

四川省二〇一五年度图书出版重点规划项目

# 神经信息学 基础

夏 阳 尧德中◇编著

SHENJING

XINXIXUE JICHU



电子工业出版社

四川省二〇一五年度图书出版重点规划项目

# 神经信息学

## 基础

夏阳 尧德中◇编著

SHENJING

XINXIXUE JICHU



电子科技大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

神经信息学基础 / 夏阳, 尧德中编著. —成都:

电子科技大学出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-5647-2670-6

I. ①神… II. ①夏… ②尧… III. ①神经科学—信息学IV. ①Q189

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第254891号

## 内 容 简 介

神经信息是神经系统功能作用的核心要素。神经信息的产生、获取和功能的研究正在成为国际科技前沿。2013年以来,美(BRAIN)、欧(HBP)竞相启动了以神经信息为核心的重大脑计划。

神经信息学的内容十分广泛,本书主要包含了三个方面的内容:神经系统的结构基础与神经信息处理的生理基础;动物神经信息获取的光、电技术,用于人类研究的脑电、磁共振和眼动技术;基于视觉机制的信息学模型、分析神经信息的因果网络模型、脑电逆问题模型和脑-机交互。三个方面共同构成了从神经基础、神经信息获取到神经信息理论分析的完整体系,有助于读者掌握神经信息学的主要内涵。

该书由神经信息教育部重点实验室的一线科技工作者集体撰写而成,书中实例多取自撰写者的相关研究成果。书中内容可供脑与认知神经科学、生物医学工程、生物物理、神经电生理、医学成像、生物数学、图像处理等方面的科研人员阅读或作为有关的研究教材。

## 神经信息学基础

夏 阳 尧德中 编著

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 罗 雅

责任编辑: 罗 雅

主 页: [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

电子邮箱: [uestcp@uestcp.com.cn](mailto:uestcp@uestcp.com.cn)

发 行: 新华书店经销

印 刷: 四川煤田地地质制图印刷厂

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 15.5 字数 400 千字

版 次: 2015年9月第一版

印 次: 2015年9月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-2670-6

定 价: 45.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

## 编 委 会

编 著 夏 阳 尧德中

参编者 陈华富 李永杰 徐 鹏

颜红梅 刘铁军 赖永秀

高 晴 郭大庆 王 玲

# 前言

脑科学是 21 世纪最重要的前沿科学，而神经信息是开展脑科学研究的一个主要的切入点，是神经系统功能作用的核心要素。近几年来，神经信息的产生、获取和其功能意义的研究正在成为国际科技前沿。因此，大力推进国内相关研究和相关知识的普及已经变得十分的紧迫而重要！

作为信息科学与神经科学两大学科交叉融合形成的新学科，神经信息学的内容十分丰富而宽广，有关学科内容的边界尚未完全划定。国际上主要有 Neuroinformatics 和 Neuroinformation 两种提法，前者的内容倾向于模仿生物信息学 (bioinformatics)，强调各类神经信息的获取、管理与挖掘；后者的内容则更具包容性，强调神经与信息的双向渗透。综合相关文献，我们建议：神经信息学 (NeuroInformation) 主要研究神经系统及其子系统内的信息处理原理和建模方法，以及神经系统的状态演化机制及其干预调控技术。这些内容可大致分为四个方面：神经信息的获取、脑功能与脑疾病的信息学机制、逆“脑信息工程”（包括仿脑信息技术和脑-机交互技术等）以及基于信息技术的脑疾病转化医学研究。神经信息学是电子信息科学与脑科学均发展到一定高度后才得以相互融合、渗透而出现的前沿学科。它同时强调基于信息科学的脑研究和基于脑科学的信息技术发展，以双向渗透和双向促进为特色，是本世纪最有前景的新兴学科之一。

研究脑功能，必须明确所介入的尺度。我们可以从“微观”的生物分子和基因信息入手，它是近代主流神经科学的出发点；也可以从“宏观”表象信息如体表特征和主观感受（量表）出发，它是传统医学和（临床）心理学的重要支点。神经信息是介于上述“宏观”与“微观”信息之间的脑信息，也被称为“介观”尺度的脑信息，它是以“神经元（群）及其网络系统”为物理载体的信息，是脑功能与脑疾病直接对应的层次。2013 年，以神经信息为核心的美 (BRAIN)、欧 (HBP) 脑计划的同时启动，说明该领域正在成为国际上的最重要的科技竞争点。

神经信息获取的主要手段包括不同波段的电磁手段（光、电、磁、射线）、声（力）学手段以及行为分析手段等。每一种技术均有其优势与不足，需要根据具体的研究对象与目的来确定。针对人类的无创研究，最主要的手段是脑电、脑磁和磁共振技术，它们分别具有高的时间分辨率 ( $<1\text{ms}$ ) 和空间分辨率 ( $<3\text{mm}$ )，而微创的正电子发射断层成像技术 (PET) 则可以获得分子影像。脑电与脑磁信息的主要部分是相互关联的，同时脑磁设备及其维护比较昂贵，因此一般选用脑电设备。功能近红外光谱成像技术 (functional Near-infrared spectroscopy, fNIRS)，其成像机制与功能磁共振 (fMRI) 类似，但设备费和维护费低，近年也得了较多的应用。针对动物的内源性光学成像 (Optical Imaging Based on Intrinsic Signals) 是基于“活动脑组织的光学特性会内源性地缓慢改变”这一现象而设计的实验方法，是一种在体的大脑皮层光学成像技术。在行为信息方面，除了传统的心理学行为实验外，作为“心灵窗户”的眼睛的眼球运动信息近年得到了较多的应用。在神

