

美国《发现》杂志推选的25部最佳科学名著



法国《读书》杂志评定的最具影响力当代作品

决定经典

012



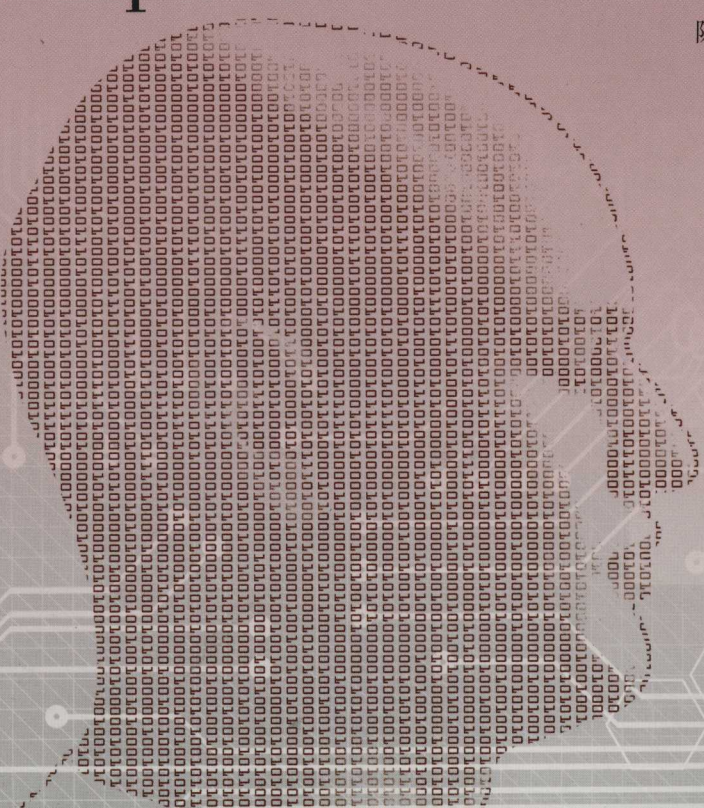
[美] 约翰·冯·诺依曼 / 著

计算机与人脑

革命性阐述计算机与思维神经系统的经典关系

The Computer and the Brain

陈莉 / 译



凤凰出版传媒集团
江苏人民出版社

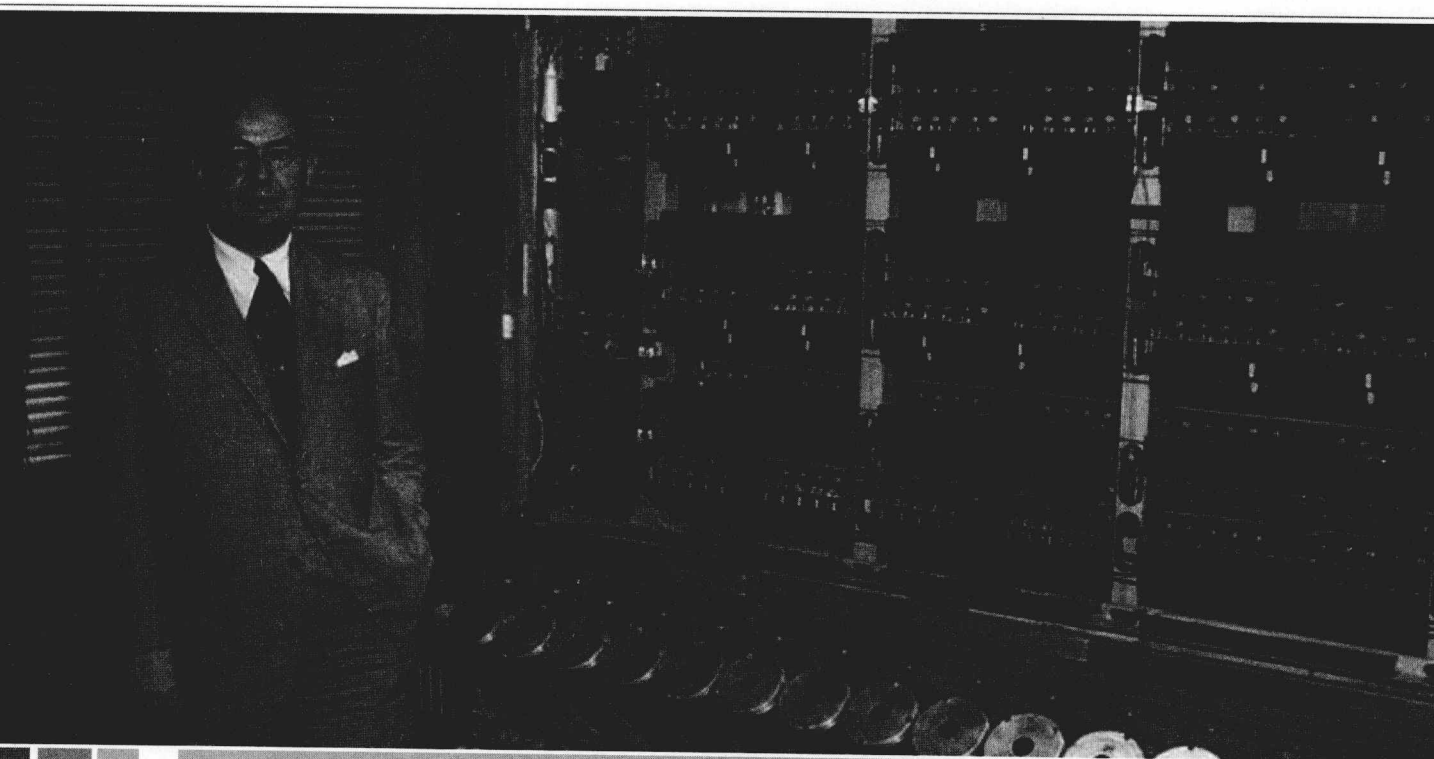
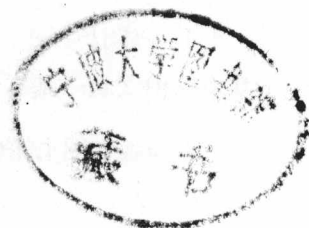
凤凰联动
FENGHONG

