

21世纪高等学校计算机教育实用规划教材

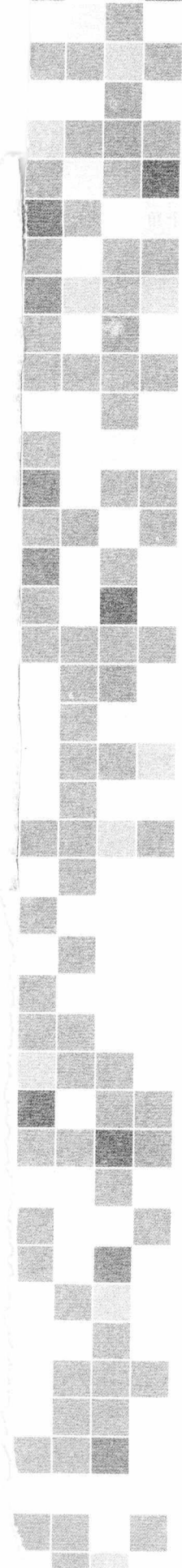
大学计算机

——思想、架构与硬件

刘兴长 樊友洪 马静恒 李娜 编著

清华大学出版社





21世纪高等学校计算机教育实用规划教材

大学计算机

——思想、架构与硬件

刘兴长 樊友洪 马静恒 李娜 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

计算机基础素质教学是大学公共基础教育的重要组成部分。本书试图从思想、架构、硬件几个角度,揭开隐藏在计算机背后的结构组成和工作原理。

全书共7章,涉及设计思想、信息编码方法、基础架构、系统工作原理、实际硬件、应用领域等相关知识。

本书以通俗易懂的语言阐述有关计算机的知识,适合作为高等院校非计算机、非自动化类专业计算机基础教学的教材,也可作为计算机爱好者的入门读物。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

大学计算机:思想、架构与硬件/刘兴长等编著. —北京:清华大学出版社,2016

21世纪高等学校计算机教育实用规划教材

ISBN 978-7-302-44919-5

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第212903号

责任编辑:贾 斌 薛 阳

封面设计:常雪影

责任校对:梁 毅

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:12.25

字 数:299千字

版 次:2016年8月第1版

印 次:2016年8月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.00元

产品编号:070856-01

出版说明

随着我国高等教育规模的扩大以及产业结构调整的不断深入,社会对高层次应用型人才的需求将更加迫切。各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,合理调整和配置教育资源,在改革和改造传统学科专业的基础上,加强工程型和应用型学科专业建设,积极设置主要面向地方支柱产业、高新技术产业、服务业的工程型和应用型学科专业,积极为地方经济建设输送各类应用型人才。各高校加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的力度,从而实现传统学科专业向工程型和应用型学科专业的发展与转变。在发挥传统学科专业师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势的同时,不断更新教学内容、改革课程体系,使工程型和应用型学科专业教育与经济建设相适应。计算机课程教学在从传统学科向工程型和应用型学科转变中起着至关重要的作用,工程型和应用型学科专业中的计算机课程设置、内容体系和教学手段及方法等也具有不同于传统学科的鲜明特点。

为了配合高校工程型和应用型学科专业的建设和发展,急需出版一批内容新、体系新、方法新、手段新的高水平计算机课程教材。目前,工程型和应用型学科专业计算机课程教材的建设工作仍滞后于教学改革的实践,如现有的计算机教材中有不少内容陈旧(依然用传统专业计算机教材代替工程型和应用型学科专业教材),重理论、轻实践,不能满足新的教学计划、课程设置的需要;一些课程的教材可供选择的品种太少;一些基础课的教材虽然品种较多,但低水平重复严重;有些教材内容庞杂,书越编越厚;专业课教材、教学辅助教材及教学参考书短缺,等等,都不利于学生能力的提高和素质的培养。为此,在教育部相关教学指导委员会专家的指导和帮助下,清华大学出版社组织出版本系列教材,以满足工程型和应用型学科专业计算机课程教学的需要。本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点。

(1) 面向工程型与应用型学科专业,强调计算机在各专业中的应用。教材内容坚持基本理论适度,反映基本理论和原理的综合应用,强调实践和应用环节。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材规划以新的工程型和应用型专业目录为依据。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点,保证质量。规划教材建设仍然把重点放在公共基础课和专业基础课的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现工程型和应用型专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

