

21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

计算机科学概论

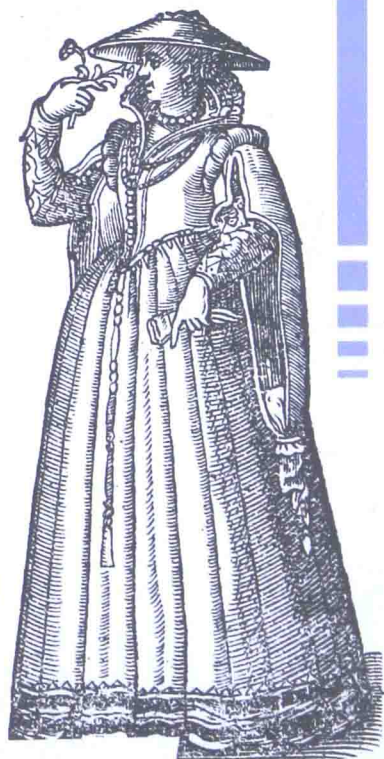
Introduction to Computer Science

吕云翔 李子璠 翁学平 编著

与时俱进、全面翔实的概念和知识

精炼严谨、易读易懂的语言和文字

精心挑选、生动有趣的图片和实例



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

计算机科学概论

Introduction to Computer Science

吕云翔 李子璠 翁学平 编著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

计算机科学概论 / 吕云翔, 李子瑋, 翁学平编著
— 北京: 人民邮电出版社, 2015. 5
21世纪高等教育计算机规划教材
ISBN 978-7-115-38780-6

I. ①计… II. ①吕… ②李… ③翁… III. ①计算机
科学—高等学校—教材 IV. ①TP3

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第066934号

内 容 提 要

本书共 12 章, 具体内容涉及计算机科学基础知识, 包括计算机发展历史、计算机科学基础概念和计算思维概念; 计算机硬件知识, 包括数据在硬件上的表示方法、硬件功能结构; 计算机软件知识, 包括程序设计基础和软件工程基本概念等; 计算机数据相关内容, 包括数据的抽象、存储和表示等; 计算机网络相关内容, 包括网络结构与信息安全等; 最后一章对计算机技术的最新发展方向进行了介绍。读者在阅读本书后可在整体上对计算机科学产生较为全面的认识。

本书对计算机科学领域的重要理论知识有广泛的覆盖, 内容全面翔实, 语言易懂, 有充分的图片、举例、练习和拓展阅读, 是高等院校计算机科学、软件工程及计算机相关专业学生入门的理想教材。

-
- ◆ 编 著 吕云翔 李子瑋 翁学平
 - 责任编辑 武恩玉
 - 责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
 - 邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 19.5 2015 年 5 月第 1 版
 - 字数: 512 千字 2015 年 5 月北京第 1 次印刷
-

定价: 45.00 元

读者服务热线: (010) 81055256 印装质量热线: (010) 81055316
反盗版热线: (010) 81055315

“计算机科学概论”是计算机科学及其相关专业的学生入学以来的第一门课程，也是学习其他后续专业课程的必备基础。其主要目的在于介绍计算机科学的内容，并对计算机学科进行系统化的阐述，使得学生了解计算机科学涵盖的内容，掌握计算机科学课程必备的知识，并把握住计算机科学的前沿内容。

本书是“计算机科学概论”课程的对应教材，因此在本书的编写过程中，力求语言简洁、逻辑清晰，使没有太多计算机科学知识背景的读者也能通过本书学习到大量计算机科学的基本知识。此外，本书作为计算科学概括性的教程，力求做到知识体系完整、覆盖面广、内容翔实，并且紧跟计算机科学理论最新发展的步伐，使得学生在掌握计算机科学基础知识的同时，也能及时了解计算机学科的前沿科学动态。

本书最为重要的一点就是借鉴和参考了国内外的同类教材，吸收了这些教材的优点，并结合本书的特色进行内容的安排。教材的内容遵循 CC 2005 课程体系，从广度上覆盖了计算机科学的主要内容，从深度上满足了入门级教材的要求。

本书不仅适用于计算机专业，也适用于全校性的公共基础课程。本书要求读者能够了解计算机科学领域的背景、定义、内容和意义；了解计算机学科包含的内容以及应用的领域；了解计算机学科课程领域的设置和核心的概念、方法与实践；能够建立起对计算机科学领域的宏观认识，为以后深入地学习计算机课程做好铺垫。为了达到这一目的，本书主要强调概念和宏观认识，而不是具体的技术细节和数学模型，并且通过大量的图片、表格等增强读者对内容的理解和知识的掌握。为了满足部分读者的阅读需求，本书还为相应的知识部分提供了扩展阅读，使得有意深入了解相关内容的读者能够拓宽视野，深入理解。

本书建议的理论教学为 32~48 学时，教师可以根据教学目标适当地添加或删除内容，也可以开设上机实验课程。学时安排建议如下。

章节	内容	学时
第 1 章	计算机科学基础	2~3
第 2 章	计算思维	2
第 3 章	计算机数据表示	3~5
第 4 章	计算机硬件结构	2~4
第 5 章	操作系统	3~5
第 6 章	算法和数据结构	3~5
第 7 章	程序设计	4
第 8 章	软件工程	3~5
第 9 章	数据库	3
第 10 章	计算机网络	3~5
第 11 章	信息安全	2~4
第 12 章	计算机科学发展前景	2~3

本书是作者在多年科研和教学基础上编写的,主要参考了作者已经出版的著作以及教学中积累的经验。书中还引用了其他国内外的相关文献和资料,并且广泛地利用了互联网来查找相关的资料。由于篇幅问题,在此就不一一列举,参考的书目和文献在书后列出,在此对这些提供教材和资料的作者表示衷心的感谢。