神经系统的干预调控技术方面,出现了神经元层次的光遗传技术(Optogenetics)、深部脑刺激技术(Deep Brain Stimulation, DBS)、神经网络层次的经颅磁刺激技术(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS)、经颅直流电刺激技术(Transcranial Direct Current Stimulation, tDCS)以及聚焦超声刺激技术等。在这方面,近年出现的一个趋势是将脑-机交互技术与这些技术结合,实现闭环的神经信息监测与干预调控。理论上,检测到了神经活动信号,还不能算是获得了其中蕴含的信息,必须借助先进的针对性信号建模分析技术,才能真正挖掘出我们希望了解的神经系统功能的内在机制。

本书针对以上问题,设计了三个篇章,分别介绍了神经系统的解剖基础和神经信息处理的生理基础;动物神经信息获取的光、电技术,用于人类研究的脑电、磁共振和眼动技术;基于视觉机制的信息学模型、分析神经信息的因果网络模型、脑电逆问题模型和脑-机交互。这些内容只涉及了神经信息学庞大体系的很小一部分,但也初步展现了从神经基础、神经信息获取到神经信息理论分析的学科体系,有助于读者“管中窥豹”,洞悉神经信息学的魅力。

电子科技大学在神经信息方面已经有近20年的积累,已经建立了神经信息国际联合研究中心、神经信息教育部重点实验室([www.neuro.uestc.edu.cn](http://www.neuro.uestc.edu.cn))、神经信息创新引智基地(111计划)和神经信息教育部长江学者创新团队,建成了以3T磁共振为核心的脑信息获取平台,在癫痫脑机制、情绪与社会认知和视觉信息机制等方面有了较好的积累,在仿视觉机制的图像处理与脑-音乐交互等方面形成了特色。

该书由神经信息教育部重点实验室的一线科技工作者集体撰写而成,书中实例多取自撰写者的相关研究成果。其中第1章和第2章由夏阳教授编写,第3章由王玲副教授、郭大庆副教授和夏阳教授编写,第4章由赖永秀副教授和尧德中教授编写,第5章由陈华富教授编写,第6章由颜红梅教授编写,第7章由李永杰教授编写,第8章由高晴副教授和陈华富教授编写,第9章由徐鹏研究员编写;第10章由刘铁军副教授编写。全书由夏阳教授和尧德中教授统稿。书中内容可供脑与认知神经科学、生物医学工程、生物物理、神经电生理、医学成像、生物数学、图像处理等方面的科研人员阅读或作为相关的研究生教材。

该书的撰写得益于各类基金对参编人员的长期资助,得益于国内外许多学者对我们的鼓励和支持,使我们有机会比较深入地了解领域的进展,并同步开展相关研究。在编写的过程中,我们参阅了大量的参考文献,部分内容也取自实验室多位博士、硕士研究生的论文,特此向其成果在文献列表中提到或因篇幅及疏漏而没有提到的国内外同行表示诚挚的感谢!此外,本书的出版还得到电子科技大学“十二五”规划研究生教材建设的资助,在此,一并表示感谢!由于我们学识水平有限,书中错漏之处难免,欢迎广大读者批评指正,以便有机会再版时更正。

尧德中

2015.5.28

于电子科技大学神经信息教育部重点实验室

## 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第一章 神经系统的组织结构 .....     | 1  |
| 1.1 大脑半球 .....          | 3  |
| 一、大脑半球的外形与分叶 .....      | 4  |
| 二、联络皮层 .....            | 7  |
| 三、大脑皮层的组织结构 .....       | 8  |
| 四、髓质 .....              | 10 |
| 1.2 间脑 .....            | 12 |
| 一、背侧丘脑 .....            | 12 |
| 二、后丘脑 .....             | 13 |
| 三、下丘脑 .....             | 14 |
| 四、上丘脑 .....             | 14 |
| 五、底丘脑 .....             | 14 |
| 1.3 边缘系统 .....          | 14 |
| 一、海马结构 .....            | 15 |
| 二、杏仁核复合体 .....          | 16 |
| 三、扣带回 .....             | 17 |
| 1.4 小脑 .....            | 17 |
| 第二章 神经信息处理相关的生理基础 ..... | 20 |
| 2.1 神经元与神经回路 .....      | 20 |
| 一、神经元的结构 .....          | 20 |
| 二、神经回路 .....            | 22 |
| 2.2 突触与信息传递 .....       | 24 |
| 一、化学突触 .....            | 25 |
| 二、电突触 .....             | 27 |
| 三、突触整合 .....            | 28 |
| 四、突触可塑性 .....           | 29 |
| 2.3 神经电信号的产生与传播 .....   | 31 |
| 一、静息电位 .....            | 31 |
| 二、局部电位 .....            | 33 |
| 三、动作电位 .....            | 35 |



