



航天科工出版基金资助出版



脑科学技术发展与应用

谭立忠 吴 勤 张丽平 主编



中国宇航出版社

航天科工出版基金资助出版

脑科学技术发展与应用

谭立忠 吴 勤 张丽平 主编



中国宇航出版社

· 北 京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

脑科学技术发展与应用 / 谭立忠, 吴勤, 张丽平主编. -- 北京: 中国宇航出版社, 2018.12

ISBN 978-7-5159-1551-7

I. ①脑… II. ①谭… ②吴… ③张… III. ①脑科学
IV. ①R338.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 269874 号

责任编辑 赵宏颖 封面设计 宇星文化

出版 中国宇航出版社
发行

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830
(010)60286808 (010)68768548

网址 www.caphbook.com

发行部 (010)60286888 (010)68371900
(010)60286887 (010)60286804(传真)

零售店 读者服务部
(010)68371105

承印 河北画中国画印刷科技有限公司

版次 2018 年 12 月第 1 版
2018 年 12 月第 1 次印刷

规格 787×1092

开本 1/16

印张 15.75 彩插 2 面

字数 380 千字

书号 ISBN 978-7-5159-1551-7

定价 98.00 元

本书如有印装质量问题, 可与发行部联系调换

前 言

20 世纪 90 年代被称为“脑的十年”，美国、欧洲、日本等国家和地区掀起了脑科学研究的热潮；步入 21 世纪，探索大脑活动的高级功能、模拟大脑智能成为人类最重要的科学活动之一，是当前各国科学家们正在角逐的前沿热点。

脑科学是以大脑作为研究对象的多学科交叉汇合而成的新兴研究领域，它融合了神经科学、认知科学、心理学、人工智能、信息科学、计算机科学等学科，重点研究大脑的结构和功能，神经元及神经活动，大脑与行为、大脑与思维的关系；研究脑疾病与防治；研究大脑机能模拟与应用。

本书系统地介绍了脑科学的基本概念、研究内容与发展历程，全面总结了国内外脑科学领域相关技术发展应用的最新进展，梳理了国内外典型的脑科学发展规划。在内容结构方面，本书分为 7 章。其中，第 1 章为脑科学概述，重点介绍了人脑的生理构造与特征、脑科学的概念和内涵、研究内容、发展历程以及全球脑科学发展态势；第 2 章为脑科学关键技术发展现状，重点介绍了脑信息获取技术、脑信息交互技术、脑信息控制技术的最新发展；第 3 章为脑科学应用发展现状，重点介绍了“仿脑”“脑控”和“控脑”三个应用方向的最新发展；第 4 章为脑科学带来的影响，重点介绍了脑科学发展对军事作战、社会治理、伦理道德、生理健康、文化意识产生的影响；第 5 章为国内外推进脑科学发展的主要做法，重点总结了在战略布局、领域突破、协同创新、重点应用、风险防范等方面的做法；第 6 章为全球脑科学计划概览，重点介绍了国际“人类大脑计划”和美国、欧洲、日本相关脑科学发展规划，以及中国脑科学发展政策情况；第 7 章为展望与建议，重点总结了脑科学发展的前景与趋势，并对我国脑科学的发展提出了相关建议。

本书由北京航天情报与信息研究所组织编写，是集体劳动的结晶。谭立忠承担了第 2 章、第 3 章内容的编写以及全书统稿工作；吴勤承担了第 5 章、第 7 章内容的编写；张丽平承担了第 6 章内容的编写；郭宇东承担了第 1 章、第 4 章内容的编写。

在本书编写过程中，得到了中国航天科工集团有限公司刘石泉、陈国瑛、寇志华、刘陈等领导 and 专家的指导。中国航天科工防御技术研究院、北京航天情报与信息研究所相关领导和专家为本书编写提供了充分的支持和帮助，中国航天科工图书出版基金为本书出版提供了资助，中国宇航出版社为本书出版提供了大力支持，在此一并表示感谢。此外，本书参考和引用的一些相关教材、论著等，均列入最后的参考文献中，但未在文中一一标

注，在此谨向相关作者表示衷心的感谢。

尽管编写人员在本书编写过程中，查阅了大量的文献资料，并进行了认真整理、核对、分析、提炼和加工，但由于资料来源不同，加之时间、水平与条件所限，本书难免存在错误之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2017年12月

