中国科技的梦想与荣光

超级计算机

——挑战运算速度极限

刘树勇　韦中燊　著



河北出版传媒集团
河北科学技术出版社

图书在版编目（CIP）数据

超级计算机：挑战运算速度极限 / 刘树勇，韦中燊著. -- 石家庄：河北科学技术出版社，2019.9
（中国科技的梦想与荣光 / 刘树勇主编）
ISBN 978-7-5717-0053-9

Ⅰ. ①超… Ⅱ. ①刘… ②韦… Ⅲ. ①超级计算机—介绍—中国 Ⅳ. ①TP338

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第159730号

超级计算机——挑战运算速度极限

刘树勇　韦中燊　著

出版　河北出版传媒集团　河北科学技术出版社
地址　石家庄市友谊北大街 330 号（邮编：050061）
经销　新华书店
印刷　北京兴星伟业印刷有限公司
开本　700 毫米 × 1000 毫米　1/16
印张　11.5
字数　144 000
版次　2020 年 4 月第 1 版
印次　2020 年 4 月第 1 次印刷
定价　35.00 元

序

中国科技在古代曾经灿烂辉煌，为人类文明做出过重大贡献。但是自明末之后，中国科技开始渐渐落后于西方。新中国成立之初，中国科技特别是高新技术领域几乎一穷二白，在极其困难的情况下，中国科技工作者发扬自力更生、艰苦奋斗精神，奋起直追。1964 年 10 月 16 日 15 时中国第一颗原子弹爆炸成功，1967 年 6 月 17 日 8 时中国第一颗氢弹空爆试验成功，1970 年 4 月 24 日 21 时中国第一颗人造卫星发射成功……以“两弹一星”为标志，中国开始了自身现代历史上第一次自主科技创新的历程。1978 年全国科学大会召开，中国迎来了“科学的春天”，在航空航天、超级计算机、海洋科学、超级工程、医药科技等众多领域取得了举世瞩目的成就。进入 21 世纪以来，我国科技发展突飞猛进，取得了一批引领世界的科技成果。正如习近平总书记在党的十九大报告中指出：“创新驱动发展战略大力实施，创新型国家建设成果丰硕，天宫、蛟龙、天眼、悟空、墨子、大飞机等重大科技成果相继问世。”一系列“叫得响、数得着”的科技成果，惊艳世界。这些科技成果既增强了我国综合国力，又为改善人民生活水平做出了重大贡献。

河北出版传媒集团领导高度重视宣传我国发展伟大成就，亲自谋划选题，指导河北科学技术出版社组织有关专家、科普作家编写了这套《中国科技的梦想与荣光》科普图书。这套书主要介绍了包括太空探索、北斗导航、中国天眼、量子通信、中国大飞机、深海探测、巨型计算机、中国高铁等近些年对中国乃至世界产生重大影响的科技成

果。在这套书中，读者在了解当代最前沿科学技术知识的同时，还会从中看到我国科学技术工作者“坚持、坚忍、坚韧”的可贵品格和“勤奋学习，自主创新”的精神；在生动有趣的科学故事中，读者可以了解到其中蕴含的科学思想、科学精神和科学方法，潜移默化中提高自己的科学素养；读者也会从科技工作者的勤奋、创新、拼搏和献身精神中受到鼓舞，并以更大的决心去迎接未来的挑战，为实现中华民族的伟大复兴而努力奋斗。

2019 年是新中国成立 70 周年，把新中国取得的科技成就宣传好，让更多的人了解中国科技发展历程，了解中国科学家艰苦奋斗、勇于创新的精神，在全社会形成爱科学、学科学、用科学的浓厚氛围，是一件很有意义的事情，我愿意向广大读者推荐这套科普图书。

中国工程院院士 [signature]

2019/9.

前 言

早在远古的时代，人类就具备了计算的能力，并在计算时已经能够熟练地运用一些工具，以存贮和控制其运算的过程；再后来，像中外人士发明的算筹、算盘和计算尺，都是性能优良的计算工具。17 世纪，帕斯卡和莱布尼茨研制出能够进行四则运算的机械计算机，并在 19 世纪被巴贝齐和开尔文进一步推动着。特别是巴贝奇的一些思想，在 20 世纪电子计算机的发展中得到了体现，而微分分析仪也把开尔文的想法进一步实现。

随着电子技术和半导体技术的发展，20 世纪的电子计算机的运算速度上不断提升，集成电路技术的发展也影响着电子计算机的发展，进而影响着第三次技术革命的发展。

在中国，电子计算机的发展主要是在 20 世纪下半叶，大致经历了第一代电子管计算机的发展（1956 ~ 1964 年），第二代晶体管计算机的发展 (1963 ~ 1972 年)，第三代中小规模集成电路的计算机研制 (1973 年 ~ 80 年代初)。

改革开放后，中国的电子计算机技术获得了迅速的发展，不断取得重要的成果。在 1978 年中国科学大会上，国家提出了要搞大型电子计算机的项目。5 年后，作为一个标志性的事件，中国国防科技大学研制成功“银河Ⅰ”号。这成为中国超级计算机研发工作一个良好的开端。“银河Ⅰ”号的峰值速度超过 1 亿次 / 秒。它标志着，继美国和日本之后，中国成为能够独立研制巨型计算机的国家，初步显示出中国科学家在世界计算机科技竞赛中不俗的实力。

