

计算机科学导论

邹海林 刘法胜 汤晓兵 张小峰 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书采用史论结合、以史引论的方式,按照计算机学科历史渊源、发展过程、学科知识体系来组织内容,包括计算机发展史、计算机科学基本理论的形成与发展、程序设计语言原理与发展、数据库技术原理与发展、计算机网络技术及其发展、数据存储技术原理与发展以及计算机产业的崛起与发展。一方面,提供对计算机科学理论的概览,使读者能够对这一学科的基本理论、学科知识体系、方法以及与其他学科之间的关系有所了解;另一方面,介绍计算机科学技术发生、发展的历史背景知识,让学生了解半个世纪以来,计算机科学技术及其信息产业发展所经历的曲折和困难。激发和增强学生学习计算机科学的兴趣和积极性,为学习后续课程和献身计算机科学事业奠定方法论基础。

本书可作为高校计算机专业“计算机科学导论”课程的教材,也可作为电气信息类专业学生或其他计算机爱好者了解、学习计算机科学知识的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机科学导论 / 邹海林, 刘法胜, 汤晓兵, 张小峰编著. —北京: 科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-021889-6

I . 计… II . ①邹…②刘…③汤…④张… III . 计算机科学—高等学校—教材 IV . TP3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 064290 号

责任编辑: 贾瑞娜 / 责任校对: 刘小梅

责任印制: 张克忠 / 封面设计: 耕者设计工作室

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>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 5 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2008 年 5 月 第一次印刷 印张: 31 1/4

印数: 1—3 500 字数: 712 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

《计算机科学导论》编委会

主编 邹海林 刘法胜 汤晓兵 张小峰

参编 范 辉 张奎平 赵永升 朱智林

杨家珍 贾代平 贾世祥

前 言

“计算机科学导论”是计算机科学与技术专业学生的一门必修课,也是电气信息类专业学生了解计算机科学的内容、方法及其发展的导引性课程。从1996年开始,我们为电气信息类本科专业(包括计算机专业)一年级学生开设“计算机科学导论”课程,按照计算机学科的历史渊源、发展变化和学科知识体系来组织教学,并一直在研究探索“计算机科学导论”课程教学的有效模式,取得了良好的效果。十几年来,随着计算机科学技术不断深入发展,教学内容也在不断充实、更新,逐渐形成了比较完善的教学体系。为了适应更广泛的读者需要,结合多年的教学实践,我们在原讲义的基础上进行重新编写、充实,形成了这本既适合大学电气信息类专业低年级学生又适合其他领域计算机爱好者学习的《计算机科学导论》。

作为大学一年级的计算机专业的学生,他们对计算机科学的理解就是编程。其实,计算机科学远不止于此。像其他学科一样,计算机科学有一个诞生、发展和完善的过程,它有着较为系统的知识体系结构、基本理论、核心概念及典型方法,它与数学、物理学、电子学等学科有着密切的联系。本书的主要目的就是扩展学生的视野,一方面,提供对计算机科学理论的概览,在保持对每个知识点讨论的深度的同时,最大限度地提供这一学科更多的知识背景,使学生能够对这一学科的基本理论、内容体系、方法以及与其他学科之间的关系有一个比较全面和整体上的了解。另一方面,介绍计算机科学与技术发生、发展的历史背景和过程,让学生了解半个世纪以来,计算机科学发展所经历的曲折、困难以及科学家为此而进行的艰苦选择与努力,以激发和增强学生学习计算机科学的兴趣和积极性,为学习后续课程和献身计算机科学奠定方法论基础。

从学科发展综合化趋势来看,计算机科学与技术作为实现手段和工具已渗透到其他众多学科领域,因此对于其他学科的大学,同样希望了解和学习计算机科学的基本知识和基本应用技术。为他们提供一本非专业性质的计算机科学概论性课程,使他们能更容易理解计算机学科的基本概念、基本知识,了解整个学科发展的历史过程以及与其他学科之间的关系,进而掌握必备的计算机应用技能,也是我们编写本书主要目的之一。

也许有人会问,作者为何要以这样的体系编写本书?在介绍计算机科学理论的同时,为何要用如此多的篇幅介绍计算机科学发展的历史?了解科学的历史有什么用?这的确是一个必须回答的问题。

第一,计算机科学技术史是人类文明发展史的重要组成部分,学习和研究计算机科学技术史是学习汲取前人智慧精华的一种途径。科学史中所蕴涵的科学思想、科学方法及科学精神在人才培养中具有十分重要的作用和意义。

计算机科学技术史不只是单纯的计算机科学技术成就的编年记录,它的发展也绝不是一帆风顺的,而是充满着艰难和曲折,甚至是面临危机的。三百多年来,有众多科学先贤为计算机科学事业进行了艰苦卓绝的探索甚至付出了毕生的心血。计算机科学技术史

揭示了这一历史发展进程,包括问题的提出、经过的曲折和反复、理论的逐步成熟和完善,以及现在还遗留的问题,等等。

其次,计算机科学技术史也是科学家们克服困难、战胜危机的奋斗史,它可以使人们深入了解科学家的科学思想、科学方法以及为科学而献身的奋斗精神。纵观计算机科学发展历史,不难发现,正是“为科学而科学”的精神在激励着一批又一批的科学家,为探求终极原因而在崎岖的道路上跋涉、攀登。科学的崇高地位孕育了科学家的理想、气质和追求,科学家的科学精神、科学思想和科学方法,引领科学从无到有,铸就了现代科学的辉煌成就。

科学家的科学研究活动在有些情况下也是充满困惑、犹豫和徘徊的,经历着痛苦,有成功的经验,更有许许多多失败和失误的教训。学习科学发展的历史,可以从正反两方面了解科学家在研究活动中所展现出的科学思想和科学方法。可以看到科学理论发展的真实历史过程,更好地理解科学理论;从中还可以看到科学家的思想发展脉搏,看到科学家们为摆脱陈旧观念的束缚和困扰,摆脱愚昧与无知所进行的艰苦奋斗的场面;看到科学家为了探寻真理为科学事业而英勇献身的伟大壮举,以及科学家严谨的治学态度和高尚的科学道德等。科学史中所包含的这些生动的史实和蕴涵的深刻的科学思想,对于培养具有创造精神和创新能力的科技人才来说,都是非常必需的。

英国科学家巴贝奇以其毕生的精力和全部的财产投入到机械计算机的研制中,克服了常人难以想像的困难,设计出一系列完整的计算机结构图纸。由于当时技术条件的限制,巴贝奇的设想未能实现。但巴贝奇提出的将程序编制在穿孔卡片上,用以控制计算机工作的设想以及计算机结构的构思为现代计算机的研制奠定了基础。巴贝奇富有传奇色彩而悲壮的人生,充分体现了一名科学家为科学而勇于献身的崇高精神,同时也昭示了科学技术的发展与社会经济基础、科学研究体制、人文环境以及其他诸多相关因素有着必然的联系和影响。关系数据库的发明者科德当时已在 IBM 公司事业有成,但在工作中深感自己计算机知识的欠缺,年近 40 的他毅然决定重返大学校园,继续学习,并先后获得硕士和博士学位,这使他终于在 1970 年迸发出智慧的闪光,为数据库技术开辟了一个新时代。FORTRAN 语言的发明者巴克斯从一个纨绔子弟成长为一代计算机语言大师;Pascal 语言的发明者沃思成名后毅然回到自己的祖国,投身教育事业;弗洛伊德最初学的是文学,后来对计算机产生了兴趣,他利用业余时间自学计算机知识,最终成为计算机的行家,并因在计算机程序设计和算法设计方面所作出的突出贡献而获得 1978 年图灵奖。他们身上所闪现的勤奋严谨的学风和不怕困难积极进取的精神,无不令人感动和振奋。有心的读者会在思考和理解科学知识的同时,分享他们成功的喜悦,体验学习的乐趣,汲取成长的养分和增强战胜困难的信心与力量。

从我国目前的教育现状看,科学思想、科学精神和人文素质教育常常被忽视和弱化,功利性教育、分数教育的做法仍然比较普遍,这种行为的直接后果则使培养的学生追求最终结果、注重实用而忽视科学发展的过程,忽视科学基础的作用,缺乏脚踏实地的科学探索精神和创新意识。这种使高等教育符合简单的实用主义的观点和做法是不可取的。

从大学教育的内容看,完整意义上的科学教育,包括两个层面的涵义:一是具体层面的科学知识、科学方法的传授;一是抽象层面的科学思想、科学精神的培养。如果说科学

知识、科学方法的传授是科学教育的实体的话,那么科学思想、科学精神的培养则是科学教育的灵魂。也就是说大学教育不只是教给学生思考什么,而是应更多地教给学生怎样去思考。科学史则是实施科学思想、科学方法、科学精神教育的最直接、最有效的途径。