|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第三章 实验动物神经信息研究 .....      | 44 |
| 3.1 神经信息采集技术 .....        | 44 |
| 一、单通道神经信号采集技术 .....       | 44 |
| 二、多通道神经信号采集技术 .....       | 45 |
| 三、内源性大脑光学成像技术 .....       | 46 |
| 3.2 视觉电生理实验研究 .....       | 47 |
| 一、视觉神经元的感受野与非经典感受野 .....  | 48 |
| 二、初级视觉神经元的基本特性 .....      | 49 |
| 三、初级视觉神经元的非经典感受野研究 .....  | 50 |
| 四、初级视觉皮层的朝向功能柱研究 .....    | 60 |
| 3.3 癫痫动物电生理实验 .....       | 63 |
| 一、癫痫的电生理特征 .....          | 63 |
| 二、癫痫模型研究范式 .....          | 65 |
| 三、癫痫电生理信号分析 .....         | 68 |
| 四、癫痫大鼠多通道电生理信号采集与分析 ..... | 76 |
| 第四章 脑电实验技术 .....          | 79 |
| 4.1 脑电基本原理 .....          | 79 |
| 一、脑电发展简史 .....            | 79 |
| 二、脑电机理 .....              | 79 |
| 三、脑电分类 .....              | 80 |
| 四、EEG 的基本特点 .....         | 80 |
| 五、ERP 的基本特点 .....         | 81 |
| 六、ERP 技术的优劣 .....         | 82 |
| 4.2 ERP 主要成分 .....        | 83 |
| 一、视觉 ERP 成分 .....         | 84 |
| 二、听觉 ERP 成分 .....         | 85 |
| 三、语言 ERP 成分 .....         | 86 |
| 四、反应 ERP 成分 .....         | 86 |
| 4.3 ERP 实验范式 .....        | 87 |
| 一、经典 ERP 实验范式 .....       | 87 |
| 二、注意 ERP 实验范式 .....       | 87 |
| 三、记忆 ERP 实验范式 .....       | 88 |
| 四、社会认知 ERP 实验范式 .....     | 88 |
| 4.4 ERP 实验基础 .....        | 89 |
| 一、刺激分类 .....              | 89 |
| 二、实验参数 .....              | 89 |
| 三、数据采集 .....              | 90 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 4.5 ERP 数据处理      | 92  |
| 一、滤波              | 92  |
| 二、分段              | 92  |
| 三、伪迹检测            | 92  |
| 四、伪迹校正            | 93  |
| 五、叠加平均            | 93  |
| 六、重参考             | 93  |
| 七、基线校正            | 95  |
| 八、波形测量            | 95  |
| 九、脑电地形图与源定位       | 96  |
| 4.6 脑电-磁共振融合技术    | 96  |
| 第五章 fMRI 实验       | 97  |
| 5.1 fMRI 原理       | 97  |
| 一、功能磁共振成像概述       | 97  |
| 二、功能磁共振成像特点       | 98  |
| 三、功能磁共振成像质量       | 99  |
| 四、功能磁共振的信号模型      | 100 |
| 5.2 fMRI 实验范式     | 100 |
| 一、组块实验设计          | 101 |
| 二、事件相关实验设计        | 101 |
| 5.3 fMRI 认知实验数据分析 | 102 |
| 一、模型驱动方法          | 102 |
| 二、数据驱动方法          | 104 |
| 三、功能网络分析方法        | 105 |
| 5.4 惊讶情绪的实验研究     | 105 |
| 一、实验对象            | 106 |
| 二、实验设计方法          | 106 |
| 三、实验描述            | 106 |
| 四、心理量表测试          | 107 |
| 五、数据处理            | 107 |
| 六、结果分析            | 109 |
| 5.5 运动想象的 fMRI 实验 | 110 |
| 一、实验设计            | 110 |
| 二、激活分析            | 111 |
| 三、ICA 分析          | 113 |
| 四、因果网络分析          | 114 |



