

# 大脑结构与记忆机理

STUDENT 1

Student Number 1

STUDENT 2

Student Number 2

STUDENT 3

Student Number 3

## 摘 要:

脑科学研究是当今世界上最重视的研究之一。脑科学研究是指了解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。目前人类对于脑科学研究仍处于探索阶段,主流的脑科学假说有:人格结构理论、巴甫洛夫学说、三元脑假说和费尔德曼学说等。短期记忆和长期记忆在脑科学中起到举足轻重的作用,是探索脑科学的关键。诺贝尔奖得主埃里克·坎德尔在研究短期记忆和长期记忆方面取得极大的研究成果,通过大量实验证明短期记忆与长期记忆与神经突触和基因表达有着密切的关系。基于脑科学研究,越来越多的相关理论应用到人类生活中,如人工神经网络、脑机接口等技术,促进了人类社会的生产发展。本文根据三元脑假说详细介绍人脑结构,同时根据埃里克的相关研究,介绍短期记忆的形成以及短期记忆到长期记忆转化的原理。最后,介绍脑科学研究在人类社会生活中的实际应用。

**关键词:** 三元脑假说, 短期记忆, 长期记忆, 脑科学应用

# 目录

1 绪论.....	1
1.1 课题研究背景.....	1
1.2 国内外研究现状.....	1
1.3 本文的研究内容.....	1
2 脑科学假说与人脑结构.....	2
2.1 人格结构理论.....	2
2.2 巴甫洛夫学说.....	2
2.3 三元脑假说.....	3
2.4 费尔德曼学说.....	4
2.5 基于三元脑假说的人脑结构介绍.....	5
2.5.1 爬行动物脑（Lizard Brain）.....	5
2.5.2 古哺乳动物脑（Paleomammalian brain）.....	7
2.5.3 新哺乳动物脑（Neomammalian brain）.....	8
2.5.4 评价.....	9
2.6 本章小结.....	10
3 短期记忆和长期记忆.....	11
3.1 学习类型.....	11
3.1.1 习惯化.....	11
3.1.2 敏感化.....	11
3.1.3 经典条件反射.....	11
3.2 短期记忆.....	12
3.3 短期记忆形成长期记忆.....	12
3.3.1 认知心理学角度.....	12
3.3.2 神经学角度.....	13
3.4 本章小结.....	14
4 脑科学在人类生活中的应用.....	15
4.1 人工神经网络.....	15
4.1.1 背景.....	15
4.1.2 人工神经网络运作原理.....	15
4.1.3 人工神经网络训练原理.....	16
4.2 脑机接口.....	16
4.2.1 定义.....	16

---

4.2.2 脑机接口技术的实现.....	17
4.2.3 脑机接口技术的市场前景.....	18
4.3 本章小结.....	20
5 总结.....	21
参考文献.....	22

## 1 绪论

### 1.1 课题研究背景

脑科学，狭义的讲就是神经科学，是为了了解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进行的研究。（美国神经科学学会）广义的定义是研究脑的结构和功能的科学，还包括认知神经科学等。

要研究脑科学，科学家们需要深入研究大脑的结构并绘制出每个神经元的运作方式。这对于我们来说一直是一个未知的领域，我们当今对其的认识也仅仅是冰山一角。

### 1.2 国内外研究现状

根据上海科技创新资源数据中心提供的数据，我们发现，在脑科学、神经科学领域的专家中，我国和美国的专家占据了整个领域专家人数的 41%，我国的专家人数略低于美国，但远多于其他国家；专注于脑科学、神经科学的企业数量中，第一位的美国企业占据了 37%，而我国则是只有 7%，比第二位的日本还要少 500 家左右。

各国在脑科学、神经科学领域的侧重上，我国的发展状况主要以脑科学、神经科学领域的应用为主，而日本、德国和美国等都基本侧重于技术原理的研究<sup>[1]</sup>。

### 1.3 本文的研究内容

本文对近代以来，各国在脑科学领域涌现出的各种假说进行了收集整理，并介绍了其基本思想。基于“三元脑”模型，本文对人大脑中的常见结构进行了介绍。本文从微观角度入手，对人脑的记忆形成机理进行了具体的介绍。最后本文介绍了当今脑科学在人类前沿领域的应用。

## 2 脑科学假说与人脑结构

### 2.1 人格结构理论

1923年，弗洛伊德（Freud）在《自我与本我》书中提出了一个人格心理学领域有着至高地位的假说：“人格结构理论：自我、本我、超我”<sup>[2]</sup>。

本我是人格结构中最基本、最原始的部分。本我由遗传本能、欲望所组成，如饥、渴、性，是一种未知的控制力，肉体是它的能量源泉。本我的唯一机能就是直接释放心理能量或降低紧张，并由此得到快乐的满足。它在要求满足方面没有是非观念，不考虑道德约束。本我的这种机能履行了生命的第一原则，即快乐原则。

自我是意识的结构部分。它是在本我与现实的接触中，本我的一部分经历了特别的发展而产生的专门的组织。自我处于本我和外部世界之间，是理性的、意识的现实化的本我。

超我由自我理想和良心组成，代表社会道德标准，是人格中专管道德的司法部门。超我是从自我中分化出来的、道德化了的自我，处于人格的最高层。他是个体在生活中接受社会文化道德规范的教育而逐渐形成的。超我遵循“至善原则”，监督管制本我活动，并指导自我，它会抑制本我的不容于社会要求的各种行动，特别是性欲和攻击行为，因为这两种行为最受社会谴责，还会诱导自我，用合乎社会规范的目标代替较低的现实目标，也会使个人向理想努力，达到完善的人格。