科学史镌刻着人类的智慧,记载着人类文明的进程。我们应该认真审视科学的历程,不断汲取经验、教训和前进的力量,只有这样我们才能站得高、立得稳、扎得实、看得远。如果忽视科学的历史,面对未来科学发展日益复杂化、综合化的趋势,我们就会缺乏充分的思想准备,也不会有成熟的方法选择,甚至有迷失方向和落伍的风险。也正是基于以上原因,国外高校都非常重视研究和学习科学发展的历史,注重发挥科学史在人才培养中的教育功能。

第二,学习和研究计算机科学技术史可以让学生了解计算机科学理论从何处来、如何而来、又向何处发展;计算机科学的内容、方法是什么,等等,这对于学生从整体上了解计算机科学知识体系,学习和掌握计算机科学理论知识具有积极意义。

大学教育在传授知识的同时,更重要的任务是培养学生掌握思考、分析、探索的方法。目前大学课堂的理论教学比较注重理论知识的传授和最终结论,而忽视理论的来龙去脉、思考方法以及与此相关的历史背景。这种教育的直接后果是,面对教科书中大量的概念、公式、定律,学生变得唯唯诺诺,逐渐形成了机械的思维定式,书中所说的一切都是正确的,只能接受它。久而久之,历史的、发展的科学理论被神圣化、教条化,学生不知道这个理论从何而来,为什么会是这样,不知道这一理论源于哪些具体问题,有多少种解决问题的方案,为什么形成了今天的科学理论。这对知识的理解和学生创新意识的培养是不利的甚至是有害的。

大家都知道“图灵机”的概念,可图灵机理论的最终建立有赖于多位科学家的研究和共同努力。美籍奥地利数学家哥德尔关于形式系统“不完备性定理”的提出,宣告了“希尔伯特纲领”的失败,同时启发人们避免花费大量的精力去证明那些不能判定的问题,而把精力集中于解决具有能行性的问题。在哥德尔研究成果的影响下,英国数学家图灵从计算一个数的一般过程入手对计算的本质进行了研究,并提出了图灵机模型。至此,“计算机”到底是怎样一种机器,应该由哪些部分组成,如何进行计算和工作等一系列概念才明晰起来。之后,围绕着怎样判断一类数学问题是否机械可解的问题,诸多数学家从不同角度考察探讨计算这一概念。美国数学家克林在哥德尔原始递归函数基础上提出了一般递归函数,丘奇引入 λ -可定义函数以及波斯特提出规范系统的计算模型。后来,图灵进一步证明了图灵机可计算函数与 λ -可定义函数是一致的,丘奇遂断言一切算法可计算函数都和一般递归函数等价。这样一来,丘奇论题和图灵论题也就是一回事了,合称为“丘奇-图灵论题”,即直观的能行可计算函数等同于一般递归函数、 λ -可定义函数和图灵机可计算函数。丘奇-图灵论题的提出,标志着人类对可计算函数与计算本质的认识达到了空前的高度,成为数学史上一块夺目的里程碑。了解这一背景,对学习和研究计算科学理论是非常必要的。

第三,学习和研究计算机科学技术史,可使学生进一步体会到创新在科学发明中的作用。

计算机科学的历史,就是一部不断创新的英雄史诗。从机械计算机、电磁计算机到今

天的数字电子计算机,从 FORTRAN、ALGOL、Simula、Smalltalk 到今天的 C++、Java;从最初的 ARPANET 联网实验到今天的 Internet,……每一点改进,每一步成功无不是创新的结果。计算机科学发展历史证明,创新是科学家的灵魂,创新是科学发展的动力,阅读本书将会深刻体会到这一点。

第四,计算机科学技术史可以使学生对计算机科学本身及其相关因素有一个全面、深刻的了解和认识。

今天,计算机科学技术已经渗透到社会生活的各个领域,正在使我们的这个世界经历一场巨大的变革,并深刻地反映在社会经济、文化和人们生活的各个层面。但我们应清醒地看到,像其他高科技一样,计算机科学技术是一柄双刃剑,它在给人类创造财富、为改造自然提供巨大能力的同时,它的某些不合理应用也带来了一系列法律、道德、文化和资源浪费问题。

不可否认,当信息革命的浪潮来临的时候,我们对信息技术给人类社会将带来的深刻变革和巨大影响,在思想认识和应对策略上准备不足,例如,对计算机技术发展应用所衍生出的“网络文化”、“信息安全”、“计算机犯罪”、“知识产权保护”等一系列现象和行为,缺乏有力的监督、规范和惩治机制,相应的法律法规建设相对滞后。

现在,网络虚拟世界呈现杂乱无序的状态,网络游戏与网络淫秽色情内容像“精神鸦片”一样正在腐蚀、毒害着青少年,引起人们的极大焦虑与不安;网络诈骗、网络病毒无时无刻不在发生和蔓延,给社会造成极大的危害,人们也为此付出了巨大的代价;网络环境下的知识产权问题远比工业时代复杂得多,网络专利、数字产品的版权、信息的公平使用、现有知识产权法律法规在网络时代的使用等一系列问题都需要认真研究。如何规范网络言论自由、抵御防范网络病毒,建立一个人们所期望的有序、健康、文明和法制的网络世界是一个全球性的难题,需要世界各国共同协作和努力。

深刻反思信息技术革命及其存在的问题,有助于人们对科学本身及其相关因素有更全面、更深刻的认识,以期更好地发展科学、应用科学;有助于人们充分认识和把握科学技术自身发展的规律和特点,去创造科技发展、科技创新的良好体制和环境;有助于人们坚持科学发展观,处理协调好科技进步、经济发展之间的关系,促进全人类的可持续发展。这也是作者多年来一直提倡在计算机专业教学中开展相应的人文素质和科学技术史教育,以及在本书中用较多的文字介绍计算机科学发展历史的原因之一。

本书在写作过程中,突出以下几个特点:

(1) 按照年代顺序和学科内容体系,通过介绍历史上各个时期计算机科学理论的重要进展和技术发明、主要科学家的科学研究活动与成就,来阐述计算机科学的基本理论体系的形成和技术发展过程。阅读本书,将使读者对计算机科学技术学科的历史渊源、核心概念、理论基础和相关知识能有一个基本了解。

(2) 采用史论结合、以史引论的方式,从计算机科学发展的历史特点、规律和科学研究经验教训等方面,阐述计算机科学发展过程中的规律特点、与其他学科之间的关系及对社会和经济发展的推动作用,有重点地介绍分析科学家的科学思想和科学方法,力争在科学思维和科学方法方面给读者以启迪。

(3) 计算机科学技术与计算机产业是紧密联系在一起的。计算机产业与计算机科学

发展史一样,是一个充满神奇与激情、艰难与曲折的过程。半个多世纪以来,计算机产业界不断演绎着一个又一个成功与失败的故事。本书用了较大的篇幅有重点地介绍了欧美国家计算机产业发展的历程,试图探讨计算机产业发展的经验教训,特别是考察计算机技术及产业发展过程中一些失败的案例,以期从中得到一些有益的启示。

(4) 针对一年级学生的基础知识掌握的状况,在保证科学性和系统性的前提下,力求内容深入浅出,通俗易懂。书中配有 700 余幅相关图片,以增加本书的生动性和可读性。为了方便读者阅读,对书中所涉及的地名、人名及组织机构名称均用中英文标出。

(5) 根据本书的内容,作者开发了相应的多媒体课件,有需要的读者请通过电子邮件与作者联系。

本书共 16 章。第 1 章计算的起源与早期的计算工具,第 2 章机械计算机的研制,第 3 章电磁计算机的研制,第 4 章电子计算机时代,第 5 章电子计算机的发展与应用,第 6 章计算机科学理论的形成,第 7 章微处理器及其发展,第 8 章微型计算机及其发展,第 9 章数据表示与数据组织,第 10 章数据存储技术,第 11 章程序设计语言原理及其发展,第 12 章操作系统及其发展,第 13 章数据库技术及其发展,第 14 章计算机网络及其发展,第 15 章计算机科学理论的进一步发展,第 16 章计算机产业的崛起与发展。

在编写过程中,我们参考和借鉴了许多专家学者的研究成果,在书后均一一列出;同时也参考和选用了许多组织机构网站中有关科学家生平简历、图片及相关实物图片,由于数量太多没能全部列出,在此,向这些成果的所有者和组织机构表示诚挚的谢意。

在作者从教生涯中,原校党委书记、校长曲建新教授在各方面给予了充分理解、支持和帮助,在此向曲书记表示崇高的敬意。

几年来,青岛大学党委书记徐建培教授,对作者的工作、学习自始至终给予许多的关心、指导和帮助,使我受益匪浅,感激之情,无以言表。

感谢清华大学张大力教授、北京科技大学杨炳儒教授、中国矿业大学(北京)彭苏萍院士和钱旭教授、核工业地质研究院何钟琦教授、山东科技大学元学广教授和郝永果教授、山东工商学院张兆响教授、山东经济学院张新教授和韩作生教授、山东建筑大学李盛恩教授、青岛科技大学孟祥忠教授、中国矿业大学(北京)苏红旗教授和杨峰副教授、中国人民公安大学刘克俭博士给予作者的热心帮助。

