

认知科学概论

武秀波 苗霖 吴丽娟 张辉 著

科学出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

认知科学概论/武秀波等著. —北京: 科学出版社, 2006

ISBN 978-03-017969-2

I. 认... II. 武... III. 认知科学—概论 IV. B842.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 102474 号

责任编辑: 侯俊琳 李久进 沈晓晶/责任校对: 赵桂芬

责任印制: 钱玉芬/封面设计: 福瑞来书装

编辑 E-mail: houjunlin@sohu.com

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>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2007 年 2 月第一次印刷 印张: 15 1/2

印数: 1—2 500 字数: 303 000

定价: 32.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

认知科学作为一门新兴的科学，是研究人、动物和机器智能的本质和规律的科学，是多种学科相互交叉、渗透与融合的产物。近年来，随着新方法和新技术日益广泛地应用，认知科学的研究正处于一个较快的发展时期，已成为科学百花园中耀眼的奇葩，对我国科学技术的进步和发展起着越来越重要的作用。

为了全面系统地反映当代认知科学的面貌及其进展，总结和挖掘认知科学已有和潜在的成果，展示当代认知科学的发展方向，给我国广大读者及相关领域的研究人员提供一本关于认知科学的通俗读物，我们经过一年的构思及精心写作，终于完成了这本著作。

本书具有以下三个特点：

第一是学术性和前沿性。按照科学性、实用性、先进性和系统性的原则进行编写，在书中比较详细地介绍了认知科学核心学科的基本概念、主要理论、研究方法及研究成果。既注意充分反映认知科学的传统理论和实践经验，突出认知科学的特点和规律，又注意吸收国内外最新研究成果，以保证本书具有前沿性。

第二是深入浅出，读者易于理解。本书以介绍认知科学基础知识为主，随着读者对理论知识掌握的逐渐深入，读者在阅读时能够比较容易地理解看似深奥的认知科学的基本理论和规律。我们在编写过程中，尽量减少数学和哲学形式的表述，并且配备了一定数量的图表，直观形象，便于理解，便于广大非专业读者的阅读和学习。在坚持学术性与基础性相统一的基础上，力求反映当代认知科学的新趋势、新动向，使读者可以对认知科学有一个全面、系统的了解和把握。

第三是综合性，对认知科学的各个分支学科进行系统地阐述，比较全面地涵盖了认知科学的主要组成部分，目前在国内还是首创。现有的国内外专著绝大多数是对认知科学的某个领域进行专门研究，也有的是对相关的某几个领域进行介绍，但目前还没有一本较全面反映认知科学全貌的著作。认知科学是以心理学、神经科学等多个学科为基础发展起来的学科，具有很强的交叉性和综合性。如果说认知科学是一棵大树，那么认知就是根，这些分支学科就是这棵树上的枝杈。这些枝杈吸取了根的营养而生长，也使认知科学这棵大树更加根深叶茂。

基于这样的认识，本书首先介绍了认知科学的性质、起源、发展历程、主要

特点和发展趋势，然后阐述了认知最重要的基本条件和载体、认知的脑结构与脑认知过程的神经基础以及认知神经科学的主要研究方法，阐明了行为和心理运动的神经机制，为物质活动如何产生精神活动这一重大课题提供了科学依据。在此基础上分别阐述了认知心理学、认知语言学、认知计算机模拟和认知的人工神经网络的研究现状、基本原理、研究方法及其应用。

通过本书的编著，我们更加强烈地认识到，认知科学的理论将会对人类语言教育的提升，发展下一代计算机系统的人工智能，调理有学习障碍和脑损伤患者，包括医治精神分裂症、抑郁症及由老年痴呆症引起的记忆丧失等有重要的影响。

当前认知科学研究基本上是沿着认知心理学、认知神经科学和机器模拟3个方向展开，未来的认知科学必将以对认知和智能的本质理解为基础，也必然基于各分支领域学科的进展，对认知科学的工作范式和基本理论进行不断修正和完善。

由于我们的水平有限，对于书中的不足之处，敬请专家和广大读者予以批评指正。

前言	
第一章 绪论	1
第一节 认知科学的兴起	2
第二节 认知科学的发展	5
第三节 认知科学主要研究对象与发展趋势	10
参考文献	19
第二章 认知的脑结构	20
第一节 神经元的基本结构与机能	20
第二节 神经元的联结	25
第三节 神经运行的信息形式	28
第四节 大脑皮质与其他结构	37
参考文献	49
第三章 认知过程及其神经基础	51
第一节 语言认知的神经基础	51
第二节 记忆过程的脑机制	59
第三节 情绪和大脑	64
参考文献	72
第四章 认知神经科学常用的研究技术与方法	73
第一节 功能磁共振成像	73
第二节 事件相关电位	76
第三节 正电子放射断层扫描	80
第四节 脑功能成像方法的比较与整合	82
参考文献	84
第五章 认知心理学	85
第一节 认知心理学概述	85

第二节	知觉	95
第三节	注意	104
第四节	记忆	106
第五节	知识的表征与组织	119
第六节	思维、概念和推理	124
第七节	问题解决	132
参考文献	.....	144
第六章	认知语言学	146
第一节	认知语言学研究的内容和认知观	146
第二节	认知语言学的形成	153
第三节	认知语言学的研究现状	157
第四节	认知语言学的评价	168
参考文献	.....	176
第七章	认知的计算机模拟	178
第一节	计算机的特征	178
第二节	人工智能的兴起	181
第三节	人工智能的发展阶段	183
第四节	人工智能的原理及应用	185
第五节	人工智能的研究方法与途径	198
第六节	人工智能与人的智能	200
第七节	人工智能现状与展望	204
参考文献	.....	210
第八章	人工神经网络	212
第一节	人工神经网络概述	212
第二节	人工神经网络的发展史	218
第三节	人工神经网络的基本原理	225
第四节	人工神经网络模型及应用	227
第五节	人工神经网络的研究现状与展望	233
参考文献	.....	239
后记	.....	241

第一章

绪

论

认知科学是 20 世纪 70 年代中期诞生并兴起的，是一门旨在研究人脑和心智的工作原理及其发展机制的交叉性和综合性学科。它涉及心理学、计算机科学、神经科学、语言学、人类学、哲学等学科，是这些学科交叉、渗透与聚合的产物。今天，这一领域汇集了一大批数学家、物理学家、计算机科学家、生物学家、心理学家、语言学家和哲学家，形成了相对独立的研究群体。最近 20 年，随着学科建制化步伐的加快，认知科学得到了越来越多的重视，西方发达国家已经把认知科学列入科学战略计划的重点项目，同时成立了认知科学研究机构，出版了认知科学杂志。麻省理工学院等还建立了世界上第一批认知科学系，1986 年加利福尼亚大学圣地亚哥分校率先设立了认知科学博士学位。这些都标志着这一学科逐渐走向成熟。21 世纪，人类有两大秘密将要被揭开，一是生命的奥秘，二是心智的奥秘。为此美国正在实施“人类基因组计划”，并积极建议实行“人类认知组计划”。各个国家的科研人员在认知科学领域积极探索，将逐步揭开一个又一个科学奥秘。在这种前提下，破解人类心智的奥秘将越来越多地引起人们的高度关注和重视。现在任何领域里的科学家和探求新知识、新生事物的有识之士，都不能回避和无视认知科学的存在。认知科学作为一门独立学科，已经逐渐形成了一套独特的研究纲领、工作范式和基础假设，可以说认知科学的兴起标志着对以人类为中心的认知和智能活动的研究已进入到新的阶段，认知科学的发展将为信息科学技术的进一步智能化做出巨大的贡献。认知科学的研究将使人类实现自我了解和自我控制，并把人的知识和智能提升到一个前所未有的高度。

本章从认知科学概念着手，较系统地介绍认知科学的兴起过程与发展阶段以及认知科学的主要学科构成，使读者对认知科学有一个总体的认识和把握。

第一节 认知科学的兴起

一、认知科学概述

认知科学 (cognitive science) 是研究人、动物和机器智能的本质和规律的科学, 研究内容包括知觉、学习、记忆、推理、语言理解、知识获得、注意、情感、意识和动作控制等高级心理现象。认知科学是在心理学、计算机科学、神经科学、语言学、人类学、哲学 6 个相关基础科学的交界面上发展起来的高度跨学科的新兴科学, 其中人工智能和认知神经科学是认知科学的主要学科。这些相关学科互相交叉, 又产生出众多的分支学科, 如控制论、神经语言学、神经心理学、认知过程仿真、计算机语言学、心理语言学、心理哲学、语言哲学、人类语言学、认知人类学、脑进化等。在认知科学形成和发展过程中, 华生 (Watson)、米勒 (Miller)、麦卡锡 (McCarthy)、明斯基 (Minsky)、纽维尔 (Newell)、西蒙 (Simon) 和萨伽德 (Thagard) 等是认知科学领域的奠基者与代表人物。认知科学的创立标志着以现代科学为基础的, 人类对自身特有的心理活动、脑和心智关系以及人工智能的研究已进入到一个新阶段。这是近半个世纪以来科学发展史上的重要事件之一。