凤凰决定
DECISION

革命性阐述计算机与思维神经系统的经典关系

The Computer and the Brain
计算机与人脑

[美] 约翰·冯·诺依曼 著
陈莉译



凤凰出版传媒集团 | 凤凰联动 FONGHONG | 凤凰决定 DECISION



宁波大学 00704515

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机与人脑 / (美) 诺依曼 (Neuman, J.V.) 著;
陈莉译. —南京: 江苏人民出版社, 2011.4

(决定经典书库)

ISBN 978-7-214-06894-1

I. ①计… II. ①诺…②陈… III. ①电子计算机—
基本知识②脑—基本知识 IV. ①TP3②R338.2

中国版本图书馆CIP数据核字 (2011) 第038447号

书 名 计算机与人脑

著 者 [美] 约翰·冯·诺依曼

译 者 陈 莉

责任编辑 刘 焱

出版发行 江苏人民出版社 (南京湖南路1号A楼 邮编: 210009)

网 址 <http://www.book-wind.com>

集团地址 凤凰出版传媒集团 (南京湖南路1号A楼 邮编: 210009)

集团网址 凤凰出版传媒网<http://www.ppm.cn>

经 销 江苏省新华发行集团有限公司

印 刷 三河市金元印装有限公司

开 本 820毫米×1060毫米 1/16

印 张 15.5

字 数 248千

版 次 2011年4月第1版 2011年4月第1次印刷

标准书号 ISBN 978-7-214-06894-1

定 价 36.00元

(江苏人民出版社图书凡印装错误可向本社调换)

总序

ZONG XU

回望历史深处，每一代学人都会深切地感到有一些书籍具有决定性的影响力，这些著作成为塑造历史的关键力量，改变了历史进程，也改变了人类社会。可以说，正是这些决定性的经典著作决定了我们今日的世界是这个样子，而不是另一个样子。人类之所以能够进步到如今这个全球一体化的文明时代，正是靠了一代代思想伟人奉献的各种类型的经典著作才实现的，正是靠了这些经典著作的荣光，才照亮了人类走出野蛮、步入文明的道路。

我们编选这套“决定经典·图释书系”，就是要让一代代思想伟人的经典著作达到更为普及的程度。我们希望这些经典著作像它们曾经在历史中发挥过的巨大作用一样，在读者的个人生活中也产生深刻影响。就像这些经典著作曾改变历史进程一样，它们同样也可以改变读者的个人命运，我们对此深信不疑。