也感谢和作者朝夕相处的许多同事、朋友和学生的鼎力帮助和支持。多年以来,很多同事和学生对这门课程的教学及本书的内容提出过建议和意见,使作者受益匪浅,也正是他们的鼓励和支持,才使作者能顺利完成本书的写作任务。在此向我的同事、朋友和学生表示由衷的感谢。

本书的编写分工如下:

全书策划和大纲编写工作由邹海林、刘法胜负责。第 3、4 章由张奎平副教授编写,第 5 章由贾世祥老师编写,第 6 章由赵永升副教授编写,第 7 章由贾代平副教授编写,第 9 章和第 11 章 11.2 节、11.5 节由张小峰老师编写,第 10 章由汤晓兵老师编写,第 12 章由范辉教授编写,第 15 章由朱智林教授编写,第 16 章由杨家珍教授编写,张小峰协助绘制了书中的有关插图。与本书配套的多媒体课件由张小峰、贾世祥老师开发。其余内容的编写和全书的统一定稿工作由邹海林负责。

山东科技大学郑永果教授、中国矿业大学(北京)苏红旗教授分别对书稿进行了认真审阅,并提出诸多建议。赵小芳、王增锋老师以及杜俊楠、郝俊虹、王艳丽、贾慧等同学在文字录入、书稿校对方面付出了辛勤劳动,在此向他们表示感谢。

特别感谢科学出版社,感谢责任编辑及其他参与此书编辑工作的各位老师为本书顺利出版而付出的辛勤劳动。

限于作者学识水平,书中在具体内容的选择取舍、专业术语的翻译等方面肯定存在着缺点和错误,我们恳请专家和读者批评指正。

作者邮件地址:zh1-8655@sina.com

作 者

2003年春第一稿完成于北京

2006年夏第二稿完成于青岛

2007年夏定稿于烟台

目 录

前言

第 1 章 计算的起源与早期的计算工具	1
1.1 计算的起源	1
1.1.1 数的概念及记数方式的诞生	1
1.1.2 古埃及数学及记数体系	2
1.1.3 巴比伦数学及记数体系	3
1.1.4 中国古代记数体系及算术	4
1.1.5 古印度数学及计数体系	8
1.2 早期的计算工具	9
1.2.1 世界最早的计算工具——中国算筹	9
1.2.2 耐普尔算筹	11
1.2.3 计算尺的发明	12
参考文献	14
第 2 章 机械计算机的研制	15
2.1 契卡德研制的机械计算机	15
2.2 帕斯卡加法计算机	16
2.3 莫兰德机械计算机	17
2.4 莱布尼茨对帕斯卡计算机的改进	18
2.5 程序控制概念的提出	19
2.6 巴贝奇的成就与悲剧	21
2.7 爱达与程序设计思想	24
2.8 霍勒里斯发明数据分析处理机	25
2.9 模拟计算机的诞生	27
2.9.1 奥涅尔手摇式计算机	27
2.9.2 布什微分分析仪	28
参考文献	29
第 3 章 电磁计算机的研制	30
3.1 斯蒂比兹与电磁式数字计算机	30
3.2 朱斯与第一台通用程序控制计算机	31
3.3 哈佛 Mark 系列自动程序控制计算机	33
3.3.1 艾肯与 Mark 系列自动程序控制计算机	33
3.3.2 赫柏与 Mark 系列计算机	35
哈佛大学	36

参考文献	39
第 4 章 电子计算机时代	40
4.1 电子计算机产生的条件和背景	40
4.1.1 电子管的发明	40
4.1.2 晶体管的发明	41
4.1.3 集成电路的诞生	43
4.2 阿塔诺索夫、贝瑞与 ABC 计算机	44
4.3 英国 Colossus 计算机	46
4.4 第一台数字电子计算机——ENIAC	47
4.4.1 莫克莱、埃克特与 ENIAC 设计团队	47
宾夕法尼亚大学	53
4.4.2 冯·诺依曼提出 EDVAC 方案	54
4.4.3 戈德斯坦与 ENIAC 计算机	55
4.5 第一台存储程序计算机——EDSAC	56
4.6 曼彻斯特大学的 MARK 计算机	58
4.7 图灵、威尔金森与 ACE 电子计算机	60
参考文献	61
第 5 章 电子计算机的发展与应用	62
5.1 电子管计算机时代	62
5.1.1 第一台通用计算机 UNIVAC	62
5.1.2 SEAC 和 SWAC 计算机	63
5.1.3 冯·诺依曼、波莫尼与 IAS 计算机	65
5.1.4 从 IBM 604 到 IBM 701、IBM 650	66
5.1.5 麻省理工学院 Whirlwind 计算机	68
麻省理工学院	71
5.2 晶体管计算机时代	74
5.2.1 晶体管计算机的发明与个人计算机 LINC 的诞生	74
5.2.2 IBM Stretch 和 UNIVAC Larc 计划	76
5.3 集成电路计算机时代	79
5.3.1 布鲁克斯、伊万斯与 IBM 360 系列计算机	80
5.3.2 DEC 的辉煌与奥尔森的悲剧	84
5.3.3 “小型机之父”——戈登·贝尔	86
5.3.4 卡斯特罗与 DGC Nova 小型计算机	88
5.4 中大型计算机时代	89
5.5 巨型机的研究与发展	91
5.5.1 诺雷斯、克雷与 CDC 系列巨型计算机	91
5.5.2 IBM 研制超级计算机	94
5.5.3 中国“银河”巨型计算机	95

参考文献	97
第 6 章 计算机科学理论的形成	98
6.1 布尔与布尔代数	98
6.2 香农对布尔代数的实验研究	99
6.3 维纳提出计算机设计的原则	100
6.4 图灵与图灵机模型	101
6.5 冯·诺依曼体系计算机	106
参考文献	108
第 7 章 微处理器及其发展	109
7.1 微处理器概述	109
7.2 Intel 创立	111
7.2.1 “硅谷人才摇篮”——仙童	111
7.2.2 Intel 三杰——诺伊斯、摩尔和格鲁夫	113
7.3 微处理器的诞生与发展	116
7.3.1 霍夫与第一块微处理器 Intel 4004	116
7.3.2 Zilog 公司与 Z-80 微处理芯片	120
7.3.3 32 位微处理器的诞生	120
7.3.4 Pentium 微处理器	123
7.3.5 多媒体扩展指令集微处理器	124
7.3.6 64 位微处理器	127
7.3.7 RISC 和 CISC 技术	129
7.4 AMD 与微处理器	130
参考文献	133
第 8 章 微型计算机及其发展	134
8.1 施乐与 Xerox Alto 微型计算机	134
8.2 第一台微型计算机——Altair 8800	137
8.3 家酿电脑俱乐部	138
8.4 微软创立	139
8.5 苹果电脑的诞生与发展	143
8.5.1 乔布斯、沃兹尼亚克创立苹果公司	143
8.5.2 苹果电脑的辉煌	146
8.5.3 跌入低谷的“苹果”	148
8.6 IBM-PC 的诞生	150
8.6.1 IBM-PC 之父——唐·埃斯特利奇	150
8.6.2 开放、兼容的 IBM-PC	151
8.6.3 IBM 在 PC 上的失误及其教训	152
8.6.4 康柏、宏基、戴尔电脑的崛起	153
参考文献	155

第 9 章 数据表示与数据组织	156
9.1 计算机中的数据表示	156
9.1.1 数据位及其存储	156
9.1.2 数制	158
9.1.3 数的定点及浮点表示	167
9.1.4 数的原码、反码及补码表示	170
9.1.5 数字编码	173
9.1.6 算术运算	181
9.1.7 逻辑运算	183
9.2 数据结构	184
9.2.1 数据结构基础	184
9.2.2 数组	186
9.2.3 表	187
9.2.4 堆栈	190
9.2.5 队列	193
9.2.6 树	194
参考文献	200
第 10 章 数据存储技术	201
10.1 存储器概述	201
10.1.1 存储器的分类	201
10.1.2 存储器的主要技术指标	203
10.2 早期的数据存储方法	203
10.2.1 延迟线存储器	204
10.2.2 磁鼓存储器	205
10.2.3 磁芯存储器	205
10.3 磁表面存储原理	207
10.3.1 磁表面存储器的记录原理	207
10.3.2 磁表面存储器的记录方式	208
10.4 磁带存储器	211
10.4.1 磁带机的诞生	211
10.4.2 磁带机及其结构原理	212
10.4.3 磁带的记录格式	214
10.5 磁盘存储器	214
10.5.1 软磁盘	214
10.5.2 硬磁盘	218
10.5.3 磁盘阵列	225
10.6 半导体存储器	227
10.6.1 只读存储器	227