十年后（1993 年），由国家智能计算机研究开发中心研制成功“曙



光一号”超级计算机，它的运算速度达到 6.4 亿次 / 秒，并且在设计中采用了对称式紧耦合并行机的技术。1998 年，由国家并行计算机工程技术研究中心研制成功“神威一号”超级计算机，它的运算速度达到 3840 亿次 / 秒，它标志着继美国和日本之后，中国成为具备独立研制千亿次高性能计算机的国家。

进入 21 世纪，中国超级计算机的研发取得了更加骄人的成绩。2009 年，国防科技大学研制成功“天河一号”，运算速度达到 1206 万亿次 / 秒，是中国首台千万亿次超级计算机。

2011 年，由国家并行计算机工程技术研究中心研制成功“神威蓝光”超级计算机，它的运算速度达到 1100 万亿次 / 秒，是国内首台全部采用国产处理器和系统软硬件构建的千万亿次计算机系统。这是继美国和日本之后，中国成为能够采用自主 CPU 构建千万亿次超级计算机的国家。

2013 年，由国防科技大学研制成功“天河二号”，运算速度达到 5.49 亿亿次 / 秒，成为中国首台在全球 500 强中首次夺冠的超级计算机，比第二名的美国超级计算机“泰坦”的速度高出一倍。2015 年，由国家并行计算机工程技术研究中心研制成功“神威・太湖之光”超级计算机，它的运算速度达到 10 亿亿次 / 秒。这台计算机全部采用国产高性能处理器，处于世界领先水平。

面对超级计算机发展的辉煌，特别是中国计算机发展的历程，我们足以为之骄傲。当然，回顾计算机的发展历程也是必要的，我们也应该为人类的祖先而自豪。

编　者

2019 年 3 月

目 录

一、古人的计算器…… 1

契刻和绳结——最早的计算 …… 1

从算筹到算盘 …… 3

铺地锦的算法与耐皮尔的算筹 …… 5

对数的发明 …… 7

工程师的利器——计算尺 9

二、机械计算机和机电计算机的发展…… 13

能进行四则运算的机器 … 13

神奇的差分机和分析机 … 16

制表机和打孔纸卡 …… 20

开尔文的杰作 …… 23

布什的远见 …… 25

用继电器造计算机 …… 27



楚泽的计算机 …… 28

贝尔电话实验室的复数计算机 …… 31

艾肯的马克型机 …… 34

三、开创硅的时代…… 37

电子管的发明 …… 37

印刷电路的发明 …… 41

晶体管的发明 …… 42

集成电路的发明 …… 46

微处理器的杰作——4004 49

从 8008 到 8088 芯片 …… 54

王安 …… 58

基耳比 …… 59

诺伊斯 …… 61

四、破译密码和计算机的恩恩怨怨…… 66

波兰人开创密码学 …… 66

破译“隐谜”密码 …… 68

布雷契莱庄园的传奇 …… 69

“巨人” …… 73

图灵 …… 74

阿塔那索夫与 ABC 计算机 77



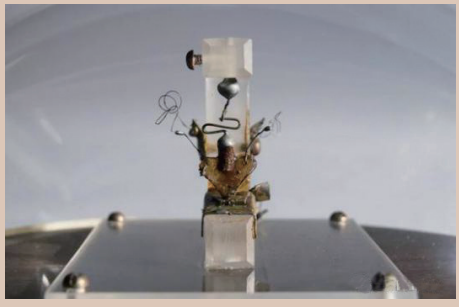
ABC 样机的研制 …… 79
莫奇利的经历 …… 82
莫尔学院研制计算机的
传统 …… 86
埃尼阿克诞生记 …… 88

五、电子计算机与硅谷的奇迹… 94
晶体管计算机和集成电路
计算机 …… 94
信息技术的圣地——硅谷 96
少年“计算机迷” …… 98
苹果机的传奇 …… 102
盖茨与 PC 机 …… 106
盖茨、艾伦与微软的奇迹 110
乔布斯与苹果的奇迹 …… 113
巨型计算机之父——克雷 … 116

六、中国计算机的篇章…… 121
早期的发展 …… 121
文字处理的技术 …… 127
改革的成绩——第四代计算机的
发展 …… 131
银河计算机 …… 134
曙光计算机 …… 137
神威计算机 …… 140
龙芯 …… 142
中国计算机事业中的英杰 … 143

七、人工智能的时代…… 148
机器人的初期发展 …… 148
工业机器人和它的
“感官” …… 150
会行走的机器人 …… 152
面部识别技术 …… 153
机器人写作 …… 155
机器人下棋 …… 156
图灵测试大关 …… 158
蓝色基因的传奇 …… 161
超级计算机“争霸” …… 163
亿亿级超级计算机 …… 167
智能化展望 …… 167
人工智能的“威胁” …… 170
【结束语】 …… 174

后记 …… 176





一、古人的计算器

人类的计数能力并非是与生俱来的。在很长的时间里，人类并不知“数”为何物。对于人何时才有数量的概念和计数的方法，已经很难知晓。但是，借助手指来计算，就像人“与生俱来”的本领，并在后来逐步发展出一些利用小棍来计算的技术。

