

第五章 关于人类信息感知、记忆与辨识机理的研究

智慧需要对信息的敏锐与洞察，聪明的前提是“耳聪目明”。智能系统首先是一个信息系统。感知、记忆、思维、学习、控制和交互构成了人类智能系统的功能基础，但最基本的功能应是感知、记忆和辨识功能。

与环境的信息交互，是人类智能得以产生的最基本的基础和条件。人作为一个系统，与外界发生联系的主要是三个子系统：感觉系统、中枢神经系统和运动系统。作为中枢神经系统的人脑，是一个“生理-心理”的统一有机体。在其发展的过程中，有基因主导下的生物性组织发展，也有在与环境交互中的心理-生理发展。正是与环境的交互，才使人类的“生物”脑发展成为了具有一定智能的“人”脑，从单纯的“生物”控制中心，发展成为了有意识的“思维”控制中心；从“刺激-反应”式的控制中心发展成为了“感知-思维-行为”式的控制中心。也正是与环境的信息交互，才使人类的大脑得以获取信息，并在对所获取的信息进行处理的过程中展示出智能。

人类与环境交互的最基本的信息获取过程是感知、记忆与辨识。感知、记忆、辨识、选择和行为调控是人或智能系统最基本的功能和活动，是最基本的生物活动，也是其智能行为的基础。而智能在这些方面的体现，主要反映在对环境信息的观察能力和辨识能力的强弱，对感知信息和主体经验的记忆能力的强弱，以及面对“刺激”所选择和调控的行为的“恰当”和“准确”等方面。

对人类认知过程中信息获取和信息处理的研究是智能科学最迫切而又最重要的研究内容。从哲学、心理科学、生理科学和认知科学的角度来探讨人类认知过程的信息感知和记忆机理，建立人类认知过程的信息处理模型，并进而建立智能化的信息处理系统，是智能科学研究的一个重要目标。本章，我们将重点考虑人类最基本的信息处理活动—感知、记忆和辨识，从多个角度研究它们的心理和生理基础，特别是其过程和机理等。

5.1 人类认知过程中的信息与信息感知

信息论的产生，本源自于通讯技术的发展。由于在通讯过程中，信源、信道、信宿都是确定的，信源的变化，通过信道，最后都反映到了信宿。信宿所得到和所能接受的刺激，就是信源某种特定形态的变化。正是在这种特定条件下（信源、信宿确定，特别是信息类型确定），信源的变化起着决定性的作用。当我们把信息理论推广到智能领域时，上述条件就有了根本性的变化，需要我们对信源、信宿的关系，特别是信息的本质问题，进行深入的考虑。因为此时，信源的变化，不再是决定性的，而信宿的主观感受特性，却成了决定性的。在永恒变化着的环境中，有智能的个体只接受其中的某些变化，信宿具有主动选择信源和信息类型的特点，而且能对同一的变化现象在不同层次上做出反应。传统信息论实际上只是研究了自然存在的信息交流中的一个侧面；而为了研究人类认知过程中的信息感知和认知问题，我们就有必要将传统的信息理论发展为广义的认知信息理论。

5.1.1 关于本体论信息和认识论信息

什么是信息？信息的本质是什么？对此，学术界已提出多种不同的见解。这里，我们先谈一谈本体论信息和认识论信息。

1. 本体论信息[客观信息]

哲学研究认为, 客观意义上的信息, 即本体论意义上的“自在信息”, 是事物运动状态和状态变化的自我表达, 是事物关于自身所处状态以及所处状态随时间而变化的方式的自我表述, 是事物存在方式和发展变化状态的自身显示。它表达的主要是事物的有序性、组织性或事物的时空和能量分布的不均匀性、差异性。信息与物质、能量, 是构成整个(客观)世界的“基元”。而信息科学认为, 信息是信息系统中能消除事先不能确定的情况的信号或知识。我们所谓得到了关于某个事物的信息, 通常就是指: 知道了这个事物现在处在什么样的运动状态以及知道了这个状态会按照什么方式变化。需要说明的是, 这里所说的“事物”可以是客观物质, 也可以是精神现象。物质和精神都处在不断的运动之中, 都具有一定的运动状态, 而且这些运动状态都会按照某种方式发生变化, 因此都会产生信息。信息对于人类社会非常重要, 在现代社会中, 它已经与材料、能源一起, 构成了现代社会发展的三大“支柱”。

对于客观信息或“本体论信息”, 我们可以认为, 事物的“本体论信息”是指事物对其运动状态及其变化方式的自我表述; 它是与认识主体无关的事物客体自身的“信息”。比如, 若某事物客体 o 的在某一方面 X 的运动状态为 $Y_x(S, t)$, 其中, S 为事物客体的运动空间, 那么, 这个客体的本体论信息 $I_o(X, t)$ 就可用“状态-状态变化方式”表述为:

$$I_o(X, t) = F\{O, X, Y_x(S, t)\}$$

其中, $\{\cdot\}$ 为集合, F 为某种反应方式。

研究认为, 具有本体论意义上的客观信息, 具有下述明显的特性:

(1) **信息与事物密不可分**。一方面, 事物是信息的基础, 信息不能离开具体的事物而单独存在, 在自然界和人类社会中都不存在与事物相分离或完全脱离事物的信息, 离开了事物就不可能有信息。另一方面, 信息又是事物存在的显示, 没有信息或信息交换的事物及其运动是不存在的。但信息并不属于实体范畴, 而是属于关系范畴。信息是对客观事物在其相互关系、相互作用过程中的状态、属性、特征等的表征。

(2) **事物的存在与发展变化是信息之源**。信息的产生是以事物及其运动或者事物之间的相互作用为前提的, 信息的表达即是对特定的事物及其运动过程的反映。如果世界处于混沌状态, 彼此之间没有区别, 也就无所谓信息。因为某一事物之所以为其自身, 必有与其他事物不同的形态、结构和有序性, 或者说有自己的特性, 而对这种特性的反映就是某一类信息。如果世界没有运动变化, 永远处于静寂之中, 没有新的特征出现, 也就不会有新的信息产生。只有变化着的事物才能不断向外界发布反映自己存在与运动特征的新的信息。信息是对事物特性的表征, 是对事物变化的记录。任何事物, 不论是生物还是无生物, 不论是自然界还是人类社会, 不管是非常简单的事物, 还是复杂多变的复杂系统, 都能产生信息, 均可成为信息之源。

(3) **信息具有相对的独立特性**。某事物的信息不是该事物本身, 而是一种只有通过与其他事物相互作用、并在这种相互作用所产生的变化中才能表现出来的“东西”。事物的信息产生出来后, 即具有相对的独立性, 可以与产生它的“母体”分离, 并借助某种载体而得以记录、传播和被感知。也正是由于这种可分离性, 才使得我们能够不直接作用于某一事物便可采集到它的信息, 才使得我们可以了解很久以前发生过的事情, 才使得我们可以知道在遥远的地方发生的事件等。

(4) **信息的记录需要一定的载体**。可记录信息的载体可有多种形式, 一般来说可分为三种类型。一类是**物质实体**, 人们可以通过某种物理的或化学的手段把由信息源发送出来的信息固定在其上,

如甲骨、磁带、光盘、书籍等。一类是**物质波**，如声波、光波、电磁波等。物质波是传递信息的最有效的载体，可以将我们无法直接面对的信息传递过来。另一类是**符号载体**，如语音、文字、图形、动作和各种语言等。它们不少是专门为了记载和传播信息而出现的，虽然具有一定的直观形态，却必须借助于前两类信息载体才能起作用。信息对物质载体的依赖性也是它无法与物质分离的一个重要体现。

(5) **信息可以传播和交换**。任何事物的运动演化都会伴随着某种程度的信息传播和交换，而任何事物的运动过程也都必须要借助一定的信息传播和交换才能完成。在人类的生存和发展过程中，除了要与环境有物质的、能量的交换之外，信息的交换也是十分重要的。甚至有人认为，对信息和信息交流的需要，不仅是人类或其他生命系统的必须，即使是在无机界也同样是必不可少的。比如，在无机的自然界中，信息是导致自组织等现象出现的重要因素。自组织现象是指，在大量微粒聚集在一起做无序运动的系统中，在一定的条件下，系统中的微粒会自己组织起来协调行动，形成宏观的空间和时间上的有序运动。自然界从原始的混乱状态演变到今天这种结构复杂、组织多样的世界，自组织功不可没。尽管我们对此看法持保留意见，但这也间接地说明了信息在自然界的演化过程中自始至终都起着至关重要的作用。

(6) **信息的传播和交换不具有守恒性**。材料和能量的交换是守恒的。与材料和能量的交换不同，信息交换能够产生增殖效应。在物质世界中，任何一个物体在空间中的位置是唯一的，它可以从一个地方移往另一个地方，却不能既在此地又在彼地。当它移往别处后，原来的地方便不再有其本身了。而信息在空间中却不是唯一的，当某人把他所拥有的信息传播给他人之后，他本人的信息并未丧失，反而有可能在传播过程中由于反复运用而得以进一步巩固。信息是可分享的，是可以多次重复使用的，不会因使用而损耗或消失。

(7) **信息的传播和交换需要借助于一定的通道和方式**。通常，一个信息系统由信源、信宿和信息传播通道构成。在一个信息系统中，信息是从信源发出，被信宿接受，信息是借助一定通道在信源和信宿(信息接收者)之间传递。其传播的过程可有三种情况：

- ①信源发出的信息被信宿完全接收；
- ②信源发出的信息在传递过程中被衰减，传递后，信宿只获取到部分信息；
- ③从信源发出的信息被衰减的同时，又被混入某些噪声成分，通过传递，信宿接收到的是有噪声的部分信息。

2. 认识论信息[主观信息—感知和认知意义下的信息]

在智能科学中，我们关心的信息主要是认识论信息。**什么是认识论信息**？对此一直没有公认的科学定义。根据信息论中关于信息的三要素—信源、信道、信宿的说法，在认知系统中，我们称信息的接受者[即感知和加工信息的信宿]为认知系统中的主体；而被感知的信息的原始发布者，即产生信息的事物为认识的客体或信息的本体。对于本体来讲，信息应是对其状态和发展变化的表达。而对于主体来讲，信息应是其感知的客体变化的内容。

我们之所以将变化着的“信源”归入于客体，而将接受并加工信息的“信宿”定为主体，是因为世间事物的变化是无穷的，可以归为信息的潜在信息也是无穷的。这些变化是否构成可感知意义上的信息，关键在于主体的存在，也就是是否存在能对这些变化进行感知、并能对此做出反应的信宿。如果不存在此类信宿，那么，从信息系统的角度看，所有这些变化都是无意义的。此类“信宿”在认知信息系统中居于中心地位，因此它是主体。在认知系统中，信道只是信息的传播途径，在保

证客体的变化特征传到主体之后，信道也就完成它的使命了。

更进一步地讲，在认知系统中，我们确立作为“信宿”的人为信息的主体，是因为我们研究认知主要是人类的认知。虽然信息的存在和关联是一种自然存在的现象，但对它们的感知、认识和利用，则主要是具有高度智能的人类的活动。在本书中，我们通常是将“人”作为认识的主体，但有时也将“人”作为认识的客体：当我们作为“人”在研究智能系统的认知能力时，我们是认识的主体，当我们把“人”作为对象研究时，它又是认识的客体。

传统的信息论以信源为中心，是在假定主体明确，并对客体的某种变化可接受的条件下，研究客体在某一层次可发生的变化概率，是一种客体信息论。认识论以“信宿”为信息系统的主体，适用于对人类信息系统的分析，可称之为主体信息论。在分析人类的认知过程中，人作为信息系统的主体，起着关键的作用。

认知系统中的主体，是具有多种反应能力的，或者说是存在着多种对信息（或称外部刺激）的基本反应能力和操作单元的。其中，大脑是人类对信息进行加工的主要器官，而大脑中的神经网络结构则是人类信息反应的基础。整个人类的信息系统就是以人的大脑中的信息反应单元——神经元为基础构建的。

主体可对信息进行“**反应**”。主体对信息的反映包括：

感知[接受]——主体接受感知到的信息[刺激]。主体感知到的信息通常是客观信息可传递和被主体感知器官感知的外部形态；相同信息，主体不同，其感受可有不同。

理解——是主体对感知到的信息的含义进行确认的过程。对信息究竟表达的是什么意思，不同主体可有不同理解。

行为反应——主体对刺激的机体类反应。可有本能反应[如惊吓、躲避、吮吸]、准本能[潜意识、无意识]反应和意识反应等。

人类可接受的信息包括直观信息[如，一个画面、一段声音]和抽象信息[如，一段包含概念和背景知识的语言]，它们对主体也可有不同的意义，故**信息对人来说有其表达[外部形式]和含义[蕴含的内容]两方面**。同一信息，不同主体之间可以有不同表达；同一信息，不同主体也可以有不同的理解和反应。据此，我们或可以认为，所谓认识论信息，是因主体的存在而存在的。它可有不同的客体来源，有不同的载体途径，对主体有不同的意义，它的层次结构、作用和意义，也是相对于对主体的意义而言的。

认知科学认为，事物的客观信息(本体论信息)是事物本身所表现的信息，是事实上的存在。它与是否有主体的存在无关，也与它是否被主体所感受到无关。客观信息是认识论信息及其加工产物(如知识和决策)的源头。人在认识客观世界的过程中，需要从客观存在的客观信息中，按照一定的认知目的和要求去寻求相关的原始信息。这些原始信息被人脑接受后即成为认知信息。认知信息在人类的生物认知信息处理系统中，被按照认知目的进行处理，便可最终获得相应的认知结果。

在人脑认知过程中，由于原始信息的多样性、复杂性，人脑认知能力和思维阶段的有限性，使得认知信息在不同的认知信息处理过程中，形成了不同层次的认知信息。认知信息在认知信息系统中经过处理，最终可输出认知结果。这些认知结果，通常是相对确定的知识。这些知识，常具有层次性和阶段性的特征。而认知信息处理的目的，本质上就是使熵减少，从而使信息变为某种认知结果——知识。