10.6.2 随机存储器	231
10.7 光盘存储技术	233
10.7.1 光盘存储器的分类	233
10.7.2 光盘存储器的存取原理	234
10.7.3 光盘存储器	235
10.7.4 光盘存储器的发展	235
10.8 存储技术的新发展	236
10.8.1 网络附加存储 NAS	237
10.8.2 存储区域网络 SAN	237
10.9 高速缓冲存储器	238
10.9.1 地址映象	238
10.9.2 替换算法	241
10.9.3 Cache 的读/写过程	241
10.10 虚拟存储器	242
10.10.1 页式虚拟存储器	243
10.10.2 段式虚拟存储器	244
10.10.3 段页式虚拟存储器	245
参考文献	246
第 11 章 程序设计语言原理及其发展	247
11.1 早期的程序设计语言	247
11.1.1 机器语言	247
11.1.2 汇编语言	248
11.1.3 高级语言的诞生	249
11.2 程序设计语言概念	252
11.2.1 变量和数据类型	252
11.2.2 数据结构	253
11.2.3 赋值语句	255
11.2.4 控制语句	255
11.2.5 注释	257
11.2.6 过程	257
11.2.7 参数	258
11.2.8 函数	261
11.2.9 输入/输出语句	261
11.3 巴克斯与 FORTRAN 语言	263
11.3.1 历史背景	263
11.3.2 FORTRAN 语言的诞生及其发展	263
11.3.3 FORTRAN 语言的主要特征	264
11.3.4 FORTRAN 语言的发展	264

11.3.5	巴克斯-诺尔范式	265
11.4	函数式程序设计语言 LISP	266
11.4.1	表处理概念的提出	266
11.4.2	LISP 的诞生	267
11.4.3	LISP 的主要特征	268
11.4.4	Scheme 和 COMMON LISP	269
11.5	逻辑程序设计语言 PROLOG	270
11.5.1	逻辑程序设计语言的理论基础	270
11.5.2	PROLOG 的发展	273
11.5.3	PROLOG 的主要特点	274
11.6	ALGOL 语言的诞生与发展	276
11.6.1	历史背景	276
11.6.2	ALGOL-58 的诞生	277
11.6.3	ALGOL-60 的诞生	278
11.6.4	ALGOL-60 语言的主要特征	279
11.7	COBOL 语言	281
11.7.1	历史背景	281
11.7.2	COBOL 语言的诞生	281
11.7.3	COBOL 的特点	282
11.8	Basic 语言	283
11.9	PL/I 语言	285
11.9.1	历史背景	285
11.9.2	CP/L 设计过程	286
11.9.3	CP/L 的主要特征	286
11.10	APL 语言	287
11.10.1	APL 的诞生过程	287
11.10.2	APL 的主要特征	288
11.11	Pascal 语言	288
11.11.1	Pascal 语言的诞生	289
11.11.2	Pascal 的主要特征	289
11.11.3	Modula 及其特征	290
11.12	Ada 语言	291
11.12.1	历史背景	291
11.12.2	Ada 的诞生过程	292
11.12.3	Ada 语言的特性	293
11.12.4	Ada 语言的发展	293
11.13	Simula 语言	294
11.13.1	Simula 语言的诞生过程	294

11.13.2 Simula 语言的主要特性	296
11.13.3 Simula 语言的发展	296
11.14 Smalltalk 语言	297
11.14.1 Smalltalk 语言的诞生	297
11.14.2 Smalltalk 语言的主要特性	298
11.15 C 语言	299
11.15.1 C 语言的诞生过程	299
11.15.2 C 语言的特点	301
11.16 C++	302
11.16.1 C++ 的产生及发展	302
11.16.2 C++ 的主要特性	303
11.17 Java 语言	304
11.17.1 Java 的开发过程	304
11.17.2 Java 的主要特性	306
参考文献	307
第 12 章 操作系统及其发展	309
12.1 操作系统概述	309
12.1.1 手工处理阶段	310
12.1.2 批处理系统	311
12.1.3 多道程序系统	313
12.1.4 分时系统	314
12.1.5 实时系统	316
12.1.6 微机操作系统	318
12.1.7 多处理器系统	318
12.1.8 网络操作系统	320
12.1.9 分布式操作系统	322
12.2 操作系统的功能	323
12.2.1 处理机管理	323
12.2.2 存储管理	323
12.2.3 设备管理	323
12.2.4 文件管理	324
12.2.5 作业管理	324
12.3 第一个微机操作系统 CP/M	324
12.4 磁盘操作系统	325
12.4.1 从 CP/M 到 MS-DOS	325
12.4.2 MS-DOS 的局限性	328
12.5 视窗操作系统 Windows	328
12.6 UNIX 操作系统	332

12.7 LINUX 操作系统	333
参考文献	336
第 13 章 数据库技术及其发展	337
13.1 数据库系统概述	337
13.1.1 数据库系统的基本概念	337
13.1.2 数据管理技术的产生和发展	339
13.2 数据模型与数据库系统	342
13.2.1 数据模型及其组成要素	342
13.2.2 概念模型	343
13.2.3 基于层次模型的数据库系统	344
13.2.4 基于网状模型的数据库系统	346
13.2.5 基于关系模型的数据库系统	347
13.2.6 关系数据库标准语言 SQL	349
13.2.7 常用的数据库管理系统	350
13.3 格雷与事务处理技术	351
13.4 数据库技术研究现状	352
13.4.1 分布式数据库	352
13.4.2 联邦式数据库	353
13.4.3 并行数据库	353
13.4.4 主动数据库	353
13.4.5 知识库	354
13.4.6 面向对象数据库	354
13.4.7 多媒体数据库	355
13.4.8 模糊数据库	355
13.4.9 数据仓库与数据挖掘	355
13.5 管理信息系统	356
13.5.1 管理信息系统概述	356
13.5.2 管理信息系统的开发方法	358
13.5.3 管理信息系统的发展	359
13.6 软件危机的产生与软件工程的发展	361
13.6.1 软件危机的产生	361
13.6.2 “软件工程”概念的提出	363
13.6.3 软件工程的发展	364
参考文献	373
第 14 章 计算机网络及其发展	374
14.1 计算机网络概述	374
14.1.1 计算机网络分类	374
14.1.2 计算机网络的拓扑结构	375

14.1.3 计算机网络体系结构	377
14.2 早期的计算机网络	380
14.3 ARPA 网络	382
14.4 罗伯茨与 ARPANET	384
14.5 分组交换网的研究	388
14.5.1 克兰罗克首次提出分组交换的概念	389
14.5.2 巴伦提出分布式通信网络理论	389
14.5.3 戴维斯提出分组交换技术	390
14.6 IMP 的研制与第一节点远程通信试验	392
14.7 TCP/IP 协议	395
14.7.1 TCP/IP 协议的发明	395
14.7.2 TCP/IP 的基本原理	397
14.8 电子邮件	405
14.9 以太网技术的研究和发展	407
14.10 Internet 的诞生及其发展	409
14.10.1 Internet 的诞生	409
14.10.2 Internet 的快速发展	409
14.10.3 万维网的诞生与发展	411
14.10.4 Internet 在中国的发展	415
14.10.5 Internet 提供的主要服务	417
14.10.6 Internet 发展展望	419
加州大学伯克利分校	420
参考文献	422
第 15 章 计算机科学理论的进一步发展	423
15.1 计算科学的基本内容	423
15.1.1 计算科学的基本问题	423
15.1.2 计算科学的基本内容	424
15.1.3 计算科学与其他相关学科的关系	425
15.2 计算科学的学科形态与核心概念	426
15.3 计算科学中的典型问题	428
15.3.1 哥尼斯堡七桥问题	428
15.3.2 四色问题	429
15.3.3 36 军官问题	430
15.3.4 哈密尔顿回路及旅行推销员问题	431
15.3.5 Hanoi 塔问题	432
15.3.6 生产者-消费者问题与哲学家共餐问题	433
15.4 算法及其复杂性问题	434
15.4.1 什么是算法	434

15.4.2	什么是算法复杂性	435
15.5	计算复杂性问题的研究与发展	436
15.5.1	拉宾、斯科特对非确定性有限状态自动机理论的研究	436
15.5.2	库克、卡普对 NP 完全性问题的研究	438
15.5.3	计算复杂性理论体系的建立	440
15.6	人工智能科学的诞生与发展	442
15.6.1	数理逻辑的早期研究与人工智能科学的诞生	442
15.6.2	“符号主义”学派及其发展	443
15.6.3	联接主义学派	447
15.6.4	行为主义学派	448
15.6.5	人工智能主要研究内容	449
15.6.6	麦卡锡、明斯基对人工智能科学的贡献	450
	普林斯顿大学	452
15.7	人工神经网络	455
15.7.1	多层感知神经网络	456
15.7.2	竞争型神经网络	457
15.7.3	Hopfield 神经网络	457
15.8	模糊逻辑	458
	参考文献	459
第 16 章	计算机产业的崛起与发展	460
16.1	“蓝色巨人”IBM	460
16.1.1	托马斯·沃森与 IBM 的早期发展	460
16.1.2	小沃森与“蓝色巨人”的成长	462
16.1.3	重振“蓝色巨人”雄风	464
16.2	惠普之道	467
16.2.1	惠普诞生	467
16.2.2	惠普之道	468
16.3	王安电脑	469
16.4	SUN 的崛起	472
	斯坦福大学与硅谷	473
	参考文献	478
	后记	479