认知科学兴起以后, 曾提出了许多创新性的理论。如在推理层次的纽维尔和西蒙的通用问题解决系统, 在记忆层次的考斯林 (Kosslyn) 的模拟式知识表征, 在注意层次的特雷斯曼 (Treisman) 的特征整合理论等。这些理论对认知的理解和人工智能的发展起到了强大的推动作用。

认知科学在发展历程中, 主要发展了四大理论体系:

(1) 物理符号论。这是人工智能的认知科学理论, 该理论把认知过程看作是对来自外部输入的离散物理符号的处理过程。西蒙说: “所谓符号就是模式 (pattern), 任何一个模式只要能和其他模式相区别, 它就是一个符号。”之所以要在符号系统前面加上“物理”二字是为了提醒读者, 它们并不是一种抽象的没有形体的东西, 而是作为实在世界的手段而存在。这种符号系统可像计算机那样由各种器件构成, 也可像人的大脑一样由血肉组成。任何物理符号系统作为一般的智能系统, 它的最终目标是要将符号转化为行为以适应和改变环境来适合自己的目的。因而就产生了从认知到意向和从意向到行为转化的因果链条。人们在认知中将输入的符号重新组织成关于外部世界的内在表达, 并通过这种意向的符号表达的指令而产生相应的行为。

(2) 联结理论。联结理论是探讨心智和智能的一种新的科学方法。该理论认为认知活动的本质是基于人脑中神经元之间的联结强度不断发生的各种动态变化，它对信息进行着平行分布式处理，体现出认知或智能是从大量单一处理单元的相互作用中产生的。这种联结与处理是连续变化的模拟计算，不同于人工智能中的离散物理符号的计算。

(3) 模块论。受计算机编程和硬件模块的启发，福多（Fodor）提出了认知功能的模块模型，认为人脑在结构和功能上都是由高度专门化并相对独立的模块组成，这些模块复杂而巧妙的结合，是实现复杂精细认知功能的基础。20世纪80年代末和90年代初，模块思想已经发展为多功能的系统理论，特别是在记忆研究中获得了较多学科发现和支持。

(4) 生态现实论。1993年，一批年轻的心理学家与人工智能大师西蒙在《认知科学》杂志上展开了一场关于环境作用论和物理符号论的大论战。环境作用（situation action）的观点认为认知决定了环境，发生在个体与环境的交互作用中，而不是简单发生在每个人的头脑之中。

由于认知科学的高度跨学科性质，不同学科从各自独特的研究角度对认知进行研究。总的来看，目前认知科学的研究视角主要有3个。第一，从认知心理学的角度，把人脑与计算机进行类比，将人脑看作是计算机的信息加工系统。采用自上而下的策略，先确认一种心理状态，再去搜索它所具有的计算结构。用计算机的一般特征来理解人类心理（例如，心理包含一个中央处理器和一个存储器）。但是，这种类比只能是机能性质的，也就是在行为水平上的类比，而不考虑作为其物质构成的生物细胞和电子元件的区别。第二，从人工神经网络的角度，把人脑看作是一种神经网络，采用自下而上的策略，先建立一个简单的神经网络模型，再考察这个模型所具有的认知功能。从最简单的模型入手，不断增加它的复杂性，就有可能模拟出真正的人脑神经网络，模拟出神经系统中某些行为的工作原理和机制，检验人脑是如何工作的，从而了解认知的真相。但这种神经网络模型是人工的，与真正的神经及突触连接并不相同。第三，认知神经科学的研究，也是采用自下而上的策略。但与人工神经网络不同，它是从真正的大脑工作方式入手，通过运用一些技术手段（如脑功能成像）研究大脑功能以理解人类认知。由于各种无损技术手法的出现，使研究者可以直接观察到大脑活动的功能区域、加工过程及特点。

二、认知科学的起源

在20世纪40年代到60年代，认知科学的基本论述最初分散在各自分离的学科体系之中。加拿大心理学家海勃（Hebb）用了20年时间与潘菲尔德

(Penfield)和莱施利(Lashley)等合作,终于在1949年出版了《行为的组织》一书,为现代认知科学奠定了基础。海勃进行了一系列关于早期环境对成人学习与智力影响的里程碑式的研究,并提出了“细胞集合”理论。这个理论预示了神经网络理论和一系列人工智能研究的出现,因而海勃成为脑与行为的关系方面的一个颇有影响的理论家,被誉为“认知心理生物学之父”。

认知科学的兴起与发展有赖于各门学科的相互渗透,是学科的分化过程与整体化过程的统一,是相互交织和彼此转化的。美国哲学家塞尔在论述计算机在认知科学发展中的作用时提出:“在认知科学史中,计算机是关键性的。事实上,如果没有数字计算机,就不会有认知科学。”

在第二次世界大战中,许多科学家参加了用于军事目的的科学研究。1948年,维纳(Wiener)和香农(Shannon)分别提出了控制论和信息论。一些生物学家看到了通信系统的信息传递原理可以用来说明人脑对外部刺激的加工过程。从此,信息处理问题的工作原理,被引用到有关人类认识的研究范围。从认知科学起源的角度来看,乔姆斯基(Chomsky)开创了心理语言学,并从语言习得的心理机制出发,从深层结构研究内部语言本质。他提出的关于语言受规则支配的性质有助于形成后来的符号处理模型,因为符号处理理论认为一切行为都是受“规则”支配的。心理语言学的出现,掀起了现代语言学的一场革命。与此同时,对认知科学有重大推动作用和深层影响的是计算机和人工智能的产生和发展。第二次世界大战前后,英国数学和逻辑学家图灵(Turing)等大胆设想制造能利用语言程序来进行思维和运算的机器,即所谓的图灵机。随着第一台电子计算机的诞生,人们不仅看到了通用图灵机的物理实现,更重要的是看到了这种物理装置如何神奇地表现出人类的某种智能。于是,认知科学领域的先驱者们似乎由此找到了建立人类认知与智能形式的有效工具,并认为人类认知与智能活动完全可以转换成计算程序进行模拟。

1956年,在美国达特茅斯学院召开的会议上,麦卡锡、明斯基、罗切斯特(Rochester)、香农等研究讨论人和计算机程序设计,让机器像人一样具有智能、能够思考和行动。这次人工智能研究计划的讨论标志着现代人工智能研究的开端,是计算机科学史上的一个里程碑。它使得“人工智能”作为计算机科学中一个独立的具有相当发展前景的地位得到了充分确定。可以说,从图灵的《计算机与智能》(1950)到麦卡洛克(Maculloch)和皮茨(Pitts)的《神经活动内在概念的逻辑演算》(1965),再到纽维尔和西蒙的《作为经验探索的计算机科学:符号和搜索》(1976),以“图灵机算法可计算”这一核心概念为基础,认知科学及发展领域已逐渐形成了“认知可算主义”的研究思想。1958年,西蒙等首次提出“物理符号系统”理论,认为人脑和计算机的运算都是利用符号的信息

加工过程——“用‘物理符号系统’主要是强调所研究的对象是一个具体的物质系统，如计算机的构造系统，人的神经系统、大脑的神经元等”。有广泛影响的认知科学运动起源于美国，“认知科学”一词于1973年由朗盖特·希金斯开始使用，70年代后期才渐渐流行。在谈到认知科学起源时，塞尔说：“关于认知科学更多的有趣的东西是，它在美国理智生活中，在一定程度上是行为主义的对立面。它急切地表达了试图进入心智来研究认知过程，而取代仅仅研究对刺激的行为反应。它从认知心理学那里成长，但它需要比在心理学系可利用的资源还要多的来源。它需要来自计算机科学、语言学、哲学和人类学的源泉。正式的理念是，认知科学是关于心智研究的一种分支：它在行为主义失败的地方取得成功或试图取得成功，它试图研究心理过程内部的内容。”

可见，认知科学研究与发展的共同目标，就是要发现心智的表达和计算能力，以及它们在人脑的结构和功能表示。其实质就是要说明认知系统工作的内在机制和规律。

1975年，美国纽约市的斯隆基金会对认知科学的跨学科研究计划给予了大力支持，这对当时还处于起步阶段的一门新学科来说，起到了极其宝贵的作用。《认知科学》杂志在1977年的出版发行，使更多的人了解认知科学，同时有相当数量的教育和科研专家投身到认知科学的推广和研究之中。1979年召开的首届认知科学年会及随后在1981年《展望认知科学》一书的出版，正式向世界宣布认知科学从此作为一门新学科的诞生。此后，对认知科学的研究引起了各个国家的重视，并产生了大量的研究机构和学科设置。