(4) 主张一纲多本,合理配套。基础课和专业基础课教材要配套,同一门课程可以有多本具有不同内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材,教学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源配套。

(5) 依靠专家,择优选用。在制订教材规划时要依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主编。书稿完成后要认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校计算机教育实用规划教材编委会

联系人:魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

1992年,作者在学习 FORTRAN 77 时第一次操作计算机,那时还是一个分时共享的小型计算机。2015年,作者参观了国防科技大学的“天河二号”的工作,虽然只是一部分,但也足够震撼。2016年,霍金提出的“突破摄星”(Breakthrough Starshot)计划中,仅有数克重的星芯片上携带着摄影、导航和通信等设备。计算机的发展如此迅猛。

实际上,自20世纪40年代以来,计算机就开始深刻地影响着科学与社会的发展。现今,人类社会已经进入信息社会,以计算机为中心的IT技术正在渗透到社会的各个角落——教育、科研、生活、生产……随着计算机逐步成为每一个人日常无法离开的工具,随着各种事务,无论是自然的还是人工的、经济的还是社会的,都被数字化而成为计算机处理的对象时,信息处理已经成为人们日常工作和生活的基本手段,掌握和驾驭计算机这一基本工具,已经成为现代公民适应信息时代所必需的基本素质。

虽然我国计算机发展起步较晚,但幸运的是,我们跟上了这个时代,计算机、互联网在我国已经普及。作为国民素质教育的主阵地,高等院校也十分重视计算机基础素质的教育。20世纪80年代,FORTRAN、ALGOL等编程语言开始进入高等院校的课堂;1997年,教育部高等教育司提出了计算机基础教学的“计算机文化基础—计算机技术基础—计算机应用基础”三个层次的课程体系;2006年,教育部高等教育司确立了“4领域×3层次”的总体架构,构建了“1+X”的课程设置方案;2013年7月,教育部高等学校大学计算机课程教学指导委员会制订并发布了《计算思维教学改革白皮书》(征求意见稿),计算思维教育开始受到重视。近几年,与计算思维相关的一批教材相继出版。但是,大部分教材忽略了计算思维的物质基础——计算机,或者仅以很少文字做简单描述。

另一方面,除了传统意义上的铁皮柜子、方形盒子,计算机也化身成为72变的孙悟空,各种形式、各种用途的计算机层出不穷。从超级计算机到个人台式计算机,再到智能手机和工厂测控设备,到处充斥着计算机的身影。这些都为计算机基础教学带来了困难,尤其对于非计算机、非自动化类专业的学生,如何在没有计算机相关专业基础课程背景下,快速有效地进行教与学,一直以来都让作者感到十分困惑。经过这些年的思考与实践,作者认为,抓住纷繁复杂的表象背后的内在逻辑,是计算机基础教育的关键,就像金庸先生笔下的独孤九式、太极剑法一样,只有抓住了事物本质,才能更好地使用它,对于计算机也是如此。这也是本书编写的初衷。

本书试图从历史中发现计算机的设计思想、从信息编码的角度看计算机如何实现与现实世界的对话、从基础架构角度抽丝剥茧地展现计算机的结构组成、从系统的角度阐述计算机的工作过程及原理、打开机箱展示实际硬件,从而循序渐进地展示计算机的基本结构和工作原理。

全书共分为 7 章,刘兴长负责第 1 章、第 2 章和第 7 章的编写,樊友洪负责第 3 章、第 4 章的编写,马静恒负责第 5 章、第 6 章的编写,李娜负责资料的收集与整理。

本书以通俗易懂的语言阐述有关计算机的知识,适合作为大学非计算机、非自动化类专业学生学习计算机的入门教材,学习过程中不需要相关专业基础课程的知识背景。本书将为大学生更好地掌握计算思维能力奠定物质基础,有助于他们更高效地使用计算机完成各类专业任务。