第 1 章 计算的起源与早期的计算工具

计算机的诞生源于人类对“计算”的需求。在人类文明发展的历史长河中,人类对计算方法和计算工具的探索研究从来都没有停止过。远古时代,人类从长期的生产实践中,逐渐形成了数的概念,从“手指记数”、“石子记数”、“结绳记事”、“刻痕记数”到使用“算筹”进行一些简单运算,形成了实用的记数体系和关于数的运算方法。尽管这些知识还是零碎的,没有形成严密的理论体系,但它作为计算的萌芽,现代计算机科学与技术的发展成就,都是始于这一时期人类对计算方法、计算工具的长期探索和研究。

1.1 计算的起源

1.1.1 数的概念及记数方式的诞生

数的概念的形成经历了一个缓慢渐进的过程。原始人在采集、狩猎等生产活动中,注意到一只羊与许多羊、一只狼与一群狼在数量上的差异。通过一只羊与许多羊、一只狼与一群狼的比较,逐渐看到其中的某种共同的东西,即它们的单位性。同样,人们会注意其他特定的物群相互间也可构成一一对应。这种为一定物群所共有的抽象性质,就是数。数的概念的形成对人类文明的意义不亚于火的使用。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把直观的形象变成抽象数字的能力,进行抽象思维活动,这种抽象的思维活动标志着人类具有了认识世界的基本能力。

在数的概念出现之后,就开始有了数的计算和记数。在人类社会发展的初期,就常常遇到各种各样的计算问题,如计算捕捉到的猎物的数量、计算天数等。

计算需要借助一定的工具来进行,人类最初的计算工具是人类的双手,掰指头算数就是最早的计算方法。人有两只手,十个手指,是最简单的、随时“携带”的计算工具。因为用手指计算比较直观,而且可靠,所以这种方法被广泛应用,并延续了若干个世纪。“手指计数”在数学发展中也起了很大的作用,因此十进制是人们最熟悉最常用的进制计数方法。

随着社会的发展,需要进行的计算越来越复杂。由于手指计算有其无法克服的局限性,人类开始学习用小木棍、石子等身外之物作计算工具。

在拉丁文中,“计算(calculus),”既有“算法”的含义,也有“结石”的意思。远古的人们用石子来计算捕获的猎物,石子就是他们的计算工具。石子、树枝这些东西看上去也很简单,但意义却非同寻常:人类要提高智力水平,拓展思维空间,就必须把思维过程的某些方面、某些环节用身外之物来代替。人们就是用这种今天看起来并不先进的方法,帮助人类进行记忆,使人的智力在某些方面得到了训练和解放,真正驾驭了数字。

后来记数方式发展到结绳计数、刻痕计数等。所谓结绳记数,就是在一根绳子上打结来表示事物的多少。这种记数方法在没有掌握文字的民族中曾经被广泛地采用,有些少数民族在后来很长岁月中仍然是这样(图 1-1)。

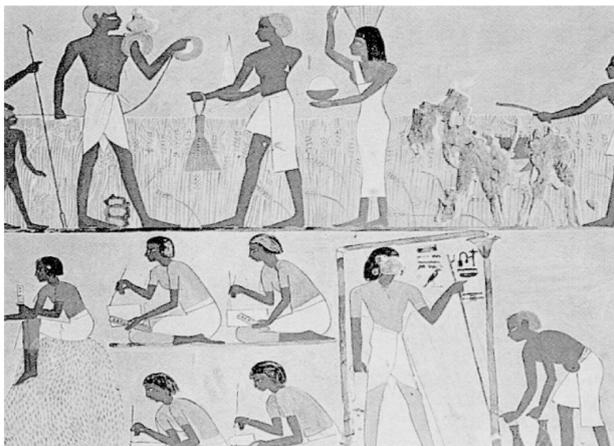


图 1-1 公元前 3000 年的壁画记载了古埃及人用打结的绳子丈量土地和估算收获

经过数万年的发展,大约距今 5 000 多年前,出现了书写记数以及相应的记数体系。

1.1.2 古埃及数学及记数体系

位于尼罗河岸的古埃及人民,创造了以象形文字和金字塔为代表的灿烂文明。

古埃及象形文字产生于公元前 3500 年左右。在象形数系中,用 | 表示 1, || 表示 2, 以此类推;数字 10 用 ∩ 表示, ∩∩ 表示 20, ∩∩∩ 表示 40, 如此直到 90;100 又用新的记号 9 表示,200 用 99 表示,等等。为了表示大的数,必须用相应的多个符号。这种符号表示缺乏位置上的意义,也非常麻烦。在进行加法运算时,把个数,然后是十位数,再然后是百位数等组合在一起即可。如果某种符号组的数目有十个时,就用下一个符号来代替(图 1-2)。

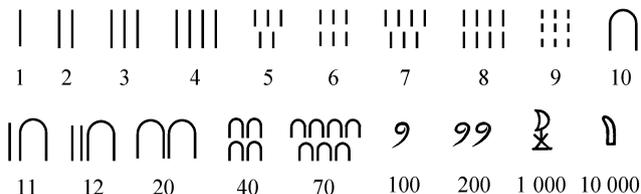


图 1-2 公元前 3500 年左右的古埃及象形数字

大约公元前 2500 年左右,古埃及象形文字演化为一种简便的象形数字体系——“僧侣体”,古埃及人就用这种僧侣文在纸莎草(Papyrus)压制成的草片上来做日常书写(图 1-3)。在这种数字体系中,从 1~9 的每一个数字都有一个特定的符号,从 10~90 的每



图 1-3 僧侣文中表示前 10 个正整数以及 20 的记号

一个 10 的倍数以及从 100~900 每一个 100 的倍数也都有自身特定的符号。

我们关于古埃及数学的知识,主要就是依据了两部纸草书——莱茵特纸草书和莫斯科纸草书。莱茵特纸草书最初发现于埃及底比斯(Thebes)古都的废墟中,因 1858 年由苏格兰收藏家莱茵特(A. H. Rhind)购得而得名,现藏于伦敦大英博物馆。整个纸草书长 525cm,宽 33cm,主体部分由 84 个问题组成,如图 1-4 所示。莫斯科纸草书由俄罗斯收藏者于 1893 年获得的,现藏于莫斯科普希金艺术博物馆。这部纸草书长约 550cm、宽 8cm,共记载着 25 个问题。从莱茵特纸草书记载的数学问题可知,埃及人很早就采用了 10 进制记数法,但不是 10 位制。

从这两部纸草书中可以看出,古埃及的算术主要是加减法,将乘除化为加减法做,算术最具特色的是分数算法。

(1) 关于分数的研究。从纸草书中的记载可以看出埃及人对分数的研究较为透彻,且被广泛使用,这成为埃及数学一个重要而有趣的特色。所有的分数先拆成单位分数(分子为 1 的分数)再进行加减运算。为了方便运算,他们设计了一个形如 $\frac{2}{k}$ 的数表(k 为从 5~101 的奇数),从表中可以很方便地查出拆分方法。例如, $\frac{2}{5}$ 写成 $\frac{1}{3}, \frac{1}{15}$, 因为那时还没有加法符号;将 $\frac{2}{11}$ 写成 $\frac{1}{6}, \frac{1}{66}$; 将 $\frac{2}{101}$ 写成 $\frac{1}{101}, \frac{1}{202}, \frac{1}{303}, \frac{1}{606}$ 。

例如,利用该表可以将 $\frac{7}{29}$ 表示成单位分数之和的形式: $\frac{7}{29} = \frac{1}{6}, \frac{1}{24}, \frac{1}{58}, \frac{1}{87}, \frac{1}{232}$ 。这种烦琐的运算方式在一定程度上阻碍了埃及算术的发展。

(2) 加法为基本算术运算。埃及人最基本的算术运算是加法运算,乘法运算是通过逐次加倍的程序来实现的,在除法运算中,埃及人将加倍程序倒过来执行,即除数取代了被除数的地位而被拿来逐次加倍。

(3) 关于几何学的研究。在纸草书中可以找到正方形、矩形、等腰梯形等图形面积的正确公式。可看出,古埃及人在体积计算中达到了很高水平,这表现在对金字塔的建造及计算方面。

1.1.3 巴比伦数学及记数体系

位于底格里斯河与幼发拉底河流域的美索不达米亚平原(今属伊拉克版图),也是人类文明的发祥地之一。早在公元前 4000 年前,苏美尔人就在这里建立起城邦国家并创造了文字。

在这一时期,苏美尔人基于对量的认识,建立了数的概念,有了自己的数学。他们的记数方法有十进制制和六十进制制,制定了乘法表,学会了计算面积和体积。后来苏美尔人创造出一种楔形文字,并把这种文字和自己的科学技术传给了后来的巴比伦人。人们