第二节 认知科学的发展

科学史向人们表明，科学知识的形成和发展都要经过一系列曲折的发展过程。正像伽德纳在1988年所指出的：“认知科学作为一个概念或许已存在了40年，就是作为一门自我描述的广博学科亦已有十多年的历史。尽管这个领域存在的时间还不算长，但它已经历了一系列的发展阶段。”从认知科学的形成和发展来看，主要经历了3个时期：人工智能形成和发展时期、符号主义发展时期和联结主义发展时期。

一、人工智能形成和发展时期

人工智能从诞生发展到今天经历了一条漫长的路，许多科研人员都为此而不懈努力。人工智能可以追溯到电子学出现以前，像布尔及其他一些哲学家和数学

家建立的理论原则后来成为人工智能逻辑学的基础，而人工智能真正引起研究者的兴趣则是在计算机发明以后的事。技术的发展最终使得人们可以仿真人类的智能行为，至少看起来不太遥远。

20世纪40年代，由于战争对科学技术的要求，用计算机来模拟智能行为的研究适时兴起。维纳提出了控制论，这一学术思想在历史上可以认为是实现机器智能在哲学、理论及方法方面的一次全面探讨。控制论成为人们研制较简单（相对而言）的系统以及系统运行环境并不复杂情况下的一面旗帜。维纳理论所采用的基于连续动力学方程的方法对实际世界的描述是有益的。但由于技术条件的限制，并未能完全成为发展人工智能的基础。尽管如此，维纳在反馈理论上的研究最终让他提出了一个论断：所有人类智力的结果都是一种反馈的结果，通过不断地将结果反馈给机体而产生动作，进而产生了智能。比如，家里的抽水马桶就是一个十分好的例子，水之所以不会常流不断，正是因为有一个装置在检测水位的变化，如果水太多了，超过了规定的容量，水管就会自动关闭，这就实现了反馈，它是一种负反馈。维纳认为：如果连我们厕所里的装置都可以实现反馈了，那我们应该可以用一种机器实现反馈，进而实现人类智力的机器形式重现，这种观点和想法对于人工智能早期的理论有着重大的影响。

1956年，纽维尔与其他研究人员一起开发了“逻辑专家”（the Logic Theorist）程序。它采用树形结构，在程序运行时，寻找与可能答案最接近的树的分枝进行探索，以得到正确的答案。这个程序在人工智能的历史上有着相当重要的地位，给学术上和社会上带来了巨大的影响，我们现在所采用的思想方法，有许多还是来自这个20世纪50年代的程序。

1956年夏季，作为人工智能领域的另一位著名科学家麦卡锡在达特茅斯召集了一次会议，讨论人工智能未来的发展方向。会上麦卡锡和西蒙等倡议开展人类思维活动规律的研究，并给予“人工智能”的命名。由于提出来的目标简洁而又具有吸引力，很快便为科学界所接受。但由于方法论及追求的目标存在问题，为后来的研究者埋下了束缚思想的桎梏。尽管如此，这次会议给了人工智能奠基人相互交流的机会，并为未来人工智能的发展起到了铺垫的作用。此后，人工智能的研究重点开始转到以建立实用的能够自行解决问题的系统上来，并要求系统有学习能力。这次人工智能会议的召开标志着真正的人工智能领域正式形成，它是认知科学史上的一个里程碑。

1959年，纽维尔、西蒙等又开发了一个通用问题求解程序，称为“通用问题解决程序”（General Problem Solver, GPS），该程序使用“手段-目的”的分析法解决了一系列复杂程度较低的智能问题。它是对维纳的反馈理论在某些方面的扩展。与此同时，麦卡锡在人工智能领域做出一项重大贡献，他创建了表处理语

言 LISP。直到现在许多人工智能程序还在使用这种语言，它几乎成了人工智能的代名词。直到 21 世纪的今天，LISP 仍然在发展。

1963 年，美苏两个超级大国处于“冷战”时期，麻省理工学院得到了美国政府和国防部的支持，进行人工智能的专项研究。虽然它是为战略需要服务，但结果却使人工智能得到了巨大的发展。其后发展出的许多程序十分引人注目，STUDENT 系统可以解决代数问题，而 SIR 系统则开始理解简单的英文句子了，SIR 的出现导致了新学科——自然语言处理的出现。

1977 年，在第五届国际人工智能联合会会议上，费根鲍姆（Feigenbaum）在一篇题为《人工智能的艺术：知识工程课题及实例研究》的论文中系统地阐述了专家系统的思想，并提出了“知识工程”的概念。专家系统成就了一个巨大的进步，它第一次让人知道，计算机可以代替人类专家进行一些工作。这表明了“知识就是力量”的古老命题在智能研究中又一次得到了确认。知识被看作是对决策过程直接产生影响，并关系到其成效或功能的信息，在智能系统中具有举足轻重的地位。

20 世纪 70 年代以后，随着数字信息技术、控制论的迅速发展，电子计算机及人工智能以其独特的功能进入各个领域，标志着一个计算机时代的来临。20 世纪 80 年代以来，由于智能机器人和第五代计算机研制计划的产生，使人工智能的研究进入了一个前所未有的阶段，而人工智能也在新世纪里引领着计算机发展的方向。

二、符号主义发展时期

符号主义，又称为逻辑主义、心理学派或计算机学派。其原理主要为物理符号系统（即符号操作系统）假设和有限合理性原理。由于符号是信息的载体，认知科学把智能系统看作是信息加工系统，实质上是一种符号操作系统。把智能归结为符号操作的思想可以追溯到怀特海（Wyndham）。他在 1927 年出版的《符号主义》一书中提出：“人的心智是符号在进行活动，即经验的某些成分发出意识、信念和情感，而这种活动关联着经验的另外成分。这些成分的前一个集合就是‘符号’，后一个集合则构成了符号的‘意义’。这种符号转化为意义的有机功能称为‘符号的所指’。”这种思想对符号主义的影响是非常明显的。符号主义学派认为人工智能源于数学逻辑，数学逻辑从 19 世纪末就获得了迅速发展，到 20 世纪开始用于描述智能行为，计算机出现以后，又在计算机上实现了逻辑演绎系统。

20 世纪 50 年代初，纽维尔和西蒙就指出，由计算机操作的二进制数串能够表达包括现实世界的任何东西，大脑和心灵与计算机一样，都不外是一种物理符号系统，无论它们在结构和动力机制上有多大不同，在计算机理层次上都具有产生、操作和处理抽象符号的能力。由西蒙、纽维尔和肖尔（Shor）发明的通用问

题解决器，到 1956 年已经能成功地解决简单的智力测验、命题演算定理的证明、机器编程等问题。纽维尔和西蒙指出：“计算机本身的活动在某些方面类似于认知过程。计算机接收信息、处理符号，在记忆中存储一件件事，再检索它们、分类输入、识别模式等。它们是否像人一样地做这些事并不重要，重要的是它们完全做到了。计算机的出现提供了必要的证据，证明认知过程是实在的……一些理论学家甚至坚持认为所有心理学都应该以计算机程序清楚地写出来。”西蒙进一步断言，直觉、顿悟和学习不再是人类专有，任何大型高速计算机都可以通过编程表现出这些能力。

从 1956 年在达特茅斯召开人工智能会议后，人工智能这一领域得到了飞速发展。相继发展了启发式算法、专家系统、知识工程理论与技术等，并在 80 年代取得很大的成就。符号主义曾长期一枝独秀，对人工智能的发展做出了重要贡献，尤其是“专家系统”的成功开发与应用，对人工智能走向工程应用具有特别重要的意义。为此，西蒙在 1980 年宣称：“在过去的 25 年里，就我们对人类思维过程的理解方式而言，任何社会科学的发展都比不上这次革命（即所谓信息处理革命）那么激进。”在其他学术流派出现以后，符号主义仍然是人工智能的主要流派。

