。1642 年，法国数学家帕斯卡 (B.Pascal) 发明了机械的齿轮式加减法器，这是人类历史上第一台机械式计算机。1673 年，德国数学家莱布尼兹 (G.w.Leibniz) 设计完成了机械乘除器，从而使机械式计算设备能够完成基本的四则运算。1884 年，美国人霍列瑞斯 (H.Hollerith) 受到提花织机的启发，用穿孔卡片表示数据，制造出了制表机。

上述各种不同类型的计算工具都有共同的弱点——操作复杂。每一步计算都要靠操作者提供数据，安排如何计算，计算结果也需要人工记录下来，然后重新安排下一步计算，另一个不足是他们的计算速度都很慢。

20 世纪社会的发展及科学技术的进步，对新计算工具提出了强烈的需求。那时，军事和战争的需要成为一个重要因素。随着第二次世界大战爆发，各国科学研究的主要精力都转向为军事服务。为了设计更先进的武器，不论是机械制造业还是电气、电子技术都开始快速发展，这也推动了计算工具的进步。1943 年，英国科学家研制成功的“巨人”计算机，专门用于破译德军密码，但“巨人”不是真正的数字电子计算机。1944 年，美国科学家艾肯 (H.Aiken) 在 IBM 支持下，研制成功了机电式计算机 MARK-I。这是世界上最早的通用型自动机电式计算机之一，它取消了齿轮传动装置，以穿孔纸带传送指令。

为了更精确、更快地计算弹道轨迹和火力表，1946 年 2 月 15 日，美国费城大学“莫尔小组”的四位科学家和工程师研制出了世界上第一台通用数字电子计算机 ENIAC (electronic

numerical integrator and calculator), 它才是真正具有现代意义的计算机(图 1-4)。这台计算机使用了 18800 个电子管, 占地 170 平方米, 重达 30 吨, 耗电 140 千瓦, 价值 40 多万美元, 是一个昂贵耗电高的“庞然大物”。由于它采用了电子线路来执行算术运算、逻辑运算和存储信息, 从而大大提高了运算速度。ENIAC 每秒可进行 5000 次加法和减法运算, 把计算一条弹道的时间缩短为 30 秒。它最初被专门用于弹道运算, 后来经过多次改进成为能进行各种科学计算的通用电子计算机。从 1946 年 2 月交付使用, 到 1955 年 10 月最后切断电源, ENIAC 服役长达 9 年。

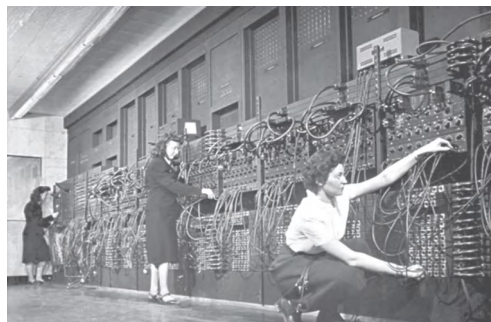


图 1-4 世界上第一台通用数字电子计算机
ENIAC

尽管 ENIAC 还有许多弱点, 但是在人类计算工具发展史上, 它仍然是一座不朽的里程碑。它的成功, 开辟了提高运算速度的极其广阔的可能性; 它的问世, 表明了电子计算机时代的到来。从此, 电子计算机在解放人类智力的道路上, 突飞猛进的发展。电子计算机在人类社会所起的作用, 与第一次工业革命中的蒸汽机相比, 是有过之而无不及的。

1. 计算机的发展历程

根据计算机所采用的逻辑元器件, 人们将计算机的发展划分成 4 个阶段, 每一阶段在技术上都是一次新突破, 在性能上都是一次质的飞跃。

(1) 第一代, 电子管计算机 (1946—1953 年)。

第一代计算机采用电子真空管及继电器作为逻辑元件, 构成处理器和存储器, 并用绝缘导线将它们互连在一起。这使它们的体积比较庞大, 运算速度相对较慢, 运算能力也很有限。除 ENIAC 外, 这一时期的计算机还有 1950 年问世的 EDVAC, 1951 年的 UNIVAC, 以及 1953 年 IBM 公司研制成功的 IBM701 等。

这一时期计算机(图 1-5)的特点是采用电子管作为基本逻辑部件, 体积大、用电量大、寿命短、可靠性差、成本高; 采用电子射线管作为存储部件, 容量很小, 后来外存储器使用了磁鼓存储信息, 扩充了容量; 输入、输出设备落后, 主要使用穿孔卡片, 速度慢, 容易出错; 没有系统软件, 能用机器语言和汇编语言编程。

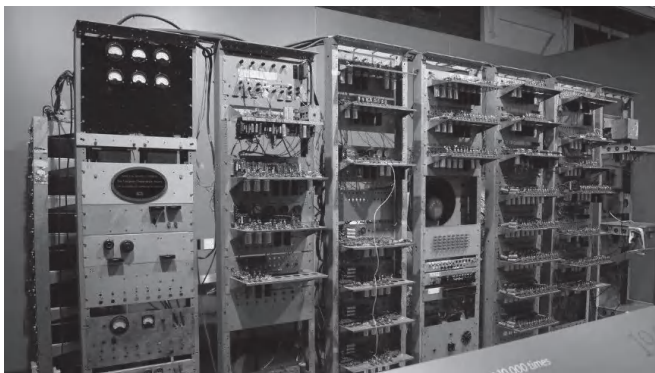


图 1-5 电子管计算机

(2) 第二代, 晶体管计算机 (1954—1964 年)。

1947 年, 贝尔实验室的两位科学家布拉顿 (W. Brattain) 和巴丁 (J. Bardeen) 发明了点触型晶体管, 1950 年另一位科学家肖克利 (W. Shockley) 又发明了面结型晶体管。与电子管

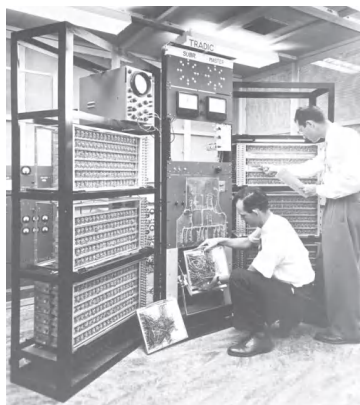


图 1-6 晶体管计算机

相比，晶体管体积小、重量轻、寿命长、发热少、功耗低。1955 年，美国贝尔实验室研制出了世界上第一台全晶体管计算机 TRADIC。它装有 800 只晶体管，功率为 100 w，占地 3 立方英尺。使用晶体管的计算机，电子线路的结构变得简单，运算速度大幅度提高。

晶体管计算机（图 1-6）的主要特点是采用晶体管作为基本逻辑部件，体积减小、重量轻、能耗低、成本下降，计算机的可靠性和运算速度均得到提高；普遍采用磁芯作为存储器，采用磁盘 / 磁鼓作为外存储器；开始有了系统软件（监控程序），提出了操作系统的概念，出现了高级语言，如 FORTRAN、COBOL、ALGOL 等。

（3）第三代，集成电路计算机（1964—1969 年）。

1958 年，美国物理学家基尔比（J.kilby）和诺伊斯（N.noynce）发明了集成电路。集成电路把多个电子元件组成的逻辑电路集中在几平方毫米的基片上。此后，集成电路的集成度以每 3~4 年提高一个数量级的速度增长。

集成电路计算机（图 1-7）的主要特点是采用中、小规模集成电路制作各种逻辑部件，从而使计算机体积更小、重量更轻、耗电更省、寿命更长、成本更低、运算速度有了更大的提高。采用半导体存储器作为主存，取代了原来的磁芯存储器，使存储器的存取速度有了大幅度的提高，增加了系统的处理能力；系统软件有了很大的发展，出现了分时操作系统，多个用户可以共享计算机软硬件资源；在程序设计方面采用了结构化程序设计，为研制更加复杂的软件提供了技术上的保证。

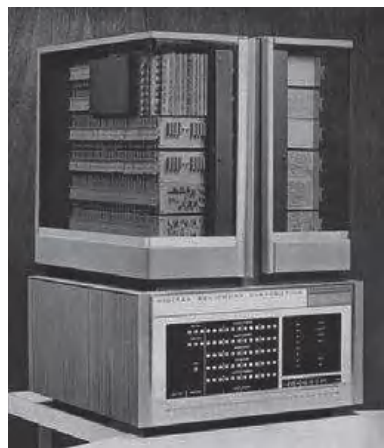


图 1-7 集成电路计算机

（4）第四代，大规模、超大规模集成电路计算机（1970 年至今）。

从 1970 年以后，计算机的逻辑元件采用大规模集成电路。在一个 4mm² 的硅片上，至少可以容纳相当于 2000 个晶体管的电子元件。金属氧化物半导体电路也在这一时期推出。这两种电路的出现，使得计算机的成本进一步降低，体积也进一步缩小，存储设备进一步改善，功能和可靠性得到进一步提高。同时计算机内部的结构也有很大的改进，采取了“模块化”的设计思想，即按执行的功能划分成比较小的处理部件，更加便于维护。从 20 世纪 70 年代末期开始出现超大规模集成电路，在一个小硅片上容纳相当于几万个到几十万个晶体管的电子元件。这些以超大规模集成电路构成的计算机日益小型化和微型化，应用、发展及更新速度更加迅猛，产品覆盖巨型机、大 / 中型机、小型机、工作站和微型计算机等各种类型。



图 1-8 大规模、超大规模集成电路计算机

这一时期计算机（图 1-8）的主要特点是基本逻辑部件采用大规模、超大规模集成电路，使计算机体积、重量、成本均大幅度降低，出现了微型机；作为主存的半导体存储器，其集成度越来越高，容量越来越大；外存储器除广泛使用软、硬磁盘外，还引进了光盘；各种使用方便的输入、输出设备相继出现；软件产

业高度发达，各种实用软件层出不穷，极大地方便了用户；计算机技术与通信技术相结合，计算机网络把世界紧密地联系在一起；多媒体技术崛起，计算机集图像、图形、声音、文字、处理于一体，在信息处理领域掀起了一场革命。