弗洛伊德的人格结构理论从生物学的角度给出了一种对于人格的解释。这个后文将要介绍的“三元脑”假说在这个点上有异曲同工之妙。

### 2.2 巴甫洛夫学说

1927年，巴甫洛夫（Pavlov）提出了著名的巴甫洛夫学说。他把意识和行为通通看作“反射”，而反射是神经系统活动的基本方式。巴甫洛夫将反射分为两大类：无条件反射和条件反射，其中条件反射又分为第一信号系统和第二信号系统。

无条件反射又称本能的或种族的反射。无条件反射的神经通路是固定的神

经联系，人和动物都有无条件反射，它不需要任何学习和训练就可以实现的反射，是一种先天、本能、自然生理现象。膝跳反应就是最常见的无条件反射。无条件反射和前文介绍的弗洛伊德提出的“本我”概念比较类似。

条件反射是在无条件反射的基础上，经过后天的训练学习建立起来的反射活动。条件反射的神经通路是暂时接通的，如不经重复或强化，已建立起来的神经通路就会消退。这种条件反射系统是人和动物学习与行为的基础。中国有句古话叫朝被蛇咬十年怕井绳，这就是条件反射的典型体现。在建立条件反射的过程中，因引起条件反射的刺激物的性质不同，可将条件反射分为第一信号系统和第二信号系统。

第一信号系统是人和动物都具有的条件反射系统，它是由具体事物作为条件刺激物而建立的条件反射系统。它的刺激是现实的、具体的刺激，如食物的形状、与食物结合出现的灯光或铃声、电、味等刺激，在脑子里只能反映所看到、触到、听到或看过、摸过、听过的东西的某一方面。这和弗洛伊德提出的“自我”概念比较接近，即人的会基于现实世界形成条件反射，是现实化的本我。

第二信号系统为人类所独，人类所特有的言语和文字可以代替第一信号引起条件反射，所以言语和文字是“信号的信号”，称为第二信号。它是人的各种复杂的心理活动的基础，是由词和语言作为条件刺激物而建立的条件反射系统。第二信号系统能够在人的脑子里反映他可能从来没有感知过和永远不能以自己的感觉器官来直接感觉的东西<sup>[3]</sup>。同样地，这和弗洛伊德提出的“超我”概念也比较接近，人类正是因为看到了法律、道德准则上的文字信息，才会自发地约束自己地行为。

## 2.3 三元脑假说

上世纪六十年代，神经科学家保罗·麦克莱恩（Paul MacLean）提出了三元脑模型（Triune Brain）提出的理论。麦克莱恩根据生物在进化史上出现的先后顺序，将人类大脑分成了三个部分：“爬行动物脑”、“古哺乳动物脑”和“新哺乳动物脑”。每个“脑”通过神经纤维与其他两者相连，但各自作为相对独立的系统分别运行，各司其职。他认为这三个脑的运行机制就像“三台互联的生物电脑”，各自拥有独立的智能、主体性、时空感与记忆<sup>[4]</sup>。

## 2.4 费尔德曼学说

神经科学家丽莎·费尔德曼·巴雷特博士对于前文介绍的“三元脑”假说嗤之以鼻。

费尔德曼的最核心观点为：大脑运作的最高原则就是节省耗能。她认为所有哺乳动物的大脑（至少所有脊椎动物的大脑）都是通过同种类神经元作用的单一形成机制而构建出来的，每个物种的大脑都具有独特、且有效适应其生存环境的能力，并没有高低之分。

### ① 预测机制

费尔德曼认为人的大脑最核心的工作逻辑为“预测”。你的大脑每时每刻都会使用其“库存”的所有可用信息（你的记忆力，状况，身体状态）来猜测下一刻会发生什么。假如一个猜测被证实，你的大脑就有了先机，它已经启动了身体的下一个动作，创造了你所看到的、听到的和感觉到的东西；而如果猜测被证伪，大脑可以马上自我修正，希望下次学会更好地预测，这便是修葺和调整<sup>[5]</sup>。

### ② 喝水案例

我们都知道我们喝的水要进入血液至少需要 20 分钟。但是为什么我们喝完马上就能有解渴的感觉？

通过费尔德曼学说，我们就可以对这个问题有一个很好的解释。早在味觉嗅觉视觉进入你的大脑之前，大脑早就根据过去的记忆做出了预测，当出现一种情况（比如喝水）时，你的大脑会立刻通过已有的记忆库查询喝水将要应对的是什么情况。此时大脑判断的结果是喝水能够让你生存下去，而生存永远是大脑的第一准则，所以大脑便会给你传达一个不再口渴的信息。

### ③ 结论

- 1、大脑是一个庞大的神经元网络，其中的大多数神经元同时负责多项工作，并非为了某个单一心理目的。
- 2、各物种的大脑进化目的是为有效适应外界生存环境，其进化的能力并没有高低之分。
- 3、大脑的稳态应变机制，是预测现有的能量，以确保身体健康。
- 4、大脑的预测和修正活动都在产生意识之前，瞬间发生。
- 5、大脑会在调节身体系统的同时产生思维，身体调节本就是思维的一部分<sup>[5]</sup>。

## 2.5 基于三元脑假说的人脑结构介绍

### 2.5.1 爬行动物脑（Lizard Brain）

爬行动物脑，也称爬行脑。他是最原始的，最早出现的脑结构。从它的名字也能看出，他应该负责的是人类最底层、最常见的功能。如呼吸、心跳、血压、体温等。

爬行动物脑在人体大脑中的位置如图 2.1 所示，可见它的位置处于最底层。它由脑干（Brainstem）、小脑（Cerebellum）和下丘脑（Hypothalamus）组成。