目 录

第 1 章 脑科学概述	1
1.1 人脑的生理构造与特征	1
1.2 脑科学的概念和内涵	4
1.2.1 狭义的脑科学概念——神经科学	4
1.2.2 广义的脑科学概念——新兴交叉学科	7
1.3 脑科学的研究内容	8
1.3.1 脑自身研究——揭示与阐明脑的本质	9
1.3.2 脑疾病研究——预防与治疗脑的疾病	12
1.3.3 脑应用研究——模仿与应用脑的功能	13
1.4 脑科学的发展历程	16
1.4.1 17 世纪以前——对脑的臆断及脑结构初探	16
1.4.2 17 至 18 世纪——对脑哲学认知到实证研究的转变	19
1.4.3 19 世纪——四大基本理论奠定后续发展的坚实基础	21
1.4.4 20 世纪至今——现代脑科学研究开启黄金时代	26
1.5 全球脑科学发展态势	40
1.5.1 脑科学战略成为各国焦点	40
1.5.2 脑科学技术屡迎重大突破	41
1.5.3 脑科学应用获得广泛拓展	42
1.5.4 脑科学研究推动产业变革	43
1.5.5 脑科学革命影响社会环境	44
第 2 章 脑科学关键技术发展现状	45
2.1 脑信息获取技术发展现状	45
2.1.1 脑信息获取技术的内涵	45
2.1.2 脑信息获取技术的主要手段	46
2.1.3 脑信息获取技术进展	63
2.2 脑信息交互技术发展现状	79
2.2.1 脑信息交互技术的内涵	79
2.2.2 脑信息交互技术的主要手段	79
2.2.3 脑信息交互技术进展	86
2.3 脑信息控制技术发展现状	123

2.3.1 脑信息控制技术的内涵	123
2.3.2 脑信息控制技术进展	124
第3章 脑科学应用发展现状	138
3.1 “仿脑”应用	139
3.1.1 开发类脑智能芯片	140
3.1.2 开发人脑处理器	151
3.1.3 开发智能战场机器人	156
3.1.4 开发认知计算技术	158
3.2 “脑控”应用	160
3.2.1 开发商业化脑机接口专用设备	160
3.2.2 开发脑控型文体娱乐产品	164
3.2.3 开发脑控型医疗器械	170
3.2.4 开发脑控型机器人	181
3.2.5 开发脑控型小型飞行装置	183
3.2.6 开发脑控型交通工具	189
3.2.7 模拟控制飞机和飞船	193
3.3 “控脑”应用	196
第4章 脑科学带来的影响	199
4.1 对军事作战产生影响	199
4.1.1 致胜思路发生新转变	199
4.1.2 作战样式产生新变革	200
4.2 对社会治理产生影响	202
4.2.1 社会结构失衡	202
4.2.2 政治经济失稳	202
4.2.3 人机共存失控	203
4.3 对伦理道德产生影响	204
4.3.1 脑科学实验涉及人权自由问题	204
4.3.2 脑科学技术产生隐私保护问题	204
4.3.3 脑科学概念带来身份认同问题	205
4.4 对生理健康产生影响	206
4.5 对文化意识产生影响	207
4.5.1 影响社会主流意识	207
4.5.2 加剧文化意识冲突	207
第5章 国内外推进脑科学发展主要做法	209
5.1 各国争相布局战略规划	209

5.2 聚焦重点领域寻求突破	210
5.3 开放共享推进协同创新	211
5.4 以脑科学助推人工智能	211
5.5 关注军事航天领域应用	212
5.6 积极防范发展潜在风险	213
第6章 全球脑科学计划概览	214
6.1 国际“人类脑计划”	214
6.1.1 “人类脑计划”及其起缘	214
6.1.2 “人类脑计划”研究内容	215
6.1.3 “人类脑计划”的意义	216
6.2 美国脑科学发展计划	217
6.2.1 “脑计划”提出的背景	217
6.2.2 “脑计划”的目标	218
6.2.3 “脑计划”的15年计划	218
6.2.4 “脑计划”的特点分析	218
6.3 欧洲脑科学发展计划	221
6.3.1 “蓝脑计划”	221
6.3.2 “人脑工程”计划	223
6.4 日本脑科学发展计划	226
6.4.1 “脑科学时代”计划	226
6.4.2 “脑智”计划	229
6.5 中国脑科学发展计划	230
6.5.1 中国脑科学发展的历史背景	231
6.5.2 中国脑科学发展的主要内容	232
第7章 展望与建议	233
7.1 发展前景与趋势	233
7.2 中国脑科学发展展望	234
参考文献	236

第 1 章 脑科学概述

大脑是人体的“司令部”，控制着身体各个部分精密、复杂而又有条不紊地运转。人类大脑虽然体积不大，重量只占人体体重的 2%~3%，但它的复杂性远远超出了人类目前的认知，是人体中最复杂、最神秘，也是最难研究的部分。因此，探索大脑的奥秘也成为当前科学领域的前沿热点之一。

在当代生命科学发展过程中，脑科学的发展令人瞩目。人类智慧对自然的征服，在 20 世纪已达到极高的程度，但对于作为智慧源泉的人脑的认识，还尚不深刻。迄今为止，对于人脑产生的很多行为，还不能从机能学和形态学上进行全面解释；作为人类智慧的集中表现，人的思想的产生过程和机制也还是“未解之迷”。因此，人类对脑的研究在今后相当长的一段时间里仍将处于科学前沿地位。

