



北京市高等教育精品教材立项项目

RENZHI

SHENJING KEXUE DAOLUN

# 认知神经科学导论

沈政 方方 杨炯炯 等 编著



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

北京市高等教育精品教材立项项目

# 认知神经科学导论

沈 政 方 方 杨炯炯 等编著



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

**图书在版编目(CIP)数据**

认知神经科学导论/沈政,方方,杨炯炯等编著. —北京:北京大学出版社,2010.5  
ISBN 978-7-301-15857-9

I. 认… II. ①沈… ②方… ③杨… III. 认知科学-概论 IV. B842.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 171198 号

**书 名:** 认知神经科学导论

**著作责任者:** 沈 政 方 方

**责任编辑:** 陈小红

**封面设计:** 张 虹

**标准书号:** ISBN 978-7-301-15857-9/B·0828

**出版发行:** 北京大学出版社

**地 址:** 北京市海淀区成府路 205 号 100871

**网 址:** <http://www.pup.cn> 电子邮箱: [zpup@pup.pku.edu.cn](mailto:zpup@pup.pku.edu.cn)

**电 话:** 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752021 出版部 62754962

**印 刷 者:** 三河市北燕印装有限公司

**经 销 者:** 新华书店

787 毫米×960 毫米 16 开本 16.75 印张 356 千字

2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷

**定 价:** 32.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子邮箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

## 内 容 介 绍

作为大学本科教育的基本教材,本书由三部分共十二章组成。第一部分(第 1、2 章)介绍了认知神经科学的理论概念、方法学原理和相关学科的基础知识;第二部分(第 3~7 章)是本书的主要内容,分别讨论了知觉、注意、学习记忆、语言思维和社会情感等认知神经科学基础知识;第三部分(第 8~12 章)分别讨论了成瘾行为、测谎、精神疾病和脑与心理发展障碍等问题的当代研究进展,它是第二部分内容的延伸与扩展,使认知神经科学基础知识更贴近社会生活和疾病等重要问题。

本书的特点在于它的系统性、前沿性和广泛性。系统性是指其对基本心理过程的认知神经科学知识进行系统性介绍;前沿性在于它吸收了认知神经科学近几年的最新研究成果,引用了较多 2008—2009 年的文献资料;广泛性指它蕴涵的多方面的内容都与社会生活息息相关。

本书不仅适用于心理学、教育学、医学等院系的本科基础教学,还可作为法律、哲学和计算机科学等专业的教学参考书,作为提高基础理论水平的读物并有助于上述各领域的研究人员扩展知识、提高理论水平。

## 前 言

认知神经科学是当代国际前沿科学之一,它采用无创性脑成像技术和有创性动物实验相结合的策略,揭示智能和情感活动的脑功能基础。简言之,这是运用当代科学手段揭示大脑奥秘的科学领域。自从1995年它以高度跨学科的姿态展现在科学界以来,仅仅十多年就已经取得很大的进展:加深了对基本认知过程的脑科学认识,开拓了社会情感认知神经科学的新领域,并为许多重大脑疾病揭示出前所未有的新科学事实。

1879年冯特在德国莱比锡大学建立世界上第一个心理学实验室,标志着科学心理学的开端。实验心理学从感觉阈值的测定和记忆与遗忘曲线等简单心理现象的实验分析做起;即使是生理学和心理学交叉的生理心理学,在20世纪上半叶,仍然只能以动物跑迷宫或经典条件反射为手段研究脑和行为之间的关系。20世纪60~80年代,认知心理学创建的初期,也只能在知觉、注意和记忆等心理活动实验中,分析它们的认知加工过程;对这一过程的脑功能基础,只能靠事件相关电位和外周生理参数进行粗略的研究,并在20世纪60年代导致心理生理学分支学科的诞生。与以往的历史不同,认知神经科学在相关学科研究的基础上,很快就开拓出社会情感认知神经科学的新领域,研究人们社会交流和理解他人的脑科学基础,为探索社会相关的脑科学问题奠定了基础。2008年11月,著名认知神经科学权威Gagganiga在*Neuron*杂志上,以“法律与神经科学”为题发表评论,他认为认知神经科学为一些社会伦理学和法律问题提供了良好的科学基础,为一些行为的法律界定提供了科学手段。他还介绍了近两年美国、英国和欧洲各国科学基金会资助法律相关的认知神经科学研究的情况。所以,在撰写这本教材时,我们为当代社会情感认知神经科学的发展及其在法律和社会问题中的作用所鼓舞,在书中增写了成瘾行为和测谎等章节。使本书形成三个单元:认知神经科学理论与方法学基础(第1、2章)、基本心理过程的认知神经科学基础(第3~7章)和社会与疾病等重大问题(第8~12章)。无论是关于语言、思维和情感等高级复杂心理过程的研究,还是社会与疾病的重大问题研究中,最近几年都出现了重大科学突破。作者在撰写这些问题时,情不自禁地为这些闪光点感到振奋。例如,第6章中思维和语言的诸多脑功能回路,第7章情感脑机制的新理论体系,第8章毒品复吸的脑内最后共同通路,第9章对传统测谎技术的评价和新技术的孕育,第10章精神疾病的遗传内表型,第12章在脑性别分化中激素的作用;还有移植胎脑的帕金森氏病人,十多年死后尸检发现,胎脑细胞仍存活在老人脑内等。这些新科学事实和新概念,有助于我们对自身、他人和社会的全面理解,有助于人们科学准确地对待社会、疾病和人际交往中出现的问题。对国家和社会而言,这些新知识以及未来揭示的认知神经科学新知识,将会有助于科学与法制社会