2. 计算机的发展趋势

20 世纪中期，人们虽然预见到了工业机器人的大量应用和太空飞船的出现，但却很少有人深刻地预见到计算机技术对人类巨大的潜在影响，甚至没有人预见到计算机的发展速度是如此迅猛，如此地超出人们的想象。那么，在新的世纪里，计算机技术的发展又会沿着一条什么样的轨道前进呢？

（1）计算机的发展方向。

从功能、性能和体积方面，计算机技术正在向巨型化、微型化、网络化和智能化四个方向发展。

❁ **巨型化**：具有运算速度快、存储容量大、综合处理功能相对完善等特点的计算机系统。其运算速度通常在每秒 1 亿次以上，存储容量超过百万兆字节。巨型机的应用范围如今已日渐广泛，在航空航天、军事工业、气象、通信、人工智能等几十个学科领域发挥着巨大的作用，特别是在复杂的大型科学计算领域，其他的机种都难以与之抗衡。

❁ **微型化**：计算机的集成度进一步提高，利用高性能的超大规模集成电路研制出质量更加可靠，性能更加优良、价格更加低廉、体积更加小巧的计算机系统。除了放在办公桌上的台式微机外，还有可随身携带的笔记本计算机，以及可以握在手上的掌上电脑等。微型计算机已广泛应用于各种工业仪器、设备和家用电器中。

❁ **网络化**：网络技术在 20 世纪后期得到快速发展，尤其是因特网的迅猛发展，众多计算机通过相互连接，形成了一个规模庞大、功能多样的全球性网络系统，从而实现信息的相互传递和资源共享。

❁ **智能化**：具有类似于人的智能，即让计算机能够进行图像识别、定理证明、研究学习、探索、联想、启发和理解人的语言等，是新一代计算机要实现的目标。目前正在研究的智能计算机是一种具有类似于人的思维能力，能“听”“说”“看”“想”“做”，也能替代人的一些体力劳动和脑力劳动的机器。机器人技术近几年发展得非常快，在汽车工业中的机器人数量越来越多。

（2）未来的新型计算机。

计算机中最基本的元件是芯片，芯片制造技术的不断进步是多年来推动计算机技术发展的最根本的动力之一。目前的芯片主要采用光蚀刻技术制造，即让光线透过刻有线路图的掩膜照射在硅片表面来进行线路蚀刻的技术。那么，哪些技术有可能引发下一次的计算机技术革命呢？

1) 光计算机。

随着计算机芯片的处理速度愈来愈快，目前计算机使用的金属引线已无法满足大量信息传输的需要。因此，未来的计算机可能是混合型的，即把极细的激光束与快速的芯片相结合。那时，计算机将不采用金属引线，而是以大量的透镜、棱镜和反射镜将数据从一个芯片传送到另一个芯片，这种传送方式称为自由空间光学技术。自由空间光学技术的原理是先将硅片内的电子脉冲转换为极细的闪烁光束，接通表示“1”，断开表示“0”，然后，将数据流通过反射镜和棱镜网络投射到需要数据的地方。在接收端，透镜将每根光束聚焦到微型光电池上，由光电池将闪光重新转换成一系列电子脉冲。



新型计算机



光计算机有三大优势：首先，电子在导线中的运行速度与光子的传播速度无法相比。今天电子计算机的传送速度最高为每秒 109 个字节，而采用硅－光混合技术后，其传送速度就可以达到每秒万亿字节；其次，光子不像带电的电子那样相互作用，因此经过同样窄小的空间通道可以传送更多数据；最后，光无须物理连接。如能将普通的透镜和激光器做得很小，足以装在微芯片的背面，那么未来的计算机就可以通过稀薄的空气来传送信号。

2) 生物计算机。

生物系统的信息处理过程是基于生物分子的计算和通信过程，因此生物计算又常称为生物分子计算，其主要特点是大规模并行处理及分布式存储。基于这一认识，沃丁顿 (C.Waddington) 在 20 世纪 80 年代就提出了自组织的分子器件模型，通过大量生物分子的识别与自组织可以解决宏观的模式识别与判定问题。近年来备受关注的 DNA 计算就是基于这一思路。

研究人员发现，遗传基因——脱氧核糖核酸 (DNA) 的双螺旋结构能容纳大量的信息，其存储容量相当于半导体芯片的数百万倍。一个蛋白质分子就是一个存储体，而且阻抗低，能耗少，发热量极小。生物计算机比硅晶片计算机在速度和性能上有质的飞跃，研制中的生物计算机的存储能力巨大，速度极快，能量消耗极小，并且具有模拟部分人脑的能力。

生物计算机可以充分实现智能化，并且其最大的优点在于可以与人体大脑相连，使人们免去了手动对其输入指令，而人们也可以利用计算机强大的运算能力和信息储存能力等为自己提供更多便利。此外，生物计算机的另一特点则是其可以避免能源补充问题。生物计算机与普通计算机不同，普通计算机若随身携带则必须担心其电量问题，而生物计算机则不必担心此问题。生物计算机的能量补充可以由人直接进行，这是任何计算机都无法做到的。生物计算机在今后势必也会成为最受人们欢迎和喜爱的计算机之一，能够为人们的学习和思考提供更多的便利，也能够充分节省各种资源，十分符合当代社会的发展要求和发展趋势，也符合我国目前的基本国情。

3) 量子计算机。

量子计算机是一种采用基于量子力学原理的、深层次计算模式的计算机。这一模式只由物质世界中一个原子的行为所决定，而不是像传统的二进制计算机那样将信息分为 0 和 1 (对应晶体管的开和关) 来进行处理。在量子计算机中最小的信息单元是一个量子比特。量子比特不只有开和关两种状态，而是能以多种状态同时出现。这种数据结构对使用并行结构来处理信息的计算机是非常有利的。

2021 年 10 月，中国科学技术大学科研团队在超导量子系统和光量子两种系统的量子计算方面取得重要进展，成功构建 66 比特可编程超导量子计算原型机“祖冲之二号” (图 1-9，求解“量子随机线路取样”任务的速度比目前全球最快的超级计算机快 1000 万倍以上) 和 113 个光子 144 模式的量子计算原型机“九章二号”，使我国成为目前世界上唯一在两种物理体系达到“量子计算优越性”里程碑的国家。

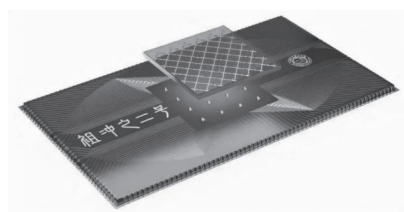


图 1-9 “祖冲之二号”芯片示意图

在第五届世界声博会暨 2022 科大讯飞 1024 全球开发者节开幕式上，中国科学院院士潘建伟分享了关于量子计算未来 15 年的发展潜力与计划，“我们希望在未来 5 年实现量子纠缠，然后完成数百个乃至数千个量子比特的相干操纵，以解决量子化学、新材料设计和优化算法里的一些问题。”“通过 10 至 15 年的努力，我们在纠错顺



利完成的基础之上，希望能够构建通用的量子计算机。”

量子计算机具有一些近乎神奇的性质：信息传输可以不需要时间（超距作用），信息处理所需能量可以接近零。

量子计算机的最大优势在于能够有效提升数据处理能力，从而加快人们搜索相关内容的速度，对于生活在快节奏社会的人们来说使用量子计算机是非常有必要的。如今计算机在办公方面的应用相当普遍，但也存在着某些弊端如丢失文件，丢失文件在人们日常工作中并不常见，不过一旦发生此种现象势必会造成人们的困扰，并且使用传统计算机寻找丢失的文件时，需要对各个计算机进行仔细的查找，非常地费事、费时、费力。而量子计算机则可以有效解决这个问题，丢失文件的人可以依据该文件的特点复制副本，之后使用副本来寻找丢失的文件，此种方法的可用性和效率都非常高。

4) 神经网络计算机。

神经网络计算机与生物计算机有异曲同工之妙，神经网络计算机顾名思义需要将计算机的运行结构模拟成人脑的运行模式，再将其与传统计算机的运行模式相结合。可以使其既具有计算机的运行能力，又具有人的思维方式，如此可以有效地提升计算机整体的运行速度。并且若将神经元结构引入到计算机中，则可以更大程度上提升其运行速度和运算速度，对计算机今后的发展来说是非常必要的。

5) 化学计算机。

化学计算机的广泛应用可以使碳基制品在信息传输过程中产生的影响减少，甚至完全避免其产生的影响。另外化学计算机的运行速度较快，信息存储也较为方便快捷，其最大的优点在于信息载体体积小，能够使计算机在运行过程中消耗较少的能量，从而加快计算机自身的运行速度。如今我国已经在进行化学计算机的研究，并且根据目前显露出的特点而言，其今后的发展前景和应用范围势必会更广，因此也已经成为我国计算机未来的发展趋势之一。

综上所述，计算机如今已经完全融入人们的日常生活和工作中，并且在发挥着越来越重要的作用。科学技术的不断更新和完善，也会使得计算机技术持续发展。如今经济全球化的趋势越来越明显，我国各个领域也在不断加快与国际接轨的步伐，相信在不久的将来除了我国计算机的单方面发展外，通过与其他国家的技术交流也能够促进我国计算机发展，与时俱进是非常重要的。相关机构和人员应继续加强对计算机方面的研究力度，促进其尽快发展为人们提供更多便利。

1.2

计算机中的数制与编码

计算机可用来处理各种形式的数据，这些数据可以是数字、字符或汉字，它们在计算机内部都是采用二进制数来表示的，下面介绍计算机使用的数制和常用编码。

1.2.1 计算机的数制

按进位的原则进行计数的方法叫作进位计数制，简称数制。日常生活中大都采用十进制计数，计算机中的信息则采用二进制数。计算机采用二进制的主要原因包括便于实现、运算简单、机器可靠性高与通用性强等。