1.1 人脑的生理构造与特征

人脑是人体中枢神经系统的主要部分，位于颅腔内，由约 860 亿个神经细胞（神经元）以及千亿计的胶质细胞组成。每一个神经元通常拥有几百个以至几千个突触联结，人脑的全部突触数约有 10^{15} 个之多。成年人脑的重量约为 1.2~1.6 kg，主要成分是血液，其占脑总重的 80%。虽然脑只占人体体重的 2%~3%，但其耗氧量却占全身耗氧量的 25%，血流量占心脏输出血量的 15%，一天内流经脑的血液多达 2 000 L。若用电功率来计算，脑所消耗的能量功率大约为 25 W。

脑是人体内结构和功能最复杂的组织，是接受外界信号、产生感觉、形成意识、进行逻辑思维、发出指令、驱动行为的“指挥部”。从解剖学角度来看，人脑主要由四个部分组成，分别为脑干、小脑、间脑、端脑（亦称大脑）。其中，间脑和端脑又合称为前脑。人脑的生理结构如图 1-1 所示。

（1）脑干

脑干（brainstem）上承大脑半球，下连脊髓，呈不规则的柱状形。经由脊髓传至脑的神经冲动，呈交叉方式传入：来自脊髓右边的冲动，先传至脑干的左边，然后再传到大脑；来自脊髓左边的冲动，先传至脑干的右边，再传到大脑。脑干的功能主要是维持个体生命。心跳、呼吸、消化、体温、睡眠等重要生理功能均与脑干的功能有关。

脑干包括四个重要构造（见图 1-2）：一是延髓，居于脑的最下部，与脊髓相连，其主要功能为控制呼吸、心跳、消化等；二是脑桥，位于中脑与延髓之间，其白质神经纤维贯通小脑皮质，可将神经冲动自小脑的一个半球传至另一个半球，使之发挥协调身体两侧肌肉活动的功能；三是中脑，位于脑桥之上，是视觉与听觉的反射中枢，瞳孔、眼球、肌