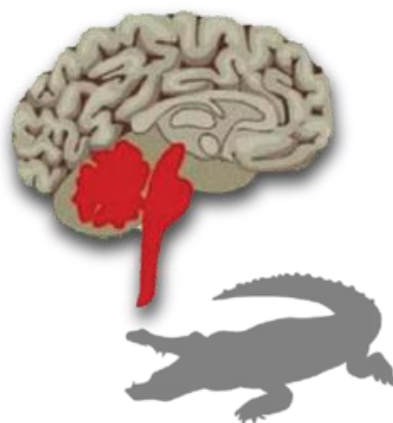


图 2.1 爬行动物脑在人脑中的区域

#### ① 脑干

脑干是脊髓向上延伸的部分，其下端与脊髓相连，上端与大脑相接。它负责控制人的睡意、警报、心率、呼吸、消化、体温等最基本的生理活动。脑干的组成如下图 2.2 所示，脑干自下而上还可分为延髓（medulla）、脑桥（pons）和中脑（midbrain）。

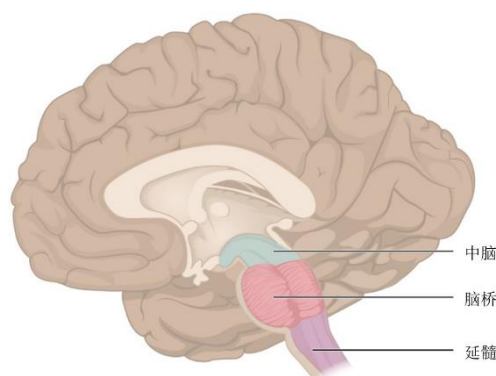


图 2.2 脑干

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。支配呼吸、排泄、吞咽、肠胃等活动。



脑桥位于中脑与延髓之间。脑桥的白质神经纤维，通到小脑皮质，可将神经冲动自小脑一半球传至另一半球，使之发挥协调身体两侧肌肉活动的功能，对人的睡眠有调节和控制作用。

中脑位于脑桥之上，恰好是整个脑的中点。中脑是视觉与听觉的反射中枢，凡是瞳孔、眼球、肌肉等活动，均受中脑的控制。

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。网状系统的主要功能是控制觉醒、注意、睡眠等不同层次的意识状态[5]。

## ② 小脑

小脑是位于后颅窝的脑组织，如图 2.3 所示。小脑在感觉感知、协调性，和运动控制中扮演重要角色；它也注意、语言等很多认知功能相关，亦能调控恐惧和欢乐等反应，其中最为人们确知的是其运动相关功能。大量实验已经证明，小脑的最重要作用就是保持平衡和身体协调。另外，小脑还有大量的和条件反射（第一信号系统）相关的神经元。

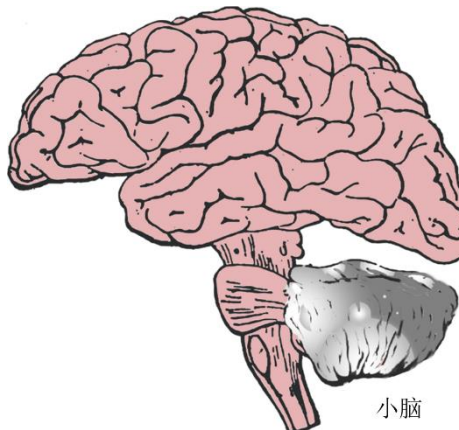


图 2.3 小脑

对于爬行动物来说，脑干和小脑对物种的行为起着主要的控制作用。这些脑结构调控维持个体生命的一系列重要生理功能，包括：心跳、呼吸、睡眠和觉醒等等。在脑干和小脑的操控下，人与蛇、蜥蜴有着相同的本能行为模式。

## ③ 下丘脑

下丘脑位于丘脑的下方，脑干的上方。它在大脑中的位置如下图 2.4 所示。下丘脑是间脑的一部分。同时下丘脑也被归为古哺乳动物脑的一部分。

下丘脑能够对体温、水平衡、情绪反应、生物节律进行调节和控制。体温和水平衡应该很好理解，就不再作详细介绍。对于情绪反应而言，下丘脑的疾病也往往伴随着不正常的情绪反应；对于生物节律而言，即人脑感受外界环境光暗信号的变化，使机体的生物节律与环境的光暗变化同步的过程，说白了就

是生物钟的构建。

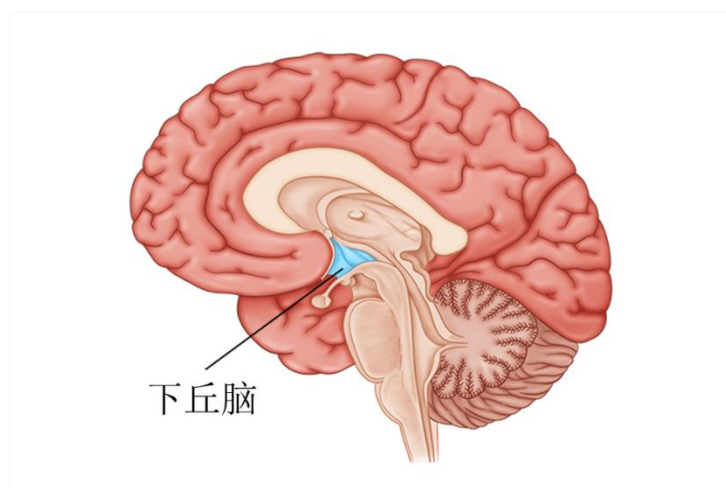


图 2.4 下丘脑

### 2.5.2 古哺乳动物脑（Paleomammalian brain）

古哺乳动物脑也称边缘系统（Limbic system），指包含包括扣带回（Cingulate gyrus）、海马体（Hippocampus）、杏仁核（Amygdala）以及下丘脑支援多种功能例如情绪、行为及长期记忆的大脑结构。这种被描述为边缘系统的脑部结构与嗅觉结构相近。术语“limbic”源自拉丁文“limbus”，意指“边界”或“边缘”。边缘系统如下图 2.5 所示。