的融合,对测谎、吸毒、多种形式的性偏好与性行为、精神疾病等都会出现新的视角、疗法和法律界定的新标准。

本书作为心理学、教育学、医学等院系的本科教材,由下列北京大学和北京师范大学的五位教授们合作编写,第2章第由林庶芝,第3章由方方,第5章由杨炯炯,第11章由王立新分别撰写,其余各章由沈政撰写。由于写作匆忙和水平所限,错误之处恳请同行指正。

沈政

2009年4月于北京大学

# 目 录

<b>第 1 章 概论</b> .....	(1)
第一节 认知神经科学的诞生.....	(1)
第二节 认知神经科学的基本理论.....	(4)
第三节 认知神经科学的方法学.....	(7)
第四节 认知神经科学的发展.....	(12)
<b>第 2 章 基础知识</b> .....	(19)
第一节 神经系统的形态结构与基本功能.....	(19)
第二节 神经细胞的信息传递.....	(30)
第三节 大脑的电活动与心理生理学的基本理论概念.....	(35)
第四节 神经网络、神经计算和计算神经科学.....	(43)
<b>第 3 章 知觉和意识</b> .....	(49)
第一节 知觉.....	(49)
第二节 意识.....	(63)
<b>第 4 章 注意的认知神经科学研究</b> .....	(72)
第一节 从朝向反射理论到模式匹配理论.....	(72)
第二节 选择性注意的心理资源分配理论.....	(75)
第三节 当代认知神经科学对注意的研究.....	(81)
<b>第 5 章 学习和记忆的认知神经科学基础</b> .....	(85)
第一节 学习记忆与大脑.....	(85)
第二节 工作记忆.....	(89)
第三节 陈述性记忆.....	(93)
第四节 非陈述性记忆.....	(100)
第五节 学习记忆的分子生物学机制.....	(105)
<b>第 6 章 语言、思维和智力</b> .....	(109)
第一节 语言的认知神经科学基础.....	(109)

第二节 思维.....	(118)
<b>第7章 社会情感认知神经科学.....</b>	<b>(128)</b>
第一节 情绪的认知神经科学基础.....	(128)
第二节 目标行为及其监控.....	(136)
第三节 人际交往和相互理解的脑功能基础.....	(140)
<b>第8章 成瘾行为的脑科学基础.....</b>	<b>(146)</b>
第一节 化学物质的成瘾.....	(146)
第二节 烟、酒、茶的嗜好.....	(158)
<b>第9章 测谎及其认知神经科学基础.....</b>	<b>(162)</b>
第一节 多导生理记录仪和传统测谎技术.....	(163)
第二节 事件相关电位测谎研究.....	(178)
第三节 现代脑成像测谎技术.....	(192)
<b>第10章 精神疾病的脑科学基础 .....</b>	<b>(198)</b>
第一节 精神疾病.....	(198)
第二节 精神分裂症的疾病性质和遗传内表型.....	(210)
<b>第11章 儿童脑发育障碍的认知神经科学基础 .....</b>	<b>(220)</b>
第一节 自闭症.....	(221)
第二节 儿童注意缺陷/多动障碍 .....	(231)
第三节 学习障碍.....	(238)
<b>第12章 脑发育和衰老 .....</b>	<b>(242)</b>
第一节 脑的发育.....	(242)
第二节 脑的衰老.....	(248)
<b>参考文献.....</b>	<b>(255)</b>