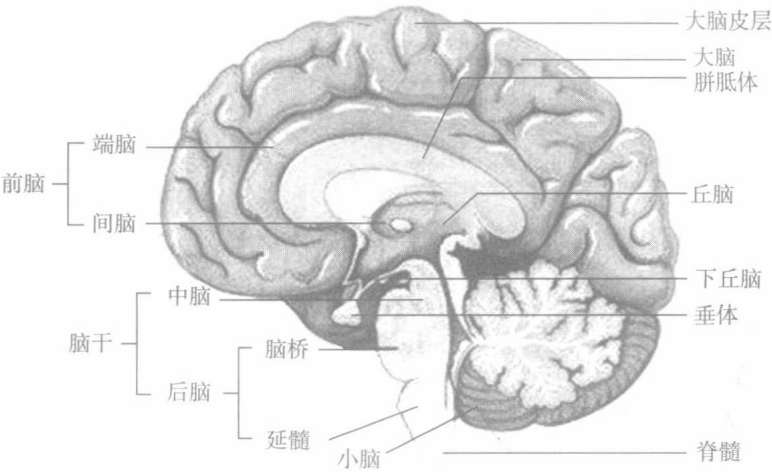


图 1-1 人脑的生理结构

肉等活动均受中脑的控制；四是网状系统，居于脑干的中央，是由许多错综复杂的神经元集合而成的网状结构，其主要功能是控制觉醒、注意、睡眠等不同层次的意识状态。

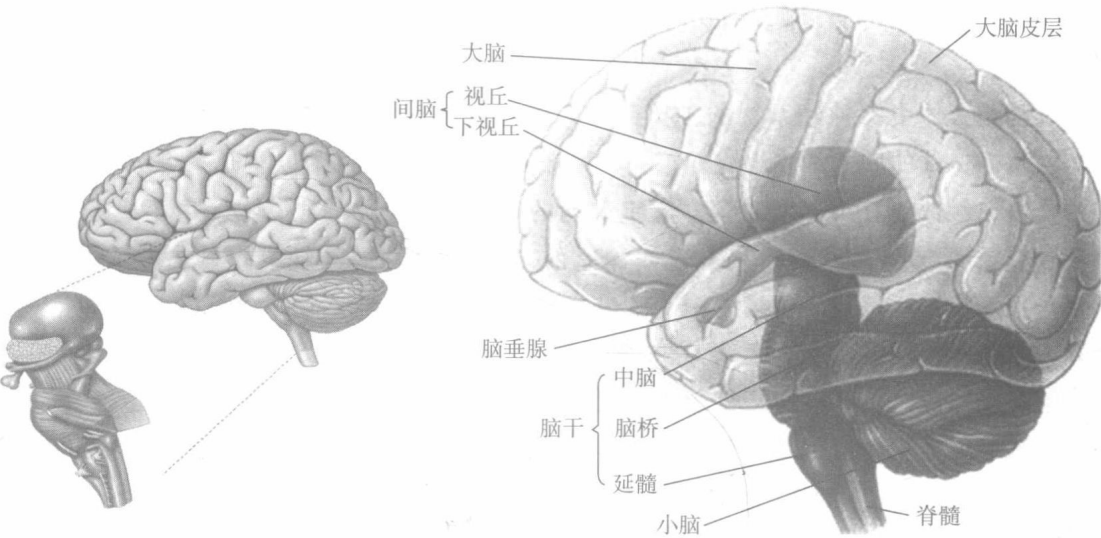


图 1-2 脑干示意图、结构与位置

(2) 小脑

小脑 (cerebellum) 位于大脑的后下方，颅后窝内，延髓和脑桥的背面，是脑的第二大部分 (见图 1-3)。小脑由左右两个半球所构成，其表面有许多大致平行的浅沟，沟间为一个叶片。表面的灰质为小脑皮层，深部为白质，也称髓质。白质内有数对核团，称为中央核。小脑是运动的重要调节中枢，有大量的神经冲动传入和传出联系。大脑皮质发向肌肉的运动信息和执行运动时来自肌肉和关节等的信息，都可传入小脑。小脑负责对这两种传来的神经冲动进行整合，并通过传出纤维调整和纠正各有关肌肉的运动，使各类运动保持协调。此外，小脑在维持身体平衡方面也起着重要作用。它接受来自前庭器官的信

息，通过传出联系，改变躯体不同部分肌肉的张力，使肌体在重力作用下，做加速或旋转运动时保持姿势平衡。

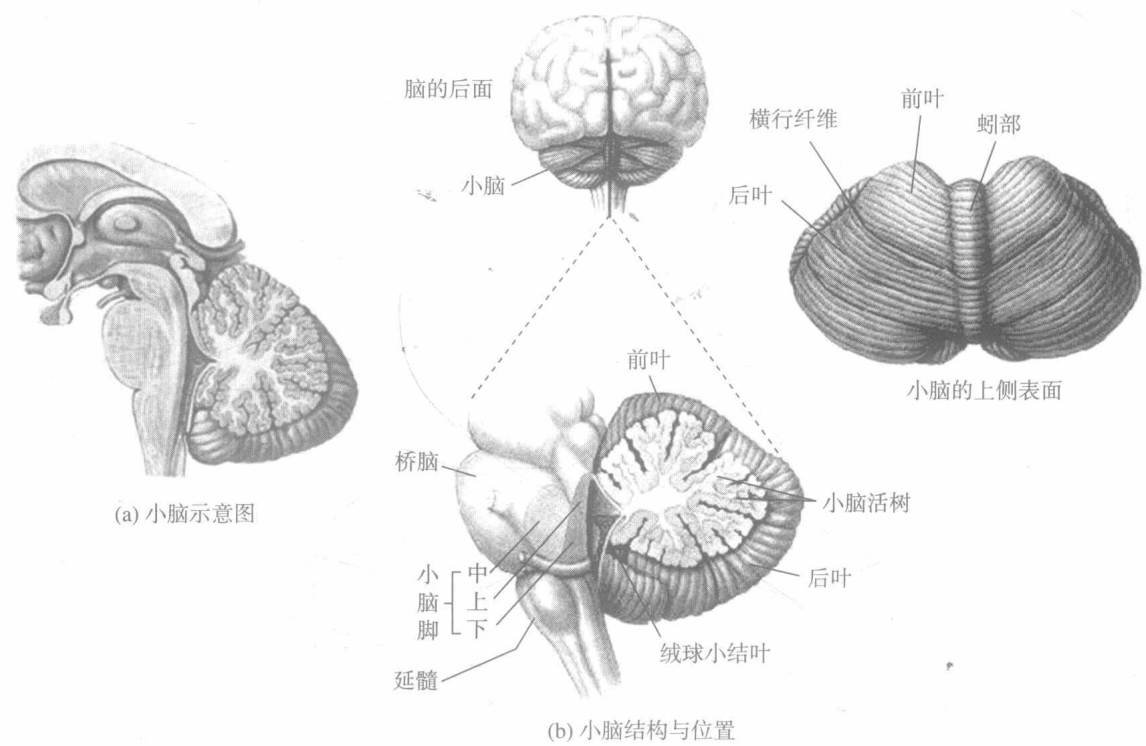


图 1-3 小脑示意图、结构与位置

(3) 间脑

间脑 (diencephalon) 位于脑干和端脑之间，其体积不到中枢神经系统的 2%，但结构和功能十分复杂，仅次于大脑皮质。间脑的两侧和背面被大脑半球所掩盖，仅腹侧部的视交叉、视束、灰结节、漏斗、垂体和乳头体外露于脑底。间脑分为 5 部分：背侧丘脑、上丘脑、下丘脑、后丘脑和底丘脑。

(4) 端脑

端脑 (telencephalon) 与间脑同自前脑发展而来，在医学及解剖学上，多用大脑一词来指代端脑。端脑是脑的最高级部位，由两侧大脑半球借胼胝体连接而成。端脑两半球主要由灰质表层、白质和皮下神经节构成，各有称为侧脑室的腔隙。侧脑室与间脑的第三脑室以及小脑和延脑及脑桥之间的第四脑室之间有孔道连通。脑室中的脉络丛产生脑的液体称为脑脊液。端脑可以分为大脑皮质、大脑髓质和基底核三个部分。大脑皮质是覆盖在端脑表面的灰质，主要由神经元的胞体构成。大脑皮质的深部由神经纤维形成的髓质或白质构成。髓质中含有灰质团块即基底核，其主要部分是纹状体。