感谢其他参与本书审核和校验的教师及学生。

一本书的出版离不开许多人的支持,尤其是本书,为此感谢我们的家人和朋友。由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请各位读者不吝赐教(yunxianglu@hotmail.com)。

作者

2015年1月

目 录

第 1 章 计算机科学基础	1
1.1 计算机发展简史	1
1.1.1 电子计算机诞生之前	1
1.1.2 电子计算机的发展	7
1.1.3 计算机发展趋势	15
1.2 计算机科学	16
1.2.1 计算机科学概念	16
1.2.2 计算机科学知识体系	16
1.3 计算机科学应用概述	19
1.3.1 计算机科学的应用领域	19
1.3.2 计算机科学在各行各业内的应用	21
1.3.3 计算机科学与其他领域学科的 交叉	24
本章小结	24
习题	25
第 2 章 计算思维	27
2.1 计算思维概念	27
2.1.1 计算与函数	27
2.1.2 计算机、计算机科学与计算思维	28
2.1.3 计算思维的主要思想及特点	30
2.2 利用计算思维求解问题	31
2.2.1 抽象	32
2.2.2 理论	33
2.2.3 设计	34
2.3 计算的发展趋势	34
2.3.1 高性能计算	35
2.3.2 普适计算	37
2.3.3 计算智能与智能计算	38
2.3.4 生物计算	40
本章小结	41
习题	42
第 3 章 计算机数据表示	44
3.1 信息与数据	44
3.2 进制与进制的转换	45
3.2.1 基数与进制	45
3.2.2 二进制	46
3.2.3 进制之间的相互转换	48
3.3 计算机内部的数据	50
3.3.1 计算机采用的进制	50
3.3.2 位与布尔运算	51
3.4 数字的存储与运算	53
3.4.1 整数的存储	53
3.4.2 溢出问题	56
3.4.3 实数的存储	57
3.5 其他数据类型的存储	59
3.5.1 文本	59
3.5.2 图像	61
3.5.3 音频	62
本章小结	63
习题	64
第 4 章 计算机硬件结构	67
4.1 计算机组成	67
4.1.1 概述	67
4.1.2 计算机硬件主要组成部分	67
4.1.3 计算机分层组织结构	68
4.1.4 冯·诺依曼模型与非冯·诺依曼 模型	69
4.2 中央处理单元	70
4.2.1 CPU 的基本知识和组成原理	70
4.2.2 处理器的性能与指标	71
4.2.3 指令执行过程与指令流水线	72
4.2.4 RISC 和 CISC 体系结构	74
4.2.5 中央处理器的发展历史	74
4.3 存储设备	76
4.3.1 存储器的类型	76
4.3.2 存储器的层次结构	77
4.3.3 存储器的度量	78

4.3.4 主存储器	79	6.1.1 什么是算法	121
4.3.5 外部存储器	80	6.1.2 算法的特征	121
4.4 输入输出设备	85	6.1.3 算法性能表示	122
4.4.1 常用输入设备	85	6.1.4 算法结构与表示	123
4.4.2 常用输出设备	87	6.2 数据结构的概念	125
4.4.3 I/O 控制方式	88	6.2.1 数据结构定义	125
4.5 计算机的其他组成部分	89	6.2.2 数据结构的表示	126
4.5.1 主板	89	6.2.3 数据结构的类型	127
4.5.2 总线	91	6.3 线性结构	129
本章小结	92	6.3.1 顺序表	130
习题	92	6.3.2 链表	131
第 5 章 操作系统	94	6.3.3 栈与队列	131
5.1 操作系统的定义与发展	94	6.3.4 串	134
5.1.1 操作系统的定义与重要性	94	6.4 非线性结构	134
5.1.2 操作系统的功能与特征	95	6.4.1 树	135
5.1.3 操作系统结构	96	6.4.2 二叉树	136
5.1.4 操作系统的发展和分类	98	6.4.3 图	137
5.2 操作系统的功能	99	6.5 算法研究方面	139
5.2.1 进程管理与 CPU 调度	100	6.5.1 搜索算法	139
5.2.2 存储管理	101	6.5.2 排序	140
5.2.3 文件管理	103	6.5.3 动态规划	140
5.2.4 设备管理	105	6.5.4 贪心算法	141
5.2.5 网络与安全管理	107	6.5.5 图论	141
5.2.6 用户接口管理	108	6.5.6 字符串处理	142
5.3 主流操作系统简介	109	6.5.7 计算几何	143
5.3.1 DOS 系统	109	6.6 经典算法问题简介	143
5.3.2 UNIX 系统	110	6.6.1 哥尼斯堡七桥问题	143
5.3.3 Windows 操作系统	111	6.6.2 汉诺塔问题	144
5.3.4 Linux 操作系统	112	6.6.3 旅行商人问题	144
5.3.5 Mac OS 操作系统	114	6.6.4 图灵测试问题	145
5.4 其他类型的操作系统	115	6.6.5 哲学家进餐问题	145
5.4.1 移动终端操作系统	115	本章小结	146
5.4.2 嵌入式系统	116	习题	147
5.4.3 云操作系统	118	第 7 章 程序设计	149
本章小结	118	7.1 程序设计简介	149
习题	119	7.1.1 程序设计基本概念	149
第 6 章 算法和数据结构	121	7.1.2 程序设计范型	150
6.1 算法的概念	121	7.2 程序设计语言	152
		7.2.1 机器语言与汇编语言	152