一种数制有两个基本要素：基数和位权。基数是每种数制包括的数字符号的个数，如十

进制包括 0、1、2……9 十个记数符号，它的基数是 10。数码所处的位置不同，代表的数值也不同。如十进制数中个位上的 1 代表 1，十位上的 1 代表 10，百位上的 1 代表 100 等，数值与位置有关。每个位置上的单位值叫作位权。位权的大小是以基数为底、数码所在位置的序号为指数的整数次幂，其中位置序号排列规则为：小数点左边，从右向左分别为 0、1、2 等；小数点右边，从左向右分别为 -1、-2、-3 等。如十进制的个位 a 的位置号为 0，位权是 10^0 ；十位数位置号为 1，位权为 10^1 ；小数点后第 1 位的位置号为 -1，位权为 10^{-1} 。下面介绍几种常用的数制。

1. 十进制

十进制主要特点如下。

⊗ 有十个数字符号：0、1、2、3……9。

⊗ 计数规则：逢十进一，借一当十。

【例 1-1】十进制数 11.21。

$$11.21 = 1 \times 10^1 + 1 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2}$$

任意一个十进制数可按基数展开为多项式（位权表示法）：

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

2. 二进制

二进制主要特点如下。

⊗ 有两个不同的数字符号：0、1。

⊗ 计数规则为：逢二进一，借一当二。

【例 1-2】二进制数 1011.11。

$$1011.11 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

在计算机中采用二进制，原因是其具有便于实现、运算简单、工作可靠和方便逻辑运算等特点。具有两个稳定状态（分别表示 1 位二进制的 0 和 1）的物理元器件显然要比具有多个稳定状态的物理器件容易制造。二进制的运算规则少（比如加法只有 4 个，而十进制有 100 个），所以运算简单。具有两个稳定状态的元器件自然要比具有多个稳定状态的元器件工作可靠。逻辑量只有成立（真）和不成立（假）两个值，而二进制的每位仅有 1 和 0 两个状态，恰好方便地表示真和假。

使用二进制的一个主要缺点是表示相同的数据要使用更多的位数，为了方便地表示二进制，可以采用八进制或十六进制。

3. 八进制

八进制的主要特点如下。

⊗ 有八个不同的数字符号：0、1、2……6、7。

⊗ 进数规则：逢八进一，借一当八。

【例 1-3】八进制数 257.17。

$$257.17 = 2 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 7 \times 8^{-2}$$

4. 十六进制

十六进制的主要特点如下。

⊗ 有十六个不同的数字符号：0、1、2……9、A、B、C、D、E、F。

⊗ 进数规则：逢十六进一，借一当十六。



二进制运算



【例 1-4】十六进制数 14F.A

$$14F.A = 1 \times 16^2 + 4 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1}$$

表 1-1 列出了四位二进制整数与相应的八进制、十进制和十六进制整数的对应关系。

表 1-1 四位二进制整数与相应的八进制、十进制和十六进制整数的对应关系

二进制数	八进制数	十进制数	十六进制数	二进制数	八进制数	十进制数	十六进制数
0000	0	0	0	1000	10	8	8
0001	1	1	1	1001	11	9	9
0010	2	2	2	1010	12	10	A
0011	3	3	3	1011	13	11	B
0100	4	4	4	1100	14	12	C
0101	5	5	5	1101	15	13	D
0110	6	6	6	1110	16	14	E
0111	7	7	7	1111	17	15	F

1.2.2 各类数制间的转换

不同的数制有不同的基数和位权，但它们表示的数值可以相互转换。下面就介绍几种常用的数制的转换方法。

1.R 进制转换为十进制

根据位权的概念，R 进制转换为十进制的方法为展开多项式，各项相加。

【例 1-5】分别将二进制数 101.01_2 、八进制数 37.5_8 和十六进制数 $F3.7_{16}$ 转换为十进制数。

解：

$$101.01_2 = 2^2 + 2^0 + 2^{-2} = 5.25_{10}$$

$$37.5_8 = 3 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} = 31.625_{10}$$

$$F3.7_{16} = 15 \times 16^1 + 3 \times 16^0 + 7 \times 16^{-1} = 243.4375_{10}$$

2. 十进制转换为 R 进制

由于人们通常不太熟悉非十进制数的运算，所以将十进制数转换为 R 进制数，需要对整数和小数部分分别进行。

(1) 整数部分。

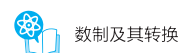
十进制整数转换为 R 进制整数的方法为将十进制整数连续地整除以 R，记下每次的余数，直到商为 0，倒排余数即为对应的 R 进制整数。

【例 1-6】将十进制整数 216 分别转换为二进制数、八进制数和十六进制数。

解：

转换为二进制数：

	商	余数
2 216	108	0
2 108	54	0
2 54	27	0
2 27	13	1
2 13	6	1
2 6	3	0
2 3	1	1
2 1	0	1



数制及其转换



结果：216₁₀=11011000₂
转换为八进制数：

	商	余数
8 216		0
8 27		3
8 3		3
	0	

结果：216₁₀=330₈
转换为十六进制数：

	商	余数
16 216		8
16 13		D
	0	

结果：216₁₀=D8₁₆

(2) 小数部分。

十进制小数转换为 R 进制小数的方法为将十进制小数连续地乘以 R，记下每次的整数，直到十进制小数为 0 或满足精度为止，正排余数即为相应的 R 进制小数。

【例 1-7】将十进制小数 0.4453125 分别转换为二进制数、八进制数和十六进制数。

解：

转换为二进制数：

乘积小数部分	乘积整数部分
0.4453125	
× 2	
0.8906250	0
× 2	
0.7812500	1
× 2	
0.5625000	1
× 2	
0.1250000	1
× 2	
0.2500000	0
× 2	
0.5000000	0
× 2	
0.0000000	1

结果：0.4453125₁₀=0.0111001₂

转换为八进制数：

乘积小数部分	乘积整数部分
0.4453125	
× 8	
0.5625000	3
× 8	
0.5000000	4
× 8	
0.0000000	4

结果：0.4453125₁₀=0.344₈

转换为十六进制数：

乘积小数部分	乘积整数部分
0.4453125	
× 16	
0.1250000	7
× 16	
0.0000000	2

结果： $0.4453125_{10} = 0.72_{16}$

【例 1-8】将十进制小数 0.12 转换为二进制数，保留 5 位小数。

解：

乘积小数部分	乘积整数部分
0.12	
× 2	
0.24	0
× 2	
0.48	0
× 2	
0.96	0
× 2	
0.92	1
× 2	
0.84	1

结果： $0.12_{10} \approx 0.00011_2$

【例 1-9】将十进制数 31.6875 转换为八进制数。

解：

将 31 转换为八进制的过程为：

	商	余数
8 31		7
8 3		3
	0	

结果： $31_{10} = 37_8$

将 0.6875 转换为八进制的过程为：

乘积小数部分	乘积整数部分
0.6875	
× 8	
0.5000	5
× 8	
0.0000	4

结果： $31.6875_{10} = 37.54_8$

3. 二进制数与八进制数之间的转换

二进制数与八进制数之间的转换规则为用三位二进制数表示一位八进制数，如表 1-2 所示。

表 1-2 八进制数与二进制数对照表

八进制	二进制
0	000
1	001
2	010
3	011

续表

八进制	二进制
4	100
5	101
6	110
7	111

(1) 二进制数转换为八进制数。

方法：从小数点开始，向左或向右每三位为一组（不足三位用 0 补齐）；将每组三位数用一位八进制数表示。

【例 1-10】将二进制数 1111011100.01011 转换为八进制数。

001	111	011	100	.	010	110
1	7	3	4	.	2	6

结果：1111011100.01011₂=1734.26₈

(2) 八进制数转换为二进制数。

方法：将每位八进制数用三位二进制数表示，去掉两端多余的 0。

【例 1-11】将八进制数 214.36 转换为二进制数。

2	1	4	.	3	2
010	001	100	.	011	010

结果：214.36₈=10001100.01101₂

4. 二进制数与十六进制数之间的转换

二进制数与十六进制数之间的转换规则为用四位二进制数表示一位十六进制数如表 1-3 所示。

表 1-3 十六进制数与二进制数对照表

十六进制	二进制
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
A	1010
B	1011
C	1100
D	1101
E	1110
F	1111

(1) 二进制数转换为十六进制数。

方法：从小数点开始，向左或向右每四位为一组（不足四位用 0 补齐）；将每组四位数用一位十六进制数表示。

【例 1-12】将二进制数 100111111001101011.01 转换为十六进制数。

0010	0111	1110	0110	1011	.	0100
2	7	E	6	B	.	4

结果：100111111001101011.01₂=27E6B.4₁₆

(2) 十六进制数转换为二进制数。

方法：将每位十六进制数用四位二进制数表示，去掉两端多余的 0。

【例 1-13】将十六进制数 3E4F.A9 转换为二进制数。

3	E	4	F	.	A	9
0011	1110	0100	1111	.	1010	1001

结果：3E4F.A9₁₆=11111001001111.10101001₂

1.2.3 数值数据的编码

计算机中数的正负号也是用二进制数表示的。通常，数的符号用最高位表示，0 表示正号，1 表示负号。将符号数字化后的数称为机器数，而用正负号（即 + 和 -）表示的数称为真值。为讲解方便，除非特殊说明，以后讲解中机器数都用一个字节（即 8 位）表示。比如在后面将要叙述的原码中，真值“+110”（二进制）对应的机器数为 00000110，真值“-110”对应的机器数为 10000110。

1. 定点数与浮点数

在计算机中，小数点并不占据任何二进制位，其位置是通过约定实现的。若将小数点的位置约定在机器数的末段，该机器数就是定点整数；若将小数点的位置约定在符号位的右侧，该机器数就是定点小数，如图 1-6 所示。