大脑皮质是高级神经活动的物质基础，人的大脑皮质最为发达，是产生思维的器官，主导机体内一切活动过程，并调节机体与周围环境的平衡。大脑皮质厚度约为 2~3 mm，具有 6 层构造，总表面积约为 0.22 m²，集中了约 140 亿个神经元。左右半球大脑皮质表

面呈现不同的沟或裂。沟、裂之间隆起的部分称为脑回。大脑半球借沟和裂分为 5 叶，即额叶、颞叶、顶叶、枕叶和岛叶，它们各有一定的机能分工。

额叶位于中央沟前，与推理、计划、情感、问题解决以及部分的言语和运动（运动皮质）有关；颞叶位于侧间沟的下面，与感知、辨认听觉刺激（听觉）和记忆有关；顶叶位于中央沟后，与触觉、压力、温度和疼痛的感知有关；枕叶在脑的后部，顶叶和颞叶的后面，与视觉有关；岛叶位于外侧沟深部，被额叶、顶叶和颞叶所掩盖，影响脑干的自主功能，同时还处理味觉信息。脑叶与功能区的对应关系如图 1-4 所示。

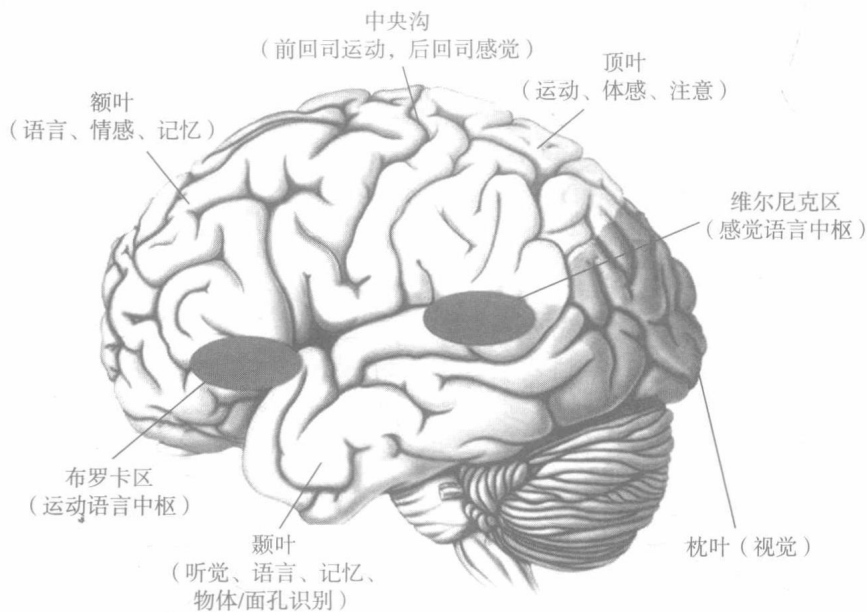


图 1-4 脑叶与功能区的对应关系

综上所述，人脑作为一个巨大的自调控、自组织、自学习的神经网络系统，其构造及功能极其复杂。鉴于人脑的复杂性与神秘性，以脑为研究对象的脑科学成为当今科学研究领域最令人瞩目、最具挑战性的学科之一。

1.2 脑科学的概念和内涵

脑科学的概念和内涵可以分为狭义和广义两个层面。

1.2.1 狭义的脑科学概念——神经科学

狭义而言，脑科学就是神经科学。神经科学是研究神经系统内分子水平、细胞水平、细胞间的变化过程，以及这些过程在中枢功能控制系统内的整合作用而产生的学科群。在人脑结构和功能研究层面，神经科学研究的关键是要实现对神经元集群活动的实时观察，通过追踪神经活动中的信息轨迹和能量轨迹，研究其对脑功能的充分性和必要性，在全脑尺度上解析神经环路的功能和结构，进而解析和理解脑运动。

1.2.1.1 神经科学的研究基础

神经元与神经元之间的连接与传递过程是神经科学研究的基础。神经元又名神经原或神经细胞，是构成神经系统结构和功能的基本单位。神经元是具有长突触（轴突）的细胞，由细胞体和细胞突起构成。在长轴突上套有一层鞘，组成神经纤维，它的末端细小分支叫做神经末梢。细胞体位于脑、脊髓和神经节中，是细胞含核的部分，其形状大小有很大差别，直径约 $4\sim 120\ \mu\text{m}$ 。细胞质内有斑块状的核外染色质，还有许多神经元纤维。细胞突起是由细胞体延伸出来的细长部分，又可分为树突和轴突。每个神经元可以有一或多个树突，可以接受刺激并将兴奋传入细胞体。每个神经元只有一个轴突，可以把兴奋从胞体传送到另一个神经元或其他组织，如肌肉或腺体。神经元结构如图 1-5 所示。