我们对“决定经典”的定义是：每一代读者怀着先期的热情在人生的某个阶段总会找来认真研读的经典著作；这些著作都毫无例外地对人类历史、人类社会和人类思想

产生过决定性的影响。因此，这套书系注定是开放式的，也注定是规模宏大的。举凡人类社会中具有里程碑意义的各种类别的经典著作都在我们的编选视野中，这套书将展现人类文明的相对全面的进步阶梯。我们希望单是这套设计精美的书摆在书架上的样子，就可以让读者产生深厚的历史感觉，为自己能够与思想伟人们朝夕相伴而自豪。

我们编选“决定经典”的信念中，自然包含了关于经典的诸多必不可少的普遍性描述。首先，经典在内容上一定是具有丰富性的，理所当然地将涵盖人类社会、文化、人生、科学、自然、历史和宇宙等方面的重大发现和观念更新，它们无一例外地参与了人类传统的形成，完善了社会生活，推进了人类历史。其次，经典当然是富于创造性的，其思想在产生之初必然是全新而动人的。再次，经典当然经得起岁月的淘洗，几乎不受时空限制，其活跃的思想不仅仅适用于过去，也必然适用于今日，也必然适用于未来，也就是说，任何时候都可以影响人生。还有一点，经典必然是具有可读性的，经得起任何人的反复阅读，并能使读者变得

更加成熟，也变得富有思想。

我们深知要让这些经典著作达到更为普及的程度，需要付出很多的心血，需要做很多更为细致的编辑工作。因为这些经典著作，都是一代代思想伟人呕心沥血的思想结晶，其篇幅都是宏大的，从行文逻辑到思想点滴都是尖端的，永远富于创造性，无论经过多少岁月的打磨，都不会缺失初生时的那种勃勃生机。几乎任何时候，对这些经典著作的阅读，都可以丰富读者的大脑，启迪读者自己也变得思想生动而睿智。但是，这些思想伟人的观念和思维方式，都因其独创性而显得高妙异常，在很多方面都是一般读者难以望其项背的，这对一般读者亲近这些经典著作产生了微妙的心理影响，在普及方面造成了一定的障碍。

我们深知如何克服这些阅读心理的影响，而这正是使这些经典著作达到更为普及

的程度的关键。这是我们采用“图释”的编辑方式来出版这些经典著作的根本原因。我们在相关专家的指导下，做了两方面的具体编辑工作：一是在文字上力求精确、简练和传神，使全书体系更为完善。二是精选相关图例。凡是有助于理解该书思想的图例，我们尽量列入，按有机的历史顺序加以编排，使该书图文并茂、相得益彰，并辅以精准的图片说明，让该书中的深奥思想变得晓畅易懂。这些深奥思想的历史演变、人物体系和实质影响都以简明百科全书式的解读得以清晰呈现，使读者能够在相对轻松的阅读中更容易地把握伟人们的思想要点。

我们深信，经过辛苦努力编选的这套“决定经典·图释书系”，可以实现一个对读者而言非常现实的目的，那就是：一切尖端的思想都可以轻松理解，一切深奥的经典都可以改善读者的生活。这也是我们所梦想的。

决定经典书系编委会

2011年3月

《计算机与人脑》是冯·诺依曼为耶鲁大学定在1956年春天举行的西利曼讲座而准备的演讲稿，但因为检查出身患癌症，演讲稿只完成了部分内容。1958年，《计算机与人脑》第一版出版。虽然冯·诺依曼并没有完成它，但就是这本只有两章内容的残本，却在计算机研究领域引起了一场空前绝后的轰动，它在很大意义上推动着计算机产业的革命性进展。

在计算机诞生之前，人们对于像计算机这样的机器的需要就十分强烈，而科学家们对制造计算机也早有诸多设想，这就有了后来科学家们在模拟机方面所得到的伟大进展。一直以来，冯·诺依曼就对计算机的发展与应用尤为关注。在计算机领域，冯·诺依曼作出了无人可以比拟的贡献，冯·诺依曼设计的计算机成为了计算机鼻祖，他被称为“电子计算机之父”。

《计算机与人脑》分为两章，第一章讲的是计算机。冯·诺依曼在这一章里对计算机的模拟方法、计算机的数字方法、逻辑控制的种类、混合数字方法、准确度、现代模拟计算机的特点以及现代数字计算机的特点作了比较详尽的探讨。