从信息角度看，知识是认知思维的指向目标，是主体的某种认知结果。所以，思维指向、认知

目的、认知结果、知识等概念，是从不同的角度对认知的解说，它们在一定程度上具有某些相类似的内容。换言之，人对客观事物的认知目的是为了获取知识，而获取知识的认知方法主要是人脑的认知思维，认知思维的思维指向是获取某种认知结果，而认知结果通常就是知识。

认识论信息也称“主观认知信息”，是主体所认知的关于客观事物的信息，它不仅与客体事物本身的情形有关，也与主体的情形——他的观察力、理解力、目的性等有关。认识论信息通常包括感知信息和认知信息。

(1) **感知信息**。事物的感知信息是认识主体关于该事物运动状态及其变化方式(包括这些“状态/方式”的形式和内容)的感知，是主体通过感知器官所得到的客观事物的信息。它不仅与客体事物本身的情形有关，也与主体的感知能力有关。我们对人类获取感知信息的原理已有深入研究。其中，感知信息的语法部分[情景部分或形式部分] I_{sy} 可以通过适当的传感系统来获得(传统的传感测量和检测系统就属于这一层次)，它的数学意义本质上就是一类单值变换：

$$I_{sy} \leq kf(I_o) \quad (5.1.1)$$

式中 k 是系数，与传感系统的灵敏度有关； f 是对特定的本体论信息具有特定的选择能力的某种函数。在有噪声的场合，感知信息的语法部分的获取过程也可看成一个检测过程：

$$I_{sy} \leq \Delta(I_o, D) \quad (5.1.2)$$

式中，符号 Δ 表示检测算子， D 表示不需要的本体论信息，其他符号同前。

感知信息是对于本体论信息的直接感知，因此，相对比较简单。在理想情况下，感知信息的获取就是通过感知系统对本体论信息进行一一对应的形式转换。这就是传统意义下的信息获取。

(2) **认知信息**。认知信息是主体关于事物运动状态及其变化方式的认知，包括对这些状态和变化的形式(也称为**信息的现象[语法]部分**)、内容(也称为**信息的意义[语义]部分**)和效用(也称为**信息的价值[语用]部分**)的认知。对信息的现象、意义和价值[语法、语义、语用]方面的综合认知，是主体关于信息的综合而完整的认知。**认知信息是主体通过思维器官所得到的关于客观事物的主观信息，它不仅与客体事物本身的情形有关，也与主体的认知能力有关，与他的观察力、理解力、目的性有关。**认知信息的获取过程也就不再是一一对应的形式转换，而必须是一个观察(获取信息的现象部分)、理解(获取信息的意义部分)以及效用判断(获取信息的价值部分)的复杂过程。

(3) **认知信息的表达**。对事物的认知信息的表达应是主体关于该事物运动状态及其变化的形式[现象]、内容[意义]和效用[价值]认知的综合表达。其中，关于事物运动状态的形式化表述可称为“**语法信息**”；关于事物运动状态的内容[主体所理解的事物的运动]的表述可称为“**语义信息**”；关于事物运动状态对主体所呈现的效用[价值]的表述可称为“**语用信息**”。它们分别表达了主体对所感知事物的现象、含义和价值的综合认知。可见，本体论信息是事物自身的信息，认识论信息才是主体所获得的主观认知信息。如果主体获得了对事物的全部认知信息，就意味着不仅了解了它的形式，而且了解了它的内容和价值。对同一信息，不同主体会有不同的认知。

对认知信息需要用 3 类参量来描述。如果认知主体观察到某事物客体 o 在某一认知方面 x 的运动状态 $Y_x(S, t)$ 具有 N 种可能的运动状态：

$$Y_x = \{y_1(x), \dots, y_i(x), \dots, y_N(x)\}$$

也注意到 Y_x 的这 N 种运动状态变化方式的表现形式 $C(Y_x)$ 分别为：

$$C(Y_x) = \{c_1/y_1(x), \dots, c_i/y_i(x), \dots, c_N/y_N(x)\},$$

又按照他的理解， Y_x 的这 N 种状态的心理层面的意义 $D(Y_x)$ 分别为：

$$D(Y_x) = \{d_1/y_1(x), \dots, d_i/y_i(x), \dots, d_N/y_N(x)\},$$

而且 Y_x 的这 N 种状态对他的目的而言所显现的效用 $U(Y_x)$ 分别为:

$$U(Y_x) = \{u_1/y_1(x), \dots, u_i/y_i(x), \dots, u_N/y_N(x)\},$$

那么, 若用状态形式参量 $C(Y_x) = \{c_i/y_i(x) \mid i \in (1, N)\}$ 来描述事物 o 在 x 方面的语法信息(各个状态的表现形式); 用状态的心理意义参量 $D(Y_x) = \{t_i/y_i(x) \mid i \in (1, N)\}$ 来描述事物 o 在 x 方面的语义信息(各个状态的心理意义); 用状态的效用参量 $U(Y_x) = \{u_i/y_i(x) \mid i \in (1, N)\}$ 来描述事物 o 在 x 方面的语用信息(各个状态对于用户的价值大小), 则认知主体关于事物的认识论信息 $Ie(o)$ 的表述就可表达为:

$$Ie(o) = \{o, x, Ie(x)\} \quad (5.1.3)$$

$$Ie(x) = [Y_x, C(Y_x), D(Y_x), U(Y_x)] \quad (5.1.4)$$

式(5.1.4)中的第一参量 Y_x 是主体对事物 o 的 x 方面认知到的状态; 第二参量 $C(Y_x)$ 是各状态变化的表现形态, 表征其中的语法信息; 第三参量 $D(Y_x)$ 是各状态的意义, 表征其中的语义信息; 第四参量 $U(Y_x)$ 是各状态的效用, 表征其中的语用信息; 则整个描述式综合在一起才表征了主体对该事物 o 在 x 方面的认识论信息。

可以认为, Shannon 信息论所考虑的“信息”仅是认识论信息中的语法部分。正如 Shannon 所说, Shannon 信息论原本就是“通信的数学理论”, 而非全部信息过程的数学理论。通信所需要关注的, 只是噪声背景下信号(信息的载体)波形(语法信息)的复制, 不需要考虑信息的含义(语义部分)和效用(语用部分)。因此, Shannon 信息论只是研究了(概率型的)语法信息。

系统完成从本体论信息到认识论信息的转换需要感知和认知。这个转换的基本原理和过程实际上就是主体从外部世界获得相关信息的原理和过程。在信息获取的转换过程中, 有关信息量(包括本体论信息量和所获取的认识论信息量)的计算方法可以参看相关文献。例如, 信息的语用部分[语用信息] I_{pr} 可以通过主体所感知的本体论信息 I_o 对其目的 G 的效用判定得到:

$$I_{pr} \leq U(I_o, G) \quad (5.1.5)$$

式中, U 是某种效用判断。在十分简单的情况下, 上式可简化为

$$I_{pr} \propto P(I_o, G) \quad (5.1.6)$$

式中, P 是某种投影算子。即认为语用信息 I_{pr} 原则上可用外来刺激(信息)矢量 I_o 与系统[主体]的目标矢量 G 之间的投影计算来度量; 大于零为正效用, 小于零为负效用。在某些更为复杂的情况下, 目标不一定能够用简单的矢量表示, 这时的计算会变得更复杂。但无论如何, 至少在理论上, 将主体所感知的信息与主体的目标进行比较是确定信息语用部分的基本方法。由此也可见, 系统必须具有明确的目的性, 没有目的, 所谓效用就失去了前提。

信息的语义部分[语义信息] I_{se} 属于抽象的层次, 不能用语法信息那样较直观的方法来获取, 而是需要在获得语法信息和语用信息的基础上, 通过对语法信息和语用信息两者的逻辑关联操作[综合]才能得到。换言之, 语义信息的获取是以语法信息和语用信息的存在为前提, 是在语法信息和语用信息的基础上经过思考所获得的对信息的心理和行为意义上的认知:

$$I_{se} \leq \rho(I_{sy}, I_{pr}) \quad (5.1.7)$$

式中的 ρ 所表达的是主体的认知操作, 操作 ρ 可能很复杂, 也可能很简单, 所获得的相关的语义信息的抽象程度也就有所不同。比如, 在最简单的情况下, 所需要的操作可能就是把语法信息同相应的语用信息直接以逻辑“与”做关联操作:

$$Ise \leftarrow \rho (Isy \wedge Ise) \quad (5.1.8)$$

式(5.1.8)表明:在此简单情况下,对“具有语法信息所描述的形式且具有语用信息所描述的效用”的信息的认知就是与之对应的信息的“语义部分”。

认识论信息包括主体感知信息和主体认知信息。认知信息除了具有一般信息的基本特征,即客观性、系统性(整体性)、时效性(动态性)和相对性(不完全性)等特征之外,还具有自身的特征,即:主观性、目的性、抽象性、不确定性、可度量性和反馈性等重要特征。其中,目的性是说,人类认知信息通常具有明显的目的性,即个体进行认知信息的目的是为了按照自身的认知目的,通过认知思维而获取某种认知结果,这些认知结果通常是知识和问题的解决。认知信息是按照个体的认知目的而在人脑中进行处理的信息。不确定性是说,在认知信息的过程中,认知信息通常具有某种不确定性,特别是模糊性,使得认知信息的过程通常是一个模糊和不确定的信息处理过程。这个过程通常是使原来具有模糊和不确定性的信息经过认知处理后,向确定性知识的方向转化,即变为模糊程度和不确定程度相对较低的知识,或者变为确定性的知识。模糊信息处理特性是人类认知信息最基本、最重要的特性。在认知信息过程中,人类个体按照某种认知目的而接受外界原始信息,外界的原始信息进入人脑而被感知的最初反映是,这些原始信息相对主体的一定认知目的具有显著的混沌性和广泛的模糊性。当它们被人类的大脑接受、并按某种认知目的进行处理后,却可成为具有一定确定性的认知信息。可度量性是说,类似于客观信息可以度量为不确定性或随机性的减少,认知信息也可以度量为模糊性等的降低。认知信息的模糊性减少,一般是通过人脑的认知思维活动来实现的。认知过程的反馈性是说,人类的认知信息处理过程是一个反复的过程,经过认知信息处理而获取的知识,通常是通过人脑认知思维过程的多次反馈才形成的。

3. 从本体论信息到认识论信息的转换

从客观信息到主观信息的转换过程,也就是人类认识事物的过程,包括感知和认知的过程。主体在感知过程中感知到的信息,是主体或感知系统所感受到的“事物所处状态及其变化方式”。感知信息若与原始客观信息直接对应,未经过主体处理,则我们可称这些信息为“原始感知信息”,用符号 I_s 表示。它是直接由原始客观信息(本体论信息)通过感知过程转换而来的。

$$T1: I_o | \rightarrow I_s \quad (5.1.9)$$

这是客观信息转化为主观信息的第一步,其“转换算法”与感知系统特性有关,原则上应当是“线性变换或拓扑变换”,如果其中有某种“非线性转换”,则需要考虑转换过程所允许的失真程度。

为了应用的方便,有时主体[信息系统]也需要对原始感知信息进行必要的“非认知”整合处理,经整合处理之后得到的信息我们可称之为“整合后的感知信息”,记为 I_r 。非认知整合处理得到的通常是一种更便于主体应用的信息。这一转换可以表示为

$$T2: I_s | \rightarrow I_r \quad (5.1.10)$$

其中可能涉及到一些比较熟悉的处理,包括对信息所进行的整理、过滤、排序、查重、特征识别和一般的逻辑操作等。

主体对感知信息通常会做进一步处理,这就是认知。从认识论意义上说,认知信息是主体关于事物所处状态及其变化方式的“主观认知”。由于主体具有觉知能力、理解能力和认知目标,所以这种认知将包括对事物所处状态及其变化方式的结构形式、事物所处状态及其变化方式的认知层面的含义以及它们对于主体目标而言的行为效用等诸多方面;我们通常称之为认知信息的物理结构[常以符号模式表征]、认知意义[通常由一定的知识框架和文化传统所规定]和效用[对主体心理和行为

的指导作用]部分。也有人称它们为认知信息的语法、语义和语用分量。其中，语法信息是主体所感知和认知的信息的状态与形式结构[即观测到的事实。如在巴甫洛夫实验中，开灯→光亮→人来→喂食]；语义信息是主体对感受到的信息含义的理解[如，若看到光→说明灯亮了；人来→表示要喂食了]，在不同环境下，对同样的感知信息，主体可有不同的理解，如，“感时花溅泪，恨别鸟惊心”；语用信息是主体对在某种感知信息下自己应作出的反映的理解[如，狗看到灯亮了→可能人来→可以准备去吃了]，它们的整体则是主体对客体的认知。

若我们用符号 I_e 和 I_{syn} 、 I_{sem} 、 I_{prag} 分别表示认知信息及其语法、语义和语用分量，则它们之间的关系可以表示为：

$$I_e = f(I_{syn}, I_{sem}, I_{prag}) \quad (5.1.11)$$

由感知信息生成主体认知信息的转换可表示为：

$$T_3 : I_o | \rightarrow I_e \quad (5.1.12)$$

它通常是一个复杂的认知过程，比如，可包含如下的转换：

$$I_{syn}=g(I_o), I_{prag}=h(I_{syn}, G), I_{sem}=r(I_{syn}, I_{prag}) \quad (5.1.13)$$

其中， G 表示系统的目标； f 、 g 、 h 和 r 分别表示某种认知操作或逻辑运算。

认识论信息也可称为“知识”。这里的“知识”是广义知识，是主体关于“事物运动状态及其变化规律”的认知和表述，包括对事物状态/规律的形式、含义和价值的表述等。与认识论信息相对应，通常，我们可分别称它们为形态性知识、内容性知识和效用性知识。知识通常由信息提炼而成。其中的操作包括“缩维”、“归纳”、“精炼”和“演绎”等。图 5.1.1 所示即是对知识生成的一种表述。