# 1

## 概 论

本章对认知神经科学产生的历史背景和过程及其基本理论概念和方法学进行了介绍,并对它在过去十多年间所取得的研究进展和目前发展趋势做了概括性的介绍。

### 第一节 认知神经科学的诞生

作为认知神经科学的发端,虽然“认知科学”一词早在 1973 年就已出现,但严格地说,直到 1995 年《认知神经科学》一书问世,才标志着认知神经科学作为一个成熟的科学分支,立于世界科学发展的前沿。麻省理工学院出版社 1995 年推出的大部头专著《认知神经科学》由著名科学家、裂脑研究专家加扎尼加(Gazzaniga)教授主编,170 多位国际著名学者分别为全书 11 篇 92 章撰文,全书 1400 多页 200 多万字,有百余张插图和 27 张彩图。这本巨著全面描绘了认知神经科学是研究人类心灵脑机制的科学,把它确立为一门崭新的独立学科。这门科学为人类揭示出神经组织和脑结构怎样通过其生理过程,产生知觉、注意、记忆、语言思维、情感和意识等精神活动的奥秘。

#### 一、认知神经科学的序幕

认知神经科学的序幕由认知科学和神经科学两大学科群所拉动。这里分别介绍这两大学科群。认知科学(cognitive science)的名词最早由美国科学家 Higgens 于 1973 年所使用,他提出了一个跨学科研究的目标和方案。1975 年,一家美国私人基金会(斯龙基金会)支持了这个跨学科的研究计划,并于 1977 年创刊了《认知科学》杂志。1980 年初,美国学术界的一些有影响的大学开始设立认知科学研究中心,其中加州大学圣地亚哥分校的认知科学中心和麻省理工学院的认知科学中心建立得较早,也最有影响。1987—1990 年,麻省理工学院出版社先后推出作为大学本科生和研究生的基础教材《认知科学导论》,该书较全面地总结了认知科学,介绍了一些研究领域的进展。

什么是认知科学? Pylyshyn 指出:认知科学是研究智能实体与其环境相互作用原理的科学。所谓智能实体是人类、动物和智能机的泛称。因此,也可以说认知科学研究的是人类、动物和机器智能及其与环境相互制约的关系。研究人类智能的科学有心理学、心理语言学;研究动物智能的有动物心理学和比较心理学;研究机器智能的科学有

计算机科学,特别是人工智能学以及人工神经网络的研究。此外,在宏观水平上,概括研究智能实体的表征、计算能力及其内部结构与功能关系,则成为计算认知科学和认知哲学的重要命题。总之,认知科学是一大类科学的总称,主要包括心理语言学、心理学、人工智能学、人工神经网络理论、计算认知科学和哲学认识论。

1987—1988年间,欧洲认知科学界由35位著名科学家组成的科学技术发展预测和评估委员会(FAST),经过反复研究后,建议出版一套认知科学研究指南,倡导五个领域的研究工作:认知心理学、逻辑和语言学、认知神经科学、人机接口和人工智能。认知神经科学作为该系列出版物的第四卷已于1991年出版,标志着认知神经科学在欧洲作为一门独立的科学分支已经得到认可。虽然我国认知科学起步较晚,但发展却很快。20世纪80年代初,推动我国认知科学发展的3个源头都显示出了无限的生命力。首先,老一辈著名科学家钱学森倡导系统论与思维科学的研究活动,并出版了一系列论文集和著作。其次,认知心理学理论研究在国内外的交流与发展中,逐渐成为心理科学的主流,在国内形成一支研究力量,包括中国科学院心理所、各大学心理学系和中国科技大学研究生院的北京认知实验室,并出版了一批代表性著作。再次,国内外计算机科学的发展产生对人工智能与神经网络理论研究的迫切需要,并形成庞大的研究队伍。20世纪80年代末期,先后建立了中科院自动化所的模式识别实验室,北京大学视觉、听觉信息处理实验室和清华大学智能信息处理实验室。自1990年,我国8个一级学会联合召开“中国神经网络首届学术会议”以后,跨学科研究队伍不断扩大。1993年,在国家“八五”计划中,将“认知科学若干前沿领域”列为国家高科技攀登计划的重大项目,并同时“有神经网络功能的非线性动力学研究”作为重点课题投入工作。总之,无论国内还是国外,20世纪80~90年代,认知科学都是受到高度重视的高科技新领域。

神经科学是一大类学科的总称,这些学科均以“分析神经系统的结构和功能,揭示各种神经活动的基本规律,在各个水平上阐明其机制,以及预防、诊治神经和精神疾患”为自己的基本研究内容,包括神经生理学、神经解剖学、神经胚胎学、神经组织学、神经组织化学、神经细胞学、神经超显微结构学、神经生物化学、神经生物物理学、神经药理学、精神药理学、行为药理学、神经遗传学、神经免疫学、神经行为学、比较心理学、生理心理学、心理生理学、神经心理学、比较神经学、神经病学、神经外科学、精神病学、脑肿瘤学和颅脑影像学等。这些学科彼此渗透,相互支持,新技术、新概念层出不穷,日新月异,构成当代生物医学发展的前沿学科之一。