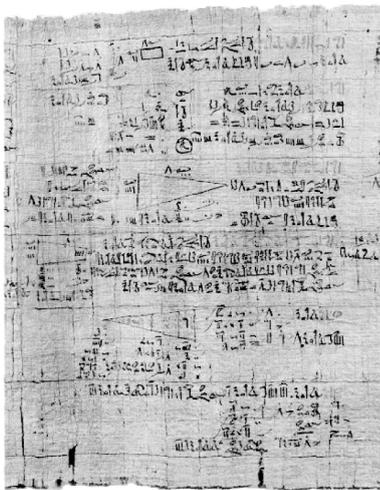


图 1-4 莱茵特纸草书(局部)

用尖芦管在湿泥板上刻写出楔形文字,然后将泥板晒干或烘干,这样制成的泥板文书比埃及纸草书易于保存,迄今已有约 50 万块泥板文字出土,其中有 300 多块是数学文献。

公元前 2500 年,巴比伦人不仅会乘除法,而且还有平方表、平方根表、立方表,用来解二次方程和三次方程。从大约公元前 1800 年开始,巴比伦人已经使用较为系统的以 60 为基数的楔形文字记数体系(图 1-5)。

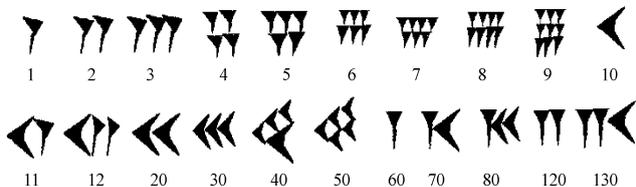


图 1-5 公元前 2400 年左右的巴比伦楔形数字

巴比伦人擅长计算,创造了许多比较成熟的算法,已具备较高的解题技巧,数学上能解一些一元二次、多元一次和少数三、四次方程;几何上能求一些面积和体积,并已知半圆内接三角形是直角三角形。

另外,巴比伦人还经常利用各种数表来进行计算,使计算更加简捷。例如,他们做除法不是用埃及人那样的倒加倍方法,而是采用了将被除数乘以除数的倒数这一途径,倒数则通过查表而得,在现有的 300 多块数学泥板文书中,就有 200 多块是数学用表,包括乘法表、倒数表、平方表、立方表、平方根表、立方根表、甚至还有指数(对数)表(图 1-6)。



图 1-6 巴比伦泥板文书记载的数学问题

美索不达米亚数学在代数领域内达到了相当的高度,如来自古巴比伦时代的一些泥板文书表明,巴比伦人已能卓有成效地处理相当一般的三项二次方程。另外,美索不达米亚泥板文书中对解三次方程的例子有很多记载,而古埃及人在这方面却没有留下任何记录。

与埃及的几何产生相类似,美索不达米亚几何也是与测量等实际问题相联系的数值计算,美索不达米亚学者已掌握一些不规则多边形的面积及一些锥体的体积的计算公式,并且

他们还知道并利用图形的相似性概念。美索不达米亚几何与埃及几何有一个相同的缺陷,即对准确公式与近似关系混淆不分。

总的来说,古代美索不达米亚数学与埃及数学一样主要是解决各类具体问题的实用知识,处于原始算法积累时期。埃及纸草书和巴比伦泥板文书中汇集的各种几何图形面积、体积的计算法则,本质上属于算术的应用。

1.1.4 中国古代记数体系及算术

在巴比伦和古埃及文明建立的过程中,东方的中国和印度也创造了灿烂的数学文化。与以证明定理为中心的古希腊数学不同,中国古代数学是以创造算法特别是各种解方程的算法为主要特征。从线性方程组到高次多项式方程,中国古代数学家创造了一系列先

进的算法,他们用这些算法求解相应类型的代数方程,从而解决导致这些方程的各种各样的科学和实际问题。因此,中国古代数学具有明显的算法化、机械化的特征。

(一) 中国古代的记数方法

中国古代记数方法的起源是很早的。原始社会末期,私有制和货物交换产生以后,数与形的概念就有了一定的发展。有数的观念和数字符号之后,便产生了原始的记数方法。据《易经·系辞传》记载:“上古结绳而治,后世圣人易之以书契。”《易·九家义》详细地解释了这种方法:“事大,大结其绳;事小,小结其绳。结之多少,随物众寡。”据《史记》记载:“伏羲始画八卦,造书契,以代结绳之治。”这表明在伏羲这位神话中的人类始祖之前,结绳记事就有了。《释名·释书契第十九》记载:“契,刻也,刻识其数也。”说明书契是古代一种记数方法。1975年,青海乐都县柳湾发掘的原始社会末期墓葬中出土的骨片带有规则的楔形刻口,是流传至今最早的书契记数实物。

距今6000年前西安半坡出土的陶器上的几何花纹,提供了一个由物体形象到抽象的几何图案的演变过程的线索,如由鱼形变成梭形、菱形、三角形、长方形等几何图案。除此之外,半坡人还有了数目的观念。例如,在一个陶钵上有用1~8个圆点组成的等边三角形和将正方形分为100个小正方形的图案(图1-7)。

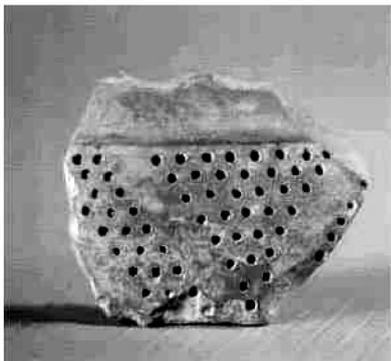


图 1-7 西安半坡出土的陶器残片



图 1-8 商代记数甲骨文

中期,在甲骨文中已产生一套十进制数字和记数法,其中最大的数字为三万;与此同时,殷人用十个天干和十二个地支组成甲子、乙丑、丙寅、丁卯等60个名称来记60天的日期。在周代,又把以前用阴(-)、阳(一)符号构成的八卦表示8种事物发展为六十四卦,表示64种事物。

公元前2世纪的《周髀算经》提到西周初期用

为了画圆作方,确定平直,人们还创造了规、矩、准、绳等作图与测量工具。据《史记·夏本纪》记载:夏禹治水“左规矩,右准绳”,说明在当时已使用了这些几何工具。

中国进入奴隶制社会以后,到了殷商时期形成了刻在龟甲和兽骨上的甲骨文汉字系统(图1-8)。商以后到周代,甲骨文逐渐被金文(又称钟鼎文)所替代。在甲骨文和金文中都有数学方面的资料。

根据河南安阳出土的殷墟甲骨文及周代金文的考古证明,中国当时已经采用“十进位值记数法”,并有十、百、千等专用的大数名称(图1-9)。商代

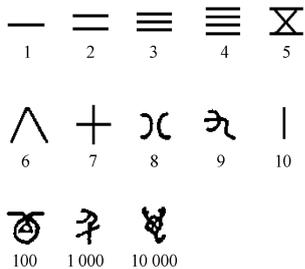


图 1-9 甲骨文中的数的记法

矩测量高、深、广、远的方法,并举出勾股形的勾三、股四、弦五以及环矩可以为圆等例子。除此之外,中国古代对分数概念的认识也比较早,分数概念及其应用在《管子》、《墨子》、《商君书》、《考工记》等春秋战国时代的书籍中都有明确记载。到春秋战国时代,算术四则运算已经成熟。据汉时燕人韩婴所著《韩诗外传》记载,标志乘法运算法则的“九九歌”在春秋时代已相当普及。

(二) 中国古代算术

中国古代数学与希腊数学相比,表现出强烈的算法精神。这些算法是为解决一整类实际或科学问题而概括出来的、带有一般性的计算方法。从线性方程组到高次多项式方程,乃至不定方程,中国古代数学家创造了一系列先进的算法(中国数学家称之为“术”)。他们用这些算法去求解相应类型的代数方程,从而解决导致这些方程的各种各样的科学和实际问题。特别是,几何问题也归结为代数方程,然后用程式化的算法来求解。因此,中国古代数学具有明显的算法化、机械化的特征。

春秋战国时期,中国完成了由奴隶制向封建制的过渡。生产力的发展,生产关系的变革,以及思想界、学术界诸子林立、百家争鸣的局面,创造了数学发展的良好条件。到春秋末年,人们已经掌握了完备的十进位和位值制的记数方法,普遍使用了算筹这种中国所特有的计算工具。

由于手工业、建筑业、水利工程和商业交换的发展,以及制定历法的需要,人们的筹算技能大大提高。《韩诗外传》载有“齐桓公设庭燎”召集天下贤人,以具“九九薄能”者“而君犹礼之,况贤于九九者”,致使“期月,四方之士相导而至”的故事,说明筹算九九表在当时已经是人们的常识。《管子》等典籍中有各种分数,说明分数概念和分数运算已经形成。

秦始皇统一中国后,在全国范围内巩固了封建生产关系和制度。这一时期无专门的数学著作传世。到了汉代,社会生产力得到发展。人们在生产和生活实践中总结数学知识,出现了一些算学方面的著作。

约成书于公元前2世纪的《周髀算经》,既是我国现有最早的天文学著作,也是流传至今最早的算学著作。其中叙述了勾股定理与勾股测量等数学问题及其在天文、生产中的应用(图1-10)。