契刻和绳结——最早的计算

1960 年，一位比利时探险家在位于今天乌干达和刚果边界一个叫“伊珊郭”的渔村发现了两块距今 20 000 年的狒狒腓骨（后被称为“伊珊郭骨”），其上有规则的刻痕。现收藏在比利时布鲁塞尔的自然历史博物馆。这应该是远古人类发明数字的一个证据。另外，在捷克境内发现了距今 32 000 年的狼骨，人们发现，这块狼骨头上刻着 55 个刻痕，而且这些刻痕被分为 5 组。这样的计数方式应是最早的计数系统。远古的人类很可能已会用身边的石块在动物的骸骨上画上一些“竖道”，这些竖道有可能就是最原始的数。



刻痕计数

这样的计数方式简单直观，即使在现代，人们在记录不大的数字时也仍会利用这样的方法，比如，用画“正”字的办法来进行计数。



人类早期的计数系统

不过，要用这种方法记下5000这样的数字时就会发现，这种计数方法显得较为“笨拙”。虽然人类的祖先早就对数量有了懵懂的意识，但直到更有效的计数方法出现后，人类才能踏上算术发展的“正途”。古埃及、古中国、古巴比伦和古印度这些文明古国都毫无例外地使用

了更加先进的计数方法。

在远古人使用的计算工具中，结绳记事的方法在古老的《易经》中已有记载。用绳子打的结大，说明是大事，结小是小事。绳结的多少还能说明某些物体的数量的多少。打绳结记事的办法在印加帝国也曾普遍使用，皇帝“诏书”的内容就是用一串串绳结来传达各种事项的。

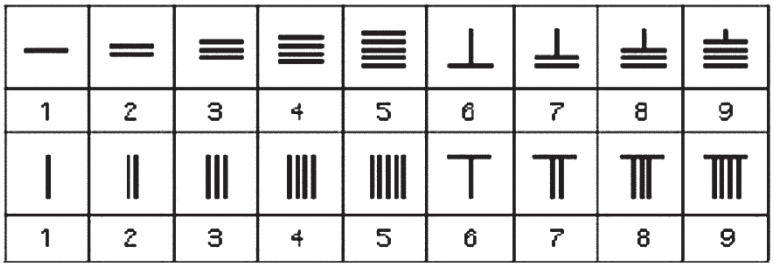
从算筹到算盘

在文字被发明之后，也出现了数字的象形符号，数量可用某些符号的组合来表示。在古代中国，数字符号被使用了很长的时间，直到公元前 400 年，人们开始应用一种类似于今天十进制位值计数法的方式来表示数字，这就是“算筹”。看上去，它们就是一些摆放不一的道道儿。

“算筹”是中国古人为了运算所发明的工具，它也被简称为“筹”。这是一些用竹子或木棍制成的小棍儿。当然，也有铁制和铜制的“筹”，甚至还有用象牙制的。1971 年，在陕西千阳县出土了西汉时期的骨质算筹，这种骨质算筹长 13 厘米，是目前所见到的最早的算筹之一。

算筹的具体使用方法是这样的，先确定从 1 到 9 的摆放方式，分为横式和纵式。其具体摆放如下：

每个数字都对应横式和纵式两种形式。按照规则，人们要从右到



算筹：横式与纵式



左以纵式起始（个位），再交替地使用横式、纵式、横式……依次摆出的数字所对应的是个位、十位、百位、千位……由于用算筹表示的数字在位与位之间纵横交错，连续的纵式或横式还暗示着，中间有一个不摆放数字的位置（相当于“零”）。这样，中国古人就巧妙地且清楚地展现了位值计数法所带来的便利。除了筹算，中国古人还发明了另一种算法——珠算。进行珠算的工具是算盘。

关于算盘的起源和发明时代问题，现在学术界还有很多不同意见，有学者根据西周陶丸的发现，主张算盘在西周的时候就已经产生，但西周陶丸的出现只能作为西周时期人们已用珠进行计数或计算的依据，并不能明确表明西周就有算盘。东汉末年数学家徐岳（？—220 年），在他的《数术记遗》中写道：“珠算控带四时，经纬三才。”这句话有些含糊，为此北周数学家甄鸾写出注解：“刻板为三分，位各五珠，上一珠与下四珠色别，其上别色之珠当五，其下四珠各当一。”这说明，至迟在东汉就已有算盘，并规定，中梁以上一珠当五，中梁以下各珠当一。另据徐岳记述，他的老师刘洪曾请教于一位道家先生，这位先生列出了 14 种计算方法，其中有一种就是珠算。

宋代，中国社会的经济和贸易事业发展得很快，人们在交易过程中要进行大量的计算，从画家张择端的《清明上河图》中就可以看到当时社会的繁荣景象，有趣的是，在这幅画中还能看到一个算盘。可见，北宋我国就已经普遍使用算盘这种计算工具了。1274 年，宋代数学家杨辉在《乘除通变算宝》里，1299 年，元代数学家朱世杰（1249—1314 年）在《算学启蒙》里都记载了有关算盘的“九归除法”。1450 年，元代数学家吴敬（约 1390—1460 年）在《九章详注比类算法大全》里，对算盘的用法有较为详细的记述。