由于作者学识水平所限,书中难免存在不足之处,希望读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 思想：历史串起的珍珠	1
1.1 从蛮荒走向文明：数与计算	1
1.2 黑暗中的思想火花：将思维注入机械	3
1.2.1 原始工具：辅助存储	4
1.2.2 初期机械式计算：自动计算萌芽	8
1.2.3 巴贝奇与阿达：将思想的力量注入机械	10
1.2.4 机电式计算：黎明前的曙光	14
1.3 连接两个世界：逻辑与电路	17
1.3.1 二进制与数理逻辑	17
1.3.2 继电器与电子管	20
1.3.3 奇异的结合：逻辑与电路	22
1.3.4 完美的效果：加法解决一切	26
1.4 理论的奠基：图灵和图灵机	27
1.4.1 图灵机	27
1.4.2 解谜者	30
1.4.3 ACE 报告	31
1.4.4 人工智能之父	33
1.5 架构大师：冯·诺依曼	35
1.5.1 名不符实的 ENIAC	35
1.5.2 名满天下的 EDVAC 报告草案	37
1.5.3 儿孙满堂然后是计算机之父	39
1.6 发明引领：计算机发展的几个历史阶段	40
小结	44
复习题	44
第 2 章 编码：机器与世界的对话	46
2.1 数值的编码	46
2.1.1 数制转换	46
2.1.2 整数编码	47
2.1.3 浮点数编码	48

2.2 字符的编码	49
2.2.1 ASCII 编码	49
2.2.2 汉字编码	50
2.2.3 ANSI	51
2.2.4 Unicode	51
2.3 图形与图像的编码	54
2.3.1 图像编码	54
2.3.2 分辨率	54
2.3.3 图形编码	55
2.3.4 视频编码	56
2.4 声音的编码	56
2.4.1 采样	57
2.4.2 量化与编码	57
2.4.3 数据量计算	58
2.4.4 声音的还原	58
2.5 编码数据压缩	58
2.5.1 文本数据压缩	59
2.5.2 图像数据压缩	59
2.5.3 音频数据压缩	59
2.5.4 视频数据压缩	60
小结	60
复习题	61
第3章 架构：计算机内部结构探秘	62
3.1 经典计算机结构——冯·诺依曼结构	62
3.1.1 冯·诺依曼计算机的设计思想	62
3.1.2 冯·诺依曼计算机的基本结构	63
3.1.3 风暴之中的《报告草案》和“计算机之父”	65
3.2 存储器组织	67
3.2.1 存储器的逻辑结构	67
3.2.2 存储器容量与存储器地址位数	68
3.3 处理器功能与逻辑结构	68
3.3.1 处理器的功能	69
3.3.2 处理器的逻辑结构	69
3.4 冯·诺依曼计算机的工作过程	71
3.4.1 指令与程序的存储	71
3.4.2 程序的自动执行原理	72
3.4.3 硬件和软件的划分：各司其职的设计哲学	74
3.5 计算机的总线架构	78

3.5.1 总线架构的基本概念	78
3.5.2 计算机硬件结构的扩展：分层次的多总线架构	84
3.6 计算机的分层存储体系	86
3.6.1 为什么需要多种类型存储器：性能与成本的平衡之道	86
3.6.2 计算机硬件结构的扩展：计算机的分层存储体系	87
3.6.3 有关分层存储的思维扩展	90
小结	91
复习题	92
第4章 原理：计算机系统是如何工作的	94
4.1 计算机系统	94
4.1.1 计算机系统的构成	94
4.1.2 硬件功能的扩展：操作系统	95
4.2 计算机的操作系统管理	96
4.2.1 外存与文件管理	96
4.2.2 存储器管理	101
4.2.3 处理器管理	106
4.2.4 其他功能	111
4.2.5 本节小结	112
4.3 计算机的运行	113
4.3.1 程序的运行	113
4.3.2 计算机的启动	115
4.3.3 计算机的关闭	116
小结	117
复习题	117
第5章 硬件：打开计算机的机箱	118
5.1 主板	118
5.1.1 主板的结构	118
5.1.2 主板芯片组	119
5.1.3 常见的主板插槽与接口	122
5.2 微处理器的硬件特性	130
5.2.1 微处理器的基本技术参数	130
5.2.2 典型的微处理器及生产厂商	132
5.3 内存	136
5.3.1 半导体存储器的分类	137
5.3.2 内存的基本技术参数	138
5.3.3 随机存储器	140
5.4 外存	142