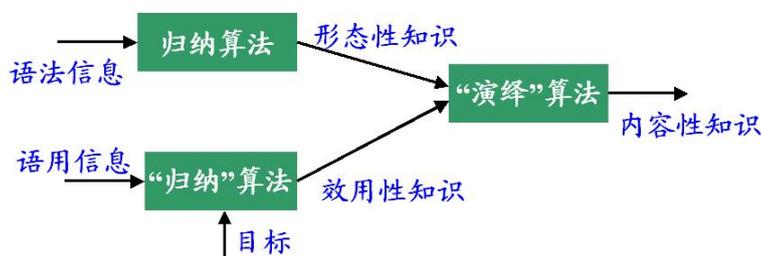


图 5.1.1 对知识生成的一种表述。

由于通信[信息传递]和智能信息处理所涉及的信息的深度很不相同，因此，面向通信的信息可以近似看作是本体论信息；而面向智能信息处理研究的信息却必须是认识论信息。**认识论信息理论**不仅研究随机型信息，也研究非随机型信息（如模糊信息）；同时，不仅研究语法信息，还研究语义信息和语用信息，以全面满足智能信息处理对信息理论的要求。钟义信教授把关于认识论信息的信息理论称为“全信息理论”（Comprehensive Information Theory），认为，“全信息理论”研究的信息不仅覆盖完全，而且具有“理解”的含义。只有它才能够满足我们对智能进行研究的需要。关于全信息的测度，单纯的语法信息的测度应在特定环境下，感知信息的状态及结构与主体预知的信息的状态及结构的相似度[形态相似度]；单纯的语义信息测度应是特定信息的含义与主体预先理解的含义的相似度[内涵相似度]；单纯语用信息测度应是特定信息的语用部分与主体预先确定的目标的相似度[使用相似度]。钟义信曾证明，shannon 的信息测度（熵）公式应是全信息测度公式的一种特例。

5.1.2 人类的信息感知及主要感觉

本节，我们将具体考虑人类的感知。感知是人类一切活动的基础。感觉和知觉是人与外部事物保持联系和进行沟通的关键，一切较高级和较复杂的心理活动都是在感觉基础上进行的，没有感知就不能形成记忆、思维、想象等复杂的心理过程。**感知是人认识世界的开端，是获得经验和知识的源泉。**

5.1.2.1 信息感知与感觉

感觉是主体对直接作用于其感觉器官的客观事物[客观刺激物]的个别属性信息的直接反映。客观事物[或刺激物]的信息直接作用于人或其他动物的感觉器官，将会引发感觉器官的神经冲动，经传入神经传到中枢神经系统，即引起感觉。人的感觉可分为三大类：

① 接受外部刺激、反映外界事物特性的**外部感觉**，如视觉、听觉、嗅觉、味觉和皮肤感觉；其感受器位于体表。其中，皮肤感觉和味觉的感觉受器称为接触性感受器，外界事物只有和这两种感受器直接接触，才能引起感觉；视觉、听觉和嗅觉的感受器，称远距离感受器，外界事物在一定距离外，通过媒介的作用，即可引起感觉。

② 接受机体内部刺激，可反映主体内部状态的**内部感觉**，如渴、饥等内脏感觉。

③ 可反映主体各部分的运动和位置情况的**本体感觉**，如运动觉、平衡觉等。

人的感觉有以下特点：

(1) **它是一类最简单的心理现象，属于认识的初级阶段。**在现实生活中，人的认识活动大多是从感觉开始的，通过各种感觉器官，我们不但能够了解外部事物[刺激物]的各种属性，如物体的颜色、气味和它的温度等，同时，感觉也能反映来源于机体内部的刺激，了解主体内部的状况和变化，如舒适、疼痛、饥渴等。

(2) **它反映的是当前直接接触到的客观事物[或刺激物]，而不是过去的或间接的事物。**它是通过“可感知信息”而被“主体”感知的，而“主体”也是通过“可感知信息”而“感知”它的。

(3) **它是对事物的个别属性的反映，而不是对事物的本质特性的反应。**不论是对外部刺激的反映或是对内部刺激的反映，感觉都是刺激给予感觉器官的直接感受，是对刺激物个别属性的反映。

(4) **它是主体对客观事物[或刺激物]的主观反应，是一个将客观信息变为主观信息的过程。**

(5) **感觉通常总是与过去经验联系在一起。**例如，当我们闻到某种气味时，我们就知道，“这是苹果的气味”，“这是茉莉花的香味”，“这是玫瑰的香味”，这说明，在日常生活中，纯粹的感觉几乎是不存在的（除非是在特殊的条件下）。

(6) **感觉信息一经通过感觉器官传达到脑，知觉也就随之产生了。**

5.1.2.2 感觉器官与感受器

人类是通过**感觉器官(sensory organ)**获得关于周围环境和自身状态的各种信息的。人体的主要感觉器官包括眼、耳、鼻、舌、皮肤和前庭等。感觉器官主要是由**感受器**及与感受功能密切相关的附属结构构成的。感觉器官中的感受器分布在体表或组织内部，能感受机体内外环境的变化，是接收刺激的专门器官元件。感受器依分布部位可分为内感受器[如平衡感受器、本体感受器、内脏感受器等]和外感受器[如距离感受器、接触感受器等]。依所接受的刺激性质可分为光感受器、机械感受器、温度感受器、化学感受器、伤害性感受器等。感受器按其接受刺激的性质可分为视觉感受器、听觉感受器、触觉感受器、味觉感受器、肤觉感受器等。其中，每一种感受器通常只对一种能量形式的刺激特别敏感，这种刺激就是该感受器的适宜刺激。

人类的感知的种类是与感受器的种类相对应的。根据刺激物的来源，感觉可分为内部感觉和外部感觉。外部感觉的感受器位于人体表面或接近表面的地方，主要接受来自体外的适宜刺激，反映外界事物的个别属性。外部感觉主要包括视觉、嗅觉、味觉、听觉和肤觉（温觉、冷觉、触觉和痛觉）等。在这些感觉中，视觉对于人的认识作用最大，因为正常人从外界接受的信息中，有近80%的信息是通过视觉获得的。视觉是我们认识外部世界的主要感觉。其次，听觉对我们认识世界也有至关重要的作用，因为听觉与言语信息输入密切联系。人类接受环境信息主要靠视觉与听觉，它们所接受的信息占人的全部感觉信息的98%左右。内部感觉的感受器位于机体的内部，主要接受机体内部的适宜刺激，反映个体自身的位置、运动和内脏器官的不同状况，包括运动觉、平衡觉和机体觉（内脏觉）等。

5.1.2.3 人类的视觉感知与视觉

视觉是人与外部世界发生联系的最重要的感觉通道，是我们认识外部世界的最主要的感觉。一般相信，人类从外部世界所获得的信息有近80%是通过视觉得到的。因此，视觉是人类最重要的感觉。

人类产生视觉的感觉器官主要是眼睛，眼睛的构造类似于照相机，并具有较完善的光感系统及各种使眼球转动并调节光学装置的机体组织。眼球的形状近似于一个球体，它由眼球壁和折光系统两部分组成。眼球壁分为三层。外层为巩膜和角膜，角膜有折光作用，光线通过角膜发生屈折进入眼球内。中层为虹膜、睫状肌和脉络膜。虹膜位于角膜后面，晶体前面，中间有一小孔叫瞳孔。随着落入视网膜上光线的多少，虹膜调节瞳孔的大小。内层包括视网膜和视神经内段，**视网膜**为一透明的薄膜，是眼球的感光部分，其中最外层分布着感光细胞：锥体细胞和杆体细胞。锥体细胞约有七百万个，主要分布在视网膜中央部分。在功能上，锥体细胞专门感受强光和颜色刺激，能分辨物体颜色和细节，但在暗光下不起作用，是明视觉感受器；视杆细胞约一亿二千万个，主要分布在视网膜的周围部分。视杆细胞对弱光很敏感，但不能感受物体的颜色和细节，是暗视觉感受器。第二层含有双极细胞，包括水平细胞和无足细胞。最内层含有神经节细胞。眼球内的晶体、房水和玻璃体都是屈光介质，当注视外物时，由于角膜、虹膜以及这些屈光介质的调节作用，物像才得以聚集在视网膜的适当部位上。在离中央凹15度附近，视神经细胞在此聚集成束形成视神经而进入大脑。

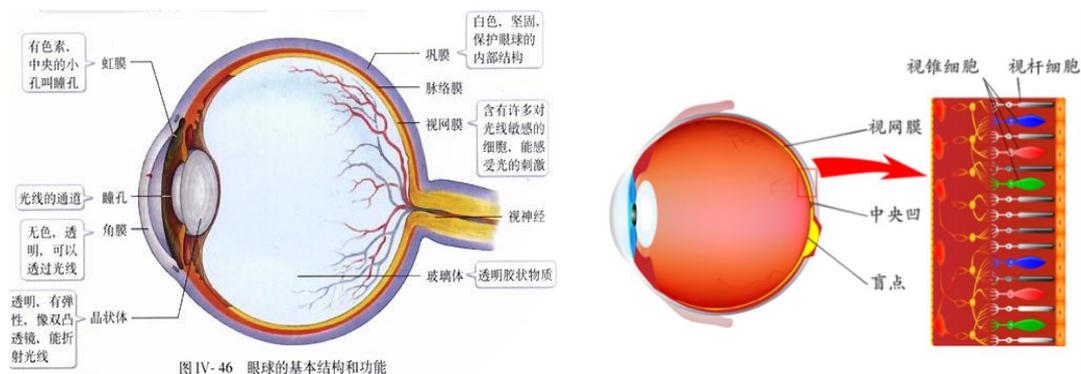


图 IV-46 眼球的基本结构和功能

图5.1.2 人类视觉系统—眼睛及其视网膜结构

从系统的角度看，可认为人类的眼睛是由折光系统和感光系统构成。折光系统包括角膜、房水、晶状体和玻璃体，其功能是将外界射入眼睛的光线经过折射后能在视网膜上形成清晰的图像。感光系统主要是视网膜，其功能是将物像的光刺激转变成生物电变化，继而产生神经冲动，由视神经传入中枢神经系统。

眼睛可感受的适宜刺激是波长在 380—760 毫微米之间的电磁波，也称之为可见光波。波长低于 380 毫微米和波长超过 760 毫微米的电磁波，人眼则无法看到。可见光具有三维物理特征：波长、纯度和振幅。与此相对应，视觉也有三维心理特征：不同波长引起人们不同的色调感觉；纯度是光波成分的复杂程度，它引起的视觉反应是饱和度；振幅表示光的强度，它引起的视觉心理量是明度。

在适当的条件下，视觉对光的强度的感受性极高。视觉对光强度的感受性与眼睛的状态、光波的波长、刺激落在网膜上的位置等因素有关。眼睛对暗适应越久，对光的反应越敏感。波长 500nm 左右的光比其它波长的光更容易被觉察到。光刺激离中央凹 80° — 12° 时，视觉有最高的感受性；刺激盲点时，对光完全没有感受性。

眼睛分辨物体细节和轮廓的能力称为视敏度，也称视力。它是人眼正确分辨物体的最小维度，一个人辨别物体细节的尺寸愈小，视敏度就越高；反之视敏度则越低。视敏度与视网膜物象的大小有关，而视网膜物象的大小则决定于视角的大小。所谓视角就是物体的大小对眼球光心所形成的夹角[被看目标物的两端点光线投入眼球的交角]。同一距离，物体的大小同视角成正比；同一物体，物体距离眼睛的远近同视角成反比。视角大，则视象大，分辨两点的视角小，则表明人的视敏度高，视力好。影响视敏度的因素较多。首先起决定因素的是光线落在视网膜的部位。如果光线恰好落在中央凹，这一部位视锥细胞密集且其直径最小，因此视敏度最大。如果光线落在视网膜周围部分，视敏度将大大降低。此外，明度不同，物体与背景之间的对比不同，眼睛的适应状态不同等，也都对视敏度有一定的影响。在日常生活中，视力通常用临界视角的倒数来表示，即：视力=1/临界视角。这里，临界视角是指眼睛能分辨被看目标物最近两点的视角。

视觉可感知的信息或者说视觉的基本功能包括：

(1) **感知亮度**。亮度是光线明亮程度的主观反映，是光线辐射的物理量在我们视觉中反映出来的心理物理量。

(2) **感知物体形状、相对距离和深度**。这通常需要由物体在视觉空间上的亮度分布、颜色分布或运动状态等的不同而综合判定。对它们的判定有时也需要利用视觉影像中的一些线索：如，覆盖关系—被覆盖的物体相对较远；大小比例—一般来讲，较大的物体距离较近；对物体的熟悉度—对非常熟悉物体，人们对物体的大小在头脑中事先有一个期望和预测，因此在判断物体距离时很容易和他看到的物体的大小联系起来。

(3) **感知色彩**。人能感觉到不同的颜色，这是眼睛接受不同波长的光的结果。颜色通常用三种属性表示：色度、强度和饱和度。色度是由光的波长决定的，正常的眼睛可感受到的光谱波长为 $400\ \mu\text{m}$ — $700\ \mu\text{m}$ 。

(4) **感知运动**。包括运动方向和速度等。

颜色视觉是视觉的一个重要部分。颜色是光波作用于人眼所引起的视觉经验，它是物体的一种属性，是由于光投射到物体，根据物质的性质，反射出没有被吸收的光的特性，并作用于我们的视觉而引起感觉的结果。颜色可分为彩色和非彩色两大类。非彩色是从黑色到白色以及由深浅不同的灰色所组成的一系列颜色。非彩色是无色系列，其基本特征主要是明度。明度是由物体表面的反射系数决定的。反射系数越大，明度就越大；反之越小。彩色是指除了黑、白、灰以外的所有颜色。彩色具有明度、色调及饱和度三种属性。色调是彩色的最重要的属性，它决定颜色的主要性质和特点，是由物体表面所反射的光线中占优势的那一种光线决定的。饱和度是色调的表现程度，是由物

体表面所反射的占优势的那一种光线与整个反射光线的比例所决定的，占优势的光线所占的比例越大，饱和度越大，反之越小。

颜色可以混合。颜色混合涉及两大法则：一是满足色光混合的加色法，二是符合颜料混合的减色法。色光混合是一种加色法，其三原色是红、绿、蓝。各种混合光的颜色都是由红、绿、蓝这三种原色按不同比例混合而成的。例如：红色 + 绿色 = 黄色；红色 + 蓝色 = 紫色；蓝色 + 绿色 = 青色；红色 + 绿色 + 蓝色 = 白色。用颜料、油漆等的混合配色与色光的混合不同，用的是减色法，其三原色是青、紫、黄，它们是加色法三原色的补色。颜料、油漆等的混合可用下式表示：青色 = 白色 - 红色；紫色 = 白色 - 绿色；黄色 = 白色 - 蓝色。