15 世纪中期，《鲁班木经》中记载了制造算盘的规格。由于算盘的普及，论述珠算的著作也随之产生，流行最久的珠算书是 1592 年明

代数学家程大位（1533—1606 年）所辑的《算法统宗》。《算法统宗》是一部以珠算应用为主的算书，全书共 17 卷，有 595 个应用题。书中载有珠算口诀，并举例说明如何按口诀在算盘上演算。对于开平方和开立方的珠算法也是此书中首先提出来的。明代科学家朱载堉（1536—1611 年）就用珠算开方的方法，提出了十二等程律，解决了困扰中国乐律学界千年的转调问题，在音乐理论史上具有划时代意义。通俗地说，如果从世界的范围来看，没有朱载堉的贡献，就很难有现代钢琴的诞生。

此外，珠算还传入了日本、朝鲜等地，为当地人们提供了更有效的计算手段。作为中国传统文化之一，珠算没有被世人遗忘和摒弃，由之发展起来的珠心算已经在全世界发展的如火如荼。

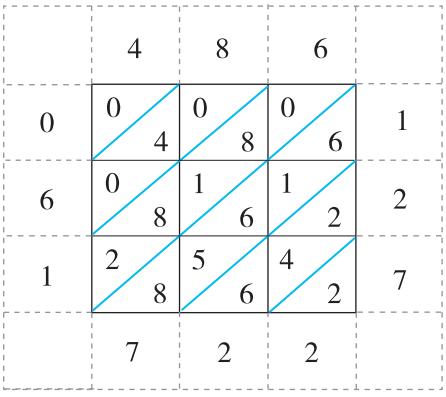
铺地锦的算法与耐皮尔的算筹

不只是中国的珠算传到国外，国外的一些算法也传到了中国，如“格子乘法”（或称为“格子算法”）。其实早在中世纪，这种算法就从中亚地区传到世界其他许多地区。1427 年，阿拉伯数学家阿耳·卡西（1380—1429 年）写的《算术之钥》中就有“格子乘法”。15 世纪末，欧洲流行一种“格子乘法”。在我国，吴敬的《九章算法比类大全》（1450 年）最早记录了“格子算法”，程大位的《算法统宗》（1592 年）也把“格子算法”记录下来，并称之为“铺地锦”或“写算”。

程大位还将之编写成歌诀：写算铺地锦为奇，不用算盘数可知。……照式画图代乘法，厘毫丝忽不须疑。

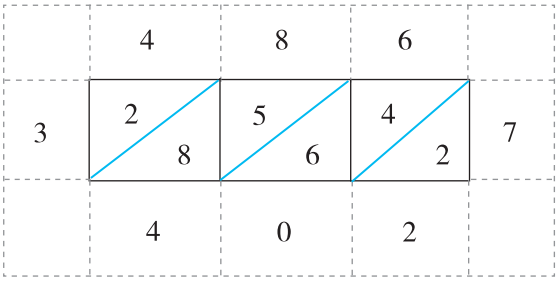
举个例子，计算 127×486，先画出一些小格子，再把相应的数字填入其中，而后一边运算，一边把数字“斜着”填入，最后“斜着”累加起来。

经过这样的一番计算，得到 $127 \times 486=61\,722$。



铺地锦图

对于这种算法，苏格兰数学家耐皮尔（1550—1617年）进行了改进。为了省去每次计算的过程，他把“格子乘法”的所有计算结果写在一些狭长的“算筹”上，在计算时，只需要把算筹摆放好，进行计算就可以了。例如，计算 7×486，如下：



耐皮尔算筹的算法

这样，利用耐皮尔的算筹，就很容易得到计算的结果。后来耐皮尔的算筹也传到中国，中国人把阿拉伯数字换成中文数字，这种算筹也就成了中国式的耐皮尔算筹。值得注意的是，中国人原来的算筹与此是不同的。在一些国外的博物馆有耐皮尔算筹的收藏，如法国巴黎艺术与手工艺品博物馆就收藏了不同时期的耐皮尔算筹。在故宫博物院也一直收藏着多副耐皮尔算筹。当然，由于在中国算盘已经很流行，

耐皮尔算筹的传播受到了一些限制。

耐皮尔的算筹为计算带来诸多好处，特别是提高了计算的速度。这也就引起了许多人的注意并进行改进。例如，在 1668 年，德国数学家加斯帕特·朔特提出了一种新的样式，采用刻上数字的圆柱形棍代替棒形的算筹。通常这些圆柱形算筹放到一个盒子之中。在运用这些算筹时，不必拿出来，这些算筹滚动起来很方便。

在清朝康熙年间（1662 ~ 1722 年），中国人还制造了一种在象牙圆柱形的算筹表面贴上数字的筹式计算工具。

耐皮尔算筹能使乘法、开平方和开立方运算得以实现，甚至一些三角的计算也可以实现机械化。在很长的时期内，一些国家都把这种算筹当成一种计算工具，并不断得到人们的改进，以适应不同的需求。直到英国数学家奥特雷德（约 1661—1660 年）研制成计算尺之后，耐皮尔算筹才逐渐地被冷落了。有趣的是，计算尺的基本原理——对数，也是耐皮尔发明的。