5.4.1 硬盘	142
5.4.2 光盘	148
5.4.3 移动存储器	150
5.5 显卡与显示器	152
5.5.1 显卡的功能与结构	152
5.5.2 显卡的性能指标	154
5.5.3 显示器	156
5.6 网络设备	158
5.6.1 网络线缆	158
5.6.2 网络硬件设备	160
小结	162
复习题	162
第6章 应用：IT时代的齿轮	163
6.1 数值计算	163
6.2 信息管理	164
6.3 辅助设计	168
6.3.1 计算机辅助设计	168
6.3.2 计算机辅助制造	170
6.3.3 计算机辅助诊断	171
6.3.4 计算机辅助教育	172
6.4 控制与监测	173
6.5 人工智能	175
6.5.1 概述	175
6.5.2 人工智能的研究及应用领域	176
小结	181
复习题	181
第7章 未来：你是谁	182
参考文献	183

第1章

思想：历史串起的珍珠

1.1 从蛮荒走向文明：数与计算

文字是创造文明的关键因素，但对今日科技文明而言，数与计算可能具有更为关键的影响。

没有数与计算的族群部落，都无法精确地测量与管理，也无缘创造出探究科学技术所需的基本数学工具。但是，没有文字的族群部落，也可以有口耳相传的生活知识，有游唱诗人从事文学创作，有令人羡慕的工艺美术和音乐，甚至伦理规则、社会制度、统治阶层与神祇祭祀也都可以一应俱全。例如，遭遇西班牙人之前的中美印加帝国，已经是发展庞大的国家组织，但是没有文字；古中国的诗经和古希腊的伊利亚德，都是不识字或文字尚未普及时所作，事后由识字的人记录下来。

数的概念的形成可能与火的使用一样古老，大约是在30万年以前，它对于人类文明的意义也绝不亚于火的使用。人类先是产生了“数”的朦胧概念。他们狩猎而归，猎物或有或无，于是有了“有”与“无”两个概念。连续几天“无”兽可捕，就没有肉吃了，“有”、“无”的概念便逐渐加深。

后来，群居发展为部落，部落由一些成员很少的家庭组成。所谓“有”，就分为“1”、“2”、“3”、“多”等4种（有的部落甚至连“3”也没有）。任何大于“3”的数量，他们都理解为“多”或者“一堆”、“一群”，他们已经可以用双手说清这样的话（用一个指头指鹿，三个指头指箭）：“要换我一头鹿，你得给我三支箭。”这是他们当时的算术知识。

再后来，一些石器时代的狩猎者开始了一种新的生活方式——农耕生活。他们碰到了怎样记录日期、季节，怎样计算收藏谷物数、种子数等问题，甚至交纳租税的问题。这就要求数有名称，并且计数必须更准确些，只有“1”、“2”、“3”、“多”，已远远不够用了。同时，人们的10个指头已经不敷应用，开始采用刻痕记数、结绳记数。美索不达米亚（底格里斯河与幼发拉底河之间及两河周围）人在树木或者石头上（祭司则是写在松软的泥板上）刻痕画印来记录流逝的日子，用单画表示“1”，并用其他符号表示“+”或者更大的自然数，他们重复地使用这些单画和符号，以表示所需要的数字。这是世界上最早的自然数书写系统之一。现在可考的最早文字记录，是5000年前苏美尔人（最早美索不达米亚文明的创造者）遗留的泥板。这些泥板上的大部分文字其实是数字：它们几乎全是账本，上面写着采买、分配或管理的记录，例如，考古学家发现了当年某位铁匠赊欠了三头驴子。

公元前1500年，南美洲秘鲁印加族（印第安人的一部分）习惯于“结绳记数”——每收进一捆庄稼，就在绳子上打个结，用结的多少来记录收成。“结”与痕有一样的作用，也是用来表示自然数的。根据我国古书《易经》的记载，上古时期的中国人也是“结绳而治”，就是用在

绳上打结的办法来记事表数。后来又改为“书契”，即用刀在竹片或木头上刻痕记数，用一画代表“1”。直到今天，我们中国人还常用“正”字来记数，每一画代表“1”。当然，这个“正”字还包含着“逢五进一”的意思。

早期记数系统还有：公元前 3400 年左右的古埃及象形数字；公元前 2400 年左右的巴比伦楔形数字；公元前 1600 年左右的中国甲骨文数字；公元前 500 年左右的希腊阿提卡数字；公元前 500 年左右的中国筹算数码；公元前 300 年左右的印度婆罗门数字以及年代不详的玛雅数字。