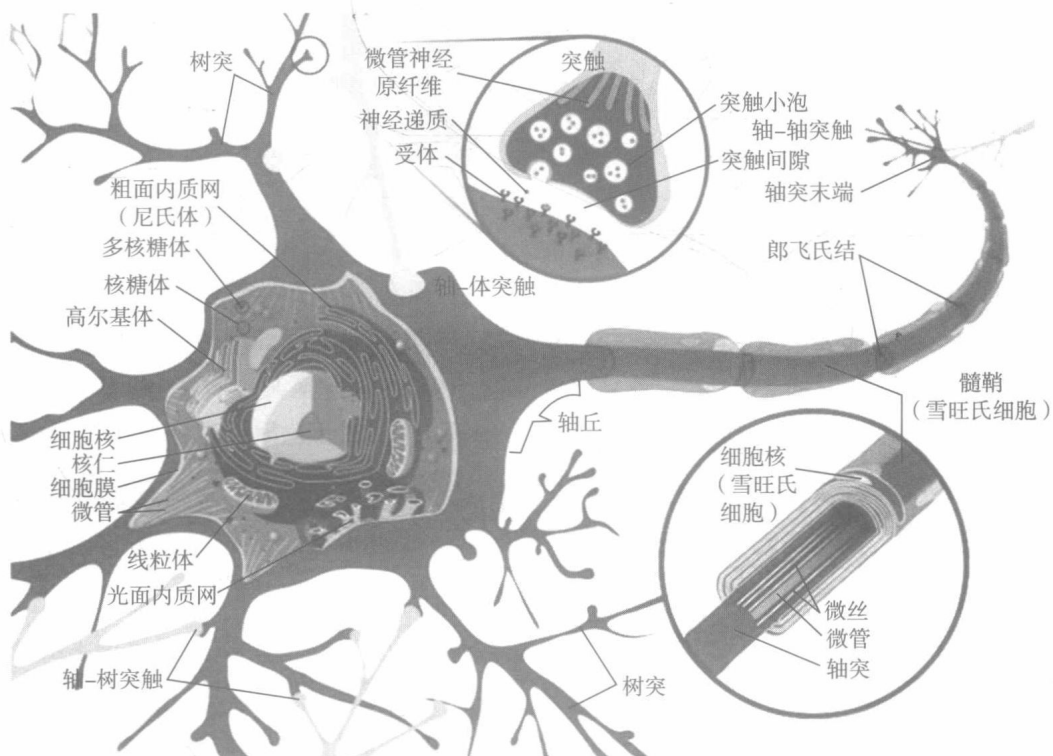


图 1-5 神经元的结构

神经元间的联系方式是互相接触，在接触部位的特化结构称为突触，通常是一个神经元的轴突与另一个神经元的树突或胞体借突触发生机能上的联系，神经冲动由一个神经元通过突触传递到另一个神经元。当神经末梢有神经冲动传来时，突触前膜内的突触小泡受到刺激，就会释放一种化学物质——神经递质。神经递质经扩散通过突触间隙后，与突触后膜（另一个神经元）上的特异性受体结合，引发突触后膜电位变化，即引发一次新的神经冲动。这样一来，兴奋就从一个神经元通过突触传递到了另一个神经元。神经元之间的连接与传递过程如图 1-6 所示

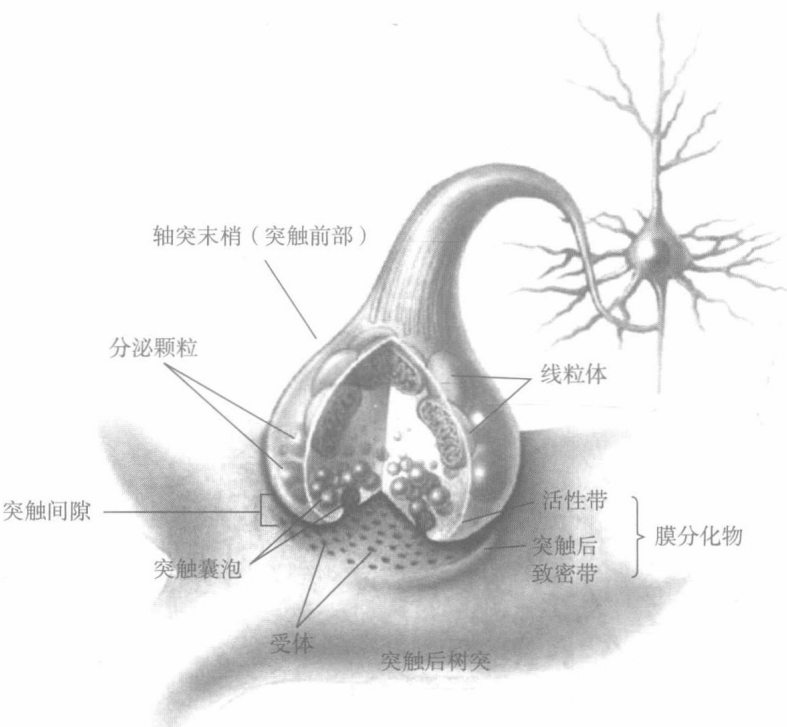


图 1-6 神经元的连接与传递

1.2.1.2 神经科学的研究范畴

一般意义上，神经科学可以分为两大类：临床类和实验类。与人类神经系统相关的医学领域主要包括：神经内科学、精神病学、神经外科学和神经病理学（见表 1-1）。临床研究常用的研究方式是通过脑损伤引起的行为缺陷来推测脑不同部位的功能。