汉代初期数学名著《九章算术》反映的是中国先民在生产劳动、丈量土地和测量容积等实践活动中所创造、总结出的数学知识,包括方田、粟米、衰分、少广、商功、均输、盈不足、方程、勾股等九部分,是中国古代算法的基础。它含有上百个计算公式和246个应用问题,有完整的分数四则运算法则、比例和比例分配算法、若干面积和体积公式、开平方和开立方程程序、方程术——线性方程组解法、正负数加减法则、解勾股形公式和简单的测望问题算法,其中许多成就处于世界领先地位(图1-11)。

《九章算术》“方程术”的消元程序,在方程系数相减时会出现较小数减较大数的情况,在这里,《九章算术》的作者们引进了负数,并给出了正、负数的加减运算法则,即“正负术”。对负数的认识是人类数系扩充的重大步骤。公元7世纪印度数学家也开始使用负数,但负数的认识在欧洲却进展缓慢,甚至到16世纪,法国数学家韦达(F. Vieta, 1540~1603年)的著作里还回避负数。

公元3世纪,刘徽在长期精心研究《九章算术》的基础上,潜心为《九章算术》撰写注解

文字。他的注解内容详细、丰富,并纠正了原书流传下来的一些错误,更有大量新颖见解,创造了许多数学原理并严加证明,然后应用于各种算法之中,成为中国传统数学理论体系的奠基者之一(图 1-12)。

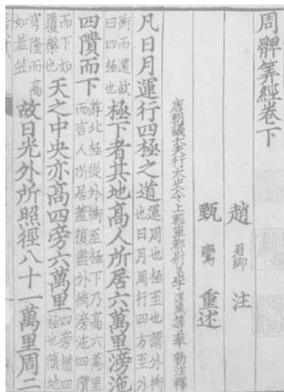


图 1-10 《周髀算经》

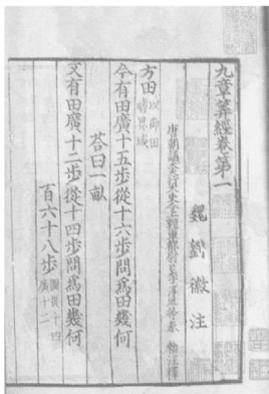


图 1-11 《九章算术》



图 1-12 刘徽

在《九章算术注》中,刘徽发展了中国古代“率”的思想和“出入相补”原理。用“率”统一证明《九章算术》的大部分算法和大多数题目,用“出入相补”原理证明了勾股定理以及一些求面积和求体积公式。为了证明圆面积公式和计算圆周率,刘徽创立了基于极限思想的割圆术,严谨地证明了圆面积公式。刘徽应用割圆术,从圆内接正六边形出发,依次计算出圆内接正 12 边形、正 24 边形、正 48 边形,直到圆内接正 192 边形的面积,然后使用现在所称的“外推法”,得到了圆周率的近似值 $\pi \approx 3.14$,化成分数为 $\frac{157}{50}$,即为著名的“徽率”,纠正了前人“周三径一”的说法。“外推法”是现代近似计算技术的一个重要方法,它奠定了中国圆周率计算长期在世界上领先的基础。

宋、元时代,我国以算筹为计算工具的传统数学达到了它发展的高峰,出现了南宋的秦九韶和杨辉、金元时期的李冶、元朝的宋世杰四大数学家。他们的数学成就中,最突出的是关于高次方程的数值解法,比欧洲早 400 多年。

宋代秦九韶(约公元 1202~1261 年)是高次方程解法的集大成者。他在《数书九章》(1247 年)一书中给出了高次多项式方程数值解的完整算法,即他所称的“正负开方术”。《数书九章》全书 18 卷,81 题,分九大类(大衍、天时、田域、测望、赋役、钱谷、营建、军旅、市易)(图 1-13)。其中最主要的成就是“正负开方术”和“大衍总术”(一次同余式的一般解法)。在《数书九章》一书中,他将增乘开方法推广到高次方程的一般形式。书中包括 21 个用增乘开方法求解高次方程问题,其中次数最高的是 10 次方程。为了适应增乘开方法的计算程序,秦九韶把常数项规定为负数,把高次方程解法分成各种类型。当方程的根为非整数时,秦



图 1-13 数书九章

九韶采取继续求根的小数,或用减根变换方程各次幂的系数之和为分母、常数为分子来表示根的非整数部分。在求根的第二位数时,秦九韶还提出以一次项系数除常数项为根的第二位数的试除法,这比法国数学家霍纳(W. G. Horner, 1786~1837年)提出的解高次方程方法早500多年。

宋元数学发展中一个突出成就是符号化,即“天元术”和“四元术”的发明。天元术和四元术都是用专门的记号来表示未知数,这是中国数学史上首次引入符号,并用符号运算来解决建立高次方程的问题。现存最早的天元术著作是李冶(1192~1279年)的《测圆海镜》(1248年)和《益古演段》(1259年)两部著作。

用天元术和四元术列方程的方法,与现代代数中的列方程法相类似。首先是“立天元一为某某”,这相当于“设 x 为某某”,“天元一”就表示未知数,然后在筹算盘上布列“天元式”,即一元方程式。先确定未知数一次项系数的位置,在其旁置一“元”字,其余各项按未知数幂次相对于一次项上下递增或递减排列。列出方程后,就用增乘开方法来解方程。

把天元术推广到二元、三元和四元的高次联立方程组,是宋元数学家的又一项杰出的创造。留传至今,并对这一杰出创造进行系统论述的是元代数学家朱世杰(公元1300年前后)的《四元玉鉴》。在《四元玉鉴》里,涉及的高次方程达到了4个未知数。朱世杰用“四元术”来解这些方程。设四个未知数,建立起方程式,然后用顺序消元的一般方法解出方程。朱世杰在《四元玉鉴》中创造了多种消元程序。

符号化是近世代数的标志之一。“天元术”和“四元术”,是以创造算法特别是解方程的算法为主线的中国古代数学的一个高峰。这方面比欧洲的同类成就早470多年。这些惊人的成绩不仅是中国古代数学史上辉煌的篇章,同时也是中世纪世界数学史上最丰富多彩的一页。

我国数学体系的形成经过漫长时间,到宋元时代达到巅峰,许多重要发现和成果走在世界的前面,但自明代以后几乎陷于停顿。有学者认为,就整个中国数学文化的发展来看,与中国的传统科技发展密切相关,而与古希腊数学相比,中国数学明显带有偏重应用、缺少理论概括与归纳、重操作的适用性等局限,少一些高屋建瓴的意识境界。但是以杰出数学家吴文俊为代表的一些学者认为:中国古代数学重视机械化计算,以解决问题为中心,特别适合于现代电子计算机技术发展的需要,若将其精神特质和方法论思想加以运用和改造,中国数学必将在未来世界数学界占有极其重要的地位。

1.1.5 古印度数学及计数体系

在古印度,约在公元前3世纪,就已经出现了关于数的记载。印度数学最早有可考文字记录的是吠陀时代,其数学材料混杂在婆罗门教的经典《吠陀》之中。吠陀即梵文 *veda*,原意为知识、光明。《吠陀》内容包括对诸神的颂歌、巫术的咒语和祭祀的法规等。目前流传下来的有7种,其中关于庙宇、祭坛的设计与测量的部分——《测绳的法规》,即《绳法经》,大约完成于公元前8世纪至公元前2世纪。《绳法经》中所含的法则规定了祭坛形状和尺寸所应满足的条件。《绳法经》里使用了圆周率的近似值 $\pi = 4 \left[1 - \frac{1}{8} + \frac{1}{8 \times 29} - \frac{1}{8 \times 29 \times 6} - \frac{1}{8 \times 29 \times 6 \times 8} \right]^2 = 3.0883$,此外还用到了 $\pi = 3.004$ 和 $\pi = 4 \left[\frac{8}{9} \right]^2 = 3.16049$ 的近似值。在关于正方形祭坛的计算中,给出了 $\sqrt{2} = 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3 \times 4} -$

$\frac{1}{3 \times 4 \times 34} = 1.414\ 215\ 686$ 。由几何计算导致了一些求解一、二次代数方程的问题,印度人用算术方法给出了求解公式。

印度人发明了现代记数法。对无理数,印度人没有像希腊人那样谨慎,他们不太顾及或者甚至就没看出无理数概念上所涉及的逻辑问题,忽视了哲学上的区别,把有理数的运算步骤也运用到无理数上。

到公元3世纪前后,出现了十进制数学符号。开始用圆点表示0,后来演变为用圆圈表示0,是印度数学的一大发明。我们通常使用的0,1,2,3,4,5,6,7,8,9这些数字,是印度人最先使用的符号和记数法。印度数码在公元8世纪传入阿拉伯国家,而后又通过阿拉伯人传至欧洲。其次,印度人还有了分数的表述法,把分子分母上下放置,但中间没有横线,后来是阿拉伯人加入了一条线,成为今天分数的一般表示方法。