神经科学的发展历史可以追溯到几世纪以前的自然哲学时期,甚至在中国古代第一部医书——《黄帝内经》中也有体现。然而,当代神经科学的孕育,是从1958年在莫斯科召开的国际脑研究进展的学术会议上开始的。在这次会议上,许多国家的代表都希望能成立一个非政府间的跨国机构,目的在于组织脑研究的学术交流活动,这就促成60年代初国际脑研究机构(The International Brain Research Organization, IBRO)的

建立, IBRO 成立以来, 与国际科联(The International Council of scientific Unions, ICSU)和世界卫生组织(The World Health Organization, WHO)之间建立了密切的协作关系。在 IBRO 成立的最初年代里, 建立了 7 个传统的学部, 并均冠以“神经”二字, 包括神经解剖学、神经化学、神经胚胎学、神经内分泌学、神经药理学、神经生理与行为学和神经语言与通讯学。

美国神经科学会成立于 1964 年, 当时只有几百名会员。1991 年, 其会员竟达 1.9 万人, 成为生物科学最大的学会。这一发展与美国政府对神经科学的高度重视有关。1989 年 7 月 25 日, 美国总统签署了国会通过的法令, 将 20 世纪 90 年代称为“脑的十年”, 呼吁美国公众、各种组织机构包括神经科学研究社团、各级政府, 积极促进神经科学的发展。这项议案列举了 20 条理由, 说明脑研究的科学与社会意义, 以及命名“脑十年”的必要性。我们把这 20 条归纳为 3 个方面。第一, 列举了脑研究发展中开辟了广阔前景的新科学进展, 包括脑成像技术、计算神经科学、分子神经生物学、分子遗传学、分子免疫学和药理学等方面的进展。过去 25 年间, 15 位神经科学家获得诺贝尔生理学或医学奖, 作为脑研究吸收当代科学技术取得的丰硕成果的一种标志。第二, 列举了神经系统疾病、人口老龄化和药物滥用等医学问题和社会问题的严重性和科学解决的迫切性。第三, 列举了对人类思维、情感脑机制的认识和建立神经网络模型研究的可能性和必要性。美国政府和科学界高度重视上述 3 方面的现实问题, 并提出发展神经科学的倡议。世界各国的科学机构和脑研究领域的科学家们, 对美国政府的倡议都感到振奋, 并做出了积极的响应。

我国科学技术部和自然科学基金委员会将脑研究课题列为国家“八五”攀登计划。还批准了六七项与神经科学发展有关的重大、重点研究项目, 如脑神经网络功能的非线性动力学研究、脑内单胺神经元的整合功能、脑下垂体前叶的肽能神经支配、中枢神经生长的实验研究、视中枢神经元对视觉信息特征提取、整合及相关回路研究、神经元核膜上甾体激素受体的研究等。1992 年 11 月 9~12 日, 在上海召开了第一届全国神经科学学术会议, 交流了 321 篇研究论文。

## 二、认知神经科学的诞生

1989 年美国创刊了名为“认知神经科学”的专业期刊, 1991 年美国一家私人基金会 McDonnell-Peu Foundation 拨款 1200 万美元专门资助在全世界各地关于认知神经科学的课题研究。促成了认知神经科学的诞生。1995 年, Gagganiga 主编的《认知神经科学》从分子、细胞、脑结构和脑功能系统四个层次上, 总结了人类对精神活动及其物质基础的研究成果。在分子和细胞两个层次上, 认知神经科学把脑细胞及细胞内的分子结构和功能的可塑性看做是知觉、记忆等心理变化的物质基础; 在脑结构和脑功能系统两个层次上, 认知神经科学以心脑机能结构映射的进化作为理解知觉、记忆、情感和意识等精神活动脑机制的主要基础之一。《认知神经科学》一书的主要思想就是阐明组成脑

的分子和细胞如何以其可塑性参与脑结构与功能系统的形成,进而通过结构与功能系统映射的进化,逐渐出现了人类的意识和多层次的精神活动。认知神经科学之所以能在1995年成熟起来,与科学方法的进步密不可分。20世纪70~80年代神经生物学新技术和分子神经生物学技术层出不穷,为脑科学在分子、细胞水平上的研究进展提供了坚实的方法学基础;20世纪80年代出现的无创性脑成像技术,经过10多年的发展,直至1992年功能性磁共振脑成像技术的出现,形成了空间分辨率和时间分辨率互补的多种无创性脑成像技术,为认知科学家特别是心理学家提供了直接观察正常人心灵变化的脑功能动态变化规律的方法学。多种多样的有创性和无创性研究技术从不同侧面提示了心灵脑活动的许多新科学事实。科学方法的成熟性是认知神经科学诞生的重要前提。