7.2.2 高级程序设计语言	153	8.4.6 测试工具	188
7.2.3 编程语言的分代	155	8.5 软件行业道德与法律	188
7.3 程序设计基础	156	8.5.1 软件的知识产权	189
7.3.1 语法元素划分	156	8.5.2 开源软件与闭源软件	189
7.3.2 语法元素功能	158	8.5.3 盗版软件的危害	190
7.3.3 程序结构	162	本章小结	190
7.4 程序的编译与运行	164	习题	191
7.4.1 程序生命周期	164	第9章 数据库	193
7.4.2 编译原理	166	9.1 数据库的概念与发展	193
7.4.3 编译与解释	168	9.1.1 数据库的概念	193
本章小结	169	9.1.2 数据管理发展历程	195
习题	170	9.1.3 数据库系统特点	197
第8章 软件工程	172	9.2 数据模型	198
8.1 软件工程学科发展	172	9.2.1 概念数据模型	198
8.1.1 软件危机	172	9.2.2 基于记录的逻辑模型	200
8.1.2 软件工程的诞生	173	9.2.3 物理数据模型	202
8.1.3 软件工程的内容和意义	173	9.3 关系数据库	202
8.1.4 软件生命周期	174	9.3.1 关系数据库基础知识	203
8.2 软件开发模型	175	9.3.2 关系数据库设计	206
8.2.1 瀑布模型	176	9.3.3 结构化查询语言	211
8.2.2 喷泉模型	176	本章小结	214
8.2.3 原型模型	176	习题	215
8.2.4 增量模型	177	第10章 计算机网络	217
8.2.5 螺旋模型	178	10.1 计算机网络基础	217
8.2.6 统一软件开发模型	178	10.1.1 计算机网络概念与发展	217
8.2.7 敏捷模型	179	10.1.2 因特网概述	220
8.3 软件开发方法	180	10.1.3 计算机网络性能指标	222
8.3.1 结构化方法	180	10.1.4 计算机网络分类	224
8.3.2 面向数据结构的开发方法	181	10.2 计算机网络体系结构	226
8.3.3 面向对象开发方法	181	10.2.1 层次、协议与服务	226
8.3.4 可视化开发方法	182	10.2.2 OSI 七层结构模型	227
8.3.5 模块化开发方法	183	10.2.3 TCP/IP 四层结构模型	228
8.3.6 软件重用技术	183	10.3 计算机网络应用	229
8.4 软件开发工具	184	10.3.1 文件传送协议	229
8.4.1 UML 语言	184	10.3.2 万维网及其应用	230
8.4.2 软件开发项目管理工具	185	10.3.3 网站编程	232
8.4.3 需求分析建模工具	185	本章小结	233
8.4.4 设计工具	186	习题	234
8.4.5 编码工具	187		

第 11 章 信息安全	236	12.1.1 计算机科学的发展	258
11.1 计算机安全概述	236	12.1.2 计算学科的发展方向与领域	259
11.1.1 信息安全的现状	236	12.1.3 交叉学科对于计算机学科发展的 促进作用	260
11.1.2 维护信息安全的重要性	237	12.2 硬件	261
11.1.3 信息安全目标与服务	237	12.2.1 摩尔定律	261
11.1.4 信息安全策略和信息安全 技术	239	12.2.2 计算机硬件发展趋势	263
11.2 加密技术与安全认证技术	240	12.2.3 计算机进一步集成的趋势	265
11.2.1 加密技术的发展	240	12.3 软件	266
11.2.2 对称密钥密码术与公开密钥 码术	241	12.3.1 软件的模块化开发	266
11.2.3 消息认证技术	242	12.3.2 软件的网络化和服务化	266
11.2.4 数字证书技术	243	12.3.3 软件全球化	267
11.2.5 身份认证	244	12.4 网络与信息	268
11.3 计算机病毒	246	12.4.1 信息交流方式的改变	268
11.3.1 计算机病毒的定义	246	12.4.2 Web 2.0 的普及与 Web 3.0 的 发展	269
11.3.2 计算机病毒的危害	246	12.4.3 物联网技术的发展	271
11.3.3 计算机病毒的发展趋势	247	12.5 新兴技术领域	272
11.3.4 计算机病毒的防治	248	12.5.1 云计算	272
11.3.5 臭名昭著的计算机病毒	249	12.5.2 大数据	274
11.4 防火墙技术	251	12.5.3 机器学习	276
11.4.1 防火墙的概念	251	12.5.4 量子计算机	276
11.4.2 防火墙功能	252	12.5.5 分布式计算与并行计算	277
11.4.3 防火墙类型	253	本章小结	278
11.4.4 常用防火墙产品	254	习题	279
本章小结	255	附录 ASCII 码	281
习题	256	习题答案	282
第 12 章 计算机科学发展前景	258	参考文献	303
12.1 发展前景概述	258		

第 1 章

计算机科学基础

从世界上第一台电子计算机诞生到现在这短短的几十年时间中，计算机以惊人的发展速度，让人们的生活发生了翻天覆地的变化，以计算机为基础的应用在学习、工作、生活等各个方面都已深入我们的生活。计算机的出现不但极大提高了人们的效率，在教育、商业、娱乐等各个领域也带来了传统模式的巨大变革，更促进了信息和知识的传递，加速了人们迈入信息化时代的步伐，如今计算机已成为人类社会不可分割的一部分。计算机科学正是专门研究计算机系统及其应用的学科，自计算机诞生以来也在不断地发展，目前已涉及许多不同的领域，拥有多种分支学科。在本章中我们将先对计算机的发展历史和计算机科学及其各个分支学科进行介绍，之后将对计算机科学的应用领域做相应的介绍。

1.1 计算机发展简史

计算机是计算机科学发展的基础，在理解计算机科学之前，有必要先对计算机的发展历史做简要的了解。广义上来说，任何能帮助人类执行计算的机器和设备都可以称为计算机，但现在人们谈到计算机时一般代指电子计算机。计算机发展的速度是惊人的，从 1946 年诞生的 ENIAC 的每秒 5 000 次加法运算到我国的“天河二号”超级计算机每秒 33.86 千万亿次浮点运算，计算机在体系结构及各种软硬件配置方面都有了巨大的进步。在第一台计算机诞生之前，人们又是利用哪些工具进行计算的呢？