1.2 早期的计算工具

自古至今,计算工具在社会发展中具有重要的地位和作用。为了提高计算的速度和精度,人们对计算工具进行了不懈的研究和探索。中国春秋战国时代的算筹是计算工具的最初形态,后来人们又发明了简便实用的珠算盘。17至18世纪发展起来的计算尺,成为当时一种被广泛使用的计算工具,计算尺是一种手工模拟的计算工具,由于其在通用性和精度方面有很大的局限性,最终被更先进的其他计算工具所取代。

1.2.1 世界最早的计算工具——中国算筹

人类发明的计算工具,最早的可能要算是中国春秋战国时代的算筹了。算筹又称为算、筹、策、筹策等。一般用竹、木刻制而成,也有用铁制、骨制或象牙制的。它们是用来记数、列式和进行各种数与式演算的一种工具,使用算筹进行数值运算,称为筹算法。算筹可用来进行加、减、乘、除、开平方、开立方以及解多元一次方程组等运算。从春秋战国到元代末期,算筹在我国沿用了2000多年(图1-14)。

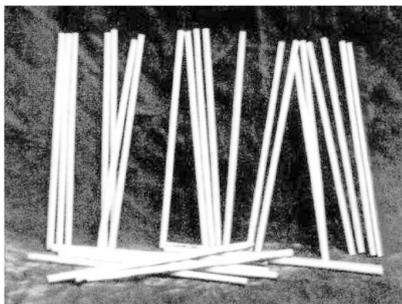


图1-14 中国出土的汉代算筹

用算筹摆成数字进行计算称之为筹算。根据后来约公元4世纪的《孙子算经》的记载,算筹记数分为纵横两种形式。表示一个多位数字

时,各位值的数目从左到右排列,纵横相间,规则是:“凡算之法,先识其位。一纵十横,百立千僵,千十相望,万百相当”,并以空位表示零。也就是说任何一个数都是由9个纵排数字和9个横排数字按个位、百位、万位等用纵筹,十位、千位等用横筹来表示。各位纵横相间,界限分明,不致混淆。算筹为建立高效的加、减、乘、除等运算方法奠定了基础(图1-15)。

筹算记数完全采用十进位位值制,是当时世界上最简便的计算工具和最先进的记数体制。“十进”即满十进一;“位值”则是同一个数字在不同的位置上所表示的数值也就不同,如三位数“111”,右边的“1”在个位上表示1个一,中间的“1”在十位上就表示1个十,

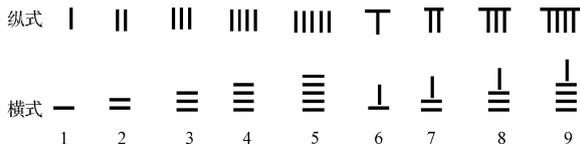


图 1-15 算筹记数的表示方法

左边的“1”在百位上则表示1个百。这样,就使极为困难的整数表示和演算变得简便易行。这种位值制计数与计算方法,在12、13世纪后通过阿拉伯人传到欧洲,对后来欧洲数学的兴起与发展起到了关键作用。

负数出现后,算筹分红黑两种,红筹表示正数,黑筹表示负数。筹算中的加减可以通过算筹的简单变化体现出来。对于复杂的乘除运算,人们在实践中创造了运算口诀,使它们的变化容易掌握。后来还出现了平方、开方等更为复杂的运算口诀。可以说,算筹属于硬件,而摆法就是“算筹”的软件。算筹在秦汉时期得到普遍使用,到明代才完全为珠算所代替。

算筹在当时是一种方便且先进的计算工具。中国古代数学家正是用“算筹”,写下了数学史上光辉的一页。



图 1-16 祖冲之

公元480年左右,中国南北朝时期的数学家祖冲之(公元429~500年)(图1-16),借助算筹作为计算工具,成功地将圆周率 π 值计算到小数点后的第七位,即在3.141 592 6至3.141 592 7之间,比法国数学家韦达的相同成就早了1 100多年。中国古代的天文学家也运用算筹,总结出了精密的天文历法。

然而,中国的筹算仍有不少弱点:大量的算筹移动不便,占地面积较大。而且挪动算筹,运算了下一步,上一步就看不到了。在使用时也难免避免由于摆放过程中木棍位置滑动而造成计算结果的错误。

我国的筹算应用到求解朱世杰的四元高次联立方程时已经到顶了,再向前迈步,必须突破筹算的限制,向符号数学转化。但这一步没有完成。13世纪初,阿拉伯数字曾传入中国,但未被采用。清代著名数学家梅文鼎(1633~1721年)介绍过西方算法,却不肯使用阿拉伯数字。直到清末,西方笔算传来中国,才逐步采用阿拉伯数字和其他数学符号。

继算筹之后,中国人又发明了更为方便的珠算盘。它结合了十进制计数法和一整套计算口诀,并一直沿用至今。许多人认为算盘是最早的数字计算机,而珠算口诀则是最早的体系化的算法。中国是什么时候开始有算盘的呢?从清代起,就有许多学者对这一问题进行了研究,日本的学者也对此投入不少精力。由于缺少足够的证据,算盘的起源问题直至今今天仍是众说纷纭,莫衷一是。

珠算盘最早记录于汉代徐岳撰写的《数术记遗》一书里,大约在宋元时期开始流行,而算盘最终彻底淘汰了筹算是在明代。随着算盘的广泛使用,人们总结出许多计算口诀,使计算的速度更快了。这种用算盘计算的方法,叫珠算。珠算盘发展到明代,已经与现代算盘完全相同,通常具有13档,每档上部有2颗珠而下部有5颗珠,中间由横梁隔开,它利用进位制记数,通过拨动算珠进行运算:上珠每珠当五、下珠每珠可当作一个数位,打算盘必须记住一套口诀。

由于算盘制作简单,价格便宜,珠算口诀便于记忆,运算又简便,所以在中国被普遍使用,并且逐渐传入日本、朝鲜、越南、泰国等地,以后,又经一些商人和旅行家带到欧洲,逐渐向西方传播,对世界文明的发展产生了重要的影响。

算盘使用起来方便、快捷,它帮助中国古代数学家取得了不少重大的科技成果,在人类计算工具史上具有重要的地位,也是世界公认的现代计算机起源。

在当时,西方也出现了类似算筹的计数工具——筹码。筹码是一种小的木棍,在上面可以用刀划出各种形状的刀痕来表示不同的数字,如刀痕的深浅可以表示不同大小的数目;也有的把刀痕留在木条不同的侧面表示数目大小;还有的地方创造出不同形状的刻法,如直线、斜线、交叉线等,以区别不同的数目或表示不同的使用目的。人们利用它来计算天数、收成、牧畜数量、债务等。尽管筹码的计算方法非常简单,但经过人们的改进,它不仅能记录某种数据,还能按一定规则排列进行计算。对比中外对于算筹的使用可以发现,在算术方面古代中国远比外国先进——中国的算筹已发展为计算工具,而西方的筹码主要还停留在记录数字方面。

1.2.2 耐普尔算筹

进入17世纪,生产力的发展和科学技术的进步,促进了变量数学即近代数学的诞生。其主要标志是:1637年法国数学家笛卡儿(Rene Descartes, 1596~1650年)和费马(Pi-
~~尔~~ 费马(Fermat, 1601~1665年)建立了坐标和解析几何学;英国科学家牛顿(Isaac Newton, 1643~1727年)于1665年、德国数学家莱布尼茨(Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646~1716年)于1684年分别创立了微积分理论;1614年英国数学家耐普尔(John Napier, 1550~1617年)发明了对数(图1-17)。随着对数的发明,这期间计算方法和计算工具也有了长足发展。



图 1-17 耐普尔

制定对数的直接目的,是为了简化天文和航海提出的大量繁杂的计算。它的价值在于化乘除为加减,化乘方开方为简便的乘法。耐普尔从求解平面三角和球面三角问题的过程中得到启发而发明了对数方法,引发了一场计算上的革命。这项工作他研究了20年才获得成功。

1614年,耐普尔发表了《关于对数的奇异规则的说明》一书,阐述了对数方法。耐普尔解释对数是依赖于运动学的方式,如图1-18所示。他考察一个点 P 沿着一条有限长直线 AB 运动,另一点 Q 假设沿着一条无限长直线 CD 运动,两个质点开始时的速度相同,且 Q 点保持这一速度不变,而 P 点速度在每一点 P_1 上正比于剩余距离 P_1B 。如果 P 位于 P_1 点, Q 位于 Q_1 点,则 CQ_1 所量度的对数便是 P_1B 的对数。

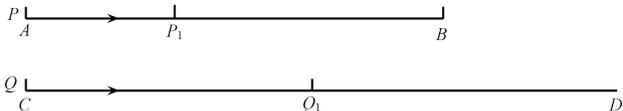


图 1-18 耐普尔对数概念

1617年,耐普尔根据“格子乘法”还发明了一种计算工具——“耐普尔骨筹”即算筹。算筹有几种形式,但一般都是每套有十根矩形木杆;每根木杆有四个平整的表面;每个面