各种混合色光对视觉器官的作用是相加的过程，遵循以下三条规律：**补色律**：每一种颜色都有另一种同它相混合而产生白色或灰色的颜色，这两种颜色称为互补色。例如蓝色和黄色，红色和青色，绿色和紫色等混合都能产生白色，因此他们都为互补色。**间色律**：混合两种非补色而产生的新的混合色是介于两者之间的中间色。例如，我们将红色与黄色进行混合便可得到介于这两色之间的橙色。中间色的色彩取决于两者的比例，若红与绿混合，按混合的比例不同，可以得到介于他们之间的橙、黄、黄绿等各种颜色。取光谱上的红、绿、蓝三原色，按一定比例逐一将其中两者进行混合，即可得到光谱上的各种颜色。**代替律**：不同颜色混合后可以产生感觉上相似的颜色，可以互相代替，而不受原来被混合颜色所具有的光谱成分的影响。例如，颜色 A = 颜色 B，颜色 C = 颜色 D，那么颜色 A + 颜色 C = 颜色 B + 颜色 D。代替律表明，只要在感觉上颜色是相似的，便可以互相代替而得到同样的视觉效果。例如，若 A + B = C，X + Y = B，则 A + X + Y = C。色觉：人眼的辨色能力。

人类视觉感知具有一些明显的特点。其中最突出的一点是视觉具有**适应特性**。适应是我们非常熟悉的一种感觉现象。它是由于刺激物的持续作用而引起的视觉器官的感受性的变化。适应可引起感受性的提高，也可引起感受性的降低。视觉适应最常见的有明适应和暗适应。明适应是指照明开始或由暗处转入亮处时人眼感受性下降的现象。明适应的时间很短，大约在1分钟左右明适应就可全部完成。眼睛在明适应时，一方面瞳孔缩小以减少落在视网膜上的光量，以免骤然的强光损伤眼睛；另一方面明适应是由暗适应时视杆细胞的作用转到由视锥细胞发生作用。暗适应是指照明停止或由亮处转入暗处时视觉感受性提高的现象[例如从阳光照射的室外进入昏暗的录相厅]。暗适应所需时间较长，感受性的变化也较大。在暗适应的最初7—10分钟内，感觉阈限骤降，而感受性骤升。在暗适应的过程中，开始阶段是由视锥细胞与视杆细胞共同参与发生作用的；之后，只有视杆细胞参与作用。

视觉常有后象产生。当对感受器的刺激作用停止后，感觉并不立即消失而保留片刻，这种在刺激作用停止后暂时保留的感觉印象叫后象。后象在性质上与原刺激并不总是一致。后象在视觉中表现非常明显。视觉后象有正后象与负后象之分。与原刺激性质相同的后象称为正后象，例如注视打开的电灯几分钟后闭上眼睛，就会感到眼前有一个同灯泡差不多的光亮形象出现在暗的背景上。这种现象即正后象。正后象出现之后，如果我们将视线转向白色的背景，就会看见在明亮的背景上有黑色斑点，这种黑色斑点就是负后象。它与灯光在品质上是相反的。颜色视觉也有后象，一般均为负后象，正后象很少出现。颜色视觉的负后象在颜色上与原颜色互补，在明度上与原颜色相反，例如，注视一个红色的正方形之后，再把视线移向一白色背景，会看到在白色背景下有一个蓝绿色的正方形。这就产生了颜色视觉的负后象。断续的闪光由于频率的增加，会引起人们连续的感觉，这种现象叫闪光融合。即人们看到的不再是闪光而是融合的不闪动的光。例如，高速转动的电风扇，

我们看不清每扇扇叶的形状；日光灯的光线每秒闪动 100 次，而我们却看不出它在闪动。这都是由于闪光融合的结果。刚刚能引起融合感觉的刺激的最小频率叫闪光融合临界频率，它表现了视觉系统分辨时间能力的极限。闪光融合临界频率越高，对时间分辨作用的感受性也就越大。一般人的闪光融合临界频率为 30-55 赫兹。

人类的视觉感受还有一些明显的特点。如，眼睛沿水平方向运动比沿垂直方向运动快且不易疲劳；视线变化习惯从左到右、从上到下、顺时针方向运动；眼睛对水平方向尺寸估计精度高于垂直方向；人眼对直线轮廓比曲线轮廓更易于接受；颜色对比与眼睛辨别能力有一定关系等。另外，视觉也会产生**错觉**。比如，人们总会夸大水平线而缩短垂直线。

5.1.2.4 人类的听觉感知与听觉

听觉是人通过听觉器官对外界声音刺激的反映，是仅次于视觉的重要感觉。听觉和视觉一样，都包括一个接受刺激，把刺激的特性转化为神经兴奋，然后传递到大脑，并对信息做进一步的加工的过程。

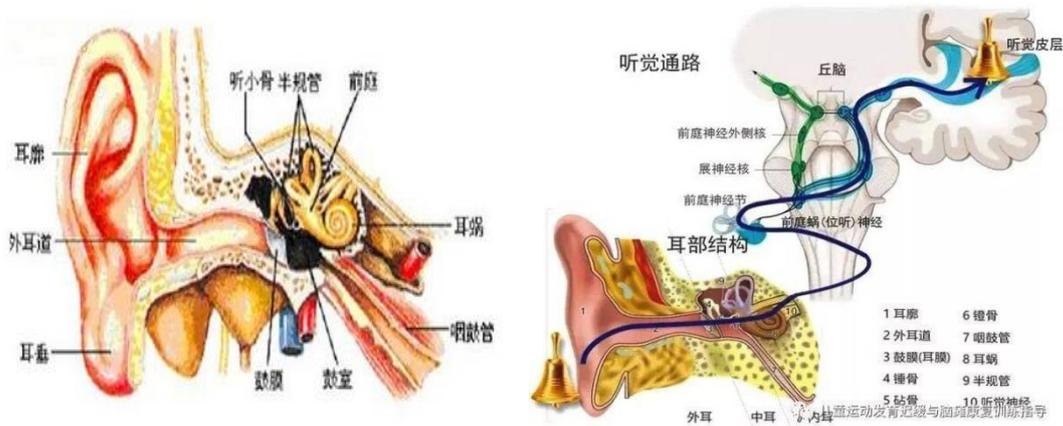


图 5.1.3 人类听觉系统—结构与通路模型

人的听觉器官是耳朵，耳朵分为外耳、中耳和内耳。耳蜗是内耳的一部分，它让人具有听力。听觉的感受细胞是内耳的毛细胞，它可感知一定频率范围内(20~20000Hz)空气振动的疏密波。声源振动引起空气产生的疏密波，通过外耳和中耳组成的传音系统传到内耳，再经内耳的换能作用将声波的机械能转变为听觉神经的神经冲动，后者传到大脑皮层的听觉中枢，从而产生了听觉。

听力指听觉器官感受声音的能力。由于听觉由物体振动所产生的声波引起，而声波具有三种物理属性：频率、振幅和波形，与此相对应，它们将分别引起听觉的三种心理感觉，即音高[音调]、响度和音色。音高是由声波频率引起的心理量。不同的声音其频率是不同的。人耳所能接受的适宜刺激是频率为16Hz~20000Hz的音波，即可听音。低于16Hz的振动叫次声，高于20000Hz的振动叫超声波，它们都是人耳所不能接受的。声波的振动频率高，我们听的声音就高；相反，振动频率低，声音听起来就低。但除频率之外，声音强度即振动的振幅大小也影响音高。人耳对 1000-4000Hz的声音的感受性最高，对500 Hz以下的声波则需要大得多的强度才能被感觉到。人耳对频率变化的感觉呈指数递减。频率越高，频率的变化越不易辨别。响度是由声波振动的幅度引起的心理量。响度反映的是声压级和频率两者对人耳听觉的综合作用效果。在这里，声压是由于声波作用于物体而引起的压强增加量。声压级是声压p与基准声压p0 (2×10⁻⁵Pa) 比值的对数。声波振动的幅度大，声音听起来就响；反之，声音听起来就弱。人耳对响度的感受范围是0 -120 dB。120 dB以上的声音引起的不再

是听觉而是压痛觉。音色是反映声波混合特性的心理量，是由声波的波形所决定的，人们根据它具有相同的音高和响度的声音区分开来。音色与发声的材料有关。如用不同乐器演奏同一音符，人们仍然能把他们区分开来，其原因在于他们的音色不同。正是音色，才使得不同的声音彼此区分开来。

人耳接受声音信息本无方向性，声音的定位通常是双耳融合的效果。同一声源发出的声音到达两个耳朵的时间并不一致，耳蜗神经将神经脉冲传到大脑，大脑对两只耳朵的信息进行比较，根据两耳收到信息的细微差别，就可以对声音来处做出正确的判断。各种具有听力的动物都具有这种能力。

根据发声体的振动是否具有周期性，**声音可分为乐音和噪音**。乐音是周期性的声波振动形成的；而噪音是由不规则的、没有周期性的声波振动形成的。当然，噪音还可以从社会的和心理的角度来定义，即人们不需要的声音是噪音。如果乐音妨碍工作、学习或休息，也可认为是一种噪音。乐音有益于人的健康，使人精神振奋或放松，对治疗疾病也有一定的帮助；而噪音一般则有损于人的身心健康，使人注意力分散，工作效率下降等。一般来讲，15db 以下的声音使人产生宁静感，30db 以下的声音使人产生安静感，50db—60db 的声音使人产生噪杂感，长期处于 70db—80db 声音的环境中，会使人感到头痛、疲劳等，而长期处于 90db 的环境中，人的听力会下降。

5.1.2.5 肤觉感知与肤觉

刺激作用于皮肤而引起的各种各样的感觉叫肤觉。肤觉的基本形态有触-压觉、**温度感觉**[冷觉、温觉]和痛觉。肤觉的感受器散布于全身体表，在身体的不同部位，各种肤觉的感受器的分布及其数目不相同，而在身体的同一部位，痛点最多，压点其次，温点最少；从全身来看，鼻尖的压点，冷点和温点最多，胸部的痛点最多。

触压觉分为触觉和压觉两种。刺激物接触到皮肤表面，使皮肤轻微变形时的感觉叫触觉。当刺激加强，引起皮肤明显变形时的感觉叫压觉，此外，振动觉和痒觉也属于触压觉的范围。但引起痒觉的刺激不仅有机刺激，而且有化学刺激，如被蚂蚁叮咬后，由于蚁酸的作用而引起痒觉。身体不同部位的触压觉感受性差异很大。一般来说，额头、眼皮、舌尖、指尖等的感受性高，手臂、腿部其次，躯干、胸腹部感受性较低。触觉的感知机理与视觉和听觉的最大不同在于它的非局部性。实验表明，人的手指的触觉敏感度是前臂的触觉敏感度的 10 倍。触压觉的适应性也相当快。

对接触皮肤表面物体冷热的感觉叫温度觉。它包括冷觉和热觉。一种温度刺激引起的感觉，是由刺激温度与皮肤表面温度的关系来决定的。皮肤表面的温度称为生理零度。高于生理零度的温度刺激，引起热觉；低于生理零度的温度刺激，引起冷觉。如果刺激温度等于生理零度，不产生温度觉。影响温度感觉的因素包括皮肤的基础温度、温度的变化速度、被刺激的皮肤范围等。身体的不同部位，生理零度不同，因而对温度刺激的敏感程度也不同。一般情况是，身体遮盖部位对冷敏感，面部对温冷敏感，下肢则比较迟钝。温度觉的适宜刺激温度是 -10°C — 60°C 的范围，超过这个范围的温度刺激产生的不再是温度觉，而是痛觉。在温度觉中有一个有趣的现象，温和冷的刺激同时作用时会引起热的感觉。

痛觉是由有可能损伤或已经造成皮肤损伤的各种性质的刺激所引起的，它们除引起不愉快的痛苦感觉外，尚伴有强烈的情绪反应。引起痛觉的刺激物很多，有物理的、化学的、温度的等。痛觉没有一定的适宜刺激，其适应性也很差，正是由于这一点它才能对有机体起保护作用。给人或动物一种警示信号。一旦动物和人感到了疼痛，就会采取一定保护措施，从而可能免受更为严重的损害。

人的痛觉受许多因素的影响，如，人对伤害性刺激的认识，暗示的作用等。强烈而持久的注意有时也能减轻或消除疼痛。

5.1.2.6 嗅觉和味觉感知

嗅觉是由挥发性物质的分子作用于嗅觉器官的感受器而引起的一种感觉。嗅觉器官的嗅细胞位于鼻腔上部两侧的粘膜中。嗅觉的个体差异较大。一般来说，动物的嗅觉优于人类，鱼类的嗅觉最为发达，狗的嗅觉也非常灵敏。人的嗅细胞能感受七种基本气味：樟脑味、麝香味、花草味、乙醚味、薄荷味、辛辣味和腐腥味。一般来讲，嗅觉的感受性很高，也十分灵敏，对不同刺激物，嗅觉的感受性不同，环境条件如气温的高低、空气的温度以及机体的状态都对嗅觉的感受性有较大影响。嗅觉的适应非常快。有气味的气体持续作用时，嗅觉的感受性会明显下降，出现嗅觉适应现象。“入芝兰之室，久而不闻其香，入鲍鱼之肆，久而不闻其臭”说的就是嗅觉适应现象。研究认为，不同性质的气味刺激有其专用的感受位点和传输线路。