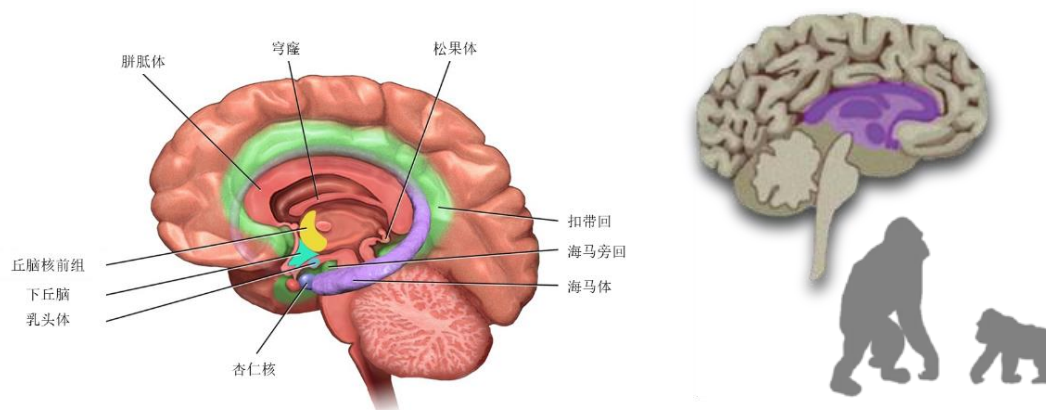


图 2.5 古哺乳动物脑

边缘系统的作用是使中脑、间脑和新皮层结构之间发生信息交换。边缘系统参与调解本能和情感行为，其主要的作用是维持自身生存和物种延续。

下面对边缘系统中最重要几个部分进行简单介绍。

### ① 扣带回

扣带回内部包含大量神经纤维，其灰质皮层称为扣带皮层。扣带回将胼胝体不完全地包裹；在上方，扣带回为扣带沟所限。其主要功能为情感、学习和记忆。

### ② 海马体

人类和哺乳动物都有两个海马体，分别位于左右大脑半球。它位于大脑皮质下方，担当着关于短期记忆、长期记忆，以及空间定位的作用。海马体中的位置细胞与内嗅皮层中的网格细胞在脑部进行空间定位和导航中扮演重要角色。

### ③ 杏仁核

杏仁核，有些也称杏仁体，它位于侧脑室下角前端的上方，海马体旁回沟的外侧，顶部与尾状核的末端相连。它有调节内脏活动和产生情绪的功能。引发应急反应，让动物能够挺身而出或是逃离危险。除此之外，杏仁核还负责创造情绪并产生与之相关的记忆。

只能通过极端情况对杏仁核进行训练，常规情况下是没法训练大脑中的这部分能力的。

## 2.5.3 新哺乳动物脑（Neomammalian brain）

新哺乳动物脑，也称作人类脑、新皮质、大脑皮质。即大脑的新皮层，在进化上最晚出现。新皮层就是大脑最外层的沟沟回回，从前到后大致可分为额叶（Frontal Lobe）、顶叶（Parietal lobe）、颞叶（Temporal lobe）和枕叶

（Occipital Lobe），如下图所示。新皮层控制着更高级的脑功能，例如语言、抽象思维、计划、感知等等。

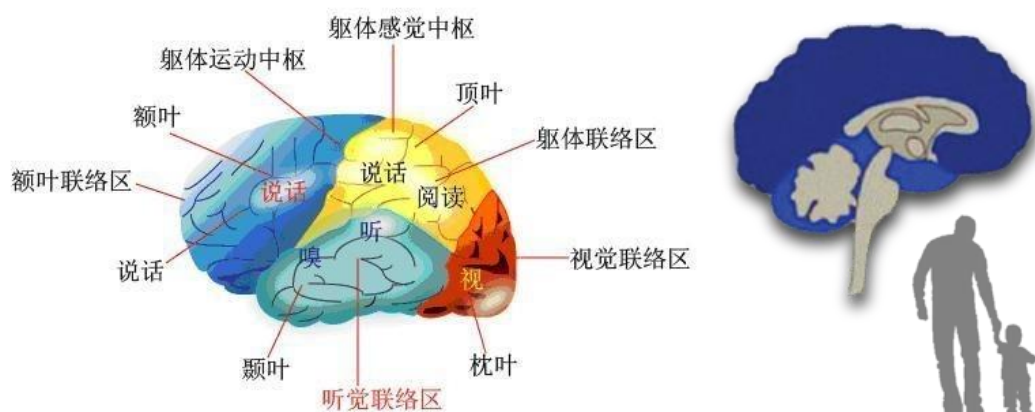


图 2.6 新哺乳动物脑

### ① 额叶

额叶位于脑的前半部。他负责人的智慧分析、判断、推理、社交、自控、学习语言、洞察。

额叶又可以分为如下几个区：眼动区、前运动皮质区、前额叶皮质、初级运动皮层、布洛卡区

本文只重点介绍一下前额叶皮质区：他的功能包括了计划，分析、判断、专注、社交、自控。这是人类大脑最晚成熟的区域，人类前额叶皮质变得越来越专注于优先发展更高维度的信息处理能力让我们能够更快更多的处理信息。这里有大量的神经元被用于理解信息分析信息判断信息。