## 第二节 认知神经科学的基本理论

对认知功能的脑机制,从不同学科出发形成了五大理论体系,本节分别加以介绍。

### 一、物理符号论、信息加工学说和特征检测理论

物理符号论是人工智能研究中形成的认知科学理论,信息加工学说是认知心理学中的基本理论,特征检测理论是神经生理学发展中出现的理论学说,三个领域的理论一脉相通。20世纪50年代计算机科学和人工智能诞生不久,就试图把人类的智能用物理符号加以表达,再转化为机器语言的编程,以便在机器运行这些程序中实现人工智能。心理学家以产生式原理用“如果……那么……”的符号形式,表达了人类解决问题的思维过程;而逻辑学家用数理逻辑符号表达了人类的认知过程,两者分别形成了人工智能的心理学派和逻辑学派;认知心理学家们则吸收物理符号论的原理,把人类认知活动视为信息加工过程。

20世纪上半叶,在心理学中占主导地位的理论是行为主义,它注重刺激和其引起的行为反应,而忽略了人们头脑中的心理过程。当时实验心理学也主要是研究简单的感觉、运动和记忆等心理过程。20世纪50年代末,计算机科学和信息科学的迅速发展,特别是在1956年,以Simon和Newell为先导的人工智能领域的形成,以及Chomsky为代表的心理语言学的诞生,都极大地促进了心理学的变革。所以,在50年代末就形成了利用信息加工的概念,改造传统心理学的发展趋势,形成认知主义的理论思潮。1967年,Neisser出版了名为《认知心理学》的专著,标志认知心理学的确立。这本专著将认知心理学划分为视认知、听认知和记忆、思维高层次心理过程等三大部分。随后,传统实验心理学也采用信息加工的理论观点,研究感觉、运动、记忆、知觉等心理过程。高层次心理过程的研究,如概念形成、问题解决、语言运用等,也在信息加工理论下迅速开展起来。到20世纪80年代,完整的认知心理学体系已经建成。Simon把认知

心理学看成是认知科学第一个重要组成学科,然后才是人工智能学、语言学、哲学、神经科学等。认知心理学与认知科学在理论和方法学上有许多共同之处,其差别仅在于认知心理学以人类认知过程为研究对象,而认知科学面对各种智能系统(人、动物和机器等智能系统)。

认知心理学认为,人类认知过程的本质就是信息加工过程,那么,什么是信息?计算机处理的信息是数据和文本,是来自外部输入的离散的物理符号。人类认知过程的信息加工则是对内外刺激的决策与选择所得到的内部表征。因此,人类认知加工的信息寓于认知主体之中,经过四十多年的研究,认知心理学发现人类认知活动所加工的信息相当复杂,并不能简单地使用信息“熵”进行计算。人类认知加工的信息有许多特性:可描述性、层次性、方向性、阶段性和实体包容性。

认知心理学在认知过程研究中,经常使用信息加工的名词,形成了两类加工过程的基本概念,即自动加工过程和控制加工过程。与此相应,还提出信息加工时序性、心理资源有限性和心理资源分配的概念。这些基本概念都是通过知觉、注意和短时记忆的研究,针对反应时的变化和认知作业成绩的实验事实,提炼出来的。除了描写信息加工的性质之外,还在分析加工形式上使用了串行加工、并行加工、连续加工、离散加工、自下而上加工和自上而下的加工等基本概念。总之,认知心理学根据严格控制的实验设计,仅靠行为或操作数据,以上述基本概念为基础,对认知微结构进行推论或巧妙构思。

认知过程脑结构与功能基础问题由神经生理学家研究,提出了特征检测器和功能柱理论。在神经生理学领域中,20世纪50~80年代利用细胞微电极记录的方法,在视觉功能研究中,逐渐形成特征检测器和功能柱理论,为人工智能的物理符号论和信息加工的心理学理论提供了生理学基础。视觉生理心理学研究发现,在视网膜、外侧膝状体 and 大脑皮层中,都存在一些专门对线段、方位敏感的细胞,将它们称为特征检测器。随后在皮层上又发现对颜色进行选择性反应的颜色检测细胞。在大脑皮层上,对外界视野同一空间部位发生反应的这些不同特征检测细胞聚集在一起,形成垂直于皮层表面的柱状结构,称为功能柱,它是皮层功能和结构的基本单元。在视皮层内存在着许多视觉特征的功能柱,如颜色柱、眼优势柱和方位柱。利用细胞微电极技术和脱氧葡萄糖组织化学技术,可以证明一些功能柱的存在。方位柱不仅存在于初级视皮层(枕叶17区),也存在于次级视皮层中,它们对视觉刺激在视野中出现的位置和方向的特征进行提取。