味觉的适宜刺激是能溶于水的化学物质。其感受器是味蕾，分布于舌表面、咽喉粘膜以及软腭等处。一般认为有四种基本味觉：苦、酸、咸、甜。它们按不同比例混合可产生其它味觉，这四种基本味觉有各自的感受器味蕾，并且在舌上的分布也不同。舌尖上甜味感受器分布最丰富，所以对甜味最敏感。舌中、舌两侧及舌后部分别对咸、酸、苦味最敏感。味觉常常与其他感觉结合在一起，并且相互影响，加强了味觉的感受。如吃东西时要求色、香、味俱全才是美食，其中就伴有视觉、嗅觉对味觉的影响。味觉的适应也很快。影响味觉感受性[敏感性]的因素很多，一般认为食物温度、血液化学成分和物质浓度对味觉感受性的影响较大。研究表明，在20—30°之间，味觉感受性最高。此外，味觉的感受性还与机体的需求状态有关。如饥饿的人，对甜、咸的感受性增强，而对酸、苦的感受性降低。

5.1.2.7 内部感觉—机体觉

内部感觉是相对于视觉、听觉等这些反映外部环境的感觉而言的，有时也称机体觉。它是由机体内部的活动作用于体内的感受器而产生的，包括运动感觉，平衡感觉和内脏感觉。运动感觉也叫动觉[人对自己身体各部位的位置及其运动状态的一种感觉]，它反映身体各部分的位置，运动以及肌肉的紧张程度。其感受器为肌梭、腱梭和关节小体，位于肌肉、肌腱、韧带和关节中。运动觉涉及人体的每一个动作，是仅次于视、听觉的感觉。运动觉是随意运动的重要基础，人们在进行各种活动时，由于具有高度精确的运动觉，才能实现动作协调，完成各种复杂的运动技能。

平衡觉是人对自己头部位置的各种变化及身体平衡状态的感觉。平衡觉的感受器是由内耳中的三半规管和前庭控制。三半规管彼此连接，互相垂直，掌握空间的三个维度。当头部运动时，管内的液体随之摇动，感觉纤维随之运动，产生神经冲动，继而传入小脑。小脑的中枢神经系统是控制身体平衡的中枢。前庭位于耳蜗与半规管之间，内部充满液体，液体除有毛细胞外，还有耳石，耳石借重力与惯性作用，对毛细胞产生压力，从而产生神经冲动，前庭的毛细胞与神经纤维相连，这样即可将神经冲动传向小脑。晕船、晕车现象就是由于身体急速摇晃，而前庭感觉来不及调整，从而产生晕眩的感觉。平衡觉通过一定的训练可以得到改善。

内脏感觉是反映内脏各器官活动状况的感觉。内脏感觉的感受器分布于各脏器壁内，把内脏活动及其变化的信息经传入神经传向中枢，从而产生各种内脏感觉，如饥、渴、饱、胀、恶心、疼痛等。内脏感觉缺乏精确的定位，分辨力差。因此又叫“黑暗”感觉。在通常情况下，由于内部感觉的信号被外感受器的工作所掩蔽着，许多内脏的感受器根本不能引起主观感觉，只有在内脏感觉十

分强烈时，它才能成为鲜明的、占优势的感觉。内脏感觉在调节内脏活动中起很重要的作用。没有内脏感觉系统，有机体的生存是很难想象的。

5.1.3 人类感觉器官信息感知的基本特性

5.1.3.1 感受器感知的感受性

一种感受器通常只对某种特定形式的能量变化最敏感，这种能引起感觉器官有效反应的刺激就称为该感受器的适宜刺激。有的感受器对刺激的敏感度接近理论上的极限。非适宜刺激也可引起一定的反应，但要求刺激强度要比适宜刺激大。

表 5.1.1 人的感觉和各类感受器的适宜刺激

	刺激源	适宜刺激	感受器
触觉	外部	接触	皮肤表面的变形弯曲 主要是皮肤
嗅觉	外部	蒸发的化学物质	鼻腔粘膜上的一些毛细胞
味觉	外部	溶于唾液中的一些化学物质	头和口腔的一些特殊细胞
听觉	外部	一定频率范围的声波	内耳的毛细胞
视觉	外部	一定频率范围的电磁波	眼睛视网膜的视觉细胞
位觉和运动觉	内部	肌肉拉伸, 收缩	肌肉, 腱神经末梢
深层痛觉	外部或接触面	极强自压力和高热	一般认为是自由神经末梢
表层痛觉	外部或接触面	强度很大的压力, 热, 冷, 冲击及某些化学物质	确切的感觉尚不清楚, 一般认为是皮肤的自由神经末梢
温度觉	外部或接触面	环境媒介的温度变化或人体接触物的温度变化,	皮肤及皮下组织
压力觉	接触	皮肤及皮下组织变形	皮肤及皮下组织
振动觉	接触	机械压力的振幅及频率变化	无特定器官

人的感官除了要求“适宜刺激”信号的载体外，对信息载体的能量要求也有一定的限度，感官的这种对信号刺激能量范围要求称为该感官的[绝对]感觉阈限。也即人在可感受到刺激存在或刺激变化的时候的刺激强度或强度变化的临界值。其中，刚刚能引起感觉的最小刺激量(强度)称为感觉阈下限；能产生正常感觉的最大刺激量称为感觉阈上限。

表 5.1.2 几种主要感觉器官的刺激阈限

感 觉	刺激阈限下限
触 觉	蜜蜂翅膀从 1cm 高处落到肩上的感觉
听 觉	在寂静场所从 60m 远能听到的钟摆走动声(约 2×10^{-5} Pa)
视 觉	在晴朗的夜晚距 48km 远能看到的烛光(约 10 个光量子)
嗅 觉	在 30m ² 的房间内开始嗅到的一滴香水散发的香味
味 觉	一匙白糖溶于 9L 水中初次能尝到的甜味

感受性是指人对刺激物的感觉能力。感受性常用感觉阈限来度量。[绝对]感受性通常和[绝对]感觉阈限成反比；要保证信息传递畅通有效，信号的能量必须较大幅度地超过人的[绝对]感觉阈限下限值。[绝对]感觉阈限也受一些因素影响。影响[绝对]感觉阈限的因素包括活动的性质、刺激的强度和持续时间、个体自身的状态等。在一定条件下各感觉器官对其适宜刺激的感受能力将受到其它刺激的干扰影响而降低，使感受性发生变化。

当刺激的能量分布落在绝对感觉阈限的上下限之间时，人不仅可觉察到信号的存在，还能觉察到信号刺激的能量分布差异。同类型的两个刺激，刚能引起差别感觉[能觉察到]的刺激的最小差别量称为差别感觉阈限。对最小差别量的感受能力称为差别感受性，差别感受性与差别感觉阈限成反比。当刺激量以几何级数增长时，感觉量会以算术级数增长，这一关系被称为韦伯定律。实验表明，这一关系仅在中等强度的刺激范围内适用。

5.1.3.2 感受器感知的适应性

感受器感知的适应性(adaptation)是指，在同一刺激的持续作用下，人的感受性发生变化的现象。它本质上是用固定强度的刺激作用于感受器时，传入神经的动作电位的频率逐渐减少的结果。适应现象突出表现在感觉的适应和对比上。适应既可能引起感受性的提高，也可能引起感受性的降低。

适应现象表现在所有的感觉中，如视觉适应(暗适应、明适应)、味觉适应、嗅觉适应、听觉适应等。但是，适应现象在各种感觉中的表现和速度不同。视觉的适应有明适应和暗适应之分。从阳光明媚的地方进入黑暗地带，刚开始什么也看不清，而过一会儿，逐渐能分清周围物体的轮廓，这种现象就是暗适应。它是一种感受性提高的适应。明适应恰好与暗适应相反，指的是从暗处进入明处所发生的视觉感受性降低的适应，这种适应速度比较快，只需几秒钟。听觉的适应也存在，但不像视觉适应那么明显。例如在一个吵闹的环境中呆久了，也就不觉得像起初时那么吵闹了。触觉的适应很明显。例如，戴着帽子的人到处找帽子，白日静静地坐着时，几乎觉察不到衣服的接触和压力。温度觉的适应也较明显。例如，在游泳时，开始觉得水比较凉，但过分钟后，也就不觉得那么凉了。相反，在热水中洗澡时，刚开始觉得水很热，但过几分钟后，就觉得水不那么热了。但是，对于特别冷或特别热的刺激，就很难适应或完全不能适应。痛觉的适应是很难发生的，也是比较特殊的。正因为痛觉很难适应，它才能成为伤害性刺激的信号而具有生物学的意义。嗅觉的适应也比较明显。其适应速度，以刺激的性质为转移。一般的气味经过1—2分钟即可适应，强烈的气味则要经过10多分钟，特别强烈的气味(带有痛刺激的气味)很难适应，甚至完全不能适应。

适应能力是有机体在长期进化过程中形成的。它对于我们感知外界事物，调节自己的行为，具有极为重要的意义。如果没有适应能力，人就不能在不断变化的环境中精确地感知外界事物，正确地调节自己的行动。其中，快适应感受器，如皮肤触觉感受器，利于接受新的刺激，探索新异物体；慢适应感受器，如颈动脉窦感受器、压力感受器等，利于机体对某些功能进行持久的监测和调节。

5.1.3.3 感受器感知的相互作用特性

感受器感知的相互作用包括同一感觉中的相互作用和不同感觉中的相互作用。同一感觉中的相互作用是同一感受器中的其他刺激影响对某种刺激的感受性的现象。最典型的相互作用是对比。对比是同一感受器接受两种不同但属同一类的刺激作用，使感受性发生变化的现象。对比分两种：同时对比和先后对比。同时对比是几个刺激物同时作用于同一感受器时产生的对比现象。这在视觉中表现得非常明显。例如，同样的一个灰色小方块，放在白色的背景上看起来小方块就显得暗些，而把它放在黑色的背景上则就显得明亮些。彩色对比在背景的影响下，向着背景色的补色变化。在两色的交界附近，对比将特别明显。先后对比是几个刺激物先后作用于同一感受器时产生的对比现象。例如，吃了糖之后，接着吃橙子，就觉得橙子比平时酸得多。喝了非常苦的中药之后，接着喝口白开水也觉得水有点甜味。

不同感觉间的相互作用也很常见。对某种刺激的感受性，不仅决定于对该感受器的直接刺激，

而且还决定于同时受刺激的其他感受器的机能状态。在一定条件下，各种感受器的机能状态都有可能发生相互影响，相互作用。其中包括：

(1) **不同感觉可相互影响**。某种感觉器官受到刺激而对其他感觉器官的感受性产生的一定影响，这种现象就是不同感觉的相互影响。例如，在某些手术中，为了减轻病人的疼痛，医生会和病人交谈一些轻松的话题或在手术室里播放轻音乐。在现实生活中，人们接受环境的各种各样的信息，不同感觉的相互影响时有发生，经研究发现：微痛刺激，某些嗅觉刺激，都可能使视觉感受性提高；微光刺激能提高听觉的感受性，强光刺激则使听觉的感受性降低；噪音刺激降低一些感觉的感受性。

不同感觉相互作用的一般规律是：弱的某种刺激往往能提高另一感觉的感受性，而强的某种刺激则会使另一感觉的感受性降低。例如，强烈的噪音可引起对光的感受性的降低，轻柔的音乐，则可以提高视觉的感受性，而一闪一闪的灯光变化，会使人对一个强度保持不变的缓慢的音调产生时高时低的波动感受，而食物的颜色和其散发的气味常常会影响味觉，食物强调色香味俱全的道理也就在此。

(2) **不同感觉的相互补偿**。感觉的补偿是指某种感觉系统的机能丧失后而由其他感觉系统的机能来弥补。例如，聋哑人可以“以目代耳”，通过视觉看交谈方的口形了解谈话的大意；盲人可以“以耳代目”，能根据外界反馈的声音来辨别地形，并且还能通过触摸觉来阅读等。各种感觉之所以能相互补偿，是由于各种刺激的能量是可以转换的。各种感觉系统的机能都能通过练习得到提高，这样一种（或几种）感觉机能的丧失，就有可能由其他经常得到练习的、感受性提高了的感觉系统来加以弥补。

(3) **联觉**。一种感觉引起另一种感觉的现象。当某种感官受到刺激时出现另一种感官的感觉和表象，这种现象称为联觉。例如，音乐家欣赏一首乐曲，会从中产生一定的视觉效应，似乎看到高山、流水、花草、白云、蓝天。联觉的表现形式非常多，最常见的是色听现象，即听到某种特定的音调可以引起特定的色彩感觉。一般是低音产生深色，高音产生浅色，现代的激光音乐与色听现象有关。而最容易产生联觉现象的是颜色感觉。如红、橙、黄等颜色往往能引起温暖的感觉，被称之为暖色；而青、蓝、紫等颜色往往使人产生寒冷的感觉，故被称为冷色。暖色往往使人产生接近感，故称之为进色，而冷色则使人产生深远感，故称之为退色。故在房间色彩装饰上，宽敞的房间涂上暖色，就使人产生温暖，紧凑之感，而狭小的房间则涂上冷色，使人有凉爽，宽敞之感。深色调使人感到沉重，淡色调使人感到轻松明快。

5.1.4 人类信息感知中的知觉

5.1.4.1 感觉与知觉

知觉是人脑对直接作用于感觉器官的客观事物的各个部分和属性的整体性的反映。它是在感觉的基础上发展起来的，是人脑对感觉信息整合后的综合反映。人们通过感官得到了内外部事物的信息，这些信息经过头脑的加工（综合与解释），产生的对事物整体的认识，就是知觉。知觉以感觉做基础，它既是现实刺激和已储存的知识经验的相互作用的结果，也是个体选择、组织并解释感觉信息的过程，是一个主动的和富有选择性的构造过程。知觉作为一种活动过程，包含了几种互相联系的作用：觉察、分辨和确认。在知觉过程中，人对事物的觉察、分辨和确认的阈限值是不一样的。如果说人要觉察一个物体比较容易，那么，要确认这个物体就要困难得多，需要的加工时间也较长。

知觉过程不仅和某一种感觉相联系，而且往往是多种感觉协同活动的结果。知觉与个人因素有关。在知觉过程中，人脑将直接作用于感觉器官的刺激化为整体经验，它在很大程度上依赖于人的