对数的发明

16 世纪末至 17 世纪初，耐皮尔把许多精力用在数学研究上，他从 1594 年就开始对对数进行研究了，为了更加简便的计算球面三角，耐皮尔发明了对数。耐皮尔根据一种非常独特的与质点运动有关的设想构造出所谓对数方法。这种对数方法的核心思想就是等差数列与等比数列之间的联系。耐皮尔在《奇妙的对数表的描述》中阐明了对数原理，被称为“耐皮尔对数”。经过了 20 年的持续不懈努力，最终取得了对数研究的成果。

德国的史提非也很早就开始研究对数。1544 年，史提非在《整数算术》中写出了两个数列，左边是等比数列，叫“原数”；右边是一个等差数列，叫（“原数”的）“代表”。也就是说，如果求左边任

意两数的“积”（或“商”），只要先求出它们的“代表”的“和”（或“差”），然后再把这个“和”（或“差”）去对应左边的一个“原数”，则此“原数”就是所求的“积”（或“商”）。可惜的是，史提非没有作进一步研究，也没有引入对数的概念。

瑞士的彪奇（1552—1632 年）独立地对对数进行研究比耐皮尔还要早，但直到 1620 年才公布了研究成果。另外，伦敦的斯皮德于 1619 年发表了《新对数表》。

意大利科学家伽利略（1564—1642 年）曾说：“给我时间、空间和对数，我可以创造出一个宇宙。”18 世纪的法国数学家拉普拉斯（1749—1827 年）也说过：“对数用缩短计算的时间来使天文学家的寿命加倍。”后来，德国思想家和哲学家恩格斯（1820—1895 年）对于对数也有高度的评价。他把对数与解析几何和微积分一起并称为 17 世纪“最重要的数学方法”。由此可见，对数的发明对当时社会的发展产生了重要的影响。

英国数学家布里格斯（1561—1631 年）对耐皮尔的对数研究很感兴趣。布里格斯是一位几何学教授，后任牛津大学的天文学教授。布里格斯最先认识到耐皮尔对数的重要意义，为了便于计算，布里格斯向耐皮尔建议建立以 10 为底的对数，即今天说的“常用对数”。

1648 年，波兰传教士穆尼阁（1611—1656 年）来到中国，1653 年他与薛凤祚（1599—1680 年）合编了《比例对数表》，这是中国最早引进的对数知识。清代数学家戴煦（1805—1860 年）研究对数很有成绩。他发明了一些简便的方法，并且写成了《对数简法》（1845 年）、《续对数简法》（1846 年）和《假数测圆》（1852 年），后来他将这些著作合编为《求表捷术》。英国人艾约瑟（1823—1905 年）在李善兰（1811—1882 年）和张福僖（？—1862 年）处见到戴煦的书之后大加赞赏。1854 年，艾约瑟特地到杭州拜访戴煦，但戴煦不见。艾约瑟虽然很失望，但仍然很敬佩戴煦。他还把戴煦的书译成英文，

寄给英国的“算学公会”。这也可以看作中西数学交流的一段佳话。

工程师的利器——计算尺

计算尺发明于 1620 ~ 1630 年间，布里格斯的对数研究成果引起了他的一位同事埃德蒙·冈特（也被译成“甘特”）的兴趣。冈特是一位天文学教授，1619 年在格雷沙姆学院工作。他很重视数学的应用，特别是在天文和航海工作中，要大量应用到三角计算。当时，布里格斯编制的对数表还不足以满足这些需求，于是冈特亲自动手编写了 7 位正弦对数表和正切对数表。应用这些对数表，使在进行与航海工作有关的计算量大为减少。

冈特还改进过一些计算装置，其中最有名的是比例规。比例规除了利用比例线段和比例规表面的各种刻度进行乘除法运算，还能求比例中项、开平方和开立方。冈特常常用比例规测量长度。一次，他突发奇想，能不能把这些测量经验与对数运算结合起来，使之产生一种新的计算方法。在 1621 年，冈特在一根长约 60 厘米的木尺上，标上对数的刻度。所谓的对数刻度相当于今天看到的对数坐标纸上的刻度。这样，冈特就制造出第一把对数刻度尺。这是一种使用单个对数刻度的计算工具，后来被称为“冈特式计算尺”，或简称为“冈特尺”。这种计算工具与别的测量工具配合使用时，可以用来进行乘除法运算，还可以免除查对数表的麻烦。冈特尺带来的便利，使它很快就在英国传播开来。由于数学家温盖特（1596—1656 年）的宣传，冈特的名声和他的计算工具还传播到欧洲大陆。

冈特尺只能精确到 2 位或 3 位，但是能进行乘除法的运算。正是冈特的对数刻度尺开创了“模拟计算”的先河，导致最早的计算装置——计算尺的诞生。与别的计算器不同的是，这种计算尺的特点表现在，它是用长度来模拟一个数的对数值。



本来冈特还想对于新的计算尺进行改进，但 1626 年，他不幸去世，当时只有 45 岁。此后，对于计算尺的改进，就由剑桥大学的威廉·奥特雷德承担。奥特雷德是当时英国的第一流的数学家。在剑桥大学毕业后，他当过牧师和主教等职务，但是，他的大量的时间都用在数学研究上，有时，一天只睡上两三个小时。他曾经访问过布格里斯，也认识冈特，还与冈特一起对计算装置进行过探讨。奥特雷德对于冈特的对数计算尺很了解，在使用时，要用两脚规去测量。在 1621 年的一天，奥特雷德突发奇想：如果做出两把对数尺，这两把对数尺可以相互滑动，就可以省去两脚规了，这样就实现了一种“机械化”。此后，他又改进了计算尺的直尺外形，制成两个圆盘，一个比另一个稍微大些，再在圆盘的边缘划出对数刻度。而后把这两个带有刻度的圆盘固定在一起，借助它们的相互旋转，也能起到像直线形的对数尺那样的计算效果。这种新型计算尺可算是一种重要的发明。