|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第六章 眼动 .....                  | 117 |
| 6.1 眼的基本结构及眼动的生理机制 .....      | 117 |
| 一、眼的基本结构 .....                | 117 |
| 二、眼动的生理机制 .....               | 118 |
| 6.2 眼动的类型 .....               | 119 |
| 一、注视 .....                    | 119 |
| 二、眼跳 .....                    | 122 |
| 三、平滑跟踪 .....                  | 125 |
| 6.3 眼动记录方法 .....              | 126 |
| 一、观察法 .....                   | 126 |
| 二、机械记录法 .....                 | 127 |
| 三、电流记录法 .....                 | 127 |
| 四、电磁感应法 .....                 | 128 |
| 五、光学记录法 .....                 | 128 |
| 6.4 眼动的应用研究 .....             | 130 |
| 一、眼动与视觉注意 .....               | 130 |
| 二、眼动与阅读 .....                 | 130 |
| 三、眼动与视觉搜索和动作执行 .....          | 132 |
| 四、眼动与交通心理学 .....              | 132 |
| 五、眼动与体育心理学 .....              | 133 |
| 六、眼动的其他应用 .....               | 134 |
| 第七章 视觉模型 .....                | 135 |
| 7.1 引言 .....                  | 135 |
| 7.2 Marr 计算视觉理论概述 .....       | 136 |
| 一、视觉系统研究的三个层次 .....           | 136 |
| 二、视觉信息处理的三个描述水平 .....         | 138 |
| 三、图像密度检测及其生理学和心理学依据 .....     | 140 |
| 四、Marr 视觉计算理论的缺点 .....        | 140 |
| 7.3 感受野计算模型 .....             | 141 |
| 一、视觉感知系统 .....                | 142 |
| 二、经典感受野与非经典感受野的生理基础 .....     | 143 |
| 三、经典感受野与非经典感受野的计算模型 .....     | 147 |
| 7.4 选择性注意模型 .....             | 157 |
| 一、自底向上的选择性注意模型 .....          | 158 |
| 二、结合自顶向下与自底向上机制的选择性注意模型 ..... | 162 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第八章 因果模型 .....          | 169 |
| 8.1 引言 .....            | 169 |
| 一、功能分离和功能整合 .....       | 169 |
| 二、功能连接和效应连接 .....       | 169 |
| 三、常用效应连接数学模型 .....      | 170 |
| 8.2 线性因果模型 .....        | 170 |
| 一、线性因果模型原理 .....        | 170 |
| 二、线性因果模型案例 .....        | 172 |
| 8.3 多元条件因果模型 .....      | 177 |
| 一、多元条件因果模型原理 .....      | 177 |
| 二、多元条件因果模型案例 .....      | 179 |
| 8.4 非线性因果模型 .....       | 184 |
| 一、非线性因果模型原理 .....       | 184 |
| 二、非线性因果模型原理案例 .....     | 186 |
| 第九章 脑电逆问题 .....         | 190 |
| 9.1 脑电源模型 .....         | 190 |
| 9.2 脑电逆问题数学模型 .....     | 191 |
| 9.3 脑电逆问题求解 .....       | 191 |
| 一、时空偶极子估计 .....         | 191 |
| 二、等效分布源方法 .....         | 198 |
| 9.4 脑电逆问题的应用及发展趋势 ..... | 211 |
| 第十章 脑机接口 .....          | 212 |
| 10.1 脑机接口概述 .....       | 212 |
| 一、脑机接口基本组成 .....        | 212 |
| 二、脑机接口的研究现状 .....       | 213 |
| 10.2 脑机接口中主要的实验范式 ..... | 217 |
| 一、运动想象脑机接口 .....        | 217 |
| 二、稳态视觉诱发电位脑机接口 .....    | 222 |
| 三、P300 电位脑机接口 .....     | 224 |
| 10.3 脑机接口的应用 .....      | 225 |
| 一、以“脑”为主的系统 .....       | 226 |
| 二、以“器”为主的系统 .....       | 226 |
| 参考文献 .....              | 228 |

第一章 神经系统的组织结构

人类及许多动物的行为都受神经系统调节。哺乳动物的神经系统由中枢神经系统（Central Nervous System, CNS）和周围神经系统（Peripheral Nervous System, PNS）组成（图 1-1）。CNS 包括位于颅腔内的脑和椎管内的脊髓，是神经反射活动的中心部位。脑又分为延髓、脑桥、中脑、小脑、间脑、大脑半球（或端脑）。PNS 包括与脑相连的脑神经和与脊髓相连的脊神经以及内脏神经系统。哺乳动物神经系统是由数亿个神经细胞（Nerve Cell）和神经胶质细胞（Neuroglial Cell）构成的庞大而复杂的信息网络，神经系统通过反射活动维持机体内环境稳定以及机体与外环境的统一。神经细胞又称神经元（Neuron），在 CNS 内大量神经元聚集在一起构成错综复杂的神经网络或神经回路，保证神经系统活动的准确和完善。