尽管特征提取的功能柱理论可以很好地解释颜色、方位等某些视觉特征的生理基础,但外界千变万化的诸多视觉特征,是否都有与之相应的功能柱呢?这些都是特征提取功能柱理论所无法肯定回答的。然而,空间频率柱理论却试图对这种难题给出一种理论解释。

与上述特征提取的功能柱模型不同,视觉空间频率分析器理论则认为视皮层的神经元类似于傅里叶分析器,每个神经元敏感的空间频率不同,例如与视网膜中央区5度

视角范围相对应的大脑皮层 17 区细胞和 18 区细胞之间敏感的空间频率显著不同,前者为 0.3~2.2 周/度,后者仅为 0.1~0.5 周/度。那么,什么是图像的空间频率呢?概括地说,每一种图像的基本特征在单位视角中重复出现的次数就是该特征的空间频率。例如:室内暖气设备的散热片映入人的眼内时,在单位视角中出现的片数就是它的空间频率。显然同一物体中某种特征出现的空间频率与其对人的距离和方位有关。当我们观察暖气片时,随着我们站的距离和方位不同,映入眼内单位视角中的片数就有差异。一般地说,由远移近地观察同一客体时,其空间频率变小;反之,则空间频率增大。像暖气片这种以相等距离规律性重复排列的景物,类似于周期性正弦波,更多的景物特征不规则排列形成的图形可以用傅里叶分析,将其分解为许多空间频率不同的正弦波式的规则图案,由不同的皮层神经元按其发生最大反应的频率不同,分成许多功能柱,称为空间频率柱。空间频率柱成为人类视觉的基本功能单位,对复杂景物各种特征的空间频率进行着并行处理和译码,是视觉的基本生理心理学基础。

综上所述,人工智能中的物理符号论,认知心理学中的信息加工学说和神经生理学中的特征检测与功能柱理论,大体都始于五六十年代,在 80 年代初达鼎盛期,其中特征检测器和功能柱理论代表人物 Hubel 和 Wiesel 于 1981 年获诺贝尔生理学或医学奖。人工智能创始人之一 Simon 于 1986 年获美国总统颁发的美国国家科学奖。

## 二、联结理论、并行分布处理和群编码理论

与人工智能中离散物理符号论不同,联结理论始于 20 世纪 40~60 年代的人工神经网络研究,在沉寂了近 20 年之后于 80 年代中期再度兴起。这一理论认为,认知活动本质在于神经元间联结强度不断发生的动态变换,它对信息进行着并行分布式处理,这种联结与处理是连续变化的模拟计算,不同于人工智能中离散物理符号的计算,因而又称为亚符号微推理过程。这种连续模拟计算的基础就形成了一定数量神经元的并行分布式群编码。由此可见,认知心理学从人工神经元间群编码的理论中吸收其信息加工的并行分布式处理的概念,神经生理学则吸收了神经元群编码的理论概念,遂使三个领域一脉相通,在神经元活动的时空构型中找出认知活动的神经基础。这里值得指出的是,在 20 世纪末,心理学取得的重大研究进展就是内隐认知过程的实验分析,包括内隐知觉、内隐学习、内隐记忆和内隐思维等。这些无意识的自动加工过程似乎是以并行分布式的连续计算为基础的;外显的有意识的认知活动是以控制性加工过程以及离散物理符号表征为主。

## 三、模块论或多功能系统论

受到计算机编程和硬件模块的启发,Fodor(1983)提出认知的模块性(modularity),认为人脑在结构与功能上都是由高度专门化并相对独立的模块(module)组成,这些模块复杂而巧妙地结合,是实现复杂精细认知功能的基础。20 世纪 80~90 年代,模

块思想已发展为多功能系统理论,特别是在记忆研究中取得了较多科学发现的支持。

#### 四、基于环境的生态现实理论

1993年初在认知科学杂志上掀起环境作用与物理符号理论的大论战,一批年轻的心理学家与人工智能物理符号理论大师 Simon 之间展开了大论战。20世纪50年代以后,认知科学家们一直把认知过程看成是发生在每个人头脑或智能系统内部的信息加工过程。而环境作用(situated action)的观点则认为认知决定于环境,发生在个体与环境交互作用之中,而不是简单发生在每个人的头脑之中。1994年,Gibson的理论在美欧复兴。1979年之前,美国心理学家 J. J. Gibson 出版了几本专著:《视觉世界的知觉》、《生态光学》和《视知觉的生态理论》等,认为生物演化中外界环境为生物机体提供了足够的信息,使之直接产生知觉,故而将生物机体的知觉看成是直接的不变性知觉,不需要对环境诸多物理特性逐一检测。脑功能区、模块的分化、细胞发育和生物化学与生物物理机制的发展,无不与生态环境变迁有关。