三、联结主义发展时期

联结主义又称为仿生学派或生理学派、人工神经网络，其原理主要是神经网络及神经网络间的连接机制与学习算法。

联结主义的发展至今已走过半个多世纪的历程，纵观联结主义的发展历史，其发展过程大致可划分为 3 个阶段。

第一阶段——启蒙时期。这是神经网络研究的奠基阶段，大约是在 20 世纪的 40 年代至 60 年代初。1943 年，美国神经生物学家沃伦·麦克劳奇（Warren McCulloch）和青年数学家瓦特·佩特兹（Walter Pitts）合作，发表了关于神经元如何工作的开拓性文章，提出了第一个人工神经元模型，并在此基础上抽象出神经元的数理模型，即著名的 MP 模型，开创了用电子装置模仿人脑结构和功能的新途径，拉开了人工神经网络研究的序幕，从而开辟了一条人工智能的发展道路。在此基础上，1949 年神经生物学家多纳勒·海勃（Donald Hebb）从心理学与生理学之间的联系与沟通的角度入手，提出了神经元学习的一般规则，指出脑细胞间的通路每当参与某种活动时将被加强，这就是后来所称的 Hebb 学习法则。这一法则告诉人们：神经元之间突触的联系强度是可变的，这种可变性是学习和记忆的基础。Hebb 法则为构造有学习功能的神经网络模型奠定了基础，至今仍为许多学习算法所采用。1957 年，计算机科学家弗兰克·罗森布拉特（Frank Rosenblatt）发展了 MP 模型，首次引进了感知器（perceptron）概念。它由阈值

性神经元组成，试图模拟动物和人脑的感知和学习能力。感知器模型被认为是最早的神经网络模型，后来的一大类神经网络都是它的变形。他的成功之举大大激发了众多学者对神经网络的兴趣，并积极地参与到人工神经网络研究这个新的领域之中。从此，对神经网络的研究迎来了第一次高潮。

1960年，两位电机工程师伯纳德·威德鲁（Bernard Widrow）和马西恩·哈佛（Marcian Haff）又开发出自适应线性元（ADALINE）的网络模型，它是连续取值的线性网络，主要用于自适应系统。这与当时以顺序符号推理为基本特征的人工智能大相径庭，在学术界引起了很大的争议。

第二阶段——低潮时期。时间为整个20世纪70年代。正当一些科学工作者怀着极大的热情追求神经网络那遥远但并非不可及的目标时，人工智能的创始人之一明斯基和西摩尔·帕伯特（Seymour Papert）对以感知器为代表的网络系统的功能及其局限性从数学上做了深入地研究，并于1969年发表了颇有影响的《感知机》（*Perceptron*）一书。这本书认为单层的感知器只能作线性划分，并断言多层感知器不可能给出一种学习算法，因而也无科学价值可言。这一论断给当时人工神经网络的研究带来了沉重打击，而且由于当时数字计算机的研究正处于全盛时期，许多系统的问题和局限尚未显现，因此这个观点很快被不少人所接受。很多国家的一些研究机构纷纷停止对神经网络的研究资助，许多科研人员不得不转向其他领域。由此导致了神经网络发展史上长达10年的低潮期。

第三阶段——复兴时期。时间为20世纪80年代，这是神经网络理论研究的主要发展时期。1982年和1984年，美国物理学家霍普菲尔德（Hopfield）分别提出了Hopfield神经网络。他利用非线性动力学系统理论中的能量函数方法研究反馈人工神经网络的稳定性，并利用此方法建立求解优化计算机问题的系统方程式。基本的Hopfield神经网络是一个由非线性元件构成的全连接型单层反馈系统。它的电子电路的实现为神经计算机的研究奠定了基础，同时开拓了神经网络用于联想记忆和优化计算的新途径。在Hopfield神经网络理论的影响下，大量的研究人员又重新回到了神经网络的研究领域，很快在世界上又掀起了各学科关心神经网络的研究高潮。

1986年，由鲁梅尔哈特（Rumelhart）和麦克查肯德（McClelland）主编的有16位作者参加撰写的《并行分布处理：认知的微观结构探索》一书出版，在该书中他们提出人工神经网络研究就是力图体现大脑的分布式并行计算和非线性等特征。所建构的人工神经网络是一种具有大量连接的并行分布式处理器，具有通过学习获取知识并解决问题的能力，且知识是分布存储在与大脑神经元突触相类似的连接的权重中。因此，通过人工神经网络，联结主义者看到机器体现的思维如何从连接的各种模式中以一种“涌现”的方式产生。鲁梅尔哈特等提出多层网络中的反向传播（BP）算法，并行分布处理理论把人工神经网络的研究推

向了一个新的高度，正像过后有人对该书评论的那样：“这本书在上市的那天出售了6000本。这个数字听起来也许不算多，但在学术界一本技术性著作能售出500本就算销路不错了，因此6000本是销路极好的。此后不久，鲁梅尔哈特获得了麦克阿瑟基金会‘天才奖’，联结主义在那时很快被誉为认知心理学中的‘新浪潮’。”该书的出版发行在世界各地产生了广泛的影响。此后，联结主义势头大振，从模型到算法，从理论分析到工程实现，为神经网络计算机走向市场打下了良好的基础。

20世纪90年代中后期，神经网络研究步入了一个新的发展时期，一方面，已有理论不断深化并得到进一步推广；另一方面，新的理论和方法也从未停止过不断开拓的步伐。埃德尔曼（Edelman）提出的达温尼斯（Darwinism）模型在20世纪90年代初产生了很大的影响；1994年，廖晓昕关于细胞神经网络的数学理论与基础的提出，进一步拓展了这个领域的研究。这一时期，另一些新的发展方向也非常引人注目。

神经网络研究复兴后，先后引起了美国、欧洲与日本等的科学家和企业家的巨大热情，纷纷组织和实施与此有关的重大研究项目，如美国的国防高级研究项目署（DARPA）计划、日本的人类前沿科学计划（HFSP）、法国的“尤里卡”计划、德国的“欧洲防御”计划等。1988年1月，“神经网络”杂志创刊；1988年起国际神经网络学会和国际电气电子工程师协会（IEEE）联合召开每年一次的国际学术年会；IEEE成立了下属学会，组成了若干个神经网络委员会，同时神经网络会刊于1990年3月创刊。联结主义经过多年的发展，目前已有上百种的神经网络模型及算法纷纷出台，其中有代表性的网络模型已达十几种，而学习算法的类型更是难以计数。神经网络研究热潮的兴起是人类科学技术发展全面飞跃的一个组成部分，它与多种科学领域的发展密切相关。

神经网络近年来已被广泛用于工业、商业和科技部门，特别是用于模式识别、图像处理和信号辨识等领域。人们相信，深入广泛的人工神经网络的研究势头必将继续蓬勃开展，由此带来的重大科学研究成果将会有广阔的应用前景。

第三节 认知科学主要研究对象与发展趋势

认知科学是研究人、动物和机器智能的本质和规律的科学，是在心理学、计算机科学、神经科学、语言学、人类学、哲学6个主要相关基础科学的交界面上发展起来的高度跨学科的新兴科学，其中认知心理学、人工智能和认知神经科学是主要学科。

一、认知科学的主要学科构成

认知科学是以上6类学科交叉、渗透与聚合的产物，它们在认知科学的发展与形成中起着重要的作用。下面我们对认知科学的主要学科认知心理学、人工智能和认知神经科学做简要概述。

（一）认知心理学

认知心理学是以信息加工观点为核心的心理学，又可称为信息加工心理学。认知心理学兴起于20世纪50年代中期，并于60年代之后迅速发展起来。美国心理学家奈塞尔（Neisser）出版了《认知心理学》一书，该书的问世标志着认知心理学的确立。奈塞尔认为，认知心理学是研究信息经感觉输入的转换、加工、存储、恢复、提取与使用的过程，并把认知心理学划分为视认知、听认知和记忆与思维高层次心理过程三大部分。到了20世纪80年代，它已成为西方心理学界盛行的一个主要流派，基本上取代了行为主义心理学。在科学研究层面上，认知心理学是当今科学界一个兴旺的领域，它把包括注意、知觉、学习、记忆、语言、情绪、概念形成和思维在内的错综复杂现象作为自己的主要研究对象。尽管认知心理学的研究方法很多，但它还是被一个最主要的常用方法，即把心理和计算机进行类比的信息加工方法统一起来。这一方法已有几十年的历史并已成为认知心理学中居主导地位的模式或理论取向（Kuhn 1970）。

认知心理学的理论奠基人福多（Fodor）在评述认知科学学科组成及与认知心理学的关系时说：“标准的一致意见是，核心学科是计算机科学、语言学、哲学，也许主要是认知心理学。根据我的观点，认知心理学是中心学科。然后是神经科学，也许还有人类学的某些部分以及与此类似的领域。认知科学基本上是认知心理学——只是比传统上受训练的认知心理学家要处理更多方法论的和理论上的‘混合物’。如果你是一位认知心理学家，知道一点心智哲学、语言学和计算机理论，这就使你成为一个认知科学家。如果你是认知心理学家，但不知道这些领域的东西，那么你是认知心理学家但不是认知科学家。”