1.1.1 电子计算机诞生之前

1. 早期计算工具

(1) 古代中国的算筹与算盘

如同许多其他领域和学科一样，在早期计算工具方面对世界贡献尤为突出的是古代兼具勤劳与智慧的中国劳动人民。十进制计数法早在商代就已经在中国开始使用了，这足足领先了世界一千余年。算筹是古代中国特有的一种计算工具，它于周朝最早出现。算筹是一种由竹子、木头或骨头等材料制成的刻有计数标记的棍型工具，利用算筹人们可以方便地对数字进行表示和计算。算筹表示的方式有纵式和横式两种，如图 1-1 所示，以纵式为例：一根纵向放置的算筹表示 1，当要表示的数字超过 5 时，用一根横向放置的算筹表示 5；横式与纵式相反，利用这种数字的组合，算筹可以表示范围很广的数字。算筹对于数制的发展具有重要意义，它在算盘出现推广之前都是中国最重要的计算工具。

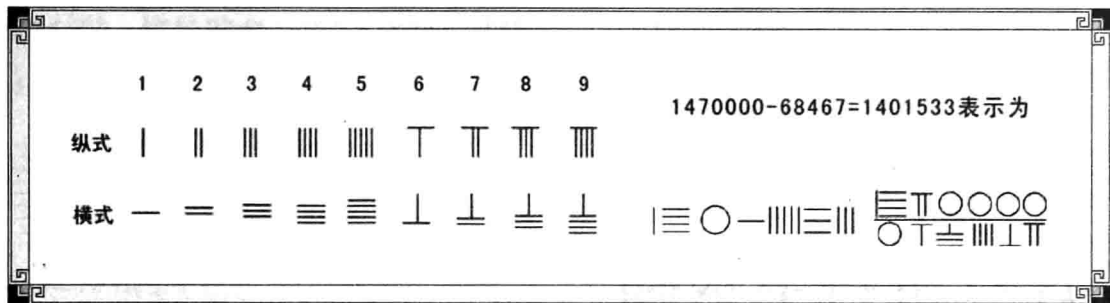


图 1-1 算筹数字表示方法

算盘是另一种古老的计算工具，由于算盘上计数的单位大多由珠子构成，因此也称为珠算。算盘由算筹演变而来，珠算分上下两档，上档一珠当 5，下档一珠当 1，这与纵式的算筹是完全一致的。珠算利用进位制计数，通过拨动算珠就能很快地进行计算。由于算盘结构简单、计算方便迅速、价格低廉又便于携带，在计算器盛行之前一直在我国的经济生活中长期发挥着重大作用，直到今天国内一些幼儿园中还开设珠算课程。

(2) 纳皮尔的骨头

约翰·纳皮尔是 16~17 世纪苏格兰数学家、物理学家兼天文学家，他最为人所熟知的是发明对数和纳皮尔的骨头计算器。纳皮尔于 1617 年在他所著的一本书中介绍了一种利用工具计算乘法的简便方法，这个工具被后人称为“纳皮尔棒”或“纳皮尔的骨头”。纳皮尔的骨头也是由一些表面刻着类似乘法数字的棍状的木头或骨头组成，但它的原理却与中国的算筹大相径庭，纳皮尔的骨头的原理类似于竖式乘法，它是根据乘数和被乘数排列好木棍的顺序，这样仅需要做简单的加法就能计算出乘积等复杂的运算，从而大大简化了计算过程。

(3) 计算尺

计算尺，即对数计算尺，也称为滑尺，是一种模拟计算机，通常由 3 个互相锁定的有刻度的长条和一个滑动窗口（称为游标）组成，如图 1-2 所示。在 20 世纪 70 年代之前广泛使用，之后被电子计算器所取代，成为过时技术。

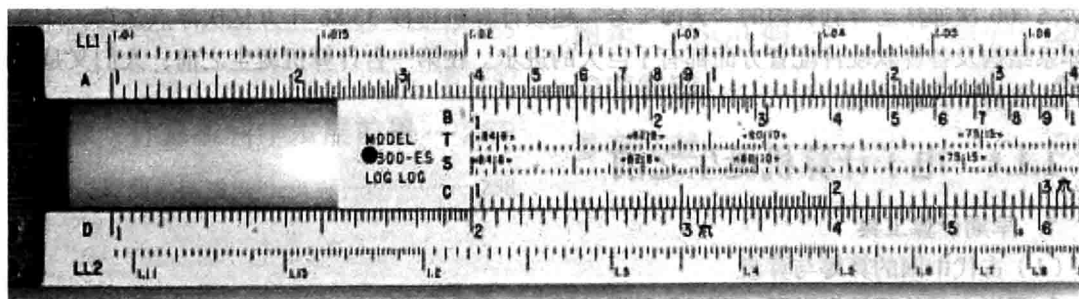


图 1-2 计算尺

计算尺发明于 1620—1630 年，在约翰·纳皮尔对数概念发表后不久，英国牛津大学的埃德蒙·甘特发明了一种使用单个对数刻度的计算工具，当和另外的测量工具配合使用时，可以用来做乘除法。1632 年，剑桥大学的威廉·奥垂德将两把甘特式计算尺组合起来使用，发现可以更加便捷地进行计算，这便是计算尺的前身。

在使用计算尺进行数学计算时，通常通过把滑动杆上的记号和其他固定杆上的记号对齐来进行，结果通过观察杆子上的其他记号的相对位置来读出。在其最基本的形式中，算尺用两个对数

标度来做乘除法这种在纸上既费时又易出错的常见运算。算尺本身只提供结果的数字序列，使用者通过估计决定小数点在结果中的位置来获得最终结果。更复杂的算尺可以进行其他计算，例如平方根、指数、对数和三角函数等。