在 1630 年，奥特雷德的一个学生福斯特偶尔提到，在使用冈特对数尺时，可以改用一个长约 2 米的刻度尺，而为了测量这样的长度就要使用长脚规了。对此，奥特雷德建议，可以使用两根可以彼此滑动的对数尺，就能省去长脚规了。奥特雷德还向学生展示了他在 1622 年发明的“比例圆”，即圆形的对数尺。

福斯特认为，老师的这个发明极其重要，但是老师却认为，没有必要在一个计算装置上花费那么多的精力。对于一个数学家来说，重要的是研究数学理论。对于福斯特让他公开这个发明的建议，奥特雷德并不在意。有趣的是，他的另一个学生德拉曼却在 1630 年出版的一本书中公布了同样的圆形对数尺，并称自己是圆形对数尺的发明人。这样，奥特雷德才决定公开自己的发明。他利用两根对数尺的计算装置就是后来计算尺的雏形。奥特雷德还让福斯特把自己的拉丁文著作译成英文，以使他的发明传播得更远。到 17 世纪中叶，温盖特和帕特

里奇在两根对数尺之间添加了一根可移动的滑尺。这样，现代的计算尺的形式就基本上定型了。不过，在此后的 200 年间，计算尺的使用并不广泛。

在计算尺的发展过程中，值得一提的还有以蒸汽机的发明闻名于世的著名发明家瓦特（1736—1819 年）。他曾经是一位制作仪器的匠人，对于在刻度尺上标示刻度的技术非常娴熟。在蒸汽机的制作中，需要一种计算装置，以快速地计算出蒸汽机的功率和气缸体积的关系。

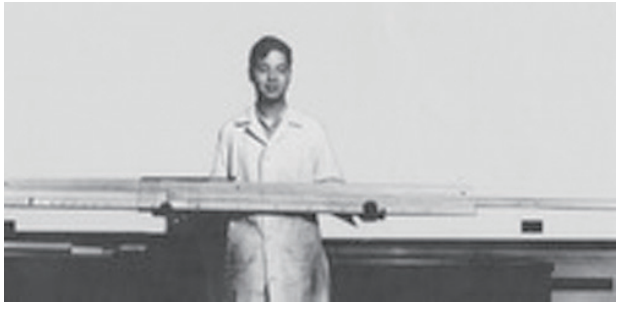
在 18 世纪末，他也成功地制造出计算尺。从瓦特设计的计算尺看，他在尺座上添加了一个滑标（就像游标卡尺上的“游标”）。利用这个滑标可以“存贮”计算过程中的中间结果，这会使计算速度得到提高，使计算更加准确。正是瓦特的改进，使一些制造厂开始进行复制。这也使瓦特花了几年时间专门应付制造计算尺的工作。

1850 年，法国的一位炮兵军官曼海姆设计出一种简单的、类似于瓦特计算尺的单面计算尺。在曼海姆的计算尺中增加了滑标（后来成为计算尺不可缺少的一个部件），使用这样的计算尺可完成较为复杂的运算。特别是，曼海姆的这种设计被法国炮兵选定成计算尺的规范结构，这更加使新式的计算尺很快就流传到其他国家和地区。在这之后，计算尺的形式就变得多种多样了。在 1879 年，英国发明家富勒研制出一种有螺旋状刻度的圆柱形计算尺。这种圆柱形计算尺可以手握，虽然体积并不大，但相当于一把长度为 25 米长的计算尺，精度可达 4 位，甚至达到 5 位。

第二次世界大战中，实施轰炸任务的操作人员需要进行快速计算，他们要使用专用计算尺。美国海军的专家还设计了一种通用算尺，用于计算射程、燃料消耗和飞行器高度。

20 世纪，计算尺成为一种工程师身份的象征，工程人员常把大号计算尺别在皮带上，或者随身携带一把袖珍计算尺。例如，火箭专家

沃纳·冯·布劳恩（1912—1977 年）在从事航天工作时就随身带了两把老式计算尺。终其一生，他没有用过其他任何袖珍计算器，计算尺为他进行火箭设计的参数估算发挥了重要作用。20 世纪 40 年代，物理学家李政道（1926—）跟随意大利物理学家费米（1901—1954 年）研究理论物理学，为了计算太阳中心的温度，费米帮李政道制造了一把 2 米长的专用计算尺。不过，到了 20 世纪 80 年代，因为微型计算器的普及，人们放弃了计算尺。



李政道手持费米帮助他制作的计算尺

中国历史上最早使用计算尺的人之中有康熙皇帝，他使用的是一把象牙制的冈特式计算尺。中国人还仿制过这种计算尺。在 20 世纪 80 年代以前，中国的理工科学生也是人手一把计算尺。像西方一样，到 80 年代，计算尺很快就被送入了博物馆。