冯·诺依曼根据计算机进行运算中表示数目的方法将现有的计算机分成“模拟”计算机和“数字”计算机两类。本着对计算机和数学模型的了解，冯·诺依曼从研究最简单的计算机开始。与人类复杂的神经系统相比，人造的数字计算机和模拟计算机就显得尤为简单。如果我们把计算机和人脑放在一起作个对比，那么对人脑也就有了一定的认识。

值得注意的是，在本章中，冯·诺依曼谈到了准确度问题。混合计算机模型是数字和模拟计算机二者的综合，而这正好与神经系统的特点相符。神经系统存在着一些漏洞，那么混合计算机也不可能是那么完美无缺。因此冯·诺依曼谈到了误差的问题，即准确度问题。

第二章讲的是人脑。冯·诺依曼尝试着以已经存在的计算机和数学模型为依据，并采用模拟方法来研究复杂的生命现象。在本书中，冯·诺依曼从数学家的角度来研究神经系统。

在第二章，冯·诺依曼把计算机和人类神经系统之间的异同点作了详细阐述。这种异同点不仅存在于比较明显的大小、速度方面，而且在功能与控制原理、总体的组织

原理这些更为根本而深入的方面也普遍存在着。冯·诺依曼的重点则正是放在后面所说的根本方面。

冯·诺依曼讲到了神经系统的记忆问题。现在的计算机结构体系都是按照冯·诺依曼结构而来的，其中最主要的一个部分就是计算机的存储器，相对于神经系统来说，这就是记忆。

另外，他还谈到，基因本身就是数字系统元件的一部分。但是基因所发生的各个效应，如刺激形成的各种特定的酶却是属于模拟范畴的。这是模拟和数字过程相互转化的一个特殊例子。由此我们可以知道，基因可以是模拟和数字相互类型中的一个因素。

人脑可以处理信息或加工信息，计算机也一样。这里处理信息的基本问题就是编

码，人脑的编码问题远比计算机的编码问题复杂得多，因此冯·诺依曼提出了完全码和短码的概念来解决这一问题。冯·诺依曼还谈到了记数系统的本质是统计的，而非数字的。

最后，冯·诺依曼得出结论：数学的语言不同于人脑的语言。他在书中写到：“神经系统的基础有两类通信方式：一种为不包括算术形式的体系，另一种为算术形式体系。换言之：一种为指令的通信（逻辑的通信），一种为数字的通信（算术的通信）。前者用语言进行叙述，后者则用数学方式进行叙述。”

计算机的发展虽然日新月异，过去的很多经验成果都失去了最初的意义，但是，对于现在的计算机发展而言，本书中冯·诺依曼所得的结论仍然具有很高的参考价值。

自序

在这里我必须得对本书作几项解释和说明。我不是什么精神学专家，也不是什么神经学专家，我只是一个数学家，因此，对于本书而言，它仅是从一个数学家的角度去理解神经系统而所作的探讨。所以，这里所要陈述的每一个要点，我都必须立刻给予确切的说明。

首先，说是探讨其实过于夸张了，这仅是一组被或多或少系统化了的推测而已，主要预测应当进行什么样的探索。也就是说，我试图预测：在模糊不清的距离里，一切以数学为先导的研究途径中，哪些是先验的、最有指望的，哪些情况又正好相反。我会同时给这些预测提供一些合理化的建议。

其次，我期望读者可以这样来理解“数学家的角度”这个词：与一般说法不同，它的着重点并不是一般的数学技巧，而是着重于逻辑学和统计学的前途。逻辑学和统计学

主要（不排除其他方面）被当做“信息理论”的基础工具。同时，大多数信息理论的焦点聚集在对复杂的逻辑自动机与数学自动机所进行的设计、求值和编码工作方面而积淀的经验上。其中的典范当然非大型的电子计算机莫属了。

若有人可以说出关于这种自动机的“理论”，我会感到十分高兴。可是很可惜，直到现在，我们所拥有的也依旧只是那批模糊的、还未条理化的“经验”。

最后，我要说我的主要目的其实是要揭示出事情的另外一个方面。我期望我对神经系统所作的深入性数学探讨，将会潜移默化我们对数学本身各个方面的理解。实际上，我们对数学和逻辑学的某些固有观念将会被转变。有何理由可以证明？我将在后面的正文中加以解说。