#### 五、机能定位论

1861年 Broca 医生发现运动性失语症,是左额下回后 1/3 的脑结构受损所致,使脑的机能定位理论指导了当时对脑高级功能的研究。以后的近百年之间,通过解剖学和生理学方法,试图为每一种高级功能在脑内找到一个中枢,或一种特异的细胞。到20世纪80年代前后,曾以半讽刺的方式,否定了祖母细胞(grandmother cell)是识别熟悉面孔的特异细胞。如今,时隔几十年,古老的机能定位论,由于有了无创性脑成像技术,再度复兴。用脑激活区作为机能定位的客观指标,用细胞电生理方法和脑成像相结合的途径,21世纪之初确定了额、顶、颞叶皮层中有一种镜像细胞(mirror neuron),是人类社会交往的脑科学基础。因此科学的发展走了一条否定之否定的螺旋式发展道路。随着科学的发展镜像细胞是否会被否定,有待后人评说。

综上所述,当代认知神经科学在阐明认知过程的脑机制中,存在多元化的理论观点,可以分别用于分析不同层次机制,它们之间并无根本对立或排他性。但有些理论观点则很难相容,例如,神经元理论中特化细胞与群编码观点就各有自己的实验事实依据。因此,如何建立统一的认知神经科学理论是认知神经科学发展的重大问题。

### 第三节 认知神经科学的方法学

认知神经科学方法包括两大类互补的研究方法:一类是无创性脑功能(认知)成像技术;另一类是清醒动物认知生理心理学研究方法。前一类方法中又分为脑代谢功能成像和生理功能成像两种;后一类方法中包括单细胞记录、多细胞记录、多维(阵列)电极记录法和其他生理心理学方法(手术法、冷却法、药物法等)。本书主要介绍无创性脑

功能成像技术,其中脑代谢功能成像包括正电子发射断层扫描技术(PET,对区域性脑代谢率、脑血流和葡萄糖吸收率的测定)、单光子发射断层扫描技术(SPECT,对脑血流测定)、功能性磁共振(fMRI,通过氧合血红蛋白测定血氧水平相关的信号,BOLD)。这些脑代谢功能成像技术的空间分辨率和时间分辨率各不相同。PET的空间分辨率在20世纪80年代为1.75 cm,90年代提高为6~7 mm,其时间分辨率由分钟数量级提高为秒数量级,现在约40~60 s可给出一幅清晰图像。fMRI的空间分辨为毫米水平,时间分辨率最高可达50 ms,一般100 ms,即0.1 s就可给出一幅图像。由此可见,fMRI无论就其空间分辨率还是时间分辨率均优于PET。脑代谢功能成像对于快速认知活动无法做到实时成像或快速跟踪,采用积分测量法(integrated measurement),则将数十秒数据积分起来可形成清晰的图像。然后进行对照的认知实验,将两种认知条件不同的图像采用减法处理,即完成A认知任务的PET图像减去无A任务的对照PET图像,所得差值为A任务操作的脑代谢功能差异。除减法法则外,还利用一致性分析(consistent analysis),即将A任务减A对照组的差值与B任务减B对照组之差值再相减,以作为完成不同认知任务的脑代谢功能的特异性变化的脑代谢基础参数。

无论是减法法则还是一致性分析,虽有一定的实验心理学基础,但它在一定的前提下才可靠。首先,用减法法则意味着脑内的认知过程信息加工是串行的,按一定方向无曲折地层次性处理过程。被试在完成认知作业时,忠诚执行指示语要求,并毫不分心地完成作业。此时参与这项认知任务的脑结构与其他心理活动的脑结构分离而不相干。只有这样,其减法所得结果才与所进行的认知活动完全相关。显然,这种约束条件在实现PET认知测量中是很难满足的。