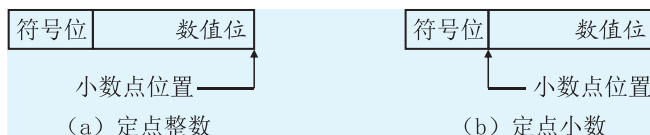


图 1-6 定点数格式

显然，如果不使用比例因子，一般情况下，定点整数只能表示整数，定点小数只能表示小数。

与科学计数法类似，在计算机中将一个数表示为尾数和阶码两部分，就形成了浮点数，如图 1-7 所示。阶码采用定点整数，尾数采用定点小数（当然也可以用定点整数，本书采用定点小数）。

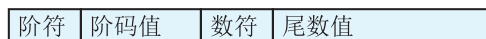


图 1-7 浮点数格式

阶符是阶码的符号位，数符是尾数的符号位。

与定点数相比，浮点数具有表示范围大、精度高的优点。

2. 原码、反码与补码

(1) 原码。

正数(含0)的符号位为0,负数(含0)的符号位为1,数值部分为对应数的绝对值,该表示法即为原码。

【例 1-14】用原码分别表示 26 和 -0.75。

解:

$$26_{10}=11010_2$$

$$\text{结果: } [26]_{\text{原}}=00011010$$

$$-0.75_{10}=-0.11_2$$

$$\text{结果: } [-0.75]_{\text{原}}=1.1100000$$

26 和 -0.75 的原码分别是定点整数原码和定点小数原码。

原码的最大优点是与其真值间的相互转换容易实现,其主要缺点是算术运算不方便。

0 的原码有两种编码,比如定点整数中的 00000000 和 10000000,定点小数中的 0.0000000 和 1.0000000。

8 位定点整数原码的表示范围从 -127 (即 -2^7+1) 到 $+127$ (即 2^7-1); 8 位定点小数原码的表示范围从 $-1+2^{-7}$ 到 $1-2^{-7}$, 绝对值最小的非 0 数为 -2^{-7} (即 1.0000001) 和 2^{-7} (即 0.0000001)。

(2) 反码。

正数(含0)的反码与原码一样,负数(含0)的反码将除符号位外每位取反即可得到。

【例 1-15】用反码分别表示 26 和 -0.75。

解:

$$26_{10}=11010_2$$

$$[26]_{\text{原}}=00011010$$

$$\text{结果: } [26]_{\text{反}}=00011010$$

$$-0.75_{10}=-0.11_2$$

$$[-0.75]_{\text{原}}=1.1100000$$

$$\text{结果: } [-0.75]_{\text{反}}=1.0011111$$

26 和 -0.75 的反码分别是定点整数反码和定点小数反码。

0 的反码有两种编码,比如定点整数中的 00000000 和 11111111,定点小数中的 0.0000000 和 1.1111111。

8 位定点整数反码的表示范围从 -127 (即 -2^7+1) 到 $+127$ (即 2^7-1); 8 位定点小数反码的表示范围从 $-1+2^{-7}$ 到 $1-2^{-7}$, 绝对值最小的非 0 数为 -2^{-7} (即 1.1111110) 和 2^{-7} (即 0.0000001)。

可以证明,反码的反码为原码(将某个数的反码看作原码再求一次反码,即得到该数的原码)。例如, $[[26]_{\text{反}}]_{\text{反}}=[00011010]_{\text{反}}=00011010=[26]_{\text{原}}$, $[[-0.75]_{\text{反}}]_{\text{反}}=[1.0011111]_{\text{反}}=1.1100000=[-0.75]_{\text{原}}$ 。

(3) 补码。

正数(含0)的补码与原码一样,负数的补码使其反码末位加 1 即可得到。表 1-4 和表



数值编码



1-5 分别列出了 4 位定点整数和定点小数的补码、原码、反码以及十进制数的对应关系。

表 1-4 4 位定点整数补码、原码、反码以及十进制数的对应关系

补码	原码	反码	十进制数	补码	原码	反码	十进制数
0000	0000 1000	0000 1111	0	1000	—	—	-8
0001	0001	0001	1	1001	1111	1000	-7
0010	0010	0010	2	1010	1110	1001	-6
0011	0011	0011	3	1011	1101	1010	-5
0100	0100	0100	4	1100	1100	1011	-4
0101	0101	0101	5	1101	1011	1100	-3
0110	0110	0110	6	1110	1010	1101	-2
0111	0111	0111	7	1111	1001	1110	-1

表 1-5 4 位定点小数补码、原码、反码以及十进制数的对应关系

补码	原码	反码	十进制数	补码	原码	反码	十进制数
0.000	0.000 1.000	0.000 1.111	0	1.000	—	—	-1
0.001	0.001	0.001	0.125	1.001	1.111	1.000	-0.875
0.010	0.010	0.010	0.25	1.010	1.110	1.001	-0.75
0.011	0.011	0.011	0.375	1.011	1.101	1.010	-0.625
0.100	0.100	0.100	0.5	1.100	1.100	1.011	-0.5
0.101	0.101	0.101	0.625	1.101	1.011	1.100	-0.375
0.110	0.110	0.110	0.75	1.110	1.010	1.101	-0.25
0.111	0.111	0.111	0.875	1.111	1.001	1.110	-0.125

【例 1-16】用补码分别表示 26 和 -0.75。

解：

$26_{10}=11010_2$
[26]_原=00011010
[26]_反=00011010

结果：[26]_补=00011010

求 -0.75 补码的过程：

$-0.75_{10}=-0.11_2$
[-0.75]_原=1.1100000
[-0.75]_反=1.0011111

结果：[-0.75]_补=1.0100000

26 和 -0.75 的补码分别是定点整数补码和定点小数补码。

0 的补码仅有一种编码，比如定点整数中的 00000000 和定点小数中的 0.0000000。

8 位定点整数补码的表示范围从 -128（即 -2^7 ）到 +127（即 2^7-1 ）；8 位定点小数补码的表示范围从 -1 到 $1-2^{-7}$ ，绝对值最小的非 0 数为 -2^{-7} （即 1.1111111）和 2^{-7} （即 0.0000001）。

可以证明，补码的补码为原码（将某个数的补码看作原码再求一次补码，即得到该数的原码）。比如： $[[26]_{\text{补}}]_{\text{补}} = [00011010]_{\text{补}} = 00011010 = [26]_{\text{原}}$ ， $[[-0.75]_{\text{补}}]_{\text{补}} = [1.0100000]_{\text{补}} = 1.1100000 = [-0.75]_{\text{原}}$ 。

原码加减法运算非常麻烦，符号位不能像数值一样直接参与运算。如果符号位直接参与运算，就无法保证结果的正确。例如， $26 + (-7)$ 的原码运算如下：

$$[26]_{\text{原}} = 00011010, [-7]_{\text{原}} = 10000111, 00011010 + 10000111 = 10100001$$

原码 10100001 对应的数为 -33，显然与正确值 19 不一致。

补码加减法运算非常方便，符号位可以像数值一样直接参与运算，因为补码有如下性质：

$$\begin{aligned} [X]_{\text{补}}]_{\text{求补}} &= [-X]_{\text{补}} \\ [X+Y]_{\text{补}} &= [X]_{\text{补}} + [Y]_{\text{补}} \\ [X-Y]_{\text{补}} &= [X]_{\text{补}} + [-Y]_{\text{补}} = [X]_{\text{补}} + [[Y]_{\text{补}}]_{\text{求补}} \end{aligned}$$

求补是指包括符号位在内，每位变反，末位加 1。对某个数的补码求补即可得到该数相反数的补码。

【例 1-17】 已知 $X=0.75$ ，求 $[X]_{\text{补}}$ 和 $[-X]_{\text{补}}$ 。

解：

$$\begin{aligned} X &= 0.75_{10} = 0.11_2 \\ [X]_{\text{补}} &= [X]_{\text{原}} = 0.1100000 \end{aligned}$$

$$\text{结果：} [X]_{\text{补}} = 0.1100000$$

$$[-X]_{\text{补}} = [[X]_{\text{补}}]_{\text{求补}} = [0.1100000]_{\text{求补}} = 1.0100000$$

$$\text{结果：} [-X]_{\text{补}} = 1.0100000$$

【例 1-18】 已知 $X=-26$ ，求 $[X]_{\text{补}}$ 和 $[-X]_{\text{补}}$ 。

解：

$$\begin{aligned} X &= -26_{10} = -11010_2 \\ [X]_{\text{原}} &= 10011010 \\ [X]_{\text{反}} &= 11100101 \end{aligned}$$

$$\text{结果：} [X]_{\text{补}} = 11100110$$

$$[-X]_{\text{补}} = [[X]_{\text{补}}]_{\text{求补}} = [11100110]_{\text{求补}} = 00011010$$

$$\text{结果：} [-X]_{\text{补}} = 00011010$$

【例 1-19】 利用补码计算 $26 + (-7)$ 。

解：

$$\begin{aligned} 26_{10} &= 11010_2 \\ [26]_{\text{补}} &= [26]_{\text{反}} = [26]_{\text{原}} = 00011010 \\ -7_{10} &= -111_2 \\ [-7]_{\text{原}} &= 10000111 \\ [-7]_{\text{反}} &= 11111000 \\ [-7]_{\text{补}} &= 11111001 \\ [26 + (-7)]_{\text{补}} &= [26]_{\text{补}} + [-7]_{\text{补}} = 00011010 + 11111001 = 00010011 \\ [26 + (-7)]_{\text{原}} &= [[26 + (-7)]_{\text{补}}]_{\text{补}} = [00010011]_{\text{补}} = 00010011 \end{aligned}$$

$$\text{结果：} 26 + (-7) = +19$$

【例 1-20】 利用补码计算 $0.625 - 0.75$ 。

解：

$0.625_{10}=0.101_2$
 $[0.625]_{补}=[0.625]_{反}=[0.625]_{原}=0.1010000$
 $0.75_{10}=0.11_2$
 $[0.75]_{补}=[0.75]_{反}=[0.75]_{原}=0.1100000$
 $[-0.75]_{补}=[0.75]_{补}求补=[0.1100000]求补=1.0100000$
 $[0.625-0.75]_{补}=[0.625]_{补}+[-0.75]_{补}=[0.625]_{补}+[0.75]_{补}求补=0.1010000+1.0100000=1.1110000$
 $[0.625-0.75]_{原}=[[0.625-0.75]_{补}]_{补}=[1.1110000]_{补}=1.0010000$