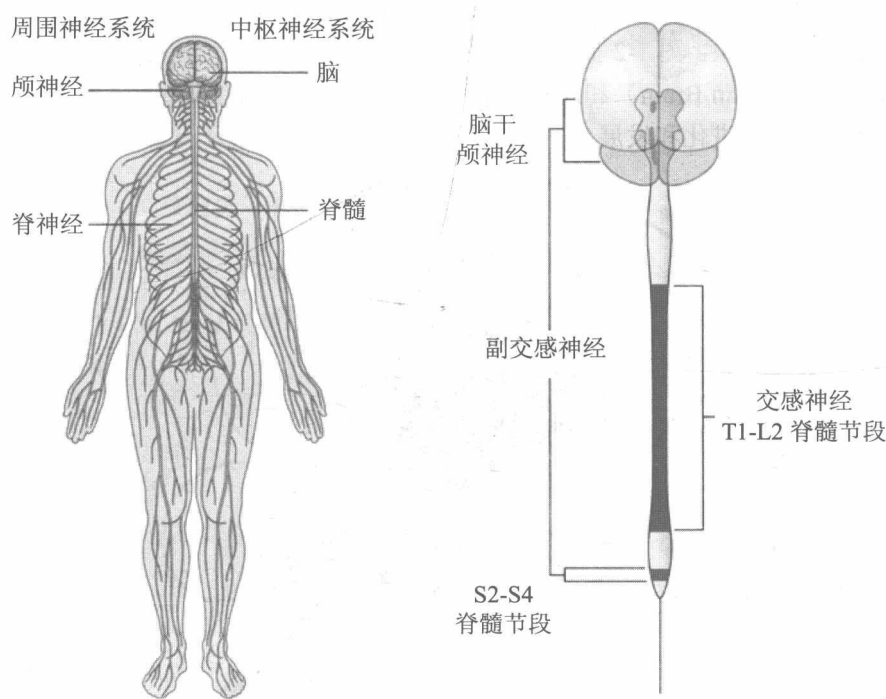


图 1-1 神经系统的组成

神经系统在种系发生上，随着机体由简单到复杂的进化，亦相应地由分散的简单形式向集中的复杂形式发展，经历了网状、链状和管状神经系统三个阶段。哺乳动物，尤其是人和非人类的灵长类动物的神经系统高度发展，与功能和行为的复杂化相适应，神经系统在体积上明显增大，位于最前方的新皮层高度发展并成为控制神经系统的最高级中枢，种系发生中的古老部分则在新皮层的控制下进一步完善。

神经系统的发育包括一系列基本过程：(1) 神经诱导，包括外胚层在脊索诱导下形成神经板的原发诱导和早期脑、脊髓形成的次发诱导；(2) 增殖，包括对原发诱导的反应及作为神经系统某些特殊部分的形态发生和生长；(3) 分化，神经细胞和神经胶质细胞的结构分化与功能成熟；(4) 细胞迁移，神经细胞在特异的物理化学因素引导下向靶区的移动，最终定位于特定的脑区；(5) 神经细胞间联系的建立与程序性细胞死亡，包括神经轴突的生长、突触的形成以及选择性细胞凋亡；(6) 建立联系的神经系统功能的发育完善。

20 世纪 50 年代，美国心理学家麦克莱恩提出哺乳动物大脑在进化过程中形成三个不同功能层次的脑结构的观点。其中，延髓、桥脑、中脑、小脑、苍白球和嗅球等进化过程中最古老的部分被称为爬行类脑（Reptilian Brain），在功能上与呼吸、心跳的调节以及睡眠和觉醒等的维持有关。在爬行类脑的上方，主要由边缘系统构成的部分称为哺乳类脑（Mammalian Brain），在人类情绪中扮演着重要角色。大脑进化中历史最短的新皮层（Neocortex）则称为灵长类脑（Primate Brain），包括覆盖在大脑半球上的脑回部分以及皮层下的部分神经核团（如基底核），占全脑重量的 80% 左右，相比于其他哺乳动物，灵长类和人类的这部分皮层的体积出现爆发性增长，被认为是运动、感觉、认知、推理和社会交往能力的源泉。图 1-2 显示了神经系统进化过程中，前脑沿着爬行类脑、古哺乳类脑（Paleomammalian Brain）和新哺乳类脑（Neomammalian Brain）三条解剖和生物化学的基本神经路径的进化和发展。

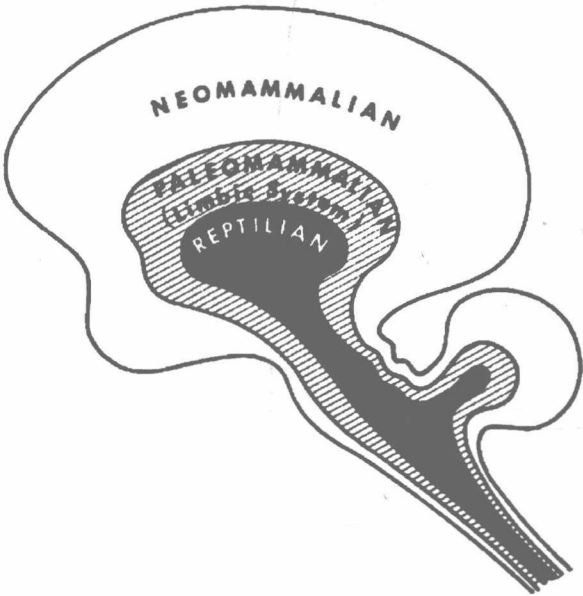


图 1-2 哺乳动物脑的起源示意图（引自 MacLean 等, 1967）

## 1.1 大脑半球

大脑是哺乳动物中枢神经系统的最高级部位，由胚胎时期的前脑泡发育而来。前脑泡的两侧高度发育并向外膨出，覆盖在间脑和中脑的外面，形成左右的大脑半球(Cerebral Hemisphere)。左右半球被大脑纵裂不完全分隔，并由横向的胼胝体(Corpus Callosum)纤维相互连接。图 1-3 和图 1-4 分别显示了人脑不同方向的外形和不同方向的切面。