主观态度和过去的知识经验。人的态度和需要使知觉具有一定的倾向性，知识经验的积累也会使知觉更丰富、更精确和更富有理解性。

尽管知觉和感觉都是人脑对当前直接作用于感觉器官的客观事物的反映，同属于对客观现实的感性反映形式，同属于认知过程的感性阶段，但知觉与感觉有着本质的差别。（1）感觉是介于心理和生理之间的活动，而知觉则是以生理机制为基础的纯粹的心理活动。（2）感觉是人脑对直接作用于感觉器官的客观事物的个别属性的反映，是反映现实的最简单的心理过程；而知觉则是人脑对客观事物的属性的整体性反映，是将各种感觉有机的结合而成的综合的、整体的反映。（3）从生理机制来看，感觉的产生依赖于客观事物的物理属性，是单一分析器活动的结果，相同的刺激会引起相同的感受。而知觉则是多种分析器合作进行综合分析的结果。知觉不仅依赖于它的物理特性，还依赖于知觉者本身的特点，如：知识经验，心理状态，个性特征。

当然，感觉和知觉又是密不可分的，是两个不可分割的基本心理过程。它们的源泉是客观现实，都是对客观事物的直接反映，客观事物作用于感官，感知觉才会产生，事物消失了感知觉也就消失了。离开了当前事物对感觉器官的直接刺激，就不可能产生感觉，更不可能产生知觉。没有对事物个别属性反映的感觉，就不可能有反映事物整体的知觉。因而，感觉是知觉的有机组成部分，是知觉的前提基础，而知觉则是感觉的深入和发展。

5.1.4.2 几种主要的知觉

在传统心理学领域内，根据知觉中占优势的感觉，通常将知觉分为视知觉、听知觉、触知觉等；根据知觉的性质和特点的不同，通常把知觉分成时间知觉、空间知觉、运动知觉和错觉等。随着知觉心理学研究的进展，不少心理学家认为，知觉是一个系统，是不同感觉通道协同作用的结果。所以，他们试图从另一角度对知觉进行分类。比如，吉布森提出，人具有五种知觉系统，即定向系统、触觉系统、气味系统（味觉和嗅觉）、听觉系统和视觉系统。在本书中，我们还是按传统的方法，将知觉分成时间知觉、空间知觉、运动知觉和错觉四大类型。

1. 空间知觉[形状知觉]

空间知觉是人对客观世界物体的空间关系的反映，它包括形状知觉、大小知觉、方位知觉、深度知觉等。空间知觉通常是由视觉、触觉、听觉等参与的，个体的多种分析器协同活动的结果。

（1）**形状知觉**。形状是物体所有属性中最重要的属性。形状知觉是个体对物体各部分的排列组合的反映。我们要认识物体，就必须分辨物体的形状。形状知觉一般靠视觉、触觉和动觉的协同活动而形成，其中视觉起主要作用。眼睛注视外物时，外界物体在视网膜上的投影，人眼观察物体时眼部肌肉运动所产生的动觉，都向大脑提供了物体形状的信号。同时，也有可能通过触觉来探索物体的外形，如用手沿着物体边界运动所产生的触摸觉，也是形状知觉的线索。它们的协同活动，提供了物体形状的信息。当从不同角度来观察某一物体时，虽然该物体在视网膜上形成的映像是随着视角的改变而变化的，但由于人在生活经验中，把从不同角度获得的物体的映像，同触摸觉、视觉、运动觉建立了牢固的群系，因此，对该物体的知觉则保持了相对的稳定性和恒常性。

（2）**大小知觉**。对物体大小的认识和区别便是大小知觉。它也是靠视觉、触觉和动觉来实现的。一般来讲，影响物体大小知觉的因素主要有以下几个：①与知觉物体距离的远近。知觉到的物体大小与物体在网膜上的视像大小有关，大的物体在网膜上的视像大，反之小的物体则视像小。因此，可根据网膜视像大小来判断物体大小，然而网膜视像的大小又与知觉物体距离成反比，即同一物体离我们近则视像大，反之则视像小。②对物体的熟悉程度。在现实生活中，许多物体的大小都是我

们很熟悉的，当物体离我们的距离发生改变时，网膜上视像大小也会随之发生改变，但由于是我们非常熟悉的物体，因此我们仍然能比较准确地知觉物体的实际大小。③周围物体大小的对比。大小完全相等的物体，一个处于较小物体的包围之中，另一个处于较大物体的包围之中，这时我们就发现两个原本大小相同的物体变得不一样了，在较小物体包围中的物体显得大一些，而在较大物体包围中的物体则显得小一些。观察结果之所以会出现差异，在观察距离及两物实际大小都相同情况下，就是由于邻近物体大小对比的结果。

(3) **方位知觉**。方位知觉是人对物体的空间关系、位置和对机体自身所在空间位置的知觉。它是靠视觉、听觉、动觉等获得的。方位知觉总是相对一定的参照系而言，一般方位知觉总是以个体自身或天地位置作为参照物。前、后、左、右的方向反映的是物体与观察者之间的关系；而上、下方向即以个体自身为标准。

(4) **距离知觉和深度知觉**。人不仅能知觉物体的形状、大小，而且也能知觉物体的深度和距离。形状知觉和大小知觉属于二维空间的知觉，而深度知觉则属于三维空间的知觉。由于三维空间比二维空间更为复杂，因此，深度知觉比形状知觉和大小知觉更为复杂。

那么，人们怎样才能知觉物体的距离与深度呢？是哪些因素提供了人们知觉深度与距离的信息线索呢？研究表明，这类信息线索有：

(1) **单眼视觉线索 (Monocular cues)**。是用一只眼睛就能感受到的深度线索。它们包括：①遮挡。物体相互遮挡是判断物体前后关系的重要条件。如果一个物体部分地遮掩了另一物体，那么遮掩的物体被知觉为远些，而遮掩物体则近一些。②对象的大小。根据视角规律，同样大小的物体在近处要比远处的网膜视像大。因此，对大小差不多的物体可根据网膜视像来判断它们距离的远近。视像大，则距离近；反之，则远。③线条透视。向远方延伸的平行线在远处看起来趋于接近，就是线条透视。它是由于空间对象在网膜的几何投影造成的。近物所占视角大，投影也就大；远物所占视角小，那么投影也就小。因而使两条向远方延伸的直线看起来趋于接近。④空气透视。由于空气中灰尘的影响，远处的物体没有近处的物体显得清晰。因而看起来清晰的物体被知觉为近些；反之，则被知觉为远些。⑤明暗示和阴影。物体在光线照射下，由于各个面接受光线的角度和离光源的远近不同，物体各个面上反映明暗的程度就不同。因此，在一般情况下，明亮的物体显得近些，灰暗或阴影中的物体显得远些。⑥结构极差。知觉对象表面的结构因距离的远近不同，会产生近处稀疏和远处密集的结构极差。这种视觉效果也是距离知觉的重要依据。⑦运动视差。一般来讲，当观察者与周围环境中的物体作相对运动时，近处物体看上去移动的快些，方向相反；远处物体看上去移动的慢些，方向相同。这种差异也是判断深度知觉的一个线索。在实际生活中，空间知觉是多种感官协同活动的结果。而深度知觉除了依赖上述各种视觉线索互相配合外，还依赖于经验中的触摸觉、动觉等的验证。

(2) **双眼视觉线索 (Binocular cues)**。双眼视觉线索是产生深度知觉的主要线索。它们包括：①双眼视差。当我们注意一个立体物时，由于两眼之间相距约 65 毫米，这时两眼的视像便不完全落到视网膜的对应部位，左眼看物体的左边多一些，右眼看物体的右边多一些，从而使两眼的视觉稍有差异，这一差异被称为双眼视差。②眼睛的调节。人眼在观察物体时，为了获得清晰的视像，水晶体的曲度会在睫状肌的作用下而发生变化。例如，当看近物时，水晶体曲度变大，比较凸起；看远物时，水晶体曲度变小，比较扁平。因此，睫状肌在调节水晶体曲度变化时的紧张度，就成为估计物体距离的线索之一。但是这一线索受眼睛的调节能力限制，仅在 10 厘米到 10 米的范围内起

作用,超过此范围的物体,眼睛的调节就失效了。③双眼视轴的辐合。为了获得清晰的视像,眼睛在外部肌肉组织协调收缩和扩张的作用下,随距离的改变而将视轴会聚到被注视的物体上。看近距离物体时,视轴辐合大,肌肉调节大;反之,辐合小,肌肉调节小。肌肉的收缩、扩张为知觉物体远近提供了线索。但是,双眼视轴的辐合只在30米以内有效,超过30米左右时,双眼视轴几乎趋于平行,对距离知觉的调节也就失效了。

在实际感知过程中,深度知觉通常是多种线索融合的结果。可能的融合方法包括:累加(additivity)、单选(Selection)和相乘(multiplication)等。实验更支持多线索累加的观点,但可能是较为复杂的加权累加。

2. 时间知觉

时间知觉是人对客观现象延续性和顺序性的反映。时间知觉是人在活动过程中发展起来的,是人适应环境的重要组成部分。时间知觉没有专门的感觉器官,也不是由固定的刺激所引起,人总是通过某种衡量时间的媒介来反映时间。衡量时间的媒介有外在标准和内在标准两种,这两种标准都为我们提供了关于时间的信息。时间的外在标准包括自然界的周期性变化和其他客观的自然现象以及计时工具。例如,太阳的升落、昼夜的更替、四季的变化、月亮的盈亏等周期性出现的自然现象以及用年轮来计算树龄,从动物牙齿估计它们的年龄等客观的自然现象,这些为我们估计时间提供了客观依据。在计时工具如手表、日历、时钟等出现以后我们更可以用它们准确地估计和记录时间。时间的内在标准指的是人体内的一些有节律性的生理活动。如心跳、呼吸、消化、饥饿与睡眠等的变化,都能对时间的长短进行估计。人体的这些节律性的变化,被称为“生物钟”。它给人们提供了时间信息。

影响时间知觉的因素有:①感觉通道的性质。在判断时间的精确性方面,听觉最好,触觉其次,视觉较差。如,视觉辨认时间的精确度为 $1/10 \sim 1/20$ 秒,触觉为 $1/40$ 秒,听觉为 $1/100$ 秒。②一定时间内事件的发生数量和性质。在一定时间内,事件发生的数量越多,性质越复杂,人们倾向于把时间估计的较短;而事件的数量少,性质简单,人们倾向于把时间估计得较长。例如,一节课,如果内容丰富生动、听课人会觉得时间过得十分快;相反,如果内容单调乏味则会觉得时间非常漫长。而人们在回忆往事时,情况恰好与经历时相反。同样一段时间,经历越丰富有趣的事件回忆时觉得长些,而与单调乏味事件相联系的时间回忆时觉得短些。③人的兴趣、态度和情绪状态。人们对自己感兴趣的或事件,觉得时间过得快些,对时间估计偏低;相反,觉得时间过得慢些,对其估计偏高。人处于积极的情绪状态时觉得时间短,而处于消极情绪状态时则会使人觉得时间长;期待会使人觉得时间过得慢。

研究表明,一般情况下,对于1秒钟左右的时间间隔,人的主观估计最准确;短于1秒钟的间隔常被高估,而长于1秒钟的时间常被低估。时间间隔越长,人对时间的估计误差越大。同时,人对时间的知觉还与个体的兴趣、情绪、态度等有关。

3. 运动知觉

物体的运动变化特性在人脑中的反映,就是运动知觉。它与时空知觉有着不可分割的联系。运动知觉包括真动知觉和似动知觉。

真动知觉是指物体以特定速度或加速度从一处向另一处作连续性位移而引起的知觉。运动知觉是由多种分析器协同活动的结果。参与运动知觉的分析器有视觉、动觉、平衡觉,其中视觉起主要作用。人在知觉运动物体时,眼睛、头部和身体经常转动以追随运动着的物体,尽管物体投射在网

膜上的视像是静止的，眼睛、头部和身体的运动仍能使人知觉到物体在运动。然而，人仅能知觉物体运动的适宜速度，如果物体运动的太快或太慢，人们就无法知觉到。例如，人不能觉察到花朵的绽放，钟表时针的走动和光的速度。把刚刚能觉察出单位时间内物体运动的最小视角范围称为运动知觉的下阈。当物体运动的速度超过一定限度，人只能看到弥漫性的闪烁。把刚刚觉察出闪烁时的速度称为运动知觉的上阈。运动物体离观察者的距离会影响我们对物体运动速度的知觉。以同样速度运动的物体，运动物体距离近，感到速度快，相反，感到速度慢。当然，对物体运动速度的判断还与运动物体所在的空间和方向有关，以同样速度运动的物体在狭小空间里运动看上去比在广阔的空间里运动要快些；在垂直方向上运动比在水平方向运动看上去速度要快些。

似动知觉是指在一定时间和空间条件下，把静止物体知觉为运动的，或把没有连续位移的物体知觉为连续的运动的知觉现象。似动知觉包括动景运动、自主运动和诱导运动。动景运动是指当两个刺激物按一定空间间隔和时间间隔相继呈现时，人看到原来两个静止的物体的连续运动的知觉现象。我们看到的电影、电视以及一些活动性商业广告都是按动景运动的原理制成的。动景运动是一种错觉性的运动，它主要是由于视网膜受到刺激后，会引起大脑皮层相应区域兴奋，在适当的时空条件下，兴奋点的回路之间发生融合，从而得到“运动”的印象。诱导运动是指由于一个物体的运动使其相邻的一个静止的物体产生运动的知觉印象。例如，在晴朗的夜晚，由于浮云的移动，使人们觉得像是月亮在云朵里穿行。一般说来，诱导运动给人的印象是，视野中细小的对象看上去是在动，而大的背景则看上去像处于静止的状态。自主运动指人在注视黑暗处一个微弱的，静止的光点片刻后，感觉到光点像在来回移动的知觉现象。例如，在没有月亮的夜晚注视天空时，会发现一个细小而发亮的东西在天空游动，这就是由星星引起的自主运动。自主运动的产生与黑暗中光点失去了周围空间的参照系，从而使它的空间位置不明确这一因素有关。此现象产生的真正原因目前还没有很好的解释。一种观点认为，自主运动是由于眼睛的不随意运动的信息使人觉得光点在运动；另一种观点则认为，自主运动是由于视野内缺乏参照物所致，一旦视野里有某个参照物，自主运动即随之消失。