与此同时，随着数的概念的发展，逐渐出现了一些特殊的记数符号，形成数码。如古希腊的阿提卡数码和字母记数、罗马数码、中国的筹算记数与暗码、玛雅人的符号记数、印度-阿拉伯数码等。

公元 3 世纪，古印度的一位科学家巴格达发明了阿拉伯数字。最早的记数目大概至多到 3，为了要设想“4”这个数字，就必须把 2 和 2 加起来，5 是 2 加 2 加 1，3 这个数字是 2 加 1 得来的，大概较晚时候才出现了用手写的 5 指表示 5 这个数字和用双手的 10 指表示 10 这个数字。

公元 500 年前后，随着经济的发展、婆罗门文化的兴起，印度次大陆西北部的旁遮普地区的数学一直处于领先地位。天文学家阿叶彼海特在简化数字方面有了新的突破：他把数字记在一个个格子里，如果第一格里有一个符号，比如是一个代表 1 的圆点，那么第二格里的同样圆点就表示 10，而第三格里的圆点就代表 100。这样，不仅是数字符号本身，而且是它们所在的位置次序也同样拥有了重要意义。公元 8 世纪，印度出现了有零符号的最老刻版记录，当时称零为首那。

公元 7—8 世纪，随着地跨亚、非、欧三洲的阿拉伯帝国的崛起，阿拉伯人如饥似渴地吸取古希腊、罗马、印度等国的先进文化，大量翻译其科学著作。大约公元 700 年前后，阿拉伯人征服了旁遮普地区，他们吃惊地发现：被征服地区的数学比他们先进，于是设法吸收这些数字。公元 771 年，印度天文学家、旅行家毛卡访问阿拉伯帝国阿拔斯王朝（750—1258）的首都巴格达，将随身携带的一部印度天文学著作《西德罕塔》献给了当时的哈里发·曼苏尔（757—775），曼苏尔命令翻译成阿拉伯文，取名为《信德欣德》。此书中有大量的数字，因此称为“印度数字”，原意即为“从印度来的”。由于印度数字和印度记数法既简单又方便，其优点远远超过了其他的算法，阿拉伯的学者们很愿意学习这些先进知识，商人们也乐于采用这种方法去做生意。

后来，阿拉伯人把这种数字传入西班牙。公元 10 世纪，又由教皇热尔贝·奥里亚克传到欧洲其他国家。公元 1200 年左右，欧洲的学者正式采用了这些符号和体系。至 13 世纪，在意大利比萨的数学家斐波那契的倡导下，普通欧洲人也开始采用阿拉伯数字，15 世纪时这种现象已相当普遍。那时的阿拉伯数字的形状与现代的阿拉伯数字尚不完全相同，只是比较接近而已，为使它们变成今天的 1、2、3、4、5、6、7、8、9、0 的书写方式，又有许多数学家花费了不少心血。

阿拉伯数字起源于印度，但却是经由阿拉伯人传向四方的，这就是后来人们误解阿拉伯数字是阿拉伯人发明的原因。

阿拉伯数字传入我国，是在 13—14 世纪。由于我国古代有一种数字叫“筹码”，写起来比较方便，所以阿拉伯数字当时在我国没有得到及时的推广运用。20 世纪初，随着我国对

外国数学成就的吸收和引进,阿拉伯数字在我国才开始慢慢使用。虽然阿拉伯数字在我国推广使用才有一百多年的历史,但是现在已成为人们学习、生活和交往中最常用的数字了。

今天,我们所应用的数系——自然数、整数、分数、小数、有理数、无理数、实数、虚数……已经构造得如此完备和缜密,以至于在科学技术和社会生活的一切领域中,它都成为基本的语言和不可或缺的工具。

人类发明数系的目的是为了计算,计算是人类内在的、本质的需求。

从4000年前开始,巴比伦和埃及人,为了土地丈量 and 税捐、交易等问题,发展了一些实用的数学。2500年前,希腊人毕达哥拉斯到这些地方游学之后,开创了自己的学派:纯粹以严格的轮回法则、先决假设和已证明的事实,证明出新结论的数学演绎风格。同时,出于在测绘、建筑、天文和各种工艺制作中的实际需求,希腊人利用长度、角度、面积和体积的经验原理,积累了平面几何的知识,欧几里得的《几何原本》集成了当时的成就。这些纯数学的发展,看似与计算并无直接关系,但是,较高的数学成熟度,可以引导后人有更多的知识来面对更难的计算问题,阿基米德的圆周率估计,即为代表之作。