2. 机械式计算机

机械时代计算装置的主要特点是利用了齿轮、杠杆等各种机械传动装置达到计算的自动化，包括进位的自动传送等，而机械装置的主要动力来自计算人员的人力。

(1) 帕斯卡加法器

帕斯卡加法器是由法国著名哲学家、数学家布雷斯·帕斯卡于 1642 年为了帮助其父亲进行税务计算而发明的机器，它是第一台真正的机械式计算器。

帕斯卡加法器的外形如图 1-3 所示，它的操作面板上由 6 个滚轮构成，因此也称为滚轮式加法器，它是利用齿轮传动的原理，通过手工操作来实现加减运算的机器。加法器从右至左的每个滚轮依次代表个、十、百、千、万、十万这 6 个位数，每个轮子上又刻着 0~9 这 10 个数字。利用加法器进行加法运算时，先在滚轮上按照位数和各个位数的数字拨出第一个加数，再按照第二个加数的各位数字在对应滚轮上转动相应格数，最终面板上显示的数字即为两数相加之和，如果是执行减法，则只需在第二步时向相反方向转动滚轮即可。加法器的精妙之处在于能够通过齿轮等机械传动装置使某一位产生进位或退位时自动对其他数位的数值进行改变，同时也给人们以启示：用一种机械装置去代替人们的思考和记忆是完全可以做到的。

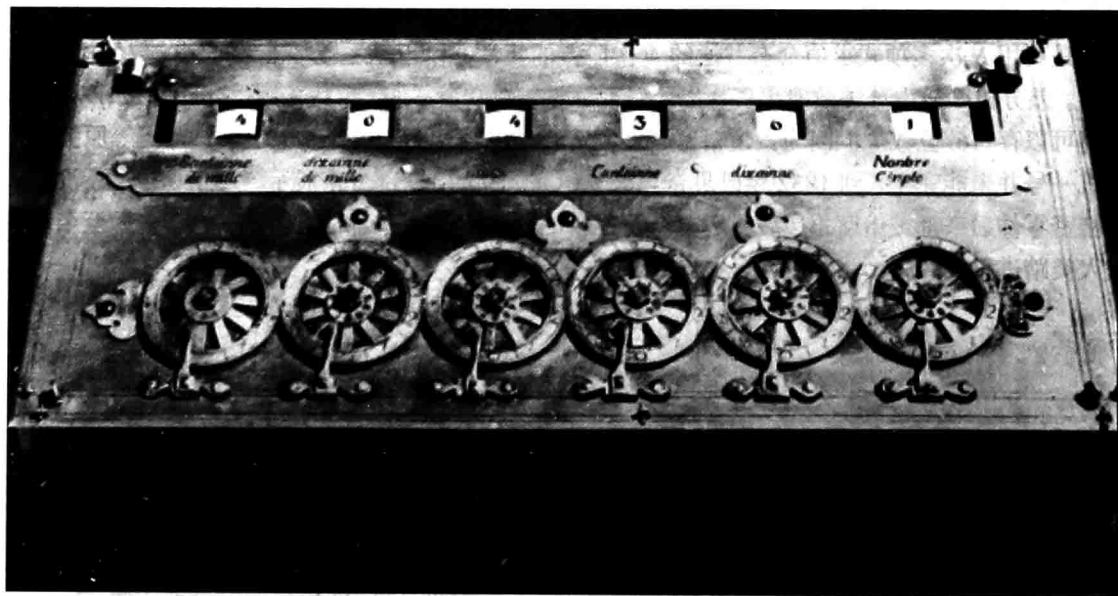


图 1-3 帕斯卡加法器

(2) 莱布尼茨乘法器

发明了二进制的德国哲学家、数学家莱布尼茨于 17 世纪 70 年代设计并建造了一台可以进行加、减、乘、除四则运算的机器，后人通常称其为莱布尼茨乘法器。莱布尼茨乘法器的基本原理和帕斯卡加法器相同，同样是利用了齿轮体系来传动，但除了加、减法之外，还能进行乘、除法的运算，还有一系列加、减后的平方根算法，这是通过一种称为“步进轮”的装置完成的。步进轮是一个有 9 个齿的阶梯型柱体，9 个齿依次分布于圆柱表面；步进轮旁边另有可以沿着轴向移动的小齿轮，以便逐次与步进轮啮合。每当小齿轮转动一圈，步进轮可根据它与小齿轮啮合的齿

数，分别转动 1/10 圈、2/10 圈……直到 9/10 圈，这样一来它能够连续重复地做加减法。通过使用者转动手柄，使这种重复的加减运算转变为乘除运算。莱布尼茨乘法器长约 1m，宽 30cm，高 25cm，如图 1-4 所示。

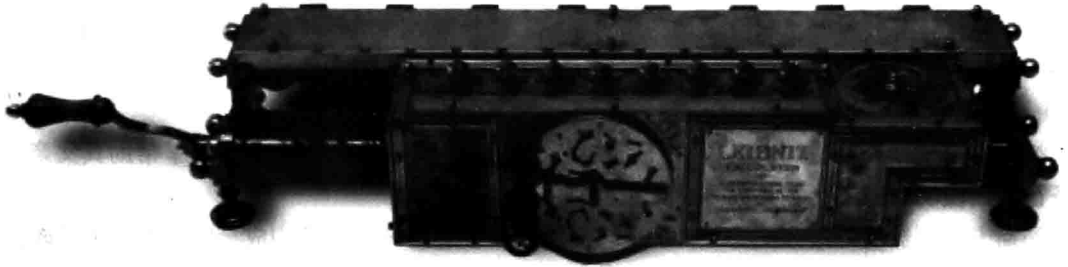


图 1-4 莱布尼茨乘法器

(3) 差分机和分析机

英国数学家、发明家、机械工程师查尔斯·巴贝奇于 19 世纪初期提出了差分机和分析机的概念，为现代计算机设计思想的发展奠定了基础，差分机和分析机在计算机发展史上占有重要的地位，巴贝奇也被视为计算机先驱。