4. 错觉

错觉是在一定条件下对客观事物产生的不正确的知觉。各种感知觉中都存在着错觉现象，其中视错觉表现得最明显。目前研究最多的是几何图形错觉。错觉不同于幻觉。错觉是在外界刺激作用下产生的，是主观歪曲了对刺激的知觉；幻觉是在没有外界刺激的情况下产生的，是虚幻的知觉。错觉是由物理的、生理的和心理的多种因素引起的。其中，知觉具体事物时受到同时并存的其它刺激的干扰，是形成错觉的主要原因；人的主观因素（经验、情绪、年龄和性别等）对错觉形成也有重要影响。

对错觉的研究至今已提出多种理论，但还不能完全解释错觉现象。错觉的主要理论有：眼球运动说；透视说或常性误用说；神经位移说；对比和同化说；混淆和错误比较说等。①**错觉的眼球运动说** 该学说认为，对物体长度的印象是以眼球对该物体的扫描为基础的。比如，在观看缪勒-莱尔错觉图形时，向外伸展的箭头使眼球移动的距离较大，向内收缩的箭头使眼球移动的距离较小，因此前者看起来比后者要长。观看竖线比等长的横线要长。这是较早的错觉学说，虽也能解释几种几何图形错觉，但缺乏必要的实验依据。眼球运动很可能是导致错觉的一个因素，但不是决定因素。②**错觉的透视说或常性误用说** 该学说认为，某种特定的视觉模型可造成深度印象而引起错觉。人们意识到，放在从近到远不同距离上的同一物体，虽然它的网膜象逐步缩小，但它们的实际大小却是相同的。

如果大小相同的物体位于不同距离而被看成大小不同，这就显示了错觉效应。该学说可解释一部分几何图形错觉，但也有研究指出，当观察者不产生深度印象时，有关错觉仍很强烈。③ **错觉的神经位移说** 此说认为，由某一轮廓引起的抑制作用，可对另一轮廓引起位移效应而产生错觉。即当后一个轮廓在大脑皮层上形成兴奋时，若被前一轮廓所引起的神经兴奋所抑制，则可能发生位移现象。轮廓的位移现象是由侧抑制造成的，在视觉效果上常产生偏移的错觉。该学说采用现代生理学的成果来解释错觉，把错觉的研究引向科学的方向，并能较好地解释波根多夫错觉等。但由于错觉的复杂性，该学说尚不能解释更多的错觉，如艾宾浩斯错觉、缪勒-莱尔错觉和各种“拧绳”错觉等。

5.1.5 知觉的基本特性

由于人有将图形知觉为位于背景的前面的强烈倾向，所以导致了轮廓错觉。格式塔心理学家们提出了知觉组织原则，包括相邻性、相似性和共同命运。知觉加工从外界的每个注视点获取新的信息。在视网膜上刺激的不同模式提供了运动线索。对多个信息源的视轴辐合产生了深度知觉。双眼视差和视轴辐合是双眼深度线索，他们是双眼水平位置的结果。相对运动视差提供了物体间的相对距离。艺术家利用图示的深度线索，例如插入、线形透视、质地梯度等来使二维画面上产生三维的效果。人们利用距离线索和对熟悉物体大小的经验知觉大小恒常性。形状恒常性是借助于较好的深度信息。朝向恒常性依赖于前庭的感觉和对物体朝向的先验知识。亮度恒常性是由于无论在什么样的照明条件下物体都反射或多或少的相同比例的光线。

1. 知觉的整体性

知觉的对象具有不同的属性，由不同的部分组成，但人的知觉并不把它们感知为个别的、孤立的部分，而总是把它们知觉为一个统一的整体。知觉的过程，通常是主体根据自己已有的知识经验把知觉对象的各种属性[不同部分的刺激信息]整合为一个统一整体的组织加工过程，即把由多种属性、多个部分组成的对象看作是具有一定结构的统一的整体过程。知觉的这种特性被称为知觉的整体性。格式塔心理学派(Gestaltist)研究发现，人在作整体性知觉过程中，常遵循以下组织原则：
 (1) **接近原则[接近律 Law of proximity]** 在时间或空间上接近的部分容易被知觉为一个整体。
 (2) **相似原则[相似律 Law of Similarity]** 在其他方面特点相同的情况下，(颜色、形状、纹理等)相似的部分容易被当作一个整体。
 (3) **完整倾向原则[闭合律 The Law of Closure]** 知觉印象随着环境情况而出现可能有的最完善的形式。知觉又把不完全图形补充为一个完全图形的倾向。
 (4) **好图形原则[完形律 the Law of Prägnanz]** 具有最好、最简单和最稳定特征的结构最有可能被知觉为一个目标。完形律最重要。其它原则多数服从于完形律。如，规则的、左右对称的图形容易被看作一个整体。
 (5) **连续原则[连续律 Law of Good Continuation 协变律 The Law of Common Fate]** 具有连续性或共同运动方向等特点的客体，容易被知觉为一个整体。

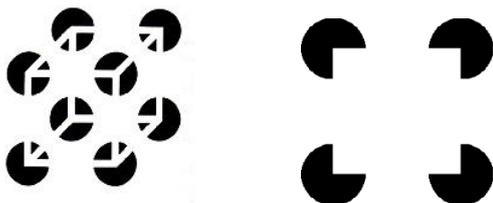


图 5.1.4 知觉的整体性



图 5.1.5 “鲁宾之壶”反转图形

2. 知觉的理解性

在知觉过程中，人对于知觉的对象，总是以自己过去获得的有关知识和经验给予解释，甚至对感知的事物进行加工处理，并用概念的形式把它们表示出来，使它具有一定的意义。知觉的这一特性被称为知觉的理解性。知觉的理解性主要受个人的知识经验、言语指导、实践活动以及个人兴趣爱好等多种因素的影响。对知觉对象的理解，是以个体已有知识经验为前提的。由于人们的知识经验不同，在知觉同一对象时，对它的理解不同，知觉的结果也就不同。人在知觉某一事物时，通常要在内心说出它的名称，用词语来概括它，使它具有一定的意义。因而，言语的指导作用(即命名)能帮助唤起过去的经验，理解感知对象的意义。

3. 知觉的选择性

在知觉过程中，人们根据当前的需要，对外来刺激物有选择地作为知觉对象进行组织加工的过程，被称之为知觉的选择性。由于人的知觉的选择性，人并不是对作用于感官的所有刺激都产生反映，而是只对其中某些刺激加以反映。在知觉时，是将某些对象从某背景中优先区分出来，并予以清晰反映。而其它对象则呈隐退模糊的知觉印象。作用于人类感知系统的客观事物是纷繁多样的，人不可能在瞬间全部清楚地感知到；但可以按照某种需要和目的，主动而有意地选择少数事物（或事物的某一部分）作为知觉的对象，或无意识地被某种事物所吸引，以它作为知觉对象，对它产生鲜明、清晰的知觉映像。影响知觉选择性的因素很多，既受知觉对象特点的影响，又受知觉者本人主观因素的影响。从客观方面来讲有刺激的变化、对比位置、强度、运动、反复等；从主观方面来讲有个体的情绪、动机、兴趣、需要、态度、知识经验、观察能力或分析能力等。知觉的选择性与知觉的其它特性是密不可分的，被选择的知觉对象通常是完整的、相对稳定的和可以理解的。有时，知觉对象与背景可以互换。

4. 知觉的恒常性

在知觉过程中，由于知识和经验的参与，在一定范围内，个体在知觉客观事物时往往不随知觉条件（如距离、角度、光亮等）的改变而表现出对客观事物相对稳定特性的组织加工过程被称为知觉的恒常性。在知觉的恒常性中，视知觉的恒常性表现得特别明显。例如，我们可以从一个人的侧面、背影或局部就能正确判断是谁。知觉对象的大小、角度、颜色、形状等映像与客观刺激的关系，并不完全服从于物理学的规律。尽管外界条件发生了一定的变化，人们在观察同一物体时，知觉的映像仍相当稳定，表现为大小恒常性、颜色及亮度恒常性、形状恒常性和方向恒常性等。其中，大小恒常性是讲，给定目标，不管其在视网膜上的成像变化或变小，其知觉大小都有维持不变的倾向。例如一个从远处朝你走来的人，在视网膜上的成像越来越大，但你不会这样觉得。大小恒常性可能受诸多因素影响，但至今还没有一个统一的理论，说明人是如何综合这些信息的。知觉恒常性主要是过去经验的作用。当外界条件发生一定变化时，变化了的客观刺激物的信息与经验中保持的印象结合起来，人便能在变化的条件下获得近似于实际的知觉形象。对知觉对象的知识经验越丰富，在一定的条件下，就越有助于产生知觉对象的恒常性。知觉恒常性对人类生存和发展具有重要的意义，它使人类能更有效地适应环境。也有研究认为，知觉恒常性不是依靠经验的积累，而是依靠自身的一种能力。毁损实验显示下，颞叶皮层对这种能力起了重要的作用。

5.1.6 感知活动的过程与信息加工机理

5.1.6.1 人类感知活动的一般过程

人的感知活动一般由五个环节组成，称为感知链。也就是说，人类的感知活动是一个由“外界

环境—中介物—刺激物与感官相互作用—神经冲动通过传入神经系统向大脑传入各种外界信息—大脑对传入到皮层相应投射区的信息进行整合处理”等环节构成的信息处理过程。

图 5.1.6 人类感知活动的一般过程

感知链是对感知系统的一种过程描述。其中，①外界环境泛指环境中的事物，是认知的对象和源泉；②中介物指外界环境中的事物的各种属性，需通过中介物（如光、空气力、热等）才可反映到人的感觉器官；③各种形式的能量以及中介物中的其它刺激与感知系统中的感受器之间的相互作用，不是机械地、简单地进行的，而是有一个转换的过程；④信号从感受器到大脑的感觉神经的传导，首先需要感受器把外界物理的、机械的、化学的能量转换为生物电能，再通过感觉神经传至大脑；⑤大脑，特别是感觉神经终止于大脑皮层上的相应投射区，通常是各类感觉神经中枢。上述五个环节中的每一个环节，都是人形成正确感知所不可缺少的。

5.1.6.2 感知过程中的信息加工

对人类感知机理的研究是个令人感兴趣的课题。人们从各个不同角度对其进行探讨，已提出诸多理论。比如，格式塔的知觉理论认为，人的知觉具有主动性和组织性，并总是尽可能地用简单的方式去“整体”地感知外部刺激和认识外界事物，它遵循“概略”规律并受神经系统的制约。构造主义的知觉理论强调先前的经验对知觉活动的重要影响，认为人们在认识外界事物的时候，往往要借助于记忆中的经验去做选择，从而认识事物。知觉的推断理论则假定知觉经验是一个混合体，它一部分信息来自于当前的感觉，大部分信息则是从贮存的信息库中提取出来的。知觉可以预测外界刺激的性质，具有适应环境的功能。动作行为的知觉理论认为，知觉是知觉者借助动作行为习得的，通过活动及在活动中习得的经验影响和指导着知觉活动。吉布森的知觉理论认为，人所知觉的环境是由具有结构的表面组成的，当人在观察环境的时候，环境的三维空间是有结构的，它为知觉者提供了丰富的信息，知觉者在认识这些结构表面的同时，也确定了该事物是什么。因此，知觉既有赖于一个人对事物结构的认识，而且与一个人对事物结构的认知水平有关。知觉的结构[特征]分析理论则假定知觉模式由若干基本特征组成，且它们应该能为大多数样本所共用，任何模式均可由这些基本单元及其关系描述。拓扑知觉理论则重视知觉组织，淡化局部特征，强调对象之间的拓扑关系和整体意义。认为局部信息，如长度、面积、位置等，在直觉上是模糊的，但这些局部特征综合起来就会让观察者清晰的区分出图形和背景，形成有明确景象意义的映像。与特征分析理论相比，局部特征理论侧重的是树木，拓扑特征理论侧重的是森林；特征分析理论是先见树木，后见森林；拓扑知觉理论则是先见森林，后见树木。心理物理对应理论则认为，知觉中完全不需要假设有推理过程参与，因为刺激已经相当完整和详细，足以产生知觉，知觉与刺激相对应。结构主义的知觉理论

强调无意识推论：来自感觉的不充分信息可因无意识推论而增强。认为知觉是一个积极的构建性过程：所感知到的信息并不完全来自感觉输入/刺激。知觉并不完全由刺激输入直接引起，而是呈现刺激与内部假设、期望、知识以及动机和情绪因素的交互作用。知觉有时可受到不正确的假设和期望的影响，因而知觉也会发生错误。知觉不完全由外部刺激决定，动机和情绪会影响人的知觉。例如，对钱币的大小的感觉—穷孩子和富孩子有明显的差别。与结构主义相对，直接知觉理论认为，环境可提供的信息比通常了解的要多得多，但并非是纯粹“bottom-up”的。知觉的首要功能是促进个体和环境的交互作用，认为知觉过程不涉及内部表征的形成过程，而是直接的共振。内部与刺激一致即可。结构主义[间接知觉]强调“Top-down”；直接知觉强调“Bottom-up”，二者应该各有优缺点，互为补充。当感知条件良好时，知觉有可能是自底向上决定，直觉知觉更有道理；而当感知条件不理想时，可能需要“自上而下”的干预，结构主义更合情理。

不管上述理论是否揭示了人类感知的本质和机理，毫无疑问，人类对信息的感知过程，是一个信息觉知、信息传递、信息整合和信息记忆的综合过程。这一过程，与人的信息观察能力、信息觉知能力、信息传递能力、信息整合加工能力和信息记忆能力密切相关。是人的这些能力的综合运用过程。

(1) **感知过程中的观察和注意。**感知首先需要观察和注意。什么是观察？观察通常是有目的、有计划、比较持久的知觉过程。一个人观察能力的品质包括观察的目的性、观察的客观性、观察的精细性、观察的敏捷性等。什么是注意？注意就是在某个时刻，从众多可能的事物中选择一个，并把精力集中在这个事物上的行为。它是心理活动或意识对一定对象的指向与集中。此时，他的心理活动或意识选择了某个对象而忽略了另外一些对象，当心理活动或意识指向某个对象的时候，它们会在这个对象上集中起来，即全神贯注起来。注意主要涉及到听觉和视觉。其过程主要与两个方面有关：目标和信息表示。注意一般具有选择功能、保持功能和调节及监督功能。一个人的注意力的品质主要包括：①注意的广度 即在一个很短的时间内能关注的对象的数目；②注意的选择性能 即个体在同时呈现的两种或两种以上的刺激中选择一种进行注意，而忽略另外的刺激的能力；③注意的持续性能 即注意保持在某个认知客体或活动上的时间，也叫注意的稳定性能；④注意的分配功能 即个体在同一时间对两种或两种以上的刺激进行注意，或将注意分配到不同的活动中的能力。