第二类生理功能成像是自发脑电活动(EEG)、诱发脑电活动(EP)和脑磁(MEG)场变化的基础上,结合计算机控制的断层扫描技术(CT)而实现的。它的时间分辨率极为理想,可实时跟踪认知活动的脑功能变化。但在记录的头皮电极为19个电极时,空间分辨率为6 cm;41个电极时为4 cm;120个电极时为2.25 cm;256个电极时为1.0 cm。由此可见,其空间分辨率很不理想。为提高其空间分辨率,采用了偶极子(dipole)算法,但常常发现所得结果不是唯一的。虽然生理功能成像技术时间分辨率佳,技术所耗资金少是其优点,但其空间分辨率却无法满足认知神经科学的要求。因此,近年将脑代谢功能成像与生理功能成像结合起来应用,取各自之长相互补充,以满足空间和时间分辨率的要求。在多种脑认知成像技术应用中,为了比较各种方法所得图像之间的关系,必须进行多种比例性立体变换。这些变换不仅以解剖学定位标志为标准,还要以10多种脑数据参数进行线性和非线性变换。因此,这是一项技术难度很大的研究工作。尽管如此,脑认知成像对于认知神经科学的要求,仍存在许多问题。首先,脑代谢功能成像的激活区反映出脑代谢率或脑区域性血流量的增加,与神经元的兴奋性水平并非总是平行性变化,特别是对于抑制性神经元而言,代谢率增高,导致神经元单位活动的降低。实际上,脑抑制性神经元和兴奋神经元的分布至今尚难以给出明确的



答案。因此,代谢功能成像的激活区是否能代表神经元功能活性的问题还需进一步实验研究。其次,在代谢功能成像分析中,每个场激活区至少为  $0.8 \text{ cm}^3$ ,即使假设为  $1 \text{ mm}^3$ ,则至少含有数以万计皮层神经元( $10^5$ 细胞/ $\text{mm}^2$ 皮层),不能设想这么多神经元都是在同步性发放,功能均一地发挥生理心理功能。总之,脑认知成像技术可以为我们对认知过程的脑功能形成直观的图像。然而这种图像仅可提供结构或区域性功能关系,对于细胞水平的机制显然过分粗糙。下面我们选取几种常见的认知神经科学方法进一步加以讨论。

### 一、脑功能之窗——事件相关电位和高分辨脑电成像技术

脑功能之窗的提法已有 20 多年的历史,但它的真正含义只是脑功能成像技术问世以后,由于脑电成像和其他脑代谢成像联合运用,才显示出它们作为脑功能之窗的本意。20 世纪 20 年代,德国精神病科医生 Berger 面对许多精神病的诊断问题,决心寻找一种检查人脑功能的方法,以便作为诊断精神病的重要根据。他利用当时物理学上最灵敏的弦线式电流放大器经过反复的试验,终于在 1925 年,从安静闭目的人头上记录出 8~13 次/秒变化的波形。每当睁开眼睛后,这个曲线就被幅值很小、变化更快的波形所代替。他把这个发现写成文章寄给德国生理学杂志,一些审稿专家都认为这些波形不是发自人脑,而是来自记录仪器的不稳定性。直到 1929 年经当时世界最著名的意大利电生理学实验室反复验证,才证明伯格医生在人头皮上记录到的 8~13 次/秒节律变化,确实是发自大脑的电活动,并把该节律称为伯格节律或  $\alpha$  波,把睁眼后的低幅快波(14~30 次/秒)称为  $\beta$  波。

20 世纪 30~50 年代,人们一直努力发现一些新的脑电波,试图用以诊断精神疾病,都没有成功。但脑电活动的记录用于诊断癫痫和脑瘤等占位性病变却得到了广泛的应用。但伯格医生的心愿至今未了,脑电图(EEG)至今仍无法作为诊断精神病的重要手段,更无法作为探究脑认知功能的有效手段。然而,20 世纪 60 年代以后通过许多信号处理技术,已能分析出认知活动的平均诱发电位。脑的自发活动  $\alpha$  节律大约在  $25\sim 75 \mu\text{V}$  范围随机地波动,而人的认知过程或外部刺激诱发的电活动小于  $1 \mu\text{V}$ ,淹没在自发的  $\alpha$  节律之中。因此,在 20 世纪 60 年代以前,无法在正常人类被试的认知活动中观察脑的诱发电变化。随着信号处理技术的发展,利用时间锁定叠加的办法,多次重复同一刺激,使诱发反应逐渐加在一起,而自发活动由于其本质是随机变化的,叠加中相互抵消。这种时间锁定叠加技术可以提高信号与噪声的比例,使自发脑电活动背景上的诱发活动能够检测出来,这就是平均诱发电位。

平均诱发电位是一组复合波,用组成成分的潜伏期和波幅对其进行分析。刺激之后  $1\sim 10 \text{ ms}$  的一些小波称早成分, $10\sim 50 \text{ ms}$  的波称中成分, $50 \text{ ms}$  以后的成分称晚成分。早、中成分主要反映感觉器官和传入神经通路的活动,晚成分才是认知过程脑功能变化的生理指标。对于认知活动来说,可以把诱发其产生的内外刺激看成事件,而这些