巴贝奇首先设计了差分机一号，他设计计算机器的最初目的是利用“机器”将计算到印刷的过程全部自动化，全面去除计算错误、抄写错误、校对错误、印制错误等人为疏失。而差分机一号则是利用 N 次多项式求值会有共通的 N 次阶差的特性，以齿轮运转带动十进制的数值相加减、进位。差分机一号由英国政府出资，预计完工需要 25000 个零件，重达 4 吨，可计算到第六阶差，最高可以存 16 位数。但因为大量精密零件制造困难、设计不断被修改以及人员冲突等原因，差分机一号并未能完工，到 1832 年巴贝奇只能拿出完成品的 1/7 部分来展示，12 000 多个还没用到的精密零件后来都被熔解报废，不过差分机运转的精密程度仍令当时的人们叹为观止，至今依然是人类踏进科技的一个重大起步。

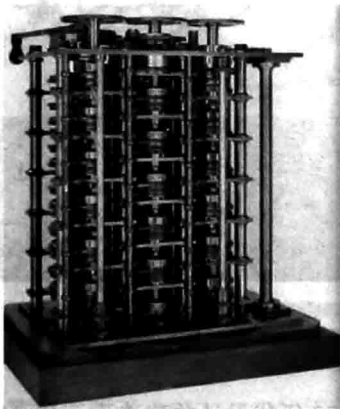


图 1-5 差分机

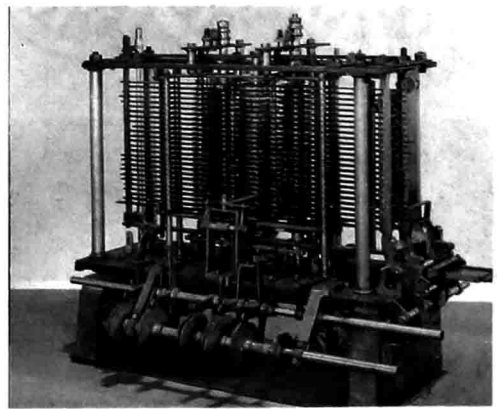


图 1-6 分析机

在差分机一号搁浅之后，巴贝奇仍继续工作，设计一台更为复杂的机器——分析机。这台机器本有希望成为真正的计算机，可以运行包含“条件”“循环”语句的程序，有暂存器用来存储数据，不过同样没有完成。然而巴贝奇计划在分析机上使用的穿孔卡控制机器却是人类计算机历史上的一次重大飞跃，利用穿孔卡可以让分析机按任何制定的公式去执行计算，这与现代计算机

编程的概念是完全一致的。之后巴贝奇又于 1849 年设计了具有更高精度、能执行更复杂计算的差分机二号,但由于失去政府资助等原因,同样未能实现,但巴贝奇设计的差分机和分析机对计算机发展的贡献是不可磨灭的。后人仿制的差分机和分析机如图 1-5 和图 1-6 所示。

3. 机电计算机

电动机械时代的计算机器的特点是使用电力作为驱动计算机的动力,但机器结构本身还是机械式结构。

(1) 制表机

19 世纪美国每 10 年就要进行一次人口普查,由于人口的不断增长,利用传统的人工统计方法进行一次人口普查的时间将超过 10 年普查周期,这样人口普查就没有意义了,利用更高效的机器提高统计效率迫在眉睫。1886 年,美国人口统计局的统计学家赫尔曼·霍勒瑞斯博士借鉴了雅各布织布机的穿孔卡原理,用穿孔卡片存储数据,用电磁继电器代替一部分机械元件来控制穿孔卡片,制成第一台机电式穿孔卡系统——制表机。制表机加快了数据处理速度,避免了手工操作引起的差错,这台机器参与了 1890 年的美国人口普查工作,结果仅用了六周时间就得出了准确的人口数据,还曾在奥地利、加拿大、挪威等许多国家的人口普查中被使用。于是霍勒瑞斯于 1896 年创建了制表机公司 (Tabulating Machine Company, TMC), 1911 年, TMC 与另外两家公司合并,成立了 CTR 公司。1924 年, CTR 公司改名为国际商业机器公司 (International Business Machines Corporation, IBM), 这就是长期占据大型计算机制造业霸主地位的 IBM 公司的由来。1890 年的制表机如图 1-7 所示。