公元9世纪,巴格达的数学家阿布·阿卜杜拉·穆罕默德·伊本·穆萨·花拉子密(Al Khwarizmi,约780—850)接受了印度数字,并用阿拉姆语编著了一本教科书,阐述了印度数字及应用方法,列举了加、减、乘、除、求平方根、计算圆周率、三角函数等方法,后来该书传到欧洲,推动了阿拉伯数字在欧洲的普及。

在之后的数学发展中,集合论、图论、数论、概率论、微积分……关于计算的理论在不断更新。同时,物理学、化学、生物学、地理学、经济学等科学的发展,仍然对计算不断地提出新的需求。计算不仅是数学的基础技能,而且是整个自然科学的工具。天文学研究组织需要计算来分析太空脉冲、星位移动;生物学家需要计算来模拟蛋白质的折叠过程,发现基因组的奥秘;药物学家想要研制治愈癌症或各类细菌与病毒的药物,医学家正在研制防止衰老的新办法;数学家想计算最大的质数和圆周率的更精确值;经济学家要分析计算在几万种因素下某个企业/城市/国家的发展方向从而宏观调控;工业界需要准确计算生产过程中的材料、能源、加工与时间配置的最佳方案。由此可见,人类未来的科学,时时刻刻离不开计算。

计算是人类发展永恒的主题。

1.2 黑暗中的思想火花:将思维注入机械

长期以来,人类的文明史就像一部工具进化史。通过制造刀斧弓箭、农耕机具、蒸汽机、电动机等工具,人类可以获取生存资源,更重要的是,这些工具使人类从繁重的体力劳动中得以解脱,物化延伸了人类的能力。同时,值得注意的是,工具的发明依赖于科技文明的进步,而计算对于科技文明的重要性,就像工具对于人类的重要性一样。

不可否认,计算是一项繁重的脑力劳动,尤其是那些烦琐的、重复的、复杂的计算。人类也一直不断地尝试发明计算工具,试图使人类自身从计算这种劳动中解放出来。随着生产的发展和社会的进步,计算工具也经历了从简单到复杂、从低级到高级的发展过程。

1.2.1 原始工具：辅助存储

1. 中国算筹

据史书记载和考古发现,算筹约始于周代,直至明代才被算盘代替。算筹实际上是一根根同样长短和粗细的小棍子,多用竹子制成,也有用木头、兽骨、象牙、金属等材料制成的,具体尺寸和形状,在各个朝代略有不同,到了魏晋期间,更是用颜色来代表正、负。

一定数量的算筹捆成一束,如汉代 271 枚算筹捆成六角形,隋代 216 枚算筹则捆为六角形乾策(正)、144 枚算筹捆为方形坤策(负),成束的算筹放在算袋或算子筒里,系在腰部随身携带。需要记数和计算的时候,就把它取出来,放在桌上、炕上或地上。

用算筹表示数,有纵式和横式两种方式:在纵式中,纵摆的每根算筹都代表 1,表示 6~9 时,则上面摆一根横的代表 5;横式中则是横摆的每一根都代表 1,其上面纵摆的一根代表 5,见图 1.1。如要表示一个多位数字时,即把各位的数字从左到右横列,各位数的筹式需要纵横相间,个位数用纵式表示,十位数用横式表示,百位、万位用纵式,千位、十万位用横式。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
纵式:						┐	┑	┒	┓
横式:	—	=	≡	≡	≡	⊥	⊥	⊥	⊥