二、机械计算机和机电计算机的发展

说到能够进行四则运算的机械，这就要追溯到 17 世纪了，此后经过 200 年的发展，计算机的进步并不大，虽然巴贝奇的贡献很大，但制造技术又拖了后腿。直到 20 世纪上半叶，机械式或机电式计算机才得到快速的发展。

能进行四则运算的机器

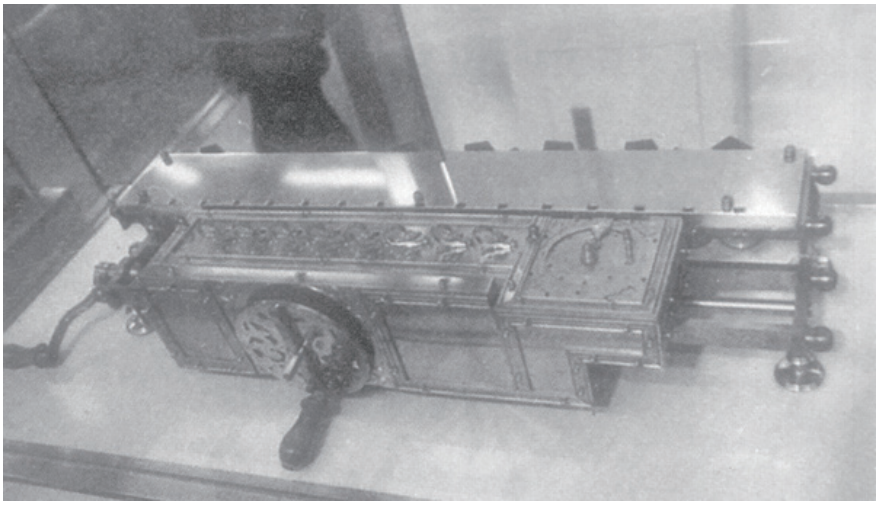
帕斯卡，法国数学家、物理学家、哲学家、散文家，提出了帕斯卡定律。他是个数学天才，12 岁时便独自发现了“三角形的内角和等于 180° ”。帕斯卡从小体弱多病，1662 年病逝，终年仅 39 岁。为了纪念帕斯卡，压强单位被命名为“帕斯卡（Pa）”，简称“帕”。

帕斯卡少时就显示出对科学浓厚的兴趣。他曾经立下一个誓愿，一定要给父亲制作一台可以计算税款的机器。1642 年，19 岁的帕斯卡发明了一种齿轮加法器，这是人类史上第一台机械式计算机。



帕斯卡

帕斯卡发明的加法器可装在一个长方盒子之中。这个加法器可以进行加法和减法运算。它由一系列齿轮组成，用钥匙旋紧发条后就能



机械计算机

转动。为了解决在相加时“逢十进一”的进位问题，帕斯卡利用了一种小爪子式的棘轮。当定位齿轮朝 9 转动的时候，棘爪便逐渐升高。一旦齿轮转到 0，棘爪跌落下来，同时推动下一位数的齿轮前进一档。

帕斯卡发明加法器以后，制作了 50 台加法器，还撰写了关于加法器的论文。这篇文章启发了德国数学家莱布尼茨，并激发起他强烈的发明欲望。

1671 年，莱布尼茨设计了新型的计算机，可以进行四则运算。这是继帕斯卡加法器后，计算工具的又一次推进。不过，一开始，莱布尼茨发明的机器还不能正常运转，只能用来演示原理。他曾经在伦敦皇家学会演示过。在演示之后，皇家学会的秘书要他再进行改进。

莱布尼茨曾获得了一次出使法国的机会（在法国定居 4 年）。在巴黎，他找到著名的钟表匠奥利维。向奥利维说明情况之后，奥利维在 1674 年造出了一台更好的机械计算机（今天这架机器仍然存放在德国汉诺威的国立图书馆内）。

莱布尼茨发明的新型计算机长 1 米左右，内部使用了一系列齿轮



莱布尼茨的计算机

装置。尤其是，莱布尼茨为计算机增添了一种构件，名叫“步进轮”。“步进轮”就是一件有 9 个齿的长圆柱体，9 个齿依次分布于圆柱表面；旁边另有个小齿轮可以沿着轴向移动，以便逐次与“步进轮”啮合。每当小齿轮转动一圈，“步进轮”就根据它与小齿轮啮合的齿数，分别转动 1/10、2/10 圈……直到 9/10 圈，这样一来，它就能够连续重复地作加法。

莱布尼茨的样机在巴黎和伦敦展出之后，大家都很佩服他的才能。后来，莱布尼茨的计算机得到改进之后，人们又为它装上电动机以驱动机器工作，成为名符其实的“电动计算机”，并且一直用到 20 世纪 20 年代。

在 1673 年，莱布尼茨当选为伦敦皇家学会会员，到 1700 年他又当选为巴黎科学院院士。莱布尼茨还提出了“二进制”数字系统，并且指出，他是受到中国的八卦符号的启示。1848 年，英国数学家乔

治·布尔创立二进制的代数学，为现代二进制计算机的发展做出了贡献。今天，在中国的故宫博物院，保存着两台铜制的复制品，是当年外国人送给慈禧太后的礼品，这种“洋玩具”藏入深宫，无人知晓更没有人用。