结果： $0.625-0.75=-0.125$

采用补码表示时，符号位可以像数值一样参与运算，并且运算器只要具有加法和求反的功能即可实现减法运算，进而实现乘法和除法运算（因为乘法可以通过加法实现，而除法可以通过减法实现）。

3. 规格化浮点数

为了提高数的存储精度，可以通过移动小数点的位置使得尾数的绝对值最大。本书阶码采用定点整数补码，尾数采用定点小数补码。对于正数而言，规格化的过程就是将小数点移到数值部分第一个1的左侧；对于负数而言，却是将小数点移到数值部分第一个0的左侧。

【例 1-21】用规格化浮点数分别表示 27.5 和 -0.375。

解：

$27.5_{10}=11011.1_2=0.110111_2 \times 2^5$
 $[0.110111_2]_{补}=0.1101110$
 $[5]_{10补}=[101_2]_{补}=00000101$

结果：27.5 的规格化浮点数为 000001010.1101110

$-0.375_{10}=-0.011_2=-0.11_2 \times 2^{-1}$
 $[-0.11_2]_{补}=1.0100000$
 $[-1]_{10补}=[-1_2]_{补}=11111111$

结果： -0.375 的规格化浮点数为 11111111.0100000

4. BCD 码

为了在计算机内处理十进制数，可以用二进制编码来表示十进制数字，称为二 - 十进制码，即 BCD 码（binary coded decimal）。BCD 码是用四位二进制代码表示一位十进制数。四位二进制可以提供 0000~1111 共十六种不同的编码，只需选择其中 10 个代码就可以满足需要。实际应用中有多种 BCD 码，如 8421 码、余 3 码和格雷码等，如表 1-6 所示。

表 1-6 常见的 BCD 码

十进制数字	8421 码	余 3 码	格雷码
0	0000	0011	0000
1	0001	0100	0001
2	0010	0101	0011
3	0011	0110	0010
4	0100	0111	0110
5	0101	1000	1110



续表

十进制数字	8421 码	余 3 码	格雷码
6	0110	1001	1010
7	0111	1010	1000
8	1000	1011	1100
9	1001	1100	0100

8421 码是一种有权码，每个编码的值与其表示的十进制数字相等。比如 6 的编码为 0110，而 0110 的值恰好为 6。8421 码与 ASCII 码的低四位相同，这有利于输入输出过程中 8421 码与 ASCII 码的相互转换。

十进制数 067 用 8421 码表示为 0000 0110 0111。与某个数对应的 8421 码，并不是与其相等的二进制数。与 067 相等的二进制数是 1000011，而不是 000001100111。

在计算机中，可以先把用 8421 码表示的十进制数转化成对应的二进制数再进行运算，也可以直接对用 8421 码表示的十进制数进行计算。但直接对用 8421 码表示的十进制数进行计算需要进行调整，以满足“逢十进一”的十进制运算规则。如今个人计算机的 CPU 就可以直接对 8421 码进行运算。

余 3 码是一种无权码，每个数字编码的值比对应的 8421 码大 3。比如 5 的 8421 码为 0101，5 的余 3 码为 1000。余 3 码是一种对 9 的自补代码，即将某个数的余 3 码各位求反，即可得到该数对 9 的补数的余 3 码。比如将 5 的余 3 码 1000 各位求反，结果为 0111，0111 是 5 对 9 的补数 4 的余 3 码。

格雷码也是一种无权码，其特点是任何相邻的两个数字的编码有且仅有一位不同，最大数字和最小数字的编码也仅有一位不同。

1.2.4 字符编码

计算机中的字符也是用二进制编码表示的，下面介绍常见的 ASCII 码和 Unicode 编码。

1. ASCII 码

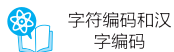
ASCII 码 (america standard code for information interchange, 美国标准信息交换码) 被国际标准化组织 (ISO) 定为国际标准，称为 ISO646 标准，适用于所有拉丁文字字母。ASCII 码有 7 位码和 8 位码两种形式。ASCII 码于 1968 年提出，用于在不同计算机硬件和软件系统中实现数据传输标准化，在大多数的小型机和全部的个人计算机中都使用此码。

因为 1 位二进制数可以表示两种状态：0、1；而 2 位二进制数可以表示 4 种状态：00、01、10、11；依次类推，7 位二进制数可以表示 128 种状态，每种状态都唯一地表示为一个 7 位的二进制码对应一个字符（或控制码），这些码可以排列成一个十进制序号 0~127。所以，7 位 ASCII 码是用 7 位二进制数进行编码的，可以表示 128 个字符。

第 0~32 号及第 127 号（共 34 个）是控制字符或通信专用字符，如控制符：LF（换行）、CR（回车）、FF（换页）、DEL（删除）、BEL（振铃）等；通信专用字符：SOH（文头）、EOT（文尾）、ACK（确认）等。

第 33~126 号（共 94 个）是字符，其中第 48~57 号为 0~9 十个阿拉伯数字；65~90 号为 26 个大写英文字母，97~122 号为 26 个小写英文字母，其余为一些标点符号、运算符等。

字母和数字的 ASCII 码的记忆是非常简单的。我们只要记住了一个字母或数字的 ASCII



码（如记住 A 的 ASCII 码为 65，0 的 ASCII 码为 48），知道相应的大小写字母之间差 32，就可以推算出其余字母、数字的 ASCII 码。

虽然标准 ASCII 码是 7 位编码，但由于计算机基本处理单位为字节（1Byte = 8bit），所以一般仍以一个字节来存放一个 ASCII 字符。每一个字节中多余出来的一位（最高位）在计算机内部通常保持为 0（在数据传输时可用作奇偶校验位）。

由于标准 ASCII 字符集字符数目有限，在实际应用中往往无法满足要求。为此，国际标准化组织又制定了 ISO2022 标准，它规定了在保持与 ISO646 兼容的前提下将 ASCII 字符集扩充为 8 位代码的统一方法。ISO 陆续制定了一批适用于不同地区的扩充 ASCII 字符集，每种扩充 ASCII 字符集分别可以扩充 128 个字符，这些扩充字符的编码均为高位为 1 的 8 位代码（即十进制数 128~255），称为扩展 ASCII 码。

表 1-7 展示了基本 ASCII 对照表。

表 1-7 基本 ASCII 对照表

ASCII 码	键盘	ASCII 码	键盘	ASCII 码	键盘	ASCII 码	键盘
27	ESC	32	SPACE	33	!	34	“
35	#	36	\$	37	%	38	&
39	‘	40	(	41	)	42	*
43	+	44	‘	45	—	46	.
47	/	48	0	49	1	50	2
51	3	52	4	53	5	54	6
55	7	56	8	57	9	58	:
59	;	60	<	61	=	62	>
63	?	64	@	65	A	66	B
67	C	68	D	69	E	70	F
71	G	72	H	73	I	74	J
75	K	76	L	77	M	78	N
79	O	80	P	81	Q	82	R
83	S	84	T	85	U	86	V
87	W	88	X	89	Y	90	Z
91	[	92	\	93	]	94	^
95	_	96	`	97	a	98	b
99	c	100	d	101	e	102	f
103	g	104	h	105	i	106	j
107	k	108	l	109	m	110	n
111	o	112	p	113	q	114	r
115	s	116	t	117	u	118	v
119	w	120	x	121	y	122	z
123	{	124		125	}	126	~



2. Unicode 编码

因为计算机只能处理数字，如果要处理文本，就必须先把文本转换为数字才能处理。最早的计算机在设计时采用 8 个比特（bit）作为一个字节（byte），所以，一个字节能表示的最大的整数就是 255（二进制 11111111 等于十进制 255）。0~255 被用来表示大小写英文字母、数字和一些符号，这个编码表被称为 ASCII 编码，比如大写字母 A 的编码是 65，小写字母 z 的编码是 122。

如果要表示中文，显然一个字节是不够的，至少需要两个字节，而且还不能和 ASCII 编码冲突，所以，中国制定了 GB2312 编码，用来把中文编进去。

类似的，日文和韩文等其他语言也有这个问题。为了统一世界上各种文字符号的编码，人们提出了 Unicode（universal multiple-octet coded character sets，UCS）编码方案，并建立了 Unicode 国际标准。Unicode 把所有语言都统一到一套编码里，这样就不会再有乱码问题了。

Unicode 是一种在计算机上使用的字符编码。Unicode 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。于 1990 年开始研发，1994 年正式公布。

ASCII 编码和 Unicode 编码的区别：ASCII 编码是 1 个字节，而 Unicode 编码通常是两个字节。

Unicode 编码与现在流行的 ASCII 编码完全兼容，二者的前 256 个符号是一样的。

字母 A 用 ASCII 编码是十进制的 65，二进制的 01000001。如果把 ASCII 编码的 A 用 Unicode 编码，只需要在前面补 0 就可以，因此，A 的 Unicode 编码是 0000000001000001。

1.2.5 汉字的编码

ASCII 码只对英文字母、数字和标点符号进行编码。为了在计算机内表示汉字，用计算机处理汉字，同样也需要对汉字进行编码。计算机对汉字信息的处理过程实际上是各种汉字编码间的转换过程。

汉字的输入、转换和存储方法与西文相似，但由于汉字数量多，不能由西文键盘直接输入，所以必须先把它们分别用以下编码转换后存放到计算机中再进行处理操作。

1. 国标码

计算机处理汉字所用的编码标准是我国于 1980 年颁布的国家标准 GB2312-80《中华人民共和国国家标准信息交换汉字编码》，简称国标码（也称交换码）。在国标码表中，共收录了一、二级汉字和图形符号 7445 个。其中，图形符号 682 个，分布在 1~15 区；一级汉字（常用汉字）3755 个，按汉语拼音字母顺序排列，分布在 16~55 区；二级汉字（不常用汉字）3 008 个，按偏旁部首排列，分布在 56~87 区；88 区以后为空白区，以待扩展。每个汉字及特殊字符以两个字节的十六进制数值表示。