认知心理学有广义和狭义两种。广义的认知心理学包括结构主义心理学、心理主义和信息加工心理学。广义的认知心理学主要是研究人的心理活动过程以及个体认知的发生和发展，探讨人的心理事件、心理表征与信念、意向等心理活动。狭义的认知心理学是指信息加工心理学。它是以信息加工理论为主要核心内容的心理学。广义认知心理学和狭义认知心理学的共同特点是强调研究人的意识，研究认知等高级的心理过程。

在狭义的认知心理学即信息加工心理学中，把人和计算机进行了类比。计算

机从周围环境接受输入的信息，经过加工并储存起来，然后产生有计划的输出。人这个系统也和计算机相类似，人对知识的获得也是对各种信息的输入、转换、存储和提高的过程。人的认识的各种具体形式就是整个信息加工的不同阶段。但是人们不能直接观察到人的内部心理过程，只能通过输入和输出的东西来加以推测。所以，认知心理学家所用的方法就是从可以观察到的现象来推测观察不到的内容的心理过程。有人把这种方法称为聚性证明法，即把不同性质的数据会聚到一起，从而得出结论。

人类的信息加工除了表现在从感觉存储到记忆不断转化外，还表现为后一个加工阶段对前一个加工阶段的影响。前者叫自下而上加工，后者叫自上而下加工，信息加工是按时间顺序进行的，同时又是双向的。现在，一般所称的认知心理学大体上就是指信息加工心理学，认知心理学的基本理论观点概述如下：

其一，认知心理学承认人的意识和其他内部活动，但是它把意识和行为并重，并且还保留了新行为主义的严格的假设演绎法，增加了机器模拟法，这就在认识过程的分析方面扩大了研究领域。

其二，认知心理学强调人已有的知识和知识结构对于人的心理活动和行为的决定作用，认为知识是决定人类行为的主要因素。它通过与计算机之间的类比，认为人也是一种信息加工系统，应当用信息加工的观点和术语证明人的心理活动。计算机模拟和类比是认知心理学家采用的一种特殊方法。要使计算机像人那样进行思维，计算机的程序就应当符合人类认知活动的机制和规律，即符合某种认知理论或模型，把某种认知理论表现为计算机程序叫作计算机模拟，因此，计算机模拟首先可以用来检验某种理论，发现其缺陷，从而加以改进。

其三，认知心理学在具体研究中特别强调实验。因为认知心理学继承了早期实验心理学的传统。19世纪赫尔姆霍茨（Helmholtz）和东德斯（Donders）提出的反应时研究法是今天认知心理学家广泛采用的方法。冯特（Wundt）是现代实验心理学的奠基人，他认为心理学的对象是经验，是意识内容，方法是控制条件下的内省。现今的认知心理学发展了前人注重实验的传统并已有了进一步的发展，所不同的是方法更加可靠、更加精确了。

认知心理学也是心理学与邻近学科相互交叉、渗透聚合的产物，是心理学发展的必然结果。其中，语言学对认知心理学的发展有很大的影响。乔姆斯基（Chomsky）将语言学与心理学相结合所创立的心理语言学，可以说是认知心理学的一个分支。而计算机科学与心理学等相结合，产生了一门边缘学科，即人工智能。人工智能与认知心理学关系极为密切，计算机及人工智能的出现使人们找到了分析人的心理过程和状态的有效的途径。尽管目前一些心理学家对认知心理学的对象有着各种不同的表述，所侧重的方面有所不同，但是心理学家们所研究涉及的问题

实际上还是认知的内部心理机制问题。于是，还可以进一步地认为，认知心理学是阐述智力的本质和过程的，它是关于智力的理论（Anderson 1980；Simon 1981）。认知心理学强调研究心理活动的结构和过程，并试图把全部认知统一起来，它认为注意、知觉、记忆、学习、概念、思维等认知现象是相互交织在一起的，对于这一类现象的了解有助于说明与识别另一类的现象。认知心理学不仅要把认识过程统一起来，而且要把普通心理学各个领域统一起来，也就是要用认知观点研究说明情绪、动机、个性等方面。认知心理学的观点还进一步扩展到了社会心理学、发展心理学、生理心理学、应用心理学、工程心理学、人格心理学等领域。

由于认知心理学重视心理学研究中的综合观点，并主张人的行为受其认知过程的制约，各种心理过程之间有着密切的相互联系，因而得以成为当前占主导地位的心理学分支。

（二）计算机科学（人工智能）

人工智能（artificial intelligence，AI）是一门综合了计算机科学、心理学、哲学的交叉学科。它是研究如何用计算机去模拟、延伸和扩展人的智能，如何使计算机变得更聪敏、更能干，如何设计和制造具有更高智能水平的计算机的理论、方法、技术及应用系统的一门新兴的科学技术。

作为一门科学，人工智能于1956年问世，是由“人工智能之父”麦卡锡及一批科学家在达特茅斯召集的一次会议上首次提出的。由于各位专家所提出的方法论及追求的目标存在着差异和研究角度的不同，于是形成了不同的研究学派。这就是符号主义学派、联结主义学派和行为主义学派。

传统人工智能是符号主义，它以纽维尔和西蒙提出的物理符号系统假设为基础。该理论把认知过程看作是对来自外部输入的离散物理符号的处理过程。西蒙说：“所谓符号就是模式，任何一个模式只要它能和其他模式相区别，它就是一个符号。”这种符号系统可像计算机那样由各种器件构成，也可像人的大脑由血肉组成。任何物理符号系统作为一般的智能系统，它的最终目标是要将符号转化为行为，以适应和改变环境来适合自己的目的。物理符号系统是智能行为的充分和必要条件。主要工作是“通用问题求解程序”，即通过抽象，将一个现实系统变成一个符号系统，基于此符号系统，通常使用动态搜索方法求解问题。

符号主义学派主张人工智能的研究方法应为功能模拟方法。通过分析人类认知系统所具备的功能和机能，然后用计算机模拟这些功能，从而实现人工智能。

联结主义学派认为人工智能源于仿生学，认知的本质是基于人脑中神经元之间联结强度不断发生的各种动态变化，是神经网络及神经网络间的联结机制与学习算法，它对信息进行着平行分布式处理。体现认知或智能是从大量单一处理单

元的相互作用中产生的，这种联结与处理是连续变化的模拟计算。

联结主义学派主张人工智能应着重于结构模拟，即模拟人的生理神经网络结构，并认为功能、结构和智能行为是密切相关的，不同的结构表现出不同的功能和行为。

行为主义学派又称进化主义或控制论学派，其原理为控制论及感知-动作型控制系统。它是从行为心理学出发，认为智能只是在与环境的交互作用中表现出来的。控制论把神经系统的工作原理与信息理论、控制理论、逻辑以及计算机联系起来。早期的研究工作重点是模拟人在控制过程中的智能行为和作用，并在20世纪80年代诞生了智能控制和智能机器人系统，影响了众多领域。

人工智能的研究领域目前比较广泛，但是它更多的是结合具体的领域进行的，主要研究领域有专家系统、机器学习、模式识别、自然语言理解、自动定理证明、自动程序设计、机器人学、博弈、智能决定支持系统和人工神经网络。总的来说它是面向实际应用的，也就是说什么地方有人在工作，或需要有人在工作，它就可以用在什么地方。

人工智能学科领域中有一个重要的学科分支是“专家系统”（expert system, ES）。ES是目前人工智能中最活跃、最有成效的一个研究领域，它是一种在特定领域内具有大量知识与经验的程序系统，应用人工智能技术，模拟人类专家求解问题的思维过程，求解领域内的各种问题，其水平可以达到甚至超过人类专家水平。建立专家系统的主要目的，是利用某一特定问题领域的专家知识，支持和帮助该领域的非专家去解决复杂问题。如用于医疗诊断的专家系统、故障诊断的专家系统等。

我国第一个专家系统——中医关幼波肝炎诊断治疗程序，是1977年由中国科学院自动化研究所控制论组研制成功的。它能够用计算机，根据患者的临床症状和化验结果，通过中医辨证施治的原理和经验进行病理诊断和药物处方，给出患者是否是肝炎及患者是哪种类型的肝炎等诊断结论，给肝炎患者开出相应的中药处方，并提出有关的注意事项。

除了“专家系统”之外，人工智能还开发出了各种类型的应用智能软件系统。如机智博弈的智能软件、智能控制、智能通信、智能管理等。像IBM的“深蓝”系统战胜了国际象棋大师卡斯帕诺夫，就是显示计算机的机器智能水平的一次经典范例。

目前，随着计算机网络、通信和并行程序设计技术的发展，分布式人工智能已经发展为对多智能体系统的研究，即如何将多个自主的智能体集成到网络上，并使它们通过协作与协商来求解问题。同时多智能体的应用研究范围涉及工业和管理、网络管理、远程教育及因特网上信息处理等领域。