图 1.1 算筹的纵式和横式

使用算筹进行计算,称为筹算。计算时,使用者按照相关规则挪动、摆放算筹,即可完成计算。例如,算 49 乘 36 的步骤如图 1.2 所示,结果是 1764。

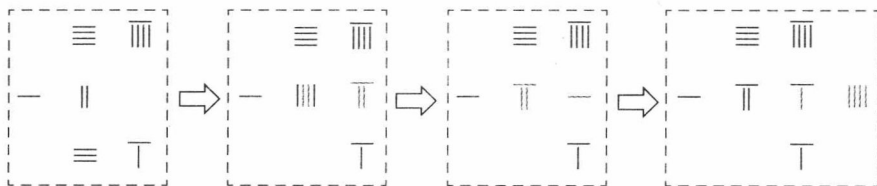


图 1.2 筹算示例

算筹在发明之初就已经有了快速准确的筹算加减法规则,而完整的乘法表也早在公元前 305 年的战国竹简中就出现了。中国人不仅用算筹计算正、负整数与分数的四则运算和开方,还利用其在算板上各种相对位置排列成特定的数学模式,用以描述某种类型的实际应用问题。《九章算术》给出了最大公约数筹算法、筹算联立一次方程法、筹算开立方法,其中第 3 章衰分术讲解了比例分配问题。《孙子算经》还涉及分数四则筹算法和筹算开平方法。北宋贾宪则发明了筹算增乘开立方法,能给百万数量级的大数精确开立方,并被南宋秦九韶推广,发展出了特定一元四次方程的解法。筹算的巅峰应用则出现在元代,朱世杰在《四元玉鉴·四象会元》中给出了特定四元高次方程组解法(图 1.3),可用算筹逐次消元化为一元高次方程。

算筹对中国古代数学的发展功不可没,祖冲之用筹算“调日法”得到了精确到小数点后 7 位的圆周率,刘徽的《九章算术注》和《海岛算经》也离不开算筹的帮助,著名的中国剩余定

理、精密的天文历法等都是利用算筹进行计算的。

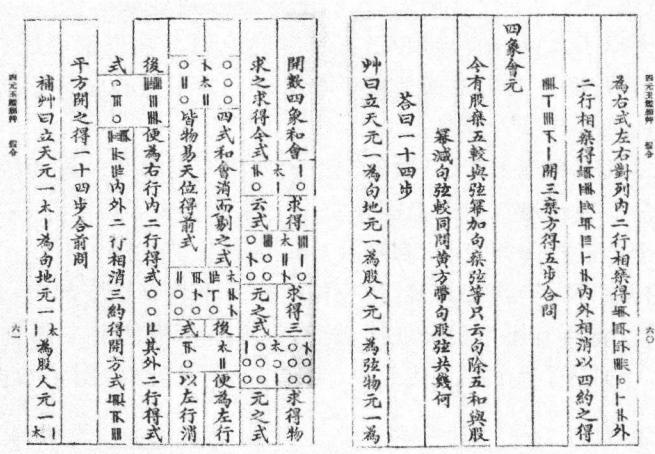


图 1.3 朱世杰《四元玉鉴·四象会元》中的四元术

算筹也有严重缺点：运算时需要较大的地方摆算筹，位数越多，问题越难，需要摆的面积越大，用起来不大方便。另一个重要问题是运算过程不保留。

2. 古希腊算板和罗马算盘

西方最早的原始计算工具出现在公元前 2700—2300 年左右的苏美尔文明中，最初只是一个有横隔的泥板，摆上泥丸或者石子，按位累加，放满清空，并在下一列加 1，如图 1.4 所示。

到了古希腊时期，人们在板上刻上若干平行的线纹，上面放置小石子(称为“算子”)来记数和计算，这就是古希腊算板。19 世纪中叶在希腊萨拉米斯发现的一块一米多长的大理石算板，就是古希腊算板，现存在雅典博物馆中。算板一直是欧洲中世纪的重要计算工具，不过形式上差异很大，线纹有直有横，算子有圆有扁，有时又造成圆锥形(类似跳棋子)，上面还标有数码。

古罗马将前人的计算工具改良成便携的青铜工具，拉丁语称为“abacus”，也就是罗马式算盘，见图 1.5。罗马式算盘采用一种双五进制，横档上，上 1 珠每珠当 5，下 4 珠每珠当 1，例外的是最右两列：0 列上 1 珠每珠当 6，下 5 珠每珠当 1，可以表示 0~11 的数字，专门用来处理罗马单位制中的十二进制。