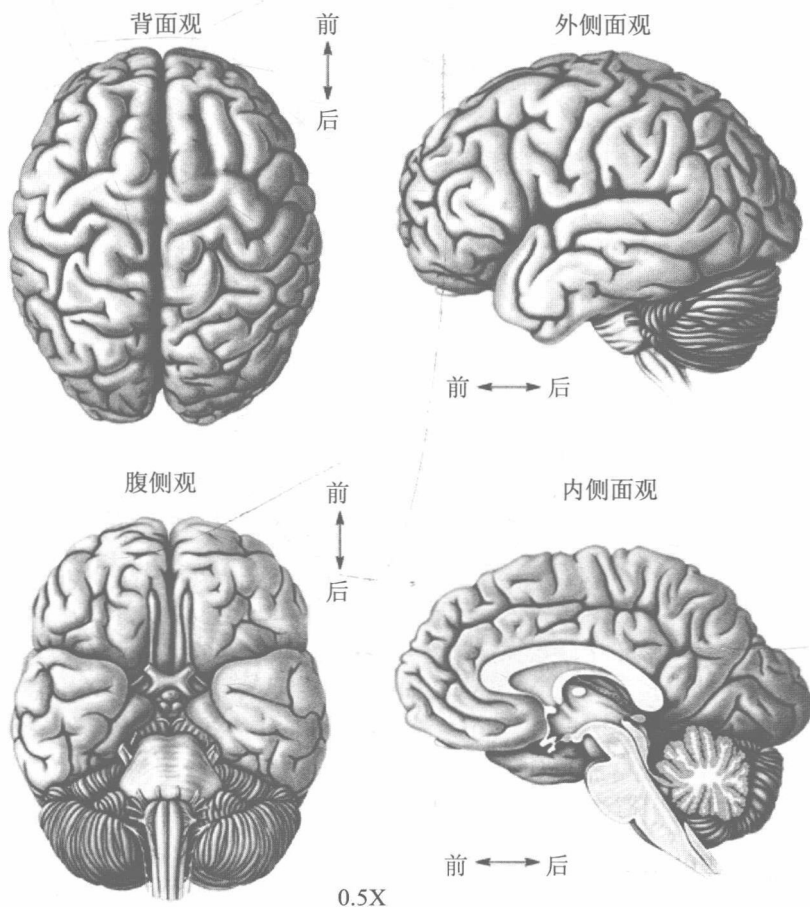


图 1-3 脑的不同方向观

在较早的脊椎动物，前脑主要参与嗅觉功能。从爬行类开始，半球底部出现基底神经核(Basal Nuclei)构成早期的运动中枢。覆盖在半球表面的大脑皮质在高等哺乳类高度发达，参与各种信息整合，与感知觉、运动和高级认知功能有关。

大脑半球由覆盖在表面的皮质(Cortex)和内部的髓质(Medulla)以及深部的基底神经核及侧脑室(Lateral Ventricles)构成。为了研究大脑皮质的结构和功能，先后有学者根据皮质的细胞排列和类型以及有髓神经纤维的配布形式等对皮质进行分区，如将皮

质分为 20 区（1905，Campbell），52 区（1909，Brodmann），109 区（1925，Economo）等。目前应用最为广泛的是 Brodmann 分区（图 1-5）。