为了满足信息处理的需要，在国标码的基础上，2000 年 3 月我国又推出了《信息技术·信息交换用汉字编码字符集·基本集的扩充》新国家标准，共收录了 27000 多个汉字，还包括藏、蒙、维吾尔等主要少数民族文字，采用单、双、四字节混合编码，总编码空间占 150 万个码位以上，基本上解决了计算机汉字和少数民族文字的使用标准问题。

2. 机外码

机外码（也称输入码）是指操作人员通过西文键盘输入的汉字信息编码。它由键盘上的字母（如汉语拼音或五笔字型的笔画部件）、数字及特殊符号组合构成。典型的输入码有郑码输入法、五笔字型输入法、全拼输入法、双拼输入法、微软拼音输入法、紫光拼音输入法、区位码、自然码、智能 ABC 输入法等，这些输入法是用户与计算机汉字交流的第一接口。

3. 机内码

机内码（也称内码）是指计算机内部存储、处理加工汉字时所用的代码。输入码通过键盘被接受后就由汉字操作系统的“输入码转换模块”转换为机内码，每个汉字的机内码用 2 个字节的二进制数表示。为了与 ASCII 码相区别，通常将其最高位置为 1，大约可表示 16000 多个汉字。虽然某一个汉字在用不同的汉字输入方法时其机外码各不相同，但其机内码基本是统一的。

4. 字形码

字形码是指文字信息的输出编码。计算机对各种文字信息的二进制编码处理后，必须通过字形输出码转换为能看懂且能表示为各种字形、字体的文字格式，即字形码。然后通过输出设备输出。

这种字形码采用点阵形式，不论一个字的笔画是多少，都可以用一组点阵表示。每个点即二进制的 1 个位，由 0 和 1 表示不同状态，如明、暗或不同颜色等特征表现字的型和体。所有字形码的集合构成的字符集称为字库。根据输出字符的要求不同，字符点的多少也不同。点阵越大、点数越多，分辨率就越高，输出的字形也就越清晰美观。汉字字型有 16×16 、 24×24 、 32×32 、 48×48 、 128×128 点阵等，不同字体的汉字需要不同的字库。点阵字库存储在文字发生器或字模存储器中。字模点阵的信息量是很大的，所占存储空间也很大。以 16×16 点阵为例，每个汉字就要占用 32 个字节，如图 1-10 所示。

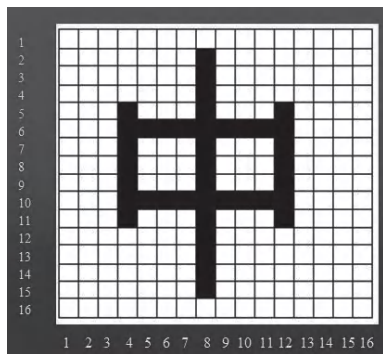


图 1-10 16×16 点阵字形

注意，计算机文字信息的加工处理，主要采用对其二进制编码的逻辑运算，即将对文字信息的编辑、排版、查找、复制、传输等操作转化为与、或、非、异或、移位、分离、合并、比较等逻辑运算。

1.3

新的思维革命——计算思维

计算思维（computational thinking，CT）是当前国际计算机界广为关注的重要概念之一，也是近年来计算机教育领域一直研究的重点。计算思维，是指计算机、软件及计算相关学科中的科学家和工程技术人员的思维模式。计算思维又称构造思维，它以设计和构造为特征，以计算机学科为代表。

有些学者将计算思维看作是除理论思维、实验思维以外的第三大思维。理论思维，又叫推理思维，以推理和演绎为特征。实验思维，又叫实证思维，以观察和总结自然规律为特

征。计算思维，又叫构造思维，以设计和构造为特征，如图 1-11 所示。

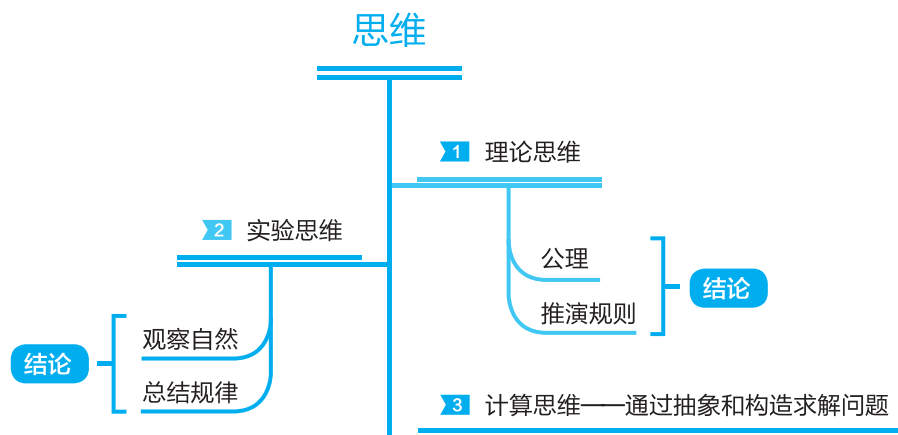


图 1-11 三大思维

计算思维虽然在人类科学思维中早已存在，但是由于缺乏对客观世界进行抽象化、形式化、自动化的工具手段，使得其研究比较缓慢。计算机对于信息和符号的快速处理能力，使得许多原本只是理论上可以实现的过程变成了实际可以实现的过程，如海量数据的处理、复杂系统的模拟、大型工程的组织等。借助计算机实现了从想法到产品整个过程的自动化、精确化和可控化，大大拓展了人类认知世界和解决问题的能力与范围。显然，计算机的出现使得计算思维的意义和作用进一步浮现。

1.3.1 计算思维的概念

2006 年 3 月，周以真（Jeannette M. Wing）教授在计算机权威期刊 *Communications of the ACM* 杂志上给出并定义了计算思维（computational thinking）。周教授认为。计算思维是运用计算机科学的基础概念，进行问题求解、系统设计及人类行为理解等涵盖计算机科学之广度的一系列思维活动。

以上是关于计算思维的一个总定义，周教授为了让人们更易于理解，又将它进一步地定义为通过约简、嵌入、转化和仿真等方法，把一个看起来困难的问题重新阐释成一个我们知道问题怎样解决的方法；是一种递归思维，是一种并行处理，是一种把代码译成数据又能把数据译成代码，是一种多维分析推广的类型检查方法；是一种采用抽象和分解来控制庞杂的任务或进行巨大复杂系统设计的方法，是基于关注分离的方法（SoC 方法）；是一种选择合适的方式去陈述一个问题，或对一个问题的相关方面建模使其易于处理的思维方法；是按照预防、保护及通过冗余、容错、纠错的方式，并从最坏情况进行系统恢复的一种思维方法；是利用启发式推理寻求解答，也即在不确定情况下的规划、学习和调度的思维方法；是利用海量数据来加快计算，在时间和空间之间，在处理能力和存储容量之间进行折中的思维方法。

求解问题中的计算思维是指，首先要把实际的应用问题转换为数学问题，可能是一组偏微分方程；其次将 PDE 离散为一组代数方程组；然后建立模型、设计算法和编程实现；最后在实际的计算机中运行并求解。前两步是计算思维中的抽象，后两步是计算思维中的自动化。

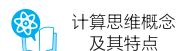
周以真简介



计算机科学



1.3.2 计算思维的本质和特征



计算思维概念
及其特点



计算思维的本质是抽象（abstract）和自动化（automation）。它反映了计算的根本问题，即什么能被有效地自动进行。计算是抽象的自动执行，自动化需要某种计算机去解释抽象。从操作层面上讲，计算就是如何寻找一台计算机去求解问题，隐含地说就是要确定合适的抽象，选择合适的计算机去解释执行该抽象，后者就是自动化。

计算思维的特征包括以下几点。

1. 概念化，不是程序化

计算机科学不是计算机编程。像计算机科学家那样去思维不仅限于计算机编程，还要求能够在抽象的多个层次上思维。计算机科学不只是关注计算机，就像音乐产业不只是关注麦克风一样。

2. 根本的，不是刻板技能

计算思维是一种根本技能，根本技能是每一个人为了在现代社会中发挥职能所必须掌握的。刻板技能意味着机械地重复。但具有讽刺意味的是，当计算机像人类一样思考之后，思维可就真的变成机械的了。

3. 是人的，不是计算机的思维

计算思维是人类求解问题的一条途径，但绝非要使人类像计算机那样地思考。计算机枯燥且沉闷，人类聪颖且富有想象力。人类赋予计算机激情，计算机赋予人类强大的计算能力，人类应该好好地利用这种力量去解决各种需要大量计算的问题。配置了计算设备，我们就能用自己的智慧去解决那些在计算时代之前不敢尝试的问题，实现“只有想不到，没有做不到”的境界。

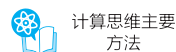
4. 是思想，不是人造物

不只是我们生产的软件硬件等人造物将以物理形式到处呈现并时时刻刻触及我们的生活，更重要的是还将有我们用以接近和求解问题、管理日常生活、与他人交流和互动的计算概念，而且，面向所有的人、所有地方。当计算思维真正融入人类活动的整体以致不再表现为一种显式哲学的时候，它就将成为一种现实。

5. 数学和工程思维的互补与融合

计算机科学在本质上源自数学思维，因为像所有的科学一样，其形式化基础建筑于数学之上。计算机科学又从本质上源自工程思维，因为我们建造的是能够与实际世界互动的系统，基本计算设备的限制迫使计算机学家必须计算性地思考，不能只是数学性地思考。构建虚拟世界的自由使我们能够设计超越物理世界的各种系统。所以设计思维是数学和工程思维的互补与融合。

1.3.3 计算思维中的主要方法



计算思维主要
方法



问题求解是一项复杂的思维活动，无论是一种什么样的思维形式，都是由一系列实践中可操作的方法构成。在问题求解中，与相对于普遍意义下的利用概念、判断和推理来思考问题不同，计算思维的最终目的就是利用计算机解决问题。因此，计算思维更具体、更实际，更像一个工程问题。