在国外，已经把智能体的研究应用于智能教学系统、远程教学系统及健康教育系统等。在国内，将多智能体技术应用于处理像 Internet 这样的具有异构、分布、动态、大规模及自主性的系统，是人工智能技术在信息处理方面的一个崭新应用。

目前人工智能的发展已对人类及其未来产生深远的影响，这些影响涉及人类的经济利益、社会作用和文化生活等各个方面，如基于行为人工智能的微型机器人、使用人工智能方法产生装配次序的 CAD/CAM、在计算机数控加工上的应用、使用人工智能分析船的保护动力系统、资料的恢复、智能型设计制造一体化技术等。

现在人工智能的研究，已从“一枝独秀”的符号主义发展到多学派的“百花争艳”，正沿着不同的途径和方法进行着深入的研究和探索，并取得了长足的进展。虽然各学派在人工智能的基本理论、研究方法和技术路线等方面有着不同的观点，而且在某些观点上甚至有着激烈的争论，但他们的目标是相同的，都是研究如何模仿人的智能，实现机器智能，造福人类。人工智能与应用虽然取得了诸多成果，但离全面推广应用还有很大距离，还有许多问题有待于解决且需要许多学科的研究专家共同努力，只有这样人类才能从人工智能技术中获得不可估量的利益。

（三）认知神经科学

认知神经科学是在传统的心理学、生物学、信息科学、计算机科学、生物医学工程，以及物理学、数学、哲学等交叉的层面上发展起来的一门新兴科学，旨在阐明自我意识、思维想像和语言等人类高级精神活动的神经机制。换句话说，它是研究脑如何创造精神的。

认知神经科学发端于 20 世纪 70 年代后期，形成于 90 年代，是由美国心理学家米勒首先提出来的。虽然认知神经科学发展较晚，但是人类对神经和大脑功能的探索可以追溯到 19 世纪。早在 1819 年德国医生考（Call）和他的学生斯博兹海姆（Spurzheim）首先提出了“颅相学”（phrenology），他们认为人的头骨外形与脑的形状是相互对应的，不同心理功能分别定位于不同的大脑区域，大脑共有 35 个特定功能区域等。此后各国的神经病理学家、心理学家、生理学家等纷纷对大脑功能区域及神经提出了各种研究报告。1861 年，由法国神经病理学家保罗·布洛卡（Paul Broca）报道了一则表达性失语症病例。该病人能理解语言，能讲出单词，但不能讲出合乎语法的句子。待病人死后经解剖发现其损伤部位在左半球额下回后部，证明了大脑中存在言语运动中枢，即 Broca 区。这是人类第一次在人的大脑皮质上得到机能定位的直接证据，因而布洛卡（Broca）被誉为神经科学之父。尽管在脑与神经方面科学家们都做出了相应的努力和贡献，但是由于受时代和条件的限制，脑与神经方面的研究还是受到很大程度的制约。因为对此问题的研究必须

拥有两个必需的条件：一是作为一门实验科学，对脑和神经系统的研究在很大程度上依赖于研究手段的发展与完善，依赖于采用行之有效的实验方法控制和分析人的心理过程；二是神经科学的发展，在相当程度上取决于能否找到合适的实验材料来对某个特定问题进行研究，特别是能够用于观察和研究人类脑功能的无损性技术和设备的使用。前一个条件等到20世纪50年代末将计算机的信息加工理论应用于研究人的认知过程，即认知心理学的产生时才具备；后一个条件等到20世纪50年代末，随着计算机在生物学中的应用导致脑事件相关电位（event-related potential, ERP）的出现才算具备，再到20世纪80年代正电子发射断层扫描技术的出现才算进一步成熟。这两个基本条件的具备才使认知神经科学的出现成为可能。

其后，随着科学技术的不断发展，认知神经科学开始在70年代后期得到迅速发展。其发展是沿着两大研究方向进行的。其一是神经信息传递、编码和加工的研究，在70~80年代阐明了神经细胞之间信息传递的化学机制，80~90年代，发掘出细胞内信号转导的多种机制。90年代则在细胞核内发现了与神经信息存储相关的基因调节蛋白，揭示了神经信息和遗传信息的内在联系纽带。其二是生物医学构像技术，特别是在1992~1994年开始出现的功能性磁共振成像技术可以用于人类认知活动的研究；脑事件相关电位、脑磁图和高分辨脑成像等方法，可以为人类认知功能研究提供诸多新的数据。随着这些技术的发明和使用，认知神经科学正展现出更加强大的活力，并确定了神经科学在整个认知科学中的基础地位，对认知科学产生了广泛的影响。正像加利福尼亚圣地亚哥大学神经学家塞吉诺斯基（Sojnowski）所言：“对我来说基本的问题总是脑怎样工作。在试图理解脑怎样工作的过程中，我开始估计不仅是脑的结构的复杂性，而且是脑的认知能力的复杂性。脑的研究将需要至少两个主要科学领域——认知科学和神经科学之间的合作以使得综合成为可能。”在阐述认知神经科学对计算机科学的影响并形成新的分支学科——计算神经科学时，他说：“现在刚刚开始出现的、由麻省理工学院出版社出版的名为《神经计算》的杂志，刊载了来自超大规模集成电路共同体——与实际制造芯片有关的论文。为什么芯片研究者对神经计算感兴趣？因为计算机科学家最终认识到，像视觉和言语识别那样的问题是不容易计算的，以致为了解决它们，你需要设计能并行地解决这些问题的特殊芯片。他们发现，关于电路应该怎样看的大量灵感，实际上来自关心脑的回路的神科学家。”

认知神经科学发端于欧美，并迅速发展起大跨度的多层次脑研究，1969年，美国神经科学学会成立；1979年美国的认知科学学会成立；1994年，美国建立认知神经科学学会；1997年，成立人类脑成像组织。1990年美国国会通过议案，并由美国总统布什签署“脑的十年”（1990~1999）。脑科学研究不仅在美国，也在全球范围内开展起来。

1991年欧共体成立了“欧洲脑的十年”委员会，并采取许多措施改善欧洲各国之间脑科学的研究与交流，提高神经科学的显示度和加强对脑研究的支持。德国起步虽晚，但后来居上，在1997~1999年建立了最先进的认知神经科学实验基地。值得注意的是，日本经过长时间的酝酿后，也于1996年推出了“脑科学时代”的庞大计划纲要，拟在20年内，以每年1000亿日元（约8亿美元）的力度推进脑科学的研究，提出把“认知脑”——阐明智力与思维工作机制，“保护脑”——延缓衰老和治疗神经精神疾病，“创造脑”——建立创新信息处理系统，作为其研究奋斗目标。尽管中国的认知神经科学研究还处于起步阶段，但认知神经科学在世界范围内的发展为中国对脑功能与机制的科学研究提供了机遇与挑战。国内的研究者已在许多方面取得进展。在比较各国的发展势态时，脑与认知科学目前已经被列入我国科技长期发展规划中，并予以高度重视。科技部长徐冠华指出：“信息科学、生命科学、脑与认知科学等将成为未来30或50年的新的科学前沿之一，引发新的生产力变革，导致全球生产关系的全面调整和利益格局的重新分配。”中国科协副主席韦钰博士指出：“或许可以说，20世纪前50年属于物理科学，后50年属于生物科学，21世纪前50年似应属于脑科学。”

虽然认知神经科学起步较晚，但其实验基地形成之迅速，理论著作问世之集中，都反映了该研究领域的重大意义和巨大的生命力。

二、认知科学的发展趋势

由于科学技术的快速发展，特别是认知科学各分支学科的进一步成熟，目前认知科学的发展呈现出以下三大发展趋势。

（一）在研究内容上将越来越重视环境对认知能力的影响

认知能力是在不同的环境压力 and 影响下通过自然选择而形成的一种适应过程。认知能力不仅体现出人类的算法多样性与综合性，更体现出认知能力源于环境，它不是每个头脑作为孤立系统的内部运动过程，而是体现于制约着环境又作用于环境的个体高效目的行为。史蒂文·平克（Steven Pinker）说：“人类的心智不是一台通用计算机，而是在进化过程中为了解决问题所形成的具有适应性的本能。”即认知取决于环境，它发生在个体与环境的交互作用中，而不是简单发生在每个人的头脑之中。因此，认知能力（自然脑或人工脑）在特定环境下完成高效目的行为的过程及其内部机制就成为人类发展的基本命题，其目标不仅在于运用当代各种图灵计算原理，还在于试图突破图灵计算，追求智能本质的新认识。这在人类的感觉发展阶段中可以明显地体会到，在这一阶段，器官对外部刺激非常敏感，特别是人类的大脑调用其各层次上的组件，包括分子、细胞脑组织