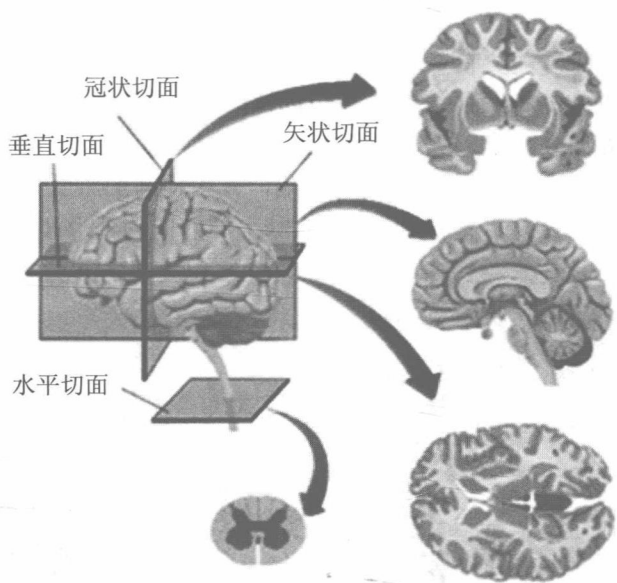


图 1-4 脑的不同方向的切面

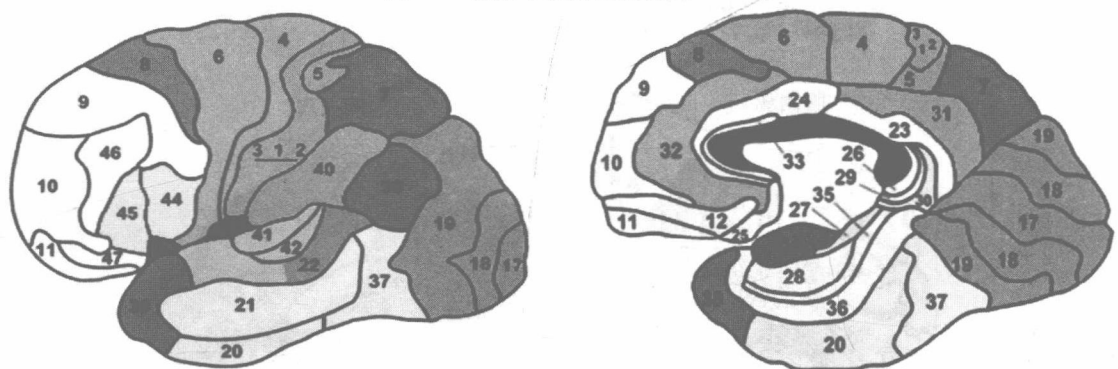


图 1-5 大脑半球背外侧面（左）和内侧面（右）的 Brodmann 分区示意图

## 一、大脑半球的外形与分叶

大脑半球可分为隆凸的上外侧面、平直的内侧面和凹凸不平的下面（图 1-3）。其前端突出的部分为额极，后端突出的部分为枕极，外侧面上向前下方突出的部分为颞极。在胚胎第三月末，大脑半球表面光滑，以后逐渐出现局部的凹陷，并加深在脑表面形成沟（Sulcus），沟与沟之间的隆起称为脑回（Gyrus）。沟回的形成使得大脑表面积增大大约 3 倍。成年人脑皮质表面积约  $2200\text{cm}^2$ 。其中，约  $1/3$  在脑回表面， $2/3$  在沟、裂之中。脑回与脑沟的位置和排列基本恒定，但在不同个体或不同的半球甚至同一半球内可有微小差别。现有资料表明，在人类，脑回的复杂性、脑的大小与脑的智力之间没有直接的联系。

人类大脑半球主要的脑沟有：位于半球上外侧面，由前下行向后上的外侧沟（裂），起于外侧面中点稍后行向下前至外侧沟的中央沟，起自中央沟上端与枕极连线中点的顶枕沟。上述沟、裂将大脑半球分为额叶、顶叶、颞叶、枕叶和脑岛五个部分（图 1-6）。

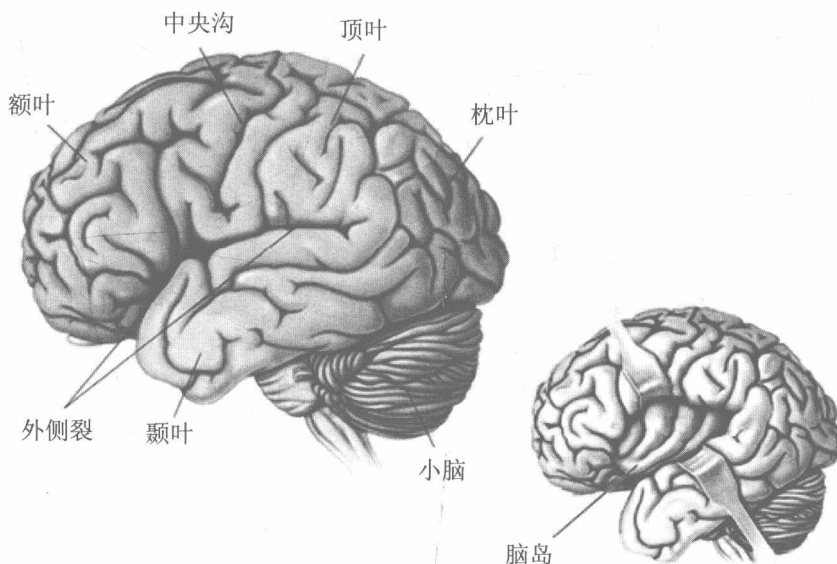


图 1-6 大脑半球分叶

### 1. 额叶

额叶 (Frontal Lobe) 位于中央沟以前，外侧裂上方，占据大脑半球表面的前 1/3，在人类和高等灵长类高度发达（图 1-7）。中央沟前方与之平行的为中央前沟，二者之间为中央前回，是初级运动皮层 (Primary Motor Cortex, Brodmann 4 区)，又称 M1 区，中央前沟之前为运动前区 (Brodmann 6 区)。M1 区控制对侧半身体的骨骼肌运动，身体各部在此区内的投影如一个倒置的人形（但头面部是正立的），其大小与身体不同部位运动的精细复杂程度有关，而与该部位形体大小无关（图 1-8）。运动区的某一局部损伤，引起对侧半身相应部位的骨骼肌运动障碍。额下回靠近头面部运动区处为 Broca 语言区 (Brodmann 44、45 区)。运动前区的前方为前额叶联合皮层，主要负责思维、策略、判断、推理等高级功能。