利用计算的手段求解问题的基本过程可描述为问题定义及形式化，即首先要正确地领悟问题及用户需求，明确涉及的对象，然后对问题进行形式化描述；建立问题的逻辑模型，根据问题定义建立 IPO（input process output）问题求解模型，确立输入输出关系；算法设计，即设计输入数据进行处理的方法；编程，根据算法设计编写程序代码并调试；运行和维护，运行计算机系统，并对运行中发现的问题或用户的新需求进行系统维护。

这是一个基本的计算机问题求解过程模型，其中包含了许多共性的方法，即构成计算思维的基本方法，典型的方法有以下几类。

1. 抽象

在自然语言中，通常把不能被人们的感官所直接把握的东西，即所谓“看不见，摸不着”的东西叫作“抽象”。在科学研究中，抽象是从许多事物中，舍弃个别的、非本质的属性，抽取共同的、本质的属性的过程。共同属性是指那些能把一类事物与他类事物区分开来的特征，这些具有区分作用的属性又称本质属性。针对不同的研究目的，抽象的特点也不相同。科学抽象通常包含分离、提纯和简略 3 个环节。

在计算机问题求解中，前两步的问题定义和形式化，以及建立问题逻辑模型就是对问题的抽象过程，它给问题求解提供了一个信息化的逻辑视图，是计算机求解问题的第一步。可见，在计算机问题求解中，问题抽象的基本方法是问题定义、数据定义及业务流程的形式化描述（IPO），其结果是系统需求报告。

美国学者理查德·卡普（Richard Karp）教授认为，任何自然系统和社会系统都可视为一个动态演化系统，演化伴随着物质、能量和信息的交换，这种交换可映射为符号变换，使之能利用计算机进行离散的符号处理。这是物理世界和计算机软件世界的一种逻辑映射，计算机及其运行的软件系统模拟了自然系统，成为问题求解的手段和工具。

2. 分解

在一般的科学思维中，抽象包含了分离、提纯和约简 3 个环节。在工程思维中，解决复杂系统问题也存在分解问题。计算机求解问题作为自然世界到软件世界的映射，分解也是最常用的设计复杂系统的方法。当面临一个庞杂的任务或要设计一个复杂的系统时，采用任务分解和模块化的思想，把一个复杂的任务或系统拆分成相对简单的若干子系统，如果某个子系统还比较复杂，则需要进一步细分，直到每个部分是相对简单的为止。问题分解需遵循各子系统相对独立的原则，即要保证高内聚、低耦合。

3. 约简

在一些自然或社会问题中，人们所面对的问题或数据有时候过于复杂，约简就是要在保证问题或数据特征能反映原问题或数据的本质特征的前提下，对问题或数据进行简化。例如，高维数据空间的降维处理，就是把一个看起来困难的问题重新阐释成人们知道怎样解决的问题。

4. 递归

递归就是用自身定义自身的方法。在数学上有很多的概念是用递归定义的。例如，求一个自然数 n 的阶乘，可定义为“ $n!=n(n-1)!, 0!=1$ ”，这是一个递归的定义。在复杂问题求解中，递归通常可以把一个复杂的问题通过层层转化，变为一个与原问题相似的规模较小的问题。在计算机程序中，递归算法不仅能够更好地证明算法的正确性，而且只需少量的程序代码就可以描述出解题过程所需要的多次重复计算，大大减少了程序的代码量。

5. 算法

在人的一般思维中，做任何事情，首先要想的问题是如何做，然后再进一步规划做事的具体步骤，这就是算法的概念。算法是解决问题的方法和求解问题的步骤描述。当人们把一个复杂的系统分解为一系列相对独立的子系统或功能模块时，接下来就是要完成每一个模块的功能，如何把它的输入变成输出。这和人类的逻辑思维如出一辙，是一个概念、判断和推理的思考过程。可以说，计算思维中的算法刻画了人类一般的逻辑思维过程，是逻辑思维的形式化描述。

6. 程序

在日常生活中，程序本是指“做事程序”的意思，即做事的具体步骤。随着计算机的诞生，程序被赋予了新的含义，即程序（program）是为实现特定目标或解决特定问题而用计算机语言编写的命令序列的集合。程序是算法的物理实现，在系统的 IPO 模型中，算法是问题求解的方法描述，而程序则是该方法的实现，使得该功能在计算机上是可执行的。

7. 仿真

仿真就是利用模型复现实际系统发生的本质过程，并通过对系统模型的实验来研究存在的或设计中的系统，又称模拟（图 1-12）。仿真模型是被仿真对象的相似物或其结构形式，它可以是物理模型或数学模型。不是所有对象都能建立物理模型。例如，为了研究飞行器的动力学特性，在地面上只能用计算机来仿真。为此首先要建立对象的数学模型，然后将它转换成适合计算机处理的形式，即仿真模型。能仿真的系统可以是电气、机械、化工、水力、热力等系统，也可以是经济、管理、社会、生态等系统。当所研究的系统造价昂贵、实验的危险性大或需要很长的时间才能了解系统参数变化所引起的后果时，仿真是一种特别有效的研究手段。仿真的过程包括建立仿真模型和进行仿真实验两个主要步骤。计算机为仿真技术提供了先进的工具，加速了仿真技术的发展，计算机仿真具有方便、灵活、经济的特点。计算机仿真与数值计算、问题求解的区别在于它首先是一种实验技术。

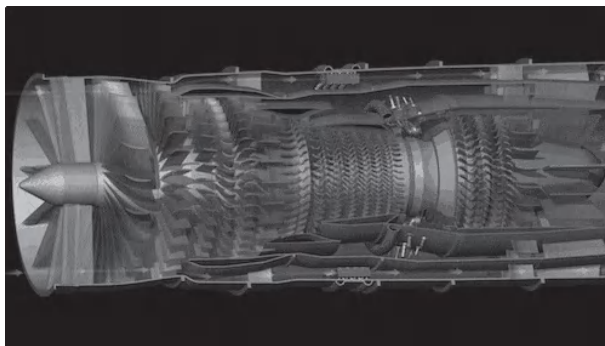


图 1-12 动力研究计算机仿真模型

8. 计算机应用系统

利用计算机求解问题，本质上是使用计算机应用系统解决实际问题。人们利用计算机进行文字编辑、财务管理、上网浏览、网络聊天等，人们打交道的是相应的计算机软件，而不是直接使用计算机的计算和存储部件。计算机应用系统需要通过安装在计算机硬件上的操作系统等系统软件来使用计算机的硬件资源。

9. 网络

网络有多种含义，例如，交通运输网、邮政网络、通信网、计算机网络，甚至社会关系网等。在数学上，网络是由节点和连线构成的图，表示研究的对象及其相互联系。从抽象角度看，网络是从同类问题中抽象出来的、用数学中的图论来表达并研究的一种模型，从而可以研究通路问题、最短路问题、排工问题、寻径等一系列实际问题。

在计算机学科里，计算机网络是指把不同地理位置的计算机通过通信线路和网络设备连接在一起，实现计算机之间的通信和资源共享。计算机网络包含了许多非常有价值的科学方法。例如：OSI 参考模型是抽象最好的例子，网络协议是典型的形式化的例子。这对人们利用网络建模和研究网络应用具有重要的启发意义和参考价值。

计算思维的本质是抽象和自动化，抽象强调的是问题的形式化定义及建立逻辑模型，而自动化则是逻辑的物理实现，即构建计算机应用系统。计算机应用系统是问题求解方法的实现，为问题的求解提供了工具和手段，计算机的自动化、高速度、高精度、可靠性等特性使人们敢于去处理那些庞杂的、人工根本无法完成的问题求解任务。计算机仿真系统还可以针对那些无法实际操作的实验或者需要高昂代价的项目，利用计算机仿真技术来模拟和实验。

1.3.4 计算思维的应用领域

事实上，我们已经见证了计算思维对其他学科的影响。计算思维正在或已经渗透到各个学科、各个领域，并正在潜移默化地影响和推动着各领域的发展，成为一种发展趋势。下面介绍其在某些方面的应用。

1. 生物学

计算机科学许多领域渗透到生物信息学中的应用研究，包括数据库、数据挖掘、人工智能、算法、图形学、软件工程、并行计算和网络技术等都被用于生物计算的研究。

从各种生物的 DNA 数据中挖掘 DNA 序列自身规律和 DNA 序列进化规律，可以帮助人们从分子层次上认识生命的本质及进化规律，DNA 序列实际上是一种用四种字母表达的“语言”。

在生物学中，“霰弹枪”算法大大提高了人类基因组测序的速度，它不仅具有能从海量的序列数据中搜索模式规律的本领，而且还能用体现数据结构和算法（指计算抽象和方法）自身的功能方式来表示蛋白质的结构。以及生物燃料，它曾为我们描述了一幅美好的未来前景——许多人曾经认为，它们能很好地替代石油。但经过多年研究后并没有达到预期效果，反而遭遇瓶颈。近年来，突破这种屏障的一个灵感来自于切叶蚁。在大湖生物能源研究中心，切叶蚁在塑料箱中乱转，弄出可以将树叶转换为油和氨基酸的真菌洞穴，蚂蚁们实际上是想吃些油和氨基酸。蚂蚁收集了一组微生物来将这些叶子碎屑转化为油滴。生物学家们以前都是想办法直接收集这些微生物，利用这些微生物本身，而现在则思考利用计算机将微生物所含的编码酶的基因分离出来，直接用于在工业过程中分解植物细胞壁。

试想一下微生物所含各种酶的基因如果能被精确地分析和控制，那么当你买下一串香蕉，就可以让它按照你的需要，周一熟一根，周二熟一根，让一串中的每一根以不同的速度成熟。

2. 神经科学

神经科学是研究人脑结构与功能的综合性学科，它以揭示人脑高级意识功能为宗旨，与

心理学、人工智能、认知科学和创造学等有着交叉渗透。

美国神经生理学家罗杰·斯佩里进行了裂脑实验，提出人脑两半球功能分工理论。他认为：大脑左右半球完全可以以不同的方式进行思维活动，左脑侧重于抽象思维，如逻辑抽象、演绎推理和语言表达等；右脑侧重于形象思维，如直觉情感、想象创新等。