区和全脑去实现自己的认知活动。所以，大脑功能及其认知结构的发展取决于环境的影响。重视环境对人类认知能力的影响，这是认知科学发展的一大趋势。

（二）在研究层次上将越来越重视多层次的跨学科整合

从目前的研究状况来看，认知科学将继续推进3种类型的整合。首先，在一般的概念层面上实现新的跨学科的整合。认知科学是在心理学、计算机科学、神经科学、语言学、哲学和人类学6个相关基础科学的交界面上发展起来的高度跨学科的新兴科学。

某些传统科学的有些分支又吸收了认知科学的理论和某些新技术，从而可以成为新学科分支的组成部分。例如，从经过整合后的神经科学派生出的神经心理学、生理心理学、心理生理学、神经生物学、行为药理学等都是这些传统神经科学的分支，它们一经吸收了认知科学和神经科学的新理论和新技术，这些传统学科就得到新生。于是，认知神经心理学、认知生理心理学、认知心理生理学、认知神经生物学、计算神经科学等逐渐形成。现在，认知科学各分支学科的研究人员越来越认识到相互进行对话和交流的必要性，并从多学科的交流中获得创造性研究启示。其次，利用不同学科的方法收集到不同类型的数据，推进了实验层面的整合。例如，对语言的研究需要将定性的语言学数据与实验心理学和神经科学的数据结合起来考虑；要解决意识这一异常困难的问题不仅要求重视行为学和神经学上的数据，还要靠人们从意识经验得到的科学记录。最后，实现由计算与模拟所带来的理论整合。为了最大限度地了解人类的认知，现在有越来越多的研究者倾向于采用不同类型的计算与模拟的方法，并从多种角度来研究和检验认知科学理论的正确与局限。通过不同计算形式与模拟而获得相似结果，会完善和丰富认知科学理论。结果不相似则表明该理论还需进一步研究，以了解究竟存在什么问题，从而可以避免研究人员从一个单一研究的有限发现中得出不正确的理论。这种跨学科、多层次的整合是认知科学发展的另一趋势。

（三）在研究方法上将越来越注重采用无损性实验技术

近年来脑成像技术的发明和发展已成为现代生命科学的最先进的高科技成就，它具有传统研究方法无可比拟的优势，使研究者可以直接“观摩”到大脑的活动，是当前最为有效的实验技术。其技术显示有两种。一种是取高分辨率脑电或脑磁成像的理想时间分辨率；另一种是功能性磁共振成像（fMRI）或正电子发射层扫描（PET）的准确空间分辨率。将两类图像的配准、融合共同投射到结构图像上，已成为这一研究领域的重大技术路线。采用脑成像技术研究人类脑的认知结构和功能，已成为认知科学发展的第三大趋势。

参考文献

- 保罗·萨加德. 1999. 认知科学导论. 朱菁译. 合肥: 中国科学技术大学出版社
- 贝希尔 W. 1999. 联结主义与心灵哲学概论. 高新民译. 哲学译丛, (2): 61~69
- 伽德纳. 1991. 心灵的新科学: 认知革命史. 张锦等译. 沈阳: 辽宁教育出版社
- 哈肯. 1994. 协同计算机和认知——神经网络的自上而下方法. 杨家本译. 北京: 清华大学出版社
- 加扎里加. 1998. 认知神经科学. 沈政等译. 上海: 上海教育出版社
- 卡尔文. 1996. 大脑怎样思维. 杨雄里等译. 上海: 上海科技出版社
- 鲁达尔. 1987. 计算机与控制论. 北京: 科学出版社
- 尼尔逊. 1984. 人工智能原理. 北京: 科学出版社
- 帕斯克等. 1987. 电脑、信息和人类. 北京: 中国展望出版社
- 皮亚杰. 1985. 发生认识论原理. 王宪钊译. 北京: 商务印书馆
- 皮亚杰. 1989. 生物学与认识. 尚新建等译. 北京: 三联出版社
- 萨加德. P. 1994. 心智社会: 作为分布计算的科学. 哲学译丛, (3): 1~11
- 塞尔. 1991. 心、脑与科学. 上海: 上海译文出版社
- 斯米尔诺夫等. 1981. 心理学的自然科学基础. 北京: 科学出版社
- 温斯顿. 1987. 人工智能. 北京: 科学出版社
- 西蒙. 1986. 人类的认知——思维的信息加工理论. 荆其成译. 北京: 科学出版社
- 西蒙. 1993. 科学发现就是解决问题. 鲁旭东译. 哲学译丛 (3): 52~58
- 熊哲宏. 2002. 认知科学导论. 武汉: 华中师范大学出版社
- 章士嵘. 1992. 认知科学导论. 北京: 人民出版社
- 赵南元. 1994. 认知科学与广义进化论. 北京: 清华大学出版社
- 赵南元. 2002. 认知科学揭密. 北京: 清华大学出版社
- Bogdan R J. 1996. Interpreting minds. The MIT Press
- Lycan W. 1990. Mind and cognition: A Resder. New York: Basic Books
- Montgomery. 1995. Explanation and evaluation in cognitive science. Philo-sophy of Science, 62: 261~282
- Schacter D L. 1989. Memery. In: Posner M I. Foundation of cognitive science. Cambridge, MA: MIT Press
- Searle J R. 1990. Who is computing with the brain? Author' Response. Behavioral and Brain Science, 13 (4): 632~640
- Simon H A. 1990. Invariants of human behavior. Annual Reviwe of Psychology, 41: 1~20
- Thagard P. 1995. On what is cognitive science? Philosophy of Science, 62: 345~346
- Tim Van Gelder. 1995. What might cognition be, if not computation? The Journal of Philosophy, (92): 345~381
- Wagman M. 1993. Cognitive psychology and artificial intelligence: theory and research in cognitive science. Connecticut: Praeger Publishers

第二章

认知的脑结构

第一节 神经元的基本结构与机能

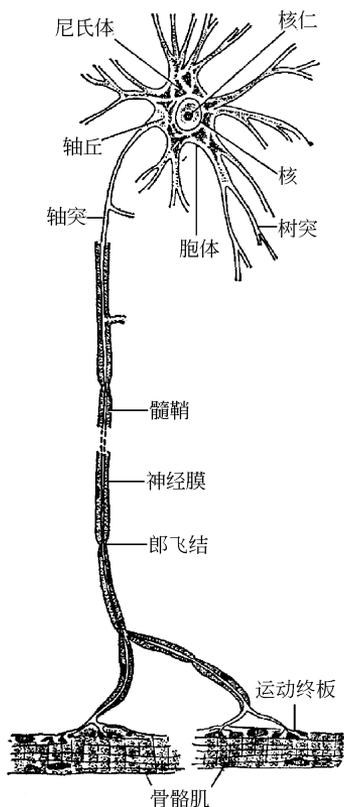


图2-1 神经元(邱树华等 1986)

神经元 (neuron) 是一类高度分化的细胞, 是神经系统的结构和功能单位, 具体地讲, 神经元是一个神经细胞的胞体 (perikaryon, 又称核周体) 及其所有突起 (axon and dendrite, 轴突和树突)。它可以接受刺激, 产生和扩布神经冲动, 并将神经冲动传递给其他神经元或效应细胞。人类大脑约有 10^{11} 个神经元, 这个数量大致相当于银河系中的星球数量, 而且没有任何两个神经元形状完全相同。一般来说, 越是高等动物, 其神经元的数量越多。

神经元的结构一般由两个部分构成: 胞体和突起。突起又分为树突和轴突。其结构如图 2-1、图 2-2 所示。

细胞体是神经元的营养中心, 主要位于脑、脊髓和周围神经内。在不同的神经元, 其细胞的形状和大小差异很大。

突起分为树突和轴突两种。树突有一条或多条, 形状像树枝。轴突在每一个神经元只有一条, 其长短因神经元而异, 短者仅数 $10\mu\text{m}$, 长者可达 1m 以上。树突和胞体是接受神经冲动的主要部位, 轴突则把冲动自细胞体传出。