表 1-1 临床类神经科学分类

临床类神经科学	研究范畴
神经内科学	研究和治疗神经系统疾病
精神病学	研究和治疗情绪和性格疾病
神经外科学	研究脑和脊髓外科手术理论
神经病理学	研究导致疾病的神经组织病变原理

实验类神经科学是神经系统研究的重要基础。用于研究脑的实验方法十分广泛，实验类神经科学也存在诸多分支（见表 1-2），例如神经解剖学是运用显微镜研究脑内神经细胞的相互联系的学科；神经生理学是使用电极、放大器和示波器观测脑的电活动的学科；神经药理学是运用药物研究脑功能的化学性质的学科；分子神经生物学是研究神经元的遗传物质的学科等。

表 1-2 实验类神经科学分类

实验类神经科学	研究范畴
发育神经生物学	分析脑的发育和成熟
分子神经生物学	研究神经元的遗传物质
神经解剖学	研究神经系统的结构
神经化学	研究神经系统的化学性质
神经生态学	研究自然环境下,物种特异性动物行为的神经基础
神经药理学	运用药物研究脑功能的化学性质
神经生理学	研究神经系统的电活动
神经心理学	研究人类行为的神经基础

1.2.2 广义的脑科学概念——新兴交叉学科

广义上讲,脑科学不仅仅包含神经科学,还包括与神经系统的结构及功能有关的所有知识和学科。全球权威的脑与神经系统研究组织——美国神经科学学会(Society for Neuroscience, SFN)曾定义脑科学是研究脑的结构与功能的交叉学科。从目前看,现代脑科学已经演变为多学科交叉汇合而成的新兴研究领域,其融合了神经生理学、生物化学、神经解剖学、组织胚胎学、药理学、精神病学,甚至心理学、伦理学、认知科学、计算机科学等各种学科,其研究对象包含了从分子层面、突触层面(亚细胞)、细胞层面(神经元)、神经网络层面(脑区)、大型神经系统层面(系统)、全脑层面、整体行为层面到社会层面等各种层次。脑科学与其他学科交叉研究情况如表 1-3 所示。

表 1-3 与脑科学交叉的学科领域

交叉学科名称	研究领域	交叉研究内容
分子神经生物学	从基因和生物大分子的角度,对神经活动基本过程的分子调控机制进行探索	神经活动过程研究
神经信息科学	一是对脑的结构和功能以及细胞、分子、基因等各层次的数据进行分析、加工、处理、整合及数学模拟,建立各层次研究的数据库;二是从信息及信息处理的观点研究脑,包括神经系统信息的载体形式,神经信息的产生、传输与加工,神经信息的编码、存储与提取机理	神经系统信息处理研究
临床医学	根据病人的临床表现,从整体出发结合研究各类疾病(包括脑疾病)的病因、发病机理和病理过程,进而确定诊断和直接实施治疗的科学	脑的疾病与防治
认知科学	研究人认识和适应周围世界的过程,以及与认知过程有关的神经关系及大脑的机理,涉及智能、思维、记忆、感情、意识等精神世界现象	感觉、思维、记忆等脑的高级功能研究
心理生理学	研究大脑内部构造与人的行为及内心世界的关系	大脑结构研究
心理物理学	定量测量并以数学公式描述感觉强度与刺激强度的关系,进而推断大脑思考问题的过程	思维等脑的高级功能研究
认知心理学	利用心理物理学、计算建模和脑成像技术等手段开展研究,通过客观的、定量或半定量的描述推测大脑活动中发生的过程,回答行为、认知加工过程和神经机制之间的关系问题,是一种“自上而下”的研究	感觉、知觉、学习、推理和记忆等脑的高级功能研究

续表		
交叉学科名称	研究领域	交叉研究内容
认知神经科学	认为特定的脑部区域负责特定的认知功能。通过了解大脑及神经系统的内部结构,进一步认识神经元的构造及反应过程,研究大脑活动和心理活动的相关性,阐明心理活动、认知过程以及智力、性格等的脑机制,进而解释精神现象,是一种“自下而上”的研究	知觉、行动、记忆、语言、选择性注意等脑的高级功能研究
发展认知神经科学	研究认知发展的神经机制、脑发育与行为能力和认知发展之间的关系,关注知觉、记忆、语言等认知活动在人生不同时期的特征,以及促使认知发展变化的神经机制	知觉、记忆、语言等认知活动研究
计算神经科学	研究动作电位数值化问题	脑的神经活动研究
仿生学	研究生物系统的结构和性质以为工程技术提供新的设计思想及工作原理的科学,包括力学仿生、分子仿生、能量仿生、信息与控制仿生。其中,信息与控制仿生是指研究与模拟感觉器官、神经元和神经网络等方面生物体内的信息处理过程	脑的神经活动研究
人工智能	用计算机模拟人的某些思维过程和智能行为(如学习、思考、推理、规划等)的学科	语言和思维以及意识等认知功能研究