前额叶皮层 (Prefrontal Cortex, PFC) 位于大脑额叶的最前端，在功能上也是人脑中级别最高的大脑皮层，可进一步分为背外侧前额叶 (Dorsolateral Prefrontal Cortex, DLPFC)、腹外侧前额叶 (Ventrolateral Prefrontal Cortex, VLPFC)、腹内侧前额叶 (Ventromedial Prefrontal Cortex, VMPFC) 与眶额叶皮层 (Orbitofrontal Cortex, OFC) 四个部分。神经心理和影像学研究证实，背外侧前额叶不仅与工作记忆等执行功能有关，也参与决策的行动阶段。该区域在整个生物系统发生上出现最晚，在个体发育上成熟最迟。从进化发生的角度来看，人类的前额叶是人明显区别于其他动物包括灵长类动物的一个区域，在执行控制、计划制订、策略执行、学习和记忆、思维和推理等高级认知加工活动中起到了至关重要的作用。

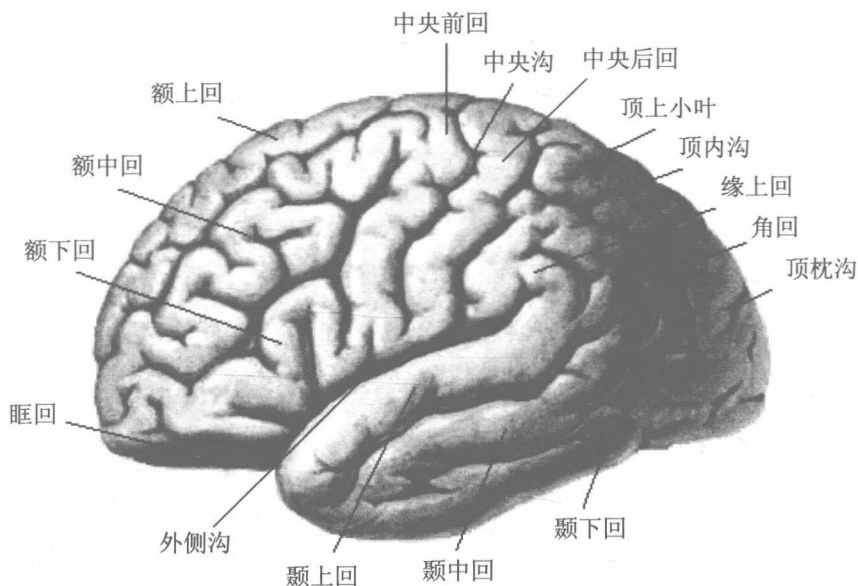


图 1-7 大脑背外侧面的主要沟回

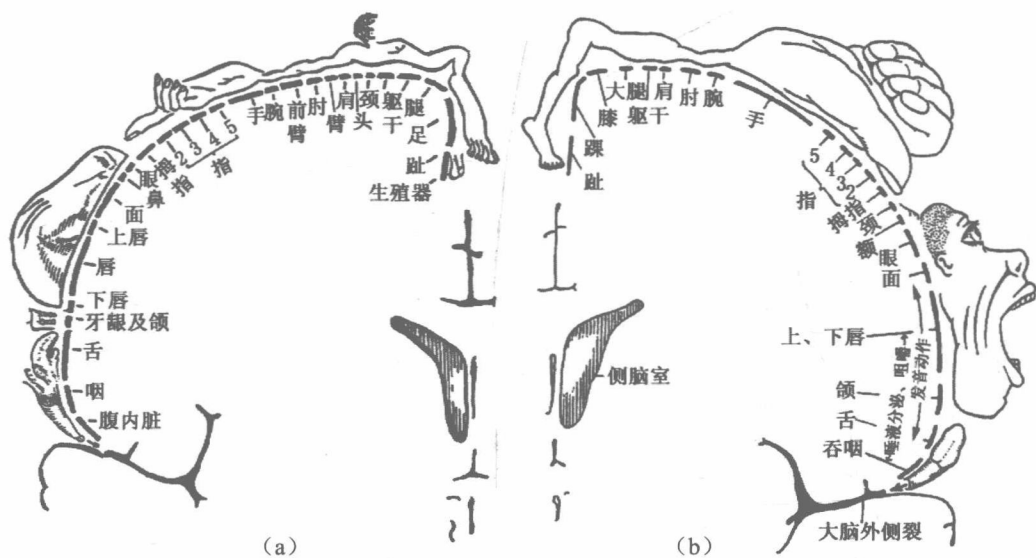


图 1-8 大脑皮层的躯体感觉区 (a) 和运动区 (b) 的定位图

## 2. 颞叶

颞叶 (Temporal Lobe) 位于大脑外侧沟下方, 顶枕沟和枕前切迹连线的前方 (图 1-6)。包括颞叶岛盖、颞上回 (22 区)、颞中回 (21 区)、颞下回 (20 区)、颞极 (38 区) 等 (图 1-7)。第一听皮层 (Primary Auditory Cortex) 位于颞上回中部及颞横回, 感觉性语言中枢位于优势半球颞上回后部。颞叶与记忆、联想、比较等高级神经活动有关。