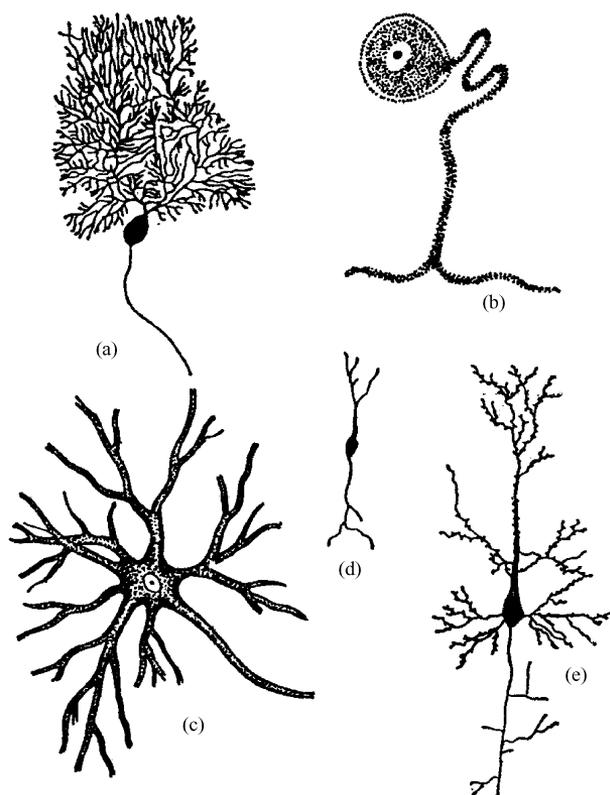


图 2-2 神经元的几种主要形态 (邱树华等 1986)
 (a) 小脑浦肯野 (Purkinje) 细胞 (多极); (b) 脊神经节细胞 (假单极); (c) 脊髓的运动神经元 (多极); (d) 内耳的双极细胞; (e) 大脑皮质锥体细胞 (多极)

一、神经元的胞体

每一个神经元都是由细胞体和由细胞体发出的一个或几个长短不等的突起构成。神经元的胞体结构与其他细胞的胞体结构基本上是一致的,都具有胞核、核周围的胞质和胞质表面的薄层质膜。

(一) 细胞核

神经元的细胞核一般位于神经细胞的中央并且呈球状,其大小随细胞的不同而存在一些差异。每个神经细胞有一个核仁,内含有相当数量的核糖核酸,还含

有 DNA 和有关蛋白质组成的遗传物质。核内的 DNA 有两种作用：一个作用是可以复制自身，进行细胞分裂；另一个作用是作为模板，制造神经元所需要的各种不同的功能蛋白质。

(二) 细胞质

神经元的细胞质在活体细胞中是一种半液态的黏性物质，包括线粒体、高尔基体、溶酶体等，但较为特殊的是尼氏体 (Nissel's body) 和神经元纤维 (neurofibril)。

尼氏体为神经元所特有，由糙面内质网和核糖核蛋白所组成，是神经元内合成蛋白质的主要部位。尼氏体存在于神经细胞胞质和树突内，轴丘和轴突内没有。

神经元纤维为成束排列的细束，它们分布在神经元胞体和胞突之中，由直径不等的神经微管和微丝组成。在胞体中，神经元纤维交织成网；在胞突中，它们与轴突和树突的长轴彼此平行，密集成束，神经元纤维的功能一般认为起着细胞骨架的作用和协助轴浆运输物质的作用。

(三) 细胞膜

神经元的基本结构分为细胞体、树突和轴突 3 个部分，它们的外面都有一层具有重要生理功能的细胞膜。它的结构是以液态的脂质双分子层为基架，并且有不断流动的具有各种生理功能的蛋白质分子镶嵌其中 (图 2-3)。

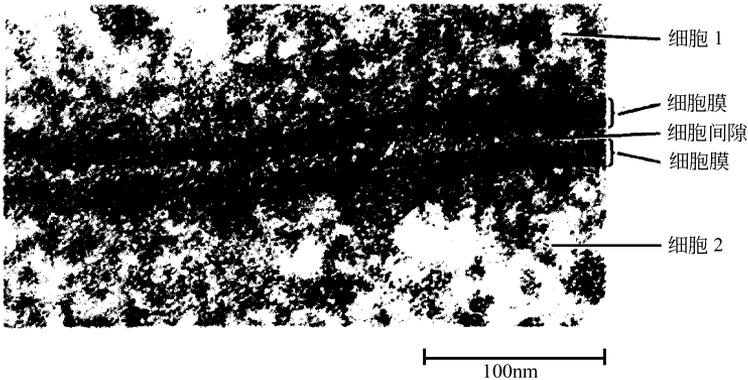


图 2-3 电镜下的细胞膜结构 (Becker et al. 1991)

在电镜下可以看到相邻的两个细胞被各自的双层膜所围绕；其疏水性基团在膜的中央，而亲水性基团对着细胞质和细胞外液

构成细胞膜双分子脂质的主要成分是磷脂。每一个脂质分子由一个“头部”和两条“尾巴”组成，“头部”是可溶于水的亲水基，“尾巴”是不溶于水的疏水基。事实上，神经元的基本功能主要就是通过神经元的细胞膜来完成的。

二、神经元的突起

神经元的突起分为两种类型：树突和轴突。

（一）树突

树突是神经元胞体的延伸部分。树突的基部较宽，向外生长时反复分支和不断变细，一般较短。在树突的小分支上有大量的细刺状突起，称为“棘”，树突棘是接受神经冲动的突触器官，是和其他神经元具有机能性连接的部位。

树突棘不是固定的结构，在去除神经纤维后或者到了老年时，树突棘可减少甚至消失，如果重新得到了神经支配，树突棘又可再现。

树突的基本功能就是接受其他神经元传来的信息，在胞体综合后，从轴突传向下一级神经元，所以树突区一般被看作是神经元的“感受区”。信息也可以在树突这一层次进行传递，而不必从轴突或胞体传出。在大脑皮层里，就容积而言，整个树突约占脑神经组织总面积的1/4。有报道证实，大脑皮层内树突棘的数量与经验的积累有关，树突棘随着人经验的积累而增加。

（二）轴突

轴突是从体细胞（有时是分裂细胞）延伸出来的细长管道，适时通过传送电子化学信号对信息做出反应，电子化学信号一直传到管道末端，在那里传递给其他神经元。轴突包括两种基本上同时存在的类型，其区别在于是否含有髓磷脂。髓磷脂是一种白色的脂肪物质。有些轴突有髓鞘包着以使之与其他神经元隔开，使更长的轴突免受附近其他神经元的电子干扰，并同时有助于加快信息的传递效率。另一种轴突完全没有髓磷脂包着，因此信息传递的速度也更慢。

三、神经元的分类

神经元胞体的形状和突起的长短、排列、数量是多种多样的，在神经系中神经元所起的作用和功能也是各不相同的。所以根据不同的标准可以把神经元分为不同的类型。

（一）根据神经元突起的数目分类

一般根据神经元突起数目的多少，可以将神经元分为单极神经元、双极神经

元和多极神经元3种类型。

1. 单极神经元

单极神经元或称假单极神经元，细胞体在脑神经节或脊神经节内。由细胞体发出一个突起，此突起离细胞不远就分为两支，其中一支至皮肤、运动系或内脏等处的感受器，称为周围突；另一支进入脑或脊髓，称为中枢突。两者在结构上与轴突一样，没有树突和轴突的区别，但在功能上是不同的。中枢突是将神经冲动由胞体传入中枢，所以它有轴突的功能，而周围突则是将神经冲动由感受器传向胞体，所以它有树突的功能。

2. 双极神经元

双极神经元多为梭形，由其相对的两极发出突起，其中，一个是树突，另一个是轴突。如视网膜中的双极神经细胞属于此类。

3. 多极神经元

多极神经元的数目很多，具有多条树突及单一的轴突。细胞体主要存在于脑及脊髓之内，也有部分存在于内脏神经节内。

(二) 根据神经的功能特性分类

根据神经元在神经系统中的功能和所起的作用，可以分为感觉神经元、中间神经元和运动神经元。

1. 感觉神经元

感觉神经元的作用是接受刺激并将外周获得的信息（神经冲动）传入中枢，故又称为传入神经元。脊神经节、脊髓和脑中位于感觉神经核的神经元都是感觉神经元。

2. 中间神经元

中间神经元整个都在中枢以内，位于感觉神经元与运动神经元之间，起着联络作用，也称为联络神经元。脑内的大多数小神经元，如丘脑、脊髓后角的一些神经元就属于中间神经元，大脑联络皮层的大多数神经元也是中间神经元。

3. 运动神经元

运动神经元是将信息（神经冲动）从中枢传递到效应器（肌或腺体）的神经元，也称为传出神经元。大脑皮层的锥体细胞、脑干运动核和脊髓前角等处的神经元就属于运动神经元，也称为传出神经元。

此外，根据神经的作用，可将神经元分为兴奋神经元和抑制神经元。兴奋神经元对后继神经元的作用效应是使其兴奋。如脊髓前角内的躯体运动神经元为兴奋神经元；抑制神经元对后继神经元的作用效应是使其出现抑制反应，闰绍细胞为抑制性神经元。根据神经元释放的递质不同，可将神经元分为胆碱能神经元、