导读^{〔1〕}

看上去我们已经到达了利用计算机技术可能获得的极限了，尽管下这样的结论得小心，因为不出五年这听起来就会相当愚蠢。

——冯·诺依曼

1958年，在冯·诺依曼去世后的第二年，《计算机与人脑》出版了。这原本是他为耶鲁大学定在1956年春天举行的西利曼讲座而准备的演讲稿，但因为在1955年10月，冯·诺依曼被诊断出患有癌症，他的演讲被取消，而演讲稿也耽搁了下来，未能完成。不过，我们从这现存的两部分内容中学到的东西，也是莫大的珍宝。

在计算机已经空前普及的今天，人们越来越倾向于把计算机与人脑进行比较。甚至有人发出疑问：是否某一天，机器的智能会超越人类？还有人提出：是否可以把人脑与计算机进行取长补短，从而使人脑达到一种更高的境界？当然冯·诺依曼也考虑过这些问题，在他的著作手稿及信件当中，我们可以看到很多关于大脑、神经系统以及生命的

一些相关问题。

冯·诺依曼写作《计算机与人脑》是有其思想来源的。冯·诺依曼是大名鼎鼎的数学家，大学时期，他已经受到希尔伯特的数学及物理学的公理化思想的深刻感染。他意识到数学中离散与连续的对立。他对新兴数学中结构观念的理解，特别是他对量子力学公理化及数学化的成功经验，都使他相信再复杂的问题都可以使用数学方法来解决。然而，数学对于大多数人而言，是尤为难解的抽象理论，正如很多人向冯·诺依曼提问时，他们自己根本就不能理解数学的本质及数学的思维方式。但是，由大数学家维纳和冯·诺依曼开创的广义的控制论运动，即包括冯·诺依曼为电子计算机所做的大量工作，却是真切地改变了这个社会，虽然在改

〔1〕作者史忠植，中国科学院计算技术研究所研究员，博士生导师，中国人工智能学会会士，IEEE（美国电气和电子工程师协会）高级会员，AAAI（国际人工智能协会）和ACM（美国计算机协会）会员，IFIP（国际信息处理联盟）人工智能专业委员会机器学习和数据挖掘工作组主席。曾任中国计算机学会秘书长、中国人工智能学会副理事长。曾负责完成多项国家重点科技攻关项目、国家863高技术智能计算机系统项目、国家自然科学基金项目等。曾出版相关领域的专著14部，发表学术论文400多篇。

变人类的思维方式方面还有很长的路要走。

在1943年发表的两篇论文——麦卡洛克和皮茨的《神经系统中普遍存在的原理的逻辑演算》以及维纳、罗森布吕特与毕格罗合著的《行为、目的和目的论》带有宣扬控制论的性质。而维纳在1948年出版的《控制论》一书则是控制论建立的标志。《神经系统中普遍存在的原理的逻辑演算》这篇论文提供给神经系统一个简化的模型。冯·诺依曼称之为形式神经网络。他们证明，所有神经网络的行为都可以用逻辑来描述。复杂的神经网络可以用复杂的逻辑来描述。反之，对应于满足某些条件的逻辑表达式，也能够找到对应的神经网络来实现相应的行为。如此一来，他们就把神经功能从逻辑上十分清楚地进行了定义。他们迈出了尤为重要的一步，不过，对于解释神经网络的活动来说，这还远远不够。

冯·诺依曼一直都十分关注计算机的发展与应用。对于电子计算机的开发和应用来说，冯·诺依曼作出了最重要的贡献，人们称他为“电子计算机之父”（尽管有些人并不赞同这一观点）。对于计算机的需要，早已有之，而人们对计算机也早有很多种设想，后来科学家们在模拟机方面也取得了不小的进展。英国科学家图灵建立了通用计算机的数学模型，但这只是理论上的成就，还未能运用于实际当中。而冯·诺依曼设计的计算机，却成为计算机的鼻祖。