神奇的差分机和分析机

说到计算机发展过程中的名人，一定要提到英国科学家查尔斯·巴贝奇（1792—1871 年）。巴贝奇生于伦敦市郊的一个小镇上。在儿童时期体弱多病，但好奇心很强。19 岁时考入剑桥大学三一学院，攻读数学和化学。

在大学读书时，巴贝奇发现，航海表中的数据有很多差错。这些错误可能会导致各种各样的事故发生。这说明，编制表的人虽然很认真，也费尽心血，但仍然难免人为的出错。在 18 世纪末，法国的度量衡开始采用米制，单位换算还采用了十进制。为此，有大量的数表要重新进行编制。这可是一项浩大的工程。据说，为了编制新的数表，法国政府调用大批人力。在编制之初，几名科学家选定最佳的计算方法，而后由几名计算员算出一些基本数据，最后根据工作量，选定数百人来进行计算。这时还是大学生的巴贝奇就想，能不能采用机器来编制这些数表呢？



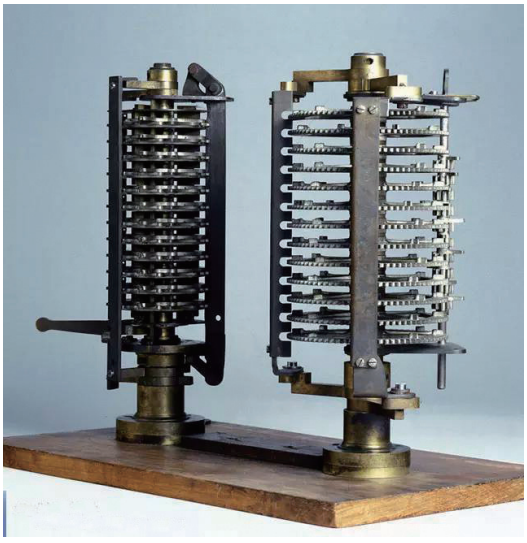
巴贝奇

巴贝奇的数学造诣很深，他在 1828 年当上了剑桥大学三一

学院的卢卡斯讲座教授（牛顿曾是第二任）。当时，在欧洲有一个“分析学会”，以介绍新的数学成就为主。巴贝奇是这个学会的主要领导人。

巴贝奇对机器计算有兴趣，并立志要建造出新式的计算机器。巴贝奇的第一个贡献是制作了一台“差分机”。1812 年，20 岁的巴贝奇从法国人发明的提花编织机上获得了设计“差分机”的灵感：差分机要能够按照设计者的意愿，自动地处理不同函数的计算过程。1819 年，他设计出“差分机”，并于 1822 年制造出样机。这台机器提高了乘法速度和能改进对数表等的精确度。这里的“差分”，就是把多项式的数表计算化为一系列简单的加法，并且任何复杂的函数都可以用多项式来近似，如把函数表的复杂算式转化为差分运算，用简单的加法代替平方运算。关键是编制出这些函数的差分表。这里以 x^2 表和它的一阶、二阶差分表为例，并列出：

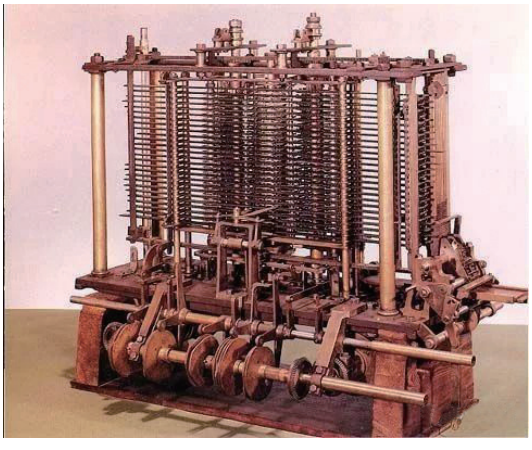
x	x^2	一阶差分	二阶差分
1	1		
2	4	3	
3	9	5	2
4	16	7	2
5	25	9	2
6	36	11	2
7	49	13	2
8	64	15	2
9	81	17	2
10	100	19	2
11	121	21	2
12	144	23	2
13	169	25	2
14	196	27	2
15	225	29	2
16	256	31	2



差分机（局部）

表中的二阶差分都一样，借助这样的差分表，可以推算出一些结果。例如，查到 7^2=49，查表，二阶差分值为 2，一阶差分值为 13，49+2+13=64，即 8^2。类似地，可算出更多数字的平方值。

1834 年，巴贝奇又有了一项新的更大胆的设计。在这一年的 6 月，巴贝奇正式向皇家天文学会提出要制造一台更大的差分机，以用于计算天文学和导航上的数表，同时他还向政府申请研制经费。由于这种机器很有价值，政府部门尤其是海军很看重差分机，就提供了资助。巴贝奇最后冲刺的目标，不是仅仅能够制表的差分机，而是一种通用的数学计算机。他把这种新设计的机器叫“分析机”。它能够自动解算有 100 个变量的复杂算题，每个数可达 25 位，速度可达每秒钟运算一次。他设想的通用分析机，仍利用穿孔卡片存储程序和数据。1837 年，巴贝奇开始分析机的设计。1840 年，他基本实现了控制中心（CPU）



分析机