### ② 顶叶

顶叶为处理各类感觉讯息（包括痛觉、触觉等）的中枢，同时也和语言、记忆、整合信息、空间想象、协调动作、数学、抽象等功能有关。顶叶由顶上小叶、顶下穹夜、体感皮层、内侧顶叶组成。

中国有个词语叫做开窍。实际上开窍说的就是顶叶领悟了某个问题。

### ③ 颞叶

颞叶是初级和次级听觉皮层的所在地，为处理听觉讯息的中枢。它包含了洞察力、面部识别、语言理解、学习和记忆等多方面的功能。简单来说，通过颞叶，我们才能接受和理解世界的各种信息。而我们学习和记忆的能力和观察世界的能力高度相关。

颞叶在位置上和海马体很接近，结合前文对海马体的介绍，那么颞叶能有这样的功能也不能理解了。

### ④ 枕叶

枕叶位于我们后脑勺的位置，它已知的主要功能为视觉信息的处理。

## 2.5.4 评价

三重脑简化了大脑结构，并且自带远古进化的神秘色彩，曾经引起了广大人民群众的强大兴趣。但在 2000 年以后，三重脑饱受批评，科学家们不再支持该模型。

例如，爬行动物脑中的基底神经节，也存在于爬行动物出现之前的两栖动物和鱼类脑内，因此爬行动物脑并不是起源于爬行动物，而是拥有更早的起源。

例如，古哺乳动物脑的一个显著特性是掌管着抚育子代的功能。但育子行

为同样存在于鸟类和一些鱼类，因此，古哺乳动物脑的育子行为同样要追溯至更久远的时候。

虽然三重脑模型如今已不再受科学家支持，但由于其模型简化且有趣，为公众了解大脑结构，以及学生、脑科学爱好者学习脑科学，提供了一个非常不错的入门读物<sup>[6]</sup>。

## 2.6 本章小结

本章简单介绍了脑科学研究者对于人脑提出了多种不同的假说，如人格结构理论、巴甫洛夫学说、三元脑、费尔德曼学说。并基于三元脑模型介绍了人脑中常见部分的功能。但总体来看，大脑是一个复杂的对象，它的各个要素相互依存相互影响。

### 3 短期记忆和长期记忆

诺贝尔奖得主埃里克·坎德尔在短期记忆、长期记忆的形成以及转化有显著的研究成果，本章节根据埃里克的书《In Search of Memory》<sup>[7]</sup>进行相关介绍。

#### 3.1 学习类型

埃里克为了研究记忆的形成将学习的类型分为三种：习惯化、敏感化和经典条件反射。

##### 3.1.1 习惯化

习惯化是最简单的学习形式，指通过重复刺激动物，使得动物确保自己安全的情况下对刺激置之不理。当动物在受到突然的刺激时，例如听到突然发出的声音，会产生瞳孔扩大、心率变快以及呼吸加速等反应，而如果反复向动物呈现这个刺激，该动物就会适应刺激，不再有瞳孔扩大、心率变快等反应，但如果停止刺激动物，经过一段时间后，动物又会对刺激产生反应。

埃里克利用海兔的腹神经节细胞中通往 R2 细胞的神经轴突施加弱电流，以此模拟对动物的刺激进行实验。实验表明，随着刺激次数等增加，细胞产生的突出电位逐渐减少，称为抑制现象。在停止刺激 10 到 15 分钟后重复施加刺激，细胞产生的突出电位恢复最初水平，称为复原现象。

##### 3.1.2 敏感化

敏感化是一种恐惧习得形式，当危险刺激发生后，动物会变得敏感，对于任何的刺激会产生更强的反应。例如在给动物施加电击后，动物对铃声、触摸等刺激都表现出过激的退缩反应。

在对 R2 细胞神经通道施加强刺激后，在其他的神经通道进行刺激，突出的反应将会大幅增加，称为异突触异化现象。

##### 3.1.3 经典条件反射

经典条件反射是将危险的刺激与中性的刺激联系起来，例如巴甫洛夫的实验中将电击和铃声配对，先产生铃声再对狗进行电击，重复多次后，狗对铃声会产生过激反应。

对一条神经通道进行弱刺激，再另一条神经通道进行强刺激并反复呈现，

最后进行弱刺激时细胞也会产生强烈的反应。经典条件反射与敏感化的学习形式区别在于，敏感化是对所有的刺激进行强烈反应，而经典条件反射只对特定的刺激对进行强烈反应。

## 3.2 短期记忆

根据学习类型以及相关实验可知，通过不同的刺激组合形式可以改变神经细胞间的突触联系强度，并且持续时间可达数分钟，同时同一个突触的强度可以被不同组合形式的学习类型强化或减弱。突触强度的一系列变化是活体动物产生简单信息存储形式的基础，并且也表明大脑内神经回路的信息流能够被学习调控。

为了证明在离体神经节的实验结论在活体动物依然有效，埃里克在海兔身上进行缩鳃反射实验。当轻微触碰海兔的虹吸管时，海兔会产生快速地防御性反射，即将虹吸管和鳃迅速缩到外套膜内。埃里克根据缩鳃反应分别实验习惯化、敏感化、经典条件反射三种学习类型，并且都得到了证明，可见动物短期记忆的形成是由突触产生电位的强弱决定。

进一步的研究表明，同种类的动物在相同位置上有相同的细胞，且神经元之间的突触联系固定不变，每个细胞总是向固定的靶细胞发送信号。学习能够改变神经元之间的联系强度，即改变了信息传递的效能。遗传和发育决定了神经元之间连接方式，但不能改变突触的联系强度，而环境和学习能够改变神经通道传递效能，带来新的行为形式，产生短期记忆。