冯·诺依曼的《计算机与人脑》不足四万字，但是这些内容所表达的思想却尤为

丰富，这些思想对后来的计算机发展产生了举足轻重的深刻影响。

在自序中，冯·诺依曼十分明确地说道：“本书是从数学家的角度去理解神经网络的一个探讨。”这种探讨方法与传统方法大相径庭。在物理学上，我们熟悉的方法是对所研究的物理系统建立一个理想化的模型，这个模型在可处理的条件下，能够得出各种物理量之间的关系，这些关系一般用微分方程来表示。如此，我们能够通过解出这些方程而得到最后所需要的结论。牛顿力学、麦克斯韦电磁理论甚至爱因斯坦的相对论和量子物理学都如出一辙。从理论的角度来看，问题到此已经大功告成，剩下的就都是数学家的事了。但是，数学家也不能解决所有的方程，尤其是非线性方程，例如冯·诺依曼多次提到的流体力学方程。不过冯·诺依曼给出了解决问题的新方向，这就是计算机。

也有人用物理学的方法去研究复杂的现象，例如生物学中的问题。的确，使用这一方法也产生了些许微分方程。然而，这些模型不是过于简单，就是无法求解。更为要命的是，这种严格而精确的数学根本就不太适用于研究生命现象。如此，冯·诺依曼就试着采用模拟的方法，用已经大量存在的计算机和数学模型来研究这些复杂的生命现象。因为对计算机和数学模型的了解，如果冯·诺依曼的方法有效，那么自然就能认知要研究的生命现象了。与复杂的神经系统相比，人造的数字计算机和模拟计算机就显得非常

简单了。如此一来，我们只需把计算机和人脑进行对比，就能够大致地了解人脑。所以，冯·诺依曼从最简单的计算机开始研究。

冯·诺依曼在书中指出：“现有的计算机，可以分成两大类：‘模拟’计算机和‘数字’计算机。这种分类是根据计算机进行运算中表示数目的方法而决定的。”除了数量显示之外，还有指令、存储以及各种控制方式。

之所以冯·诺依曼会不断强调数字和模拟的差别，原因在于他提出的混合计算机模型混合了数字与模拟两种原则，而这恰好是神经网络的特征。正是因为神经网络具有混合计算机的特点，如果单独使用数字计算机模型就会出现很多漏洞，换言之，神经系统不够精确，而混合计算机也没有那么精确。所以，冯·诺依曼会谈及误差的问题，也就是书中讲到的准确度问题。

该书的第二部分讲的是人脑。人脑是经过上亿年进化所形成的最复杂的自然结构。20世纪50年代，人们对于人脑的结构与功能已经了解了很多，不过大脑蕴藏的奥秘数不胜数，还有很多是人类远不知晓的。冯·诺依曼对计算机与人脑，以及二者的异同点作了细致入微的比较。他观察到，计算机与神经系统的相似之处在于，它们都具备混合计算机的特征。很明显，冯·诺依曼极大地简化了计算机与人脑的相同点，可是从这种简化里，我们对神经系统的复杂性有了很多启发性的认知。

冯·诺依曼实际上十分明确它们之间的

差别。他对神经元的数据进行过比较，就当时的计算机人造元件来看，这种差别不大，不过就现在的计算机看来，这种差别就非常大了。但是，他所得的结论，对于现在的计算机发展仍然具有参考价值。

冯·诺依曼认为，天然元件的大小比人造元件要优越得多，而人造元件的运行速度比天然元件要快得多。冯·诺依曼指出，天然系统的优越性主要在于其组织是并行的，而计算机大体上都是串行的。在这里，冯·诺依曼提出了“逻辑深度”的概念，即为了完成问题的求解过程而需要进行的初等运算的数量。人脑并行处理所需的逻辑深度要比他估计的计算机的逻辑深度小很多。

现在的计算机结构体系都是按照冯·诺依曼结构而来的。其中最主要的一个部分就非存储器莫属了，相对于神经系统来说，就是记忆。他说道：“我们在人造计算自动机方面的所有经验，都提出和证实了这一推测。”根据这一推测，冯·诺依曼估算出了神经系统的记忆容量。他估算出人的一生所需的记忆容量为 2.8×10^{20} 位，这一结果远远超出当时计算机 10^5 到 10^6 位的容量。一直以来，冯·诺依曼对基因的信息理论也十分感兴趣，他在书中写道：“基因本身，很显然是数字系统元件的一部分。但是，基因所发生的各个效应，包括刺激形成一些特殊的化学物质，即各种特定的酶（它是基因的标志），却是属于模拟的领域的。这就是模拟和数字过程的相互变化的一个特别显著的例子。也就是说，基因可以归入模拟和数字相

互类型中的一个因素。”