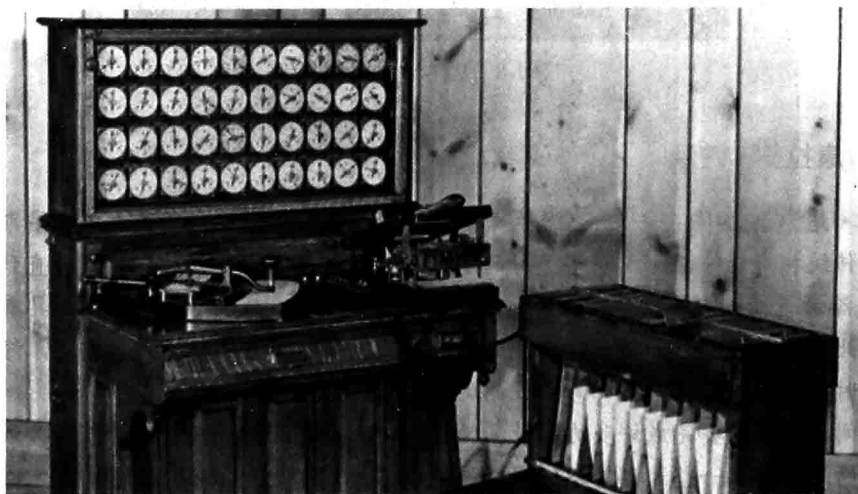


图 1-7 制表机

(2) Z 系列计算机

1934 年,德国工程师、计算机先驱和发明家康拉德·楚泽开始致力于计算机的研制,他设计的第一台计算机 Z1 于 1938 年完成, Z1 是一种纯机械式计算装置,它有可存储 64 位数的机械存储器,并与一个机械运算单元相连接, Z1 的运算速度较慢,可靠性并不可观。早在 Z1 完成之前,楚泽就已经开始设计 Z1 的下一代计算机 Z2, Z2 计划采用电器元件并于 1940 年研制完成。在 Z2 的基础上楚泽开始研制他的第三代计算机 Z3,并于 1941 年研制成功。Z3 是世界上第一台采用电磁继电器控制并可以由程序控制的计算机,它使用了 2 600 个继电器,采用浮点二进制数进行运算,采用带数字存储地址形式的指令,这些设计思想虽然在楚泽之前就已被提出,但是楚泽第一

次具体实现。Z3 能够进行数的四则运算和求平方根，进行一次加法用时 0.3s，并且 Z3 计算机的体积比同时代的计算机体积小很多，而且可以通过程序控制。Z3 计算机工作了 3 年，1944 年美国空军对柏林实施空袭，楚泽的住宅连同 Z3 计算机一起被炸得支离破碎。在德国法西斯即将毁灭前夕，楚泽于 1945 年又建造了一台比 Z3 更先进的电磁式 Z4 计算机，存储器单元也从 64 位扩展到 1 024 位，继电器几乎占满了一个房间。为了使机器的效率更高，楚泽甚至设计了一种编程语言 Plankalkuel，这一成果使楚泽也跻身于计算机语言先驱者行列，该语言也被视为现代算法程序设计语言和逻辑程序设计语言的鼻祖。

图 1-8 为晚年的楚泽与 Z1 的仿制品。

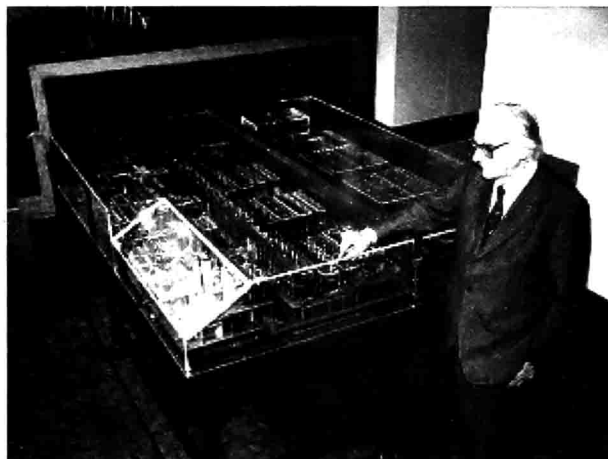


图 1-8 楚泽与 Z1 仿制品

扩展阅读：康拉德·楚泽

康拉德·楚泽于 1910 年 6 月 22 日生于德国维尔梅斯多夫，在东普鲁士接受早期教育。东普鲁士的文化传统相当保守，为了获得更好的发展，他进入一所比较开放的学校，直到高中毕业。1927 年，楚泽考进柏林工业大学，学的是土木工程建筑专业。他从小爱好绘画，具有非常好的美术功底，因此很快就学会了如何设计房屋结构和外观。多才多艺的楚泽兴趣广泛，修理机器的活也很拿手，时常动手制作出一些稀奇古怪的玩艺，让班上的同学大吃一惊。

求学期间，楚泽需要完成许多力学计算的功课，如桥梁、材料强度设计等，必须自己动手根据公式算出结果，往往一整天都算不完一道强度核算题目。一天，在疲惫不堪地完成老师布置的作业后，楚泽突然发现，写在教科书里的力学公式是固定不变的，他们要做的只是向这些公式中填充数据，这种单调的工作，应该可以交给机器做。

1935 年，楚泽获得了土木工程学士学位，在柏林一家飞机制造厂找到了工作，主要任务恰好是他最挠头的飞机强度分析，烦琐的计算现在变成了他的主要职业，而辅助工具只有计算尺可用。楚泽想制造一台计算机的愿望愈来愈强烈，他在这家工厂里只待了短短的几个月，便辞职回家做他的“发明梦”，迈出了成为计算机先驱的第一步。

(3) 自动序列控制演算器

自动序列控制演算器的全称为哈佛-IBM 自动序列控制计算机 (Harvard-IBM Automatic Sequence Controlled Calculator)，它也是机电计算机的典型代表。美国哈佛大学应用数学教授、计

计算机先驱霍华德·艾肯 (Howard Aiken, 1900—1973 年) 于 1939 年在哈佛大学取得博士学位, 他当时正苦恼于解决微分方程的求解问题, 传统的计算方式使求解效率十分低下又占据大量时间。在阅读了巴贝奇和艾达·拉芙蕾丝关于差分机和分析机的文献后他深受启发, 提出将巴贝奇分析机纯机械的实现方法改为机电结合的实现方法, 于是在 IBM 公司的资助下他成功设计出一台计算机, 其原名为自动序列控制演算器 (Automatic Sequence Controlled Calculator, ASCC), 之后更名为哈佛马克一号 (Harvard Mark-I)。马克一号最终于 1944 年完成并被搭建在哈佛校园内, 长 15.5 米, 高 2.4 米, 由超过 75 万个零件构成, 如图 1-9 所示。艾肯又于 1947 年完成了马克二号, 之后又完成了更加先进的马克三号 and 马克四号。马克三号仍是机电式计算机, 而马克四号已成为完全由电子部件构成的计算机了, 马克三号和马克四号使用磁鼓作为存储器介质, 马克四号同时还有磁芯存储器。霍华德·艾肯的马克系列计算机在计算机发展史上占有十分重要的地位, 同时这一时代的计算机应用了大量继电器, 为早期电子计算机的设计制造积累了经验, 为现代计算机的发展奠定了十分坚实的理论和时间基础。