埃里克通过实验得出以下结论：1.突出联系强度的变化足以改变原有的神经网络结构及其信息加工能力；2.短期记忆的存储时间长短取决于突触强化或弱化的时间；3.在能够被学习调控的神经回路中，只需要少量的训练，突触强度就会产生巨大、持久的变化。

## 3.3 短期记忆形成长期记忆

### 3.3.1 认知心理学角度

在认知心理学中，与短期记忆形成长期记忆相关最著名的实验是艾宾浩斯实验。艾宾浩斯创造一些新的没有意义的词进行记忆，如 RAX、PAF 等。艾宾浩斯共造出 2000 个左右的词，然后打乱顺序，实验要求每天背诵并检测记忆的

情况。根据实验得出以下结论：1.记忆是渐进性的，第一天重复训练的次数越多，第二天记住内容就越多；2.人类遗忘的东西在大脑仍有储存，学习已学过的词汇比未学过的词汇更容易；3.遗忘分为两个阶段，第一阶段是学习后的一个小时内记忆量迅速下降，第二阶段之后的一个月内存以缓慢速度消失。

詹姆士基于艾宾浩斯的工作和思想，提出长期记忆一定在短期记忆之后。后人的研究则进一步提出短期记忆到长期记忆的转化过程称为固化

(consolidation)，并且短期记忆在两小时内最容易受干扰，如果继续记忆其他内容，那么最初记忆的内容则会快速遗忘。另外，如果大脑受到外伤可能会产生逆行性遗忘，失去前两小时记忆。

### 3.3.2 神经学角度

埃里克在进行短期记忆的实验过程中发现，连续给海兔 40 个刺激会产生习惯化，但只能维持一天。如果每天给海兔 10 个刺激，连续四天，习惯化效应就能持续一周。此外，中间穿插休息能够进一步促进长时记忆的建立。

通过研究发现，长时记忆不仅是短时记忆在时间上的延伸，即突出强度的变化更持久，而且突触的数目也发生了变化，新的突触的寿命与记忆持续的时间等长。一个感觉神经元有 1300 个前突触端，与大约 25 个靶细胞发生联系，其中包括运动神经元、兴奋性中间神经元以及抑制性神经元。在这 1300 个前突触端中，只有 40% 左右有活性，即只有他们能够释放神经递质，其他前突触端处于静息状态。而出现长期记忆时，前突触端数目增至两倍左右，活性突触比例也增加到 60%，运动神经元也长出新的突触末端。当长期记忆消失时，前突触端降低到比平常高一点水平，约 1500 个前突触端，这与艾宾浩斯的人类遗忘的东西在大脑仍有储存的结论相同。

长期记忆的形成会产生新的蛋白质，而短期记忆则没有。埃里克通过对短期记忆形成长期记忆时产生的蛋白质的进一步研究，进一步了解长期记忆形成的本质。短期记忆的突触联系强度是根据突触间传输的介质 5-羟色胺决定的，而 5-羟色胺在改变强度的同时提高 cAMP 的水平，促使蛋白激酶 A 和 MAP 激酶向细胞核内转移。在细胞核中，激酶激活了 CREB-1 同时抑制 CREB-2，开启一部分的基因表达，产生新突触末端生长所需的蛋白质。当两种 CREB 的拮抗作用超过阈值时，短期记忆变为长期记忆。这与艾宾浩斯的反复练习能够加强记忆的结论相同：反复练习增强短期记忆，当超过阈值时将转为长期记忆。此外，当人受到强烈刺激时，短期记忆产生大量 5-羟色胺，导致 CREB 的拮抗作用快速超过阈值，瞬间形成长期记忆。对于年龄性记忆丧失，则是长期记忆固化能力缺失的表现，一方面 CREB-1 的激活能力下降，另一方面 CREB-2 的抑



制信号不足，从而导致长期记忆的丧失。最后，短期记忆会在激活的前突触端上进行标记，在形成长期记忆过程中产生的蛋白质会根据标记与对应的前突触端进行结合，并且 5-羟色胺激活 CPEB，维系突触的生长。

### 3.4 本章小结

短期记忆的形成是通过改变突触间联系的强弱实现，在短期记忆形成后，当短期记忆的强度到达一定程度时，会产生蛋白质生成新的突触，激活更多的前突触端，形成长期记忆。

## 4 脑科学在人类生活中的应用

人类根据大脑构成的一些研究，类比大脑结构的组成与原理，在计算机方面创造了人工神经网络、脑机接口等新兴领域。

### 4.1 人工神经网络

#### 4.1.1 背景

人工智能的最初愿景是复制人类大脑的功能。

人工神经网络的概念基于生物学。生物神经网络使大脑能够以复杂的方式处理大量信息，而大脑的生物神经网络由大约 1000 亿个神经元组成，神经元是大脑的基本处理单元。神经元通过彼此之间巨大的连接（称为突触）来执行各种功能。人脑大约有 100 万亿个突触，每个神经元约有 1000 个突触。

和人工神经网络存在紧密联系的概念有“机器学习”、“深度学习”等。

#### 4.1.2 人工神经网络运作原理

人工神经网络的核心成分是人工神经元。每个神经元接收来自其他几个神经元的输入，将它们乘以分配的权重，将它们相加，然后将总和传递给一个或多个神经元。一些人工神经元可能在将输出传递给下一个变量之前将激活函数应用于输出。

从本质上讲，这是一个非常琐碎的数学运算。但是，当将成千上万的神经元多层放置并堆叠在一起时，便可获得一个人工神经网络，可以执行非常复杂的任务，例如对图像进行分类或识别语音。