在神经科学中，大脑是人体中最难研究的器官，科学家可以从肝脏、脾脏和心脏中提取活细胞进行活体检查，唯独要想从大脑中提取活体组织仍是个难以实现的目标。无法观测活的大脑细胞一直是精神病研究的障碍。精神病学家日前重换思路，从患者身上提取皮肤细胞，转成干细胞，然后再将干细胞分裂成所需要的神经元，最后得到所需要的大脑细胞，首次在细胞水平上，观测到精神分裂患者的脑细胞。这是一种新的思维方法，为科学家提供了以前不曾想到的解决方案。

3. 物理

在物理学中，物理学家和工程师们仿照经典计算机处理信息的原理，对量子比特（qubit），所包含的信息进行操控，比如说控制一个电子或原子核自旋的上下取向。与现在的计算机进行相比，量子比特能同时处理两个状态，这就意味着它能同时进行两个计算过程，这将赋予量子计算机超凡的能力，远远超过今天的电脑。现在的研究集中在使量子比特始终保持相干，不受周围环境噪声的干扰，如周围原子的“推推搡搡”。随着物理学与计算机科学的融合发展，量子计算机“走入寻常百姓家”将不再是梦想。

4. 化学

计算机科学在化学中的应用包括：化学中的数值计算、化学模拟、化学中的模式识别、化学数据库及检索、化学专家系统等。

基于非结构网格和分区并行算法，为求解多组分化学反应流动守恒方程组开发了单程序多数据流形式的并行程序，对已有的预混可燃气体中高速飞行的弹丸的爆轰现象进行了有效的数值模拟。

在化学中，可以用优化和搜索算法寻找优化化学反应的条件来提高产量的物质。

5. 地理

在地理学中，北极区偏远多冰，是世界上最难研究的地方之一。破冰船供不应求，而且北部地区经常多云，许多卫星传感器无法穿透厚厚的云层。因此，研究者开始使用自动装置，如无人驾驶飞机、水下舰艇等，用于收集冰面上下的数据。过去的北极研究者依靠相对简单的工具。例如，浮冰上的浮标和传感器。但是应用自动装置，其超强的移动性和智能性，使之能收集到海冰厚度及海底地形的各种数据，成为研究者名副其实的新眼睛。

6. 天文学

在天文学中，天上的恒星在年龄问题上很难给出定论。一颗古老的恒星经常会被认为还很年轻，在寻找围绕遥远恒星运行的宜居行星时，这给天文学家带来很大的困惑。因为恒星的年龄关系到它所能支持的生命形式。正如梅邦所提出的，“恒星没有出生证”，它们的诸多视觉特征在生命周期的大部分时间里都保持不变。不过，有一个特征确实会变，那就是随着时间的推移，恒星的旋转速度会不断变慢，因此我们可以把旋转速度，即恒星的自转速率当作计量恒星年龄的时钟。不过如何标出时钟的数字呢？现在正在进行的工作就是，算出已有不同年龄层次的恒星其年龄和旋转速度间的关系，再进行推理、建模。相信不久之后，恒星的年龄之谜就会揭开。

7. 工程

在工程（电子、土木、机械等）领域，计算高阶项可以提高精度，进而降低重量、减少浪费并节省制造成本。例如，波音 777 飞机完全是采用计算机模拟测试的，没有经过风洞测试。我国的“嫦娥 5 号”（图 1-13）登月前也进行了多次模拟测试。

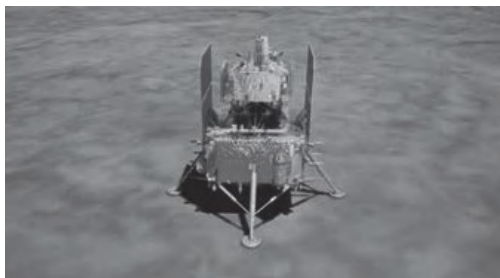


图 1-13 嫦娥五号探测器落月瞬间

8. 经济学

计算博弈论正在改变人们的思维方式。

囚徒困境是博弈论专家设计的典型示例，但是囚徒困境博弈模型可以用来描述两家企业的价格大战等许多经济现象。

在经济学中，自动设计机制在电子商务中被广泛采用（广告投放、在线拍卖等）。另一个实例就是麻省理工学院的很多计算机科学博士在华尔街做金融分析师。

9. 医疗

在医疗中，我们看到机器人医生能更好地治疗孤独症、可视化技术使虚拟结肠镜检查成为可能等实例。典型的应用为高风险下新药的开发找到了更好的途径。神经和精神类疾病占全世界疾病的 13%，如阿尔茨海默病、帕金森病之类。对制药企业来说，研发药物过于复杂和昂贵，花费数百万美元研发的新药可能随时失败，投资风险巨大。问题之一在于，神经精神类药物的研发周期过长。人们发现，一种 CNS 药物需要花费大约 8.1 年进行人体测试。由政府机构、病人权益倡导组织组成的抗重大疾病联盟投入大量人力物力开发了一个标准化的临床实验数据库。最终，新型 CNS 药物的开发将依靠这种创新手段来应对挑战。此外，在癌症研究者中，其他领域专家不留情面地指出：许多研究走入误区，只关注某一个问题出现的 DNA 片段，而不是把它们看成一个复杂的整体。这就好比，你本来是想管理中国的经济，结果着眼点却是某个城市中每种商品的每笔交易。因此，系统生物学被提上研究日程，癌症生物学家应该从全局考虑，并呼吁这些癌症生物学家要掌握非线性系统分析、网络理论以针对复杂系统的其他工具。

10. 艺术

在艺术中，戏剧、音乐、摄影等各个方面都有了与计算机的合成作品，很多都可以以假乱真，甚至比真的还动人。计算机艺术是科学与艺术相结合的一门新兴的交叉学科，它包括绘画、音乐、舞蹈、影视、广告、书法模拟、服装设计、图案设计、产品和建筑造型设计以及电子出版物等众多领域。

计算机技术已经广泛地应用于人们的工作和生活中，计算机已经成为人们不可或缺的工具，计算思维也必将潜移默化地渗透到每个人的思维活动中。当人们在科学研究和求解问题时，会自觉或不自觉地问：这个问题可以用计算机求解吗？如何来求解？求解的代价有多大等等。当有这样的一种思维意识时，初步的计算思维就形成了。

在计算机教育领域，关于计算思维的研究非常活跃，名词众多。例如：算法思维、程序思维、协议思维、系统思维等，这些概念大都是计算机学科研究人员的用法，并没有一个大家一致认可的科学定义，尚不能和哲学、心理学和逻辑学中的形象思维和逻辑思维的概念相提并论。但是，作为一种方法论的探索，计算思维的研究无疑具有积极的意义，将采用计算机技术进行问题求解的基本思想、方法和基本步骤融入到我们的思维过程中，从而为我们的科学研究和学科应用提供了新的思路、方法和技术。

【本章习题】。

一、填空题

1. 计算机的特点包括_____、_____、_____、_____和_____。
2. 第一台计算机于_____年问世，命名为_____。
3. 到目前为止，计算机的发展经历了_____代，划分标准是_____。
4. 计算机是由一系列_____组成的机器，具有_____的能力。
5. 未来的新型计算机有_____、_____、_____、_____、_____。
6. 反码的反码以及补码的补码都等于_____码。
7. 学习十进制是因为人们日常使用十进制，学习二进制是因为计算机内部使用二进制，学习八进制和十六进制是为了_____。
8. 在_____码和_____码中，0 有两个编码。
9. 十进制数 057 用 8421 码表示为_____。
10. ASCII 码的中文含义是_____。
11. Unicode 是一种在_____上使用的字符编码。ASCII 编码和 Unicode 编码的区别是：ASCII 编码是_____字节，而 Unicode 编码通常是_____字节。

二、多选题

1. 目前计算机应用最广泛的领域是（ ）。
A. 人工智能 B. 数据处理 C. 科学计算 D. 通信
2. 计算机采用二进制的原因有（ ）。
A. 便于实现 B. 运算简单 C. 工作可靠 D. 方便逻辑运算
3. 下列选项中，（ ）的代码最小，（ ）的代码最大。
A. F B. 2 C. 空格 D. a
4. 在基本 ASCII 码中，除了字母、数字以外，还有（ ）个可显示字符（即非控制字符）。
A. 70 B. 66 C. 32 D. 59
5. 汉字编码包括（ ）。
A. 国标码 B. 输入码 C. 机内码 D. 字形码

三、简答题

1. 简述计算机的发展历程和划分的时代。
2. 请结合现实生活实例，谈谈计算机有哪些应用领域。

3. 简述计算思维的概念。
4. 简述计算思维的本质。
5. 简述计算思维的基本方法。

四、计算题

1. 将八进制数 365.13_8 分别转换为二进制数和十六进制数。
2. 分别将二进制数 1101.101_2 、八进制数 65.2_8 和十六进制数 $1EF.8_{16}$ 转换为十进制数。
3. 将十进制整数 438 分别转换为二进制数、八进制数和十六进制数。
4. 将十进制小数 0.71875 分别转换为二进制数、八进制数和十六进制数。
5. 将十进制数 596.625 分别转换为二进制数、八进制数和十六进制数。
6. 将二进制数 110110111.1001101_2 分别转换为八进制数和十六进制数。
7. 将十六进制数 $D1F.C8_{16}$ 分别转换为二进制数和八进制数。
8. 利用 8 位补码分别计算下面各题。
- (1) $4-6$ (2) $8+5$ (3) $6+(-3)$ (4) $-3+9$
9. 用规格化浮点数分别表示下列各题中的数。尾数和阶码分别用一个字节表示。
- (1) 35 (2) -67 (3) 21.75 (4) -0.875

习题答案