综上所述,对人脑的研究与整个自然科学,甚至与社会学、经济学、法学等社会科学都是密不可分的。因此,脑科学的研究对象不只局限于大脑本身。结合现今脑科学的研究现状来看,脑科学并不仅仅单纯研究人脑的结构与功能,其研究范围已经超出了传统的神经生理与解剖学的范畴,几乎涵盖到自然与社会科学的所有研究领域。目前,脑科学这一领域已形成了百家争鸣、百花齐放的局面:哲学家试图从整体上阐述脑的思维能力;物理学家试图从物理学上解释脑;计算机专家试图研究大脑的计算或者智能的大脑;医学家试图研究脑的疾病,保持脑的健康;生物学家试图从生物科学层面上理解脑,了解脑的构造、功能;军事学家试图利用脑科学技术给军事武器装备的智能化带来突破。

1.3 脑科学的研究内容

脑的结构是怎样的?脑是如何感知事物的?脑神经活动的内在机理是什么?如何模拟脑和应用脑?了解这些基本问题,对认识人类自身,对弄清楚精神与物质的关系,对推动人类社会的发展,都具有十分重要的意义。

当前科学界普遍认为脑自身研究、脑疾病研究、脑应用研究是脑科学研究的三大内容。脑自身研究重点关注人脑结构和功能的研究,特别是脑的高级功能,其重点是解释阐明神经系统和神经活动;脑疾病研究重点关注脑疾病的发病机制与诊断治疗;脑应用研究重点关注人脑功能的模拟和应用,特别是开发能够模拟人脑功能的计算机软件和硬件。与研究内容相照应,脑科学研究的目标也是一个由近及远的过程,即脑自身研究是学科基础,脑疾病研究是实务需求,脑应用研究则是终极挑战。

1.3.1 脑自身研究——揭示与阐明脑的本质

脑自身研究旨在认识脑的结构和功能,揭示脑功能的本质,研究内容基本覆盖了神经科学内容。此外,脑自身研究更加关注解析脑的功能和它处理信息的独特性,如识别、学习、智能、语言、感情、思考、记忆、意志、意识、控制运动等机理,最终阐明各种机理背后的联系,剖析自我意识和社会意识的根源,从而进一步拓展脑科学在教育、社会心理、产业心理和灾害心理等方面的应用。

为了获取系统化的实验分析,神经科学家们采用了化整为零的方法,使复杂问题简单化,将脑自身研究对象的尺度按照复杂性的递增排序,这些尺度依次为:分子、细胞、突触、神经环路、系统、行为和认知。基于此,脑自身研究的内容大致可以概括为四个层次,即分子、突触和细胞层面,神经环路层面,神经系统发育、再生和可塑性层面,脑整体功能层面。

1.3.1.1 分子、突触和细胞层面的研究

在分子层面上,脑作为世界上最复杂的物质结构之一,其组成物质中包含着许多奇特的分子,而且其中一大部分分子只存在于神经系统之中。这些不同的分子在脑功能运行的过程中,发挥着不同却又同样至关重要的作用,包括使神经元彼此之间可以相互通讯联系,控制不同的物质进出神经元,协调神经元的生长等。对脑的这些最基本成分的研究也被称为分子神经科学。

在突触层面上,神经信号的发生、传导、突触传递等是在神经系统活动中存在着一些具有普遍意义的基本过程。人们对于神经递质存贮、保持、释放、调节过程,目前已经有了了一定的了解,其中的一些精细过程可以清晰地阐明。由于脑中所有的信息处理均涉及突触,因而神经递质受体的分子特性、递质和受体的相互作用在脑科学研究中占据关键的地位。

在细胞层面上,细胞神经科学致力于研究脑内分子是如何协同工作,从而使神经元具有一些特殊性质的。这个层次需要解决的问题包括:有多少不同种类的神经元?它们的功能差异在哪里?不同神经元是如何相互影响的?在胚胎发育过程中,神经元是如何相互联系形成网络的?神经元是如何实现计算功能的?

1.3.1.2 神经环路层面的研究

人类大脑由近千亿个神经细胞组成,可粗略地分为感觉、运动和整合系统,每个系统又可分为若干子系统。如感觉中的视觉、听觉、嗅觉、躯体感觉等,其功能的实施依赖于不同类型、处于神经系统不同部位的细胞之间形成的精确联系。这种具有明确功能意义的、神经细胞之间的纤维联系就是神经环路或神经网络。

近20年来,神经科学在分子和细胞水平上均取得了突飞猛进的发展,在系统水平上的整合研究也取得了许多重要进展。然而,人们却不能对神经系统的工作原理进行有效描述。其根本原因之一,是尚未建立从微观分子、细胞水平研究到宏观整体研究的密切联系,而神经环路正是联系分子细胞功能与整体行为功能之间的桥梁。目前,缺乏对功能特