图 4.1 给出了一个人工神经网络的基本组成，它由一个输入层和一个输出层组成，其中输入层从外部源（数据文件，图像，硬件传感器，麦克风等）接收数据，一个或多个隐藏层处理数据，输出层提供一个或多个数据点基于网络的功能。

例如，检测人，汽车和动物的神经网络将具有一个包含三个节点的输出层。对银行在安全和欺诈之间进行交易进行分类的网络将只有一个输出。

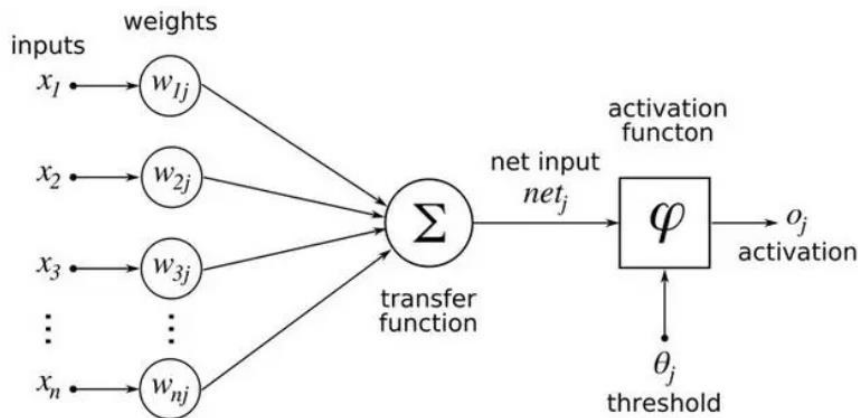


图 4.1 人工神经网络的基本组成

### 4.1.3 人工神经网络训练原理

人工神经网络首先为神经元之间的连接权重分配随机值。训练过程正确而准确地关键是将这些权重调整为正确的数字。

通过对带有注释示例的网络进行“培训”来完成此校准。例如，如果要训练一种图像分类器，则可以为它提供多张照片，每张照片均标有其相应的类别（人，汽车或动物）。当为它提供越来越多的训练示例时，神经网络会逐渐调整其权重，以将每个输入映射到正确的输出。

基本上，训练是网络进行自我调整和特征提取的过程。同样，对于图像分类器网络，每一层神经元都会检测到特定的特征类别。例如，第一层可能检测到水平和垂直边缘，第二层可能检测到拐角和圆形。在网络更深的层次将开始挑选出更高级的功能，例如面部和物体。

最后，经调整后的神经元权重将能够提取正确的特征，并且准确确定图像属于哪个输出类别。

## 4.2 脑机接口

### 4.2.1 定义

脑机接口是在人或动物脑（或者脑细胞的培养物）与计算机或其他电子设备之间建立的不依赖于常规大脑信息输出通路(外周神经和肌肉组织)的一种全新通讯和控制技术。

“脑”意指有机生命形式的脑或神经系统。“机”意指任何处理或计算的设备，其形式可以从简单电路到硅芯片到外部设备和轮椅。“接口”即用于信息交换的中介物。

脑机接口换句话说，就是在人或动物脑与外部设备间创建的用于信息交换的连接通路。

脑机接口作为当前神经工程领域中最活跃的研究方向之一，在生物医学、神经康复和智能机器人等领域具有重要的研究意义和巨大的应用潜力，近 10 年来，脑机接口技术得到了长足的进步和飞速的发展，应用领域也在逐渐扩大<sup>[8]</sup>。

#### 4.2.2 脑机接口技术的实现

脑机接口技术是通过信号采集设备从大脑皮层采集脑电信号经过放大、滤波、A/D 转换等处理转换为可以被计算机识别的信号，然后对信号进行预处理，提取特征信号，再利用这些特征进行模式识别，最后转化为控制外部设备的具体指令，实现对外部设备的控制。

一个典型的脑机接口系统主要包含 4 个组成部分：信号采集、信号处理、控制设备和反馈。

##### ① 信息采集

从目前的研究水平来看，我们在评估某种信息采集手段优劣时需要考虑三个方面的标准，如下表 4.1 所示。

标准	内含
规模	可记录神经元的数量
分辨率	工具接收到的信息的细致程度
侵入性	是否需要手术

表 4.1 信息采集的衡量标准

脑机接口的分类，则通常是根据“侵入性”被分为：非侵入式、侵入式和半侵入式。

##### ② 信息处理

收集好了足够多的信息后，就要进行信号的解码和再编码以处理干扰。脑

电信号采集过程中的干扰有很多，如工频干扰、眼动伪迹、环境中的其他电磁干扰等。分析模型是信息解码环节的关键，根据采集方式的不同，一般会有脑电图，皮层脑电图等模型可以协助分析。

信号处理、分析及特征提取的方法包括去噪滤波、P300 信号分析、小波分析+奇异值分解等。

### ③ 控制设备

将分析后的信息进行编码，如何编码取决于希望做成的事情。编码形式也可以多种多样，这也是脑机接口可以几乎和任何工科学科去结合的原因。最复杂的情况包括输出到其他生物体上，比如小白鼠身上，控制它的行为方式

### ④ 反馈

获得环境反馈信息后再作用于大脑也非常复杂。人类通过感知能力感受环境并且传递给大脑进行反馈，感知包括视觉、触觉、听觉、嗅觉和味觉等等。

脑机接口要实现这一步其实是非常复杂的，包括多模态感知的混合解析也是难点，因为反馈给大脑的过程可能不兼容<sup>[8]</sup>。

## 4.2.3 脑机接口技术的市场前景

脑机接口技术的应用前景非常的广阔，如医疗健康，娱乐，教育，智能家居，军事领域。鉴于未来脑机接口技术对社会发展所能够带来的强大的推力，目前，脑机接口技术已经成为了全球各国科技竞争的战略高地。