本书的最后四节比较简短，不过就是在这5000多字的内容中，却含有极为丰富的思想。大脑的基本功能是处理信息或加工信息，计算机当然也不例外。从信息论的角度来看，处理信息的基本问题就是编码，计算机的编码问题比较好处理，而大脑的编码问题就复杂得多了。为解决这一问题，冯·诺依曼提出了把代码区分为完全码和短码的概念。这些完全码由指令组构成，它给出了一切必要的规则，如果计算机要解决一个问题，它必须有一套完全码并按给定的规则来控制。短码概念的提出，其目的是使一台机器可以模仿任何其他一台机器的行为。冯·诺依曼认为，在神经系统中，使用的记数系统不是数字的，而是统计的。它使用另外一种记数系统，消息的统计性质传送着消息的意义，如此一来，就算算术的准确性比较低，却能够通过统计方法来提高逻辑的可靠程度。冯·诺依曼还提出了算术深度这一概念。算术运算通常是串行运算，算术深度即这种基本运算的长度。数字计算机的运算一般都很准确，但是由于神经系统的模拟性，就出现了误差，随着运算步骤的推进，这种误差也会越来越大。另外，冯·诺依曼还进

一步作出设想：是否还有其他的统计性质能够同样地作为传送信息的工具？

最后，冯·诺依曼得出结论：人脑的语言不是数学的语言。他在书中写到：“神经系统的基础有两类通信方式：一种为不包括算术形式的体系，另一种为算术形式体系。换言之：一种为指令的通信（逻辑的通信），一种为数字的通信（算术的通信）。前者用语言进行叙述，后者则用数学方式进行叙述。”另外，他还认识到：“在很大程度上，语言只不过是历史事实。”

我们还可以合理地假设，逻辑和数学也同样是历史的、偶然的表达形式。中央神经系统中的逻辑和数学，当我们把它作为语言来看时，它一定在结构上和我们日常经验中的语言有着本质上的不同。我们这里所说的神经系统中的语言，可能相当于我们前面讲过的短码，而不是相当于完全码。对评价中央神经系统真正使用什么样的数学语言或逻辑语言的观点来说，我们的数学的外在形式，并不是完全相当的。但是关于可靠度、逻辑深度和数学深度的评论证明：无论这个系统如何，把我们所自觉地、明确地认为是数学的东西，和这个系统适当地区分开来，这是不会错的。



约翰·冯·诺依曼 (John von Neumann, 1903-1957)





目录

CONTENTS

总序
译者序
自序
导读

第一章 计算机

第一节 关于计算机的模拟方法	2
第二节 关于计算机的数学方法	4
第三节 逻辑控制的种类	8
第四节 混合数字方法	15
第五节 准确度问题	18
第六节 现代模拟计算机的特点	21
第七节 现代数字计算机的特点	22

第二章 人脑

第八节 神经元的功能	30
第九节 神经脉冲的实质	31
第十节 刺激的相关判断根据	40
第十一节 神经系统的记忆	46
第十二节 神经系统的数字部分与模拟部分	52

第十三节 代码及其相关作用	54
第十四节 神经系统的逻辑构造	58
第十五节 记数系统的本质：统计	61
第十六节 数学语言不同于人脑语言	64

附 录

附录一 计算机与人脑知识集锦	68
附录二 冯·诺依曼传	103
附录三 冯·诺依曼的伯乐	154
附录四 计算机发展史	185
计算机发展大事年表	219
中国计算机发展大事年表	227

第一章 计算机

第二次世界大战爆发后，冯·诺依曼开始研制电子计算机。电子计算机的发展是物理学和数学相结合的产物，而冯·诺依曼的中心思想就是将数学作为计算机研发和使用的基础。计算机是20世纪人类最伟大的发明之一。从1946年世界上第一台计算机诞生到现在，计算机技术得到了飞速的发展，它直接且深刻地影响着当代社会的发展。计算机已被普遍运用到世界上的各个领域，成为当今人类工作、生活不可或缺的一种工具。

计算机与人脑

计算机和人类神经系统这两类“自动机”之间存在着很多相似点与不同点。它们之间的相同点将把我们引入我们熟知的领域；而它们之间的不同点不但在大小及速度等较为明显的方面存在着，而且在某些更为深入、更为本质的方面也一直存在着，这包括：功能与控制的原理，总体的组织原理等。