图 1-9 马克一号计算机

1.1.2 电子计算机的发展

从 20 世纪 30 年代开始, 科学家认识到电动机械部件可以由简单的真空管来代替, 在这种思想的引导下, 机电计算机中的机械部件被电子部件替换, 真正的电子计算机开始登上历史舞台。按照电子计算机使用元件的不同, 可将电子计算机分为电子管计算机、晶体管计算机、集成电路计算机、大规模集成电路计算机这四代。

1. 第一代计算机: 电子管计算机

电子管计算机主要存在于 1946—1957 年, 其主要特点为:

- (1) 主要元件由放大电信号的电子管代替了机电时代的机械装置和继电器;
- (2) 运算速度低为几千次每秒, 高至几万次每秒; 计算机成本较高、可靠性较低、体积十分庞大;
- (3) 可以使用介质存储程序, 介质从早期的水银延迟线和静电存储管发展到后来的磁鼓和磁

芯, 存储容量进一步增大;

(4) 程序采用的指令由十进制转变为二进制, 这一阶段主要编写程序的语言是机器语言和汇编语言, 机器语言全由二进制数 0 和 1 构成, 极容易出错又消耗时间, 汇编语言的出现使这一情况有所改观, 但编写程序仍然十分困难;

(5) 程序的输入和输出采用穿孔卡, 用有孔和无孔对应二进制数的 0 和 1, 速度较慢;

(6) 这一阶段的计算机主要用于执行科学计算, 很少用于其他领域。

电子管计算机时代开启的标志是普遍认为的第一台电子计算机——ENIAC 的诞生。ENIAC 的全称为“电子数值积分计算机”(Electrical Numerical Integrator and Computer, ENIAC, 读作“埃尼阿克”), 是为了计算导弹的弹道而研制的。第二次世界大战中, 美国宾夕法尼亚大学穆尔学院同阿伯丁弹道研究实验室共同负责为陆军每天提供 6 张火力表, 而每张火力表都要计算几百条弹道, 对于人工计算弹道的方式来说从时间上是完全不可行的。在穆尔学院任教的莫奇利 (John W. Mauchly, 1907—1980 年) 在参观军方实验室之后于 1942 年 8 月题写了《高速电子管计算装置的使用》, 称为 ENIAC 的初始设计方案。莫奇利在研究生约翰·埃克特 (John P. Eckert, 1919—1995 年) 的帮助和美国陆军的资助下开始了 ENIAC 的设计和建造, 建造合同在 1943 年 6 月 5 日签订, 实际的建造在 7 月以“PX 项目”为代号秘密开始, 由宾夕法尼亚大学穆尔电气工程学院进行, 建造 ENIAC 花费了将近 50 万美元。建造完成的机器在 1946 年 2 月 14 日公布, 并于次日在宾夕法尼亚大学正式投入使用, 之后于 1946 年 7 月被美国陆军军械兵团正式接受。为了翻新和升级存储器, ENIAC 在 1946 年 11 月 9 日关闭, 在 1947 年转移到了马里兰州的阿伯丁试验场, 并在那里继续工作到 1955 年。

ENIAC 每秒可进行 5 000 次简单的加减运算或 385 次乘法运算, 它包含了 17 468 个真空管、7 200 个晶体二极管、1 500 个继电器、10 000 个电容器, 还有大约 500 万个手工焊接头。它的重量达 27 吨, 体积大约是 2.4 米×0.9 米×30 米, 占地 167 平方米, 耗电 150 千瓦, 如图 1-10 所示。有传言说, 每当这台计算机启动的时候, 费城的灯都变暗了。ENIAC 的输入和输出装置采用 IBM 的卡片阅读器和打卡器。

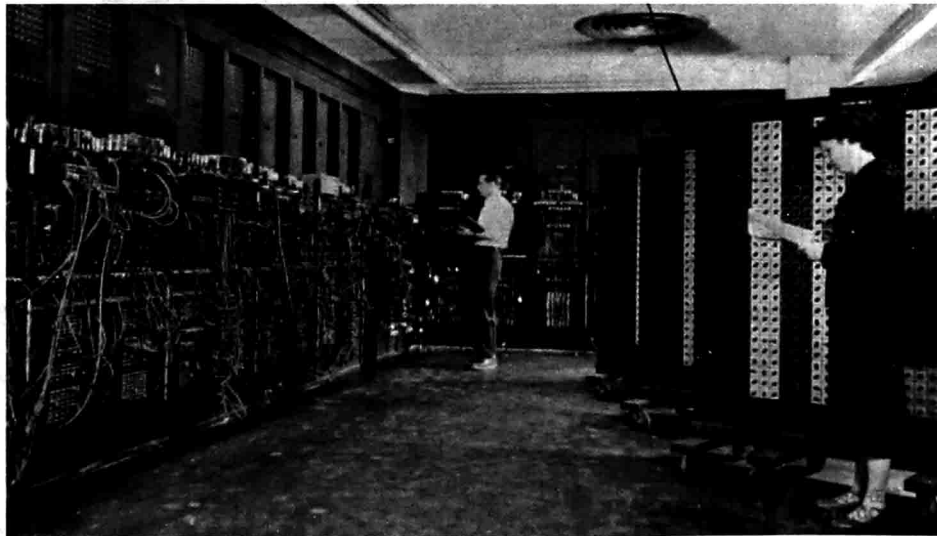


图 1-10 电子计算机 ENIAC

但是实际上 ENIAC 并不是真正的第一台电子计算机, 第一台电子计算机是于 1939 年在爱荷