### ① 医疗健康

医疗方向主要分为两个方向，分别是“强化”和“恢复”，这两个方向都有着极其远大的“钱景”，尤其是强化方向。现阶段以恢复类为主，因为更易实现。

“强化”方向主要是指将芯片植入大脑，以增强记忆、推动人脑和计算设备的直接连接。这就是所谓的“人类增强”。浅层次的研究是脑机单向，更深一层次的将是机脑双向。

“恢复”方向主要是指可以针对多动症、中风、癫痫等疾病以及残障人士做对应的恢复训练，采取的主要方式是神经反馈训练。这一方向在全球的一些医院、诊所、康复中心中已经得到广泛应用，也有不少创业公司在做这方面的可穿戴设备。

在我国，脑科学的一项重大应用是为“健康中国”服务。如何维持健康的大脑发育以及智力发育，是非常重要的社会问题。维持大脑的正常功能，延缓大脑退化，这些都是健康生活所必需的。

对于老龄化社会而言，神经退行性疾病是个大问题。目前，中国 65 岁以上的老年人有 1 亿多，是世界上老龄人口最多的国家。与此同时，中国人的平均寿命不断增加，新生儿的寿命期望值是 65 岁，中国已基本进入老龄化社会。因此，防治各种与老龄化相关的疾病显得非常重要。以大家最常听到的阿尔茨海默症（老年痴呆）为例，假如没有很好的治疗方法，到 2050 年，全世界会有超过 1 亿人患上阿尔茨海默症<sup>①</sup>；在 85 岁以上的老年人中，平均 1/3 的人有发病的可能。这不是一个小数字！如果中国脑计划能够在 15 年之后，把阿尔茨海默症的发病期从 85 岁延缓到 95 岁，这将是对人类的一个巨大贡献<sup>[9]</sup>。

## ② 娱乐

在娱乐方面，脑机接口可以与虚拟现实技术结合，无需额外的外设操控设备，可以直接通过思维来控制游戏中的角色，获得更加沉浸式的游戏体验。最近大热的新概念“元宇宙”的发展就离不开脑机接口的发展。

## ③ 教育

这个方向其实和医疗方向中的“恢复”方向会有些接近。教育科技是个千亿级的市场，目前，脑机接口创业公司 BrainCo 就在做这一方向，主要是对学生注意力值的实时探测和训练，既可以而帮助老师及时了解课堂情况改变教学情况，也能够帮助学生提高注意力。

## ④ 智能家居

智能家居是脑机接口与物联网跨领域结合的一大想象空间。在这一领域，脑机接口扮演的角色类似于“遥控器”，帮助人们用意念控制开关灯、开关门、开关窗帘等，进一步可以控制家庭服务机器人。

## ⑤ 军事

在军事方面，BCI 技术可以帮助军人更好的操控无人机、无人车、机器人等设备，代替军人或者特殊职业的人士从事各种危险的任务，以及在不适宜人工操作的环境中工作。也可以帮助军人获得能力上的增强，比如通过 BCI 控制外骨骼机器人提升单兵作战能力。

### 4.3 本章小结

本章主要介绍了人类在脑科学这个领域的相关探索。总结下来就是两个大方向，其一为类脑智能，体现在人工神经网络、机器学习、深度学习的发展。其二为脑机接口，能应用于医疗健康，娱乐，教育，智能家居，军事等各个领域。

## 5 总结

第一章为绪论，主要介绍了课题研究背景、国内外研究现状以及本文的研究内容。

第二章简单介绍了脑科学研究者对于人脑提出了多种不同的假说，如人格结构理论、巴甫洛夫学说、三元脑、费尔德曼学说。并基于三元脑模型介绍了人脑中常见部分的功能。但总体来看，大脑是一个复杂的对象，它的各个要素相互依存相互影响。

第三章介绍了短期记忆的形成是通过改变突触间联系的强弱实现，在短期记忆形成后，当短期记忆的强度到达一定程度时，会产生蛋白质生成新的突触，激活更多的前突触端，形成长期记忆。

第四章主要介绍了人类在脑科学这个领域的相关探索。总结下来就是两个大方向，其一为类脑智能，体现在人工神经网络、机器学习、深度学习的发展。其二为脑机接口，能应用于医疗健康，娱乐，教育，智能家居，军事等各个领域。



## 参考文献

- [1] 脑科学世界, [EB/OL], 2019, <https://zhuanlan.zhihu.com/p/57685449>.
- [2] 车文博主编.自我与本我[M]九州出版社,2014:10,308 页, [2]页图版.
- [3] 邵郊.巴甫洛夫的第二信号系统的概念和大脑两半球的功能专化问题[J].生物学通报,1987 (04) :7-9.
- [4] M.Alan Kazlev, The Triune Brain, [EB/OL], 2021, <https://www.kheper.net/topics/intelligence/maclean/>.
- [5] Barrett L F. Seven and a half lessons about the brain[M]. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2020.
- [6] 盛极一时的三重脑模型, [EB/OL], 2020, <https://zhuanlan.zhihu.com/p/1959660>
- [7] Eric R. Kandel. In Search of Memory[M]. W. W. Norton & Company, 2006, 3: 117-182.
- [8] Neuralink and the Brain's Magical Future, [EB/OL], 2017, <https://waitbutwhy.com/2017/04/neuralink.html#p>
- [9] 蒲慕明. 脑科学研究的三大发展方向. 中国科学院院刊, 2019, 34(7): 807-813