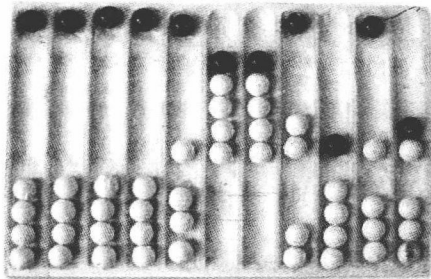


图 1.4 苏美尔文明中的计算工具

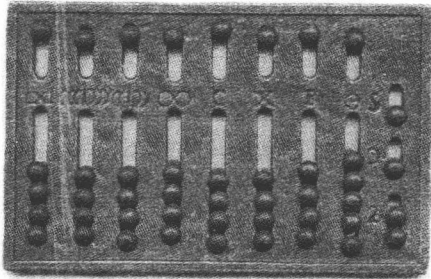


图 1.5 罗马式算盘(现藏伦敦科学博物馆)

3. 中国算盘

在算筹的使用过程中,为了便于记忆,人们把筹算规则编成口诀。口诀出现后,算筹原来存在的缺点就更突出了,口诀的快捷和摆弄算筹的迟缓存在严重矛盾。同时,算筹零散,携带麻烦且易丢失,摆放时容易错乱而造成计算错误。为了得心应手,人们在算筹的基础上创造出更加先进的计算工具——算盘。

中国算盘最早见载于东汉末年的《数术记遗》,是像罗马算盘一样的游珠算盘,到唐代改良为现在的串珠算盘。现存最早的算盘图像见于北宋张择端的《清明上河图》,卷左赵太丞家药铺柜台上有一个十五档一四算盘,和现代会计算盘几乎一样。

算盘用算珠(扁圆形珠子)代替算筹,用一根根小木棍将算珠穿起来,并将小木棍固定在木框上,中间一根横梁将所有小木棍分成两部分,每根小木棍的上半部有两个珠子,每个珠子当五,下半部有 5 个珠子,每个珠子代表一,见图 1.6。计算时,用手指拨动算珠代替移动算筹。

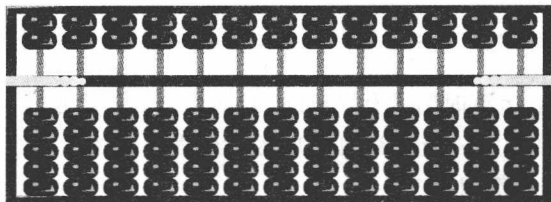


图 1.6 中国算盘

用算盘进行计算,称为珠算。珠算有对应四则运算的相应法则,统称珠算法则,为了便于掌握还将法则编成了口诀。在明代,珠算已相当普及,并且出版了不少有关珠算的书籍,其中流传至今,影响最大的是程大位(1533—1606)的《直指算法统宗》(1592),他主张上法诀加法、退法诀减法、留头乘法、归除法、盘上定位法等。

除中国算盘外,还有日本算盘和俄罗斯算盘。日本算盘叫“十露盘”,和中国算盘不同的地方是,日本算珠的纵截面不是扁圆形而是菱形,尺寸较小而档数较多。俄罗斯算盘有若干弧形木条,横镶在木框内,每条穿着 10 颗算珠。

虽然关于算盘的发明一直存在争议,但无可争辩的事实是,算盘因它的灵便、准确、快速等优点,一直被普遍使用,即使在近现代社会,仍然有它的身影存在。我国在研制“两弹一星”时,大量的计算工作仍是依靠算盘完成的。

4. 计算尺

对于计算的苦恼,约翰·纳皮尔曾经说过:“在数学实践中,尤其对于亲爱的数学专业学生来说,没有什么比那些大数的乘法、除法、开平方和开立方更为恼人、给计算者造成更多麻烦和阻碍的了,它们不仅费时费力,一般而言还容易出错”。约翰·纳皮尔是一位富有的英格兰人,是莫奇斯顿城堡的第 8 代领主、神学家和著名的天文学家,还爱好数学。1614 年,纳皮尔从差和比之间关系的角度思考乘法计算,将一个等差数列与一个等比数列并排放置:

0	1	2	3	4	5	...
1	2	4	8	16	32	...

通过这种并排放置,为计算者找到了一种将乘法转变为加法的途径,他在爱丁堡出版了一本书,许诺“将数学计算中一直以来的困难一扫而光”,从而提出了对数的概念。可以看