关于注意在信息感知过程中的功能，人们已提出不少理论。“过滤器理论”认为，神经系统在加工信息的容量方面是有限度的，不可能对所有的感觉刺激都进行加工。当信息通过各种感觉通道进入神经系统时，要先经过一个过滤机制。只有一部分信息可以通过这个机制，并接受进一步的加工；而其他的信息就被阻断在了它的外面，从而不被感知。衰减理论认为，当信息通过过滤装置时，不被注意或非追随的信息只是在强度上减弱了，而不是完全消失。后期选择理论认为，所有感受到的信息都会被感知，只是当信息达到工作记忆时，才开始选择需要进一步加工的信息。因为进一步加工的选择是在工作记忆中进行的，故对信息的选择是发生在信息加工的后期。多阶段选择理论认为，过滤器理论、衰减理论及后期选择理论都假设注意的选择过程发生在信息加工的某个特定阶段上，实际上选择过程在各个不同的加工阶段上都有可能发生。认知资源理论认为，与其把注意看成一个容量有限的加工通道，不如看作一组对刺激进行归类和识别的认知资源或认知能力。双加工理论则认为，人类的认知加工有两类—自动化加工和受意识控制的加工。其中，自动化加工不受认知资源的限制，不需要注意，是自动进行的。这些加工过程由适当的刺激引发，发生比较快，也不影响其他的加工过程，在形成之后，其加工过程比较难改变。而意识控制的加工受认知资源的限制，

需要注意的参与，可以随环境的变化而不断进行调整。

(2) **感知过程中的信息传递**。研究认为，人的信息传递能力是有限度的。“在最理想的条件下，人的传信能力的实际上限似乎处于 25 bit/s 左右，至今无人声称最高值能达到 40 bit/s”。人的信息传输速率也是有限度的。所谓信息传输速率是指人在单位时间内能传递的信息量。由于实验条件不同，人们所得的信息传递率也不完全一致。一般认为，人的通道容量约为 7 bit 左右，即人每秒最大可传递 7 bit 左右的信息量。但实际上，人的信息传递率要远远高于 7 bit，这是因为作用于人的感官的外界刺激往往都是多维度的。

(3) **感知过程中的信息整合加工**。研究认为，人的知识经验和现实刺激都是产生知觉所必需的。人的知觉过程中所包含的信息加工方式主要体现为“自下而上”的加工和“自上而下”的加工两种方式。“自下而上”的加工是指，由外部刺激开始的加工，通常先对较小的知觉单元进行分析，然后再转向较大的知觉单元，经过一系列连续阶段的加工而达到对感觉刺激的解释。“自上而下”的加工是指，知觉是由有关知觉对象的一般知识开始的加工，由此可以形成期望或对知觉对象的假设。一般来说，在人的知觉活动中，非感觉信息越多，他们所需要的感觉信息就越少，因而自上而下的加工方式将占优势；相反，非感觉信息越少，就需要越多的感觉信息，因而自下而上的加工方式将占优势。

整合加工也需要辨识。辨认能力是指当单个的刺激呈现而不与其他刺激作比较的条件下，感觉器官所具有的辨认能力。不同的人，对不同的感知觉，辨认能力也不相同。

(4) **感知过程中的记忆和识别**。记忆就是存储各种知识和信息以便下一步采取适当的行动。记忆过程中有三个环节：① **识记**。相当于信息的输入和编码过程，也就是使不同感官输入的信息，经过编码而成为头脑可接受的形式；② **保持**。相当于信息的贮存，即信息在头脑中被再加工整理，使其成为有序地组织结构，以便贮存；③ **再认和回忆**。再认和回忆相当于信息的提取，编码越完善、组织越有序，提取也就越容易，反之，提取越困难。感知过程中有很多现象都和记忆有关。知觉是感觉接收的信息被记忆保存后产生的，也首先是对感觉信息的记忆。其次，知觉又是对感觉信息的简化，并需对再次接收到的信息进行识别。

5.1.7 人类视觉的感知机理

5.1.7.1 人类感知的一般生理机制

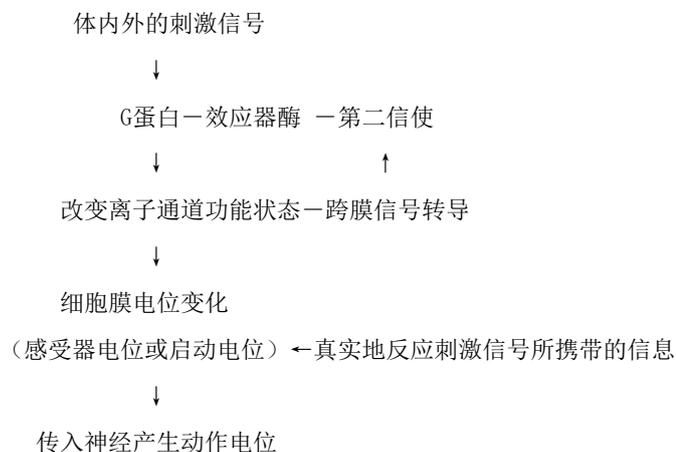
从生理机制的角度考虑，感觉的产生过程，通常是一个客观事物的刺激引起神经系统的生理活动（信息加工），从而产生感觉体验的过程。感觉的产生，主要是基于感知系统的活动。感知系统是由感觉器官、传入神经和大脑皮层各感觉中枢所组成的具有特定功能的形态机能结构。从信息加工的角度看，感觉主要是大脑皮层感觉中枢对由感觉器官提供的各种信息进行加工的过程和结果。

1. 感觉器官专门化

所谓感觉器官专门化是指，人的不同感觉器官只接受特定的、适宜的刺激而产生相应感觉的现象。为什么一种感官会只产生一种感觉呢？德国生理学家缪勒曾提出“神经特殊能量说”，认为每种感觉神经都有自己特殊的能量，这种能量导致每种神经的性质不同，从而每种感觉神经都只能产生一种感觉，而不能产生其他的感受。根据这一理论，他接下来判断：感觉的性质并不是来源于外部的刺激的属性，而是外部刺激激活感官后神经系统释放出一种特殊的能量，这种能量被神经系统感知到，从而产生的感觉。因此，感觉是自身神经系统对自身变化（能量的变化）产生的一种主观上的知觉。尽管这种说法未必准确，但也有一定道理。感觉本质上是主体的感受。

2. 感受器的换能作用

感觉器官的感受器能把作用于它们的刺激能量转变成传入神经的动作电位，这种作用称感受器的换能作用。我们称感受器细胞产生的局部电位为感受器电位，称感受神经末梢上的局部电位为启动电位。这一转换过程通常为：



3. 感受器的编码(coding)功能

感受器把刺激所包含的环境变化信息传入大脑的过程，是一个信息编码和传递的过程。对刺激性质(“质”)的表达，主要依靠“专用线路→脑特定部位→特定感觉”。而对刺激的质(性质)的编码，主要决定于刺激的性质，被刺激的感受器的种类和传入冲动所到达的大脑皮层的特定部位。由于机体的高度进化，某一感受器只对某种性质的刺激起反应，产生的冲动将循特定的途径，到达特定的皮层结构。所以，特定感觉的引发有专门的感受位点和专用的传输线路。刺激强度(“量”)的表达，则主要靠感受器将刺激的强度信息转换为电位的幅度，进而转换为参与电信息传输的传入神经[Nf]的动作电位[AP]的频率的转换过程。对刺激的量(强度)的编码将决定于：单一神经纤维上动作电位的频率和参与信息传输的神经纤维的数目[如：触、压觉]等。

5.1.7.2 认知神经科学对人类视觉感知的认识

认知神经科学认为，视觉是人类视觉感知系统的功能。人类的视觉感知系统包括眼睛(视网膜)、视神经、外膝体(lateral geniculate nucleus)和视皮层等。其主要任务就是感知和理解视觉信息。其视觉感知可以分为两个阶段：受到外部刺激接收信息阶段和解释信息阶段。一方面，眼睛和视觉系统的物理特性决定了人类无法“看到”某些事物；另一方面，视觉系统进行解释处理信息时又可对不完全信息发挥一定的“想象力”。

人类视觉感知系统包括折光系统、感光系统和视觉理解系统。其中，从感光系统到视觉理解系统的生物组织关联系统如图5.1.7所示。

5.1.7.4 人类感光系统—视网膜的结构和感光机制

1. 视网膜生理结构

人类的感光系统主要是视网膜。视网膜主要由视杆细胞、视锥细胞和神经节细胞构成。视杆细胞（rod）主要负责暗视条件下的视觉和运动检测；视锥细胞（cone）主要负责颜色视觉和敏锐性。它有一个复杂的层次结构，共分十层，（可简化为四层），详见图5.1.8。各分层是：

（1）色素细胞层：不属于神经组织，含色素颗粒和VitA，对感光细胞有保护和营养作用。与其它层易发生剥离。

（2）感光细胞层：视杆细胞、视锥细胞层。

（3）双极细胞层

（4）神经细胞层（由外至内）

（a）色素细胞层；

（b）感光细胞层；

水平细胞

（c）双极细胞层；

无长突细胞

（d）神经节细胞层。

各细胞之间的联系包括纵向联系和横向联系。其中，纵向联系有聚合式联系和单线式联系。聚合式联系多见于视杆细胞系统，这使其能总和多个细胞的感知，但无精细分辨能力。单线式联系多见于中央凹处视锥细胞，使其视敏度高，感觉“精细”。横向联系主要是水平细胞和无长突细胞。联系方式包括化学突触和电突触。

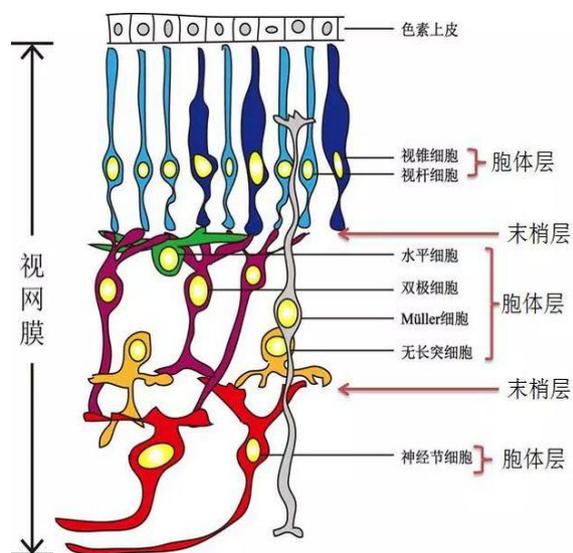


图5.1.8 视网膜中各类细胞的排列示意图

视杆细胞和视锥细胞在视网膜上是非均匀分布的。黄斑(视网膜的中心)附近没有视杆细胞而从黄斑开始到边缘的范围内，视杆细胞呈从疏到密分布。视杆细胞在可见光谱的范围内，对微小变化的光线非常敏感；可以接收的光强几乎是人工光学传感器可接收光强的理论下限。这样宽的工作范围是到目前为止的任何一种人工光学传感器所无法实现的。由于杆状细胞分布在黄斑的外侧，在“暗

适应(dark adaptation)”过程中，为了让尽可能多的杆状细胞参加工作，眼睛必须要把瞳孔张开，而要把瞳孔张开需要一个较长的调整反馈过程(一般需要3-5分钟)，这是为什么从较亮处突然进入暗处要等一会才能看清周围景物的原因。通常会有数百个视杆细胞与一个神经元细胞相连接。视锥细胞的分布则是从黄斑的中心处开始向外密度逐渐减小，中心处密度最高可以达到147000/mm，在视网膜的边缘处，锥状细胞的密度约为16300/mm。只有少量锥状接收器与一个神经元细胞相连接。在暗视条件下作用变弱，在夜晚几乎没有颜色视觉。

表5.1.3 视网膜两种细胞的比较

	视杆细胞	视锥细胞
感光色素	视紫红质(1种)	视紫质(3种)
主司视觉	暗视觉	明视(昼光)觉
对光敏感性	强	弱
视敏度与色觉	低,只能分辨轮廓	高,能辨别物体颜色、细微结构
种系特点	夜间活动动物(猫头鹰)或深水、爆发性运动的鱼类(板鳃类、鳐)	白天活动的动物(鸡)

2. 视网膜的两种感光换能系统

依据视杆细胞、视锥细胞在视网膜分布的不同，所含的感光色素的不同，以及与双极细胞及神经节细胞的联系方式的不同，视觉的二元学说认为，视网膜实际上存在着两种感光换能系统：视杆系统和视锥系统。视杆系统(暗视觉或晚光觉系统)由视杆细胞→双极细胞→神经节细胞构成，其分布愈近周边部愈多，会聚现象明显，感光色素仅为视紫红质。它对光的敏感性高，可感受弱光，无色觉，对物体细小结构辨别能力差。视锥系统(明视觉或昼光觉系统)由视锥细胞→双极细胞→神经节细胞构成，其分布愈近中心部愈多，会聚少，甚至单线联系，感光色素有三种。它对光的敏感性差，专司昼光觉、色觉，对物体的细小结构及颜色有高度的辨别能力。它们独立又相互协作，共同完成人类的视觉感知功能。

表5.1.4 视网膜的两种感光换能系统

	视杆系统	视锥系统
对光的敏感度	高	低
分辨能力	低	高
辨别颜色能力	无	有
功能	晚光觉 (暗视觉)	昼光觉 (明视觉) 色觉

3. 视杆细胞的感光换能作用—光信号转换成神经冲动

图 5.1.9 是视杆细胞的超微结构。视杆细胞的感光色素是视紫红质(rhodopsin)，外段是其光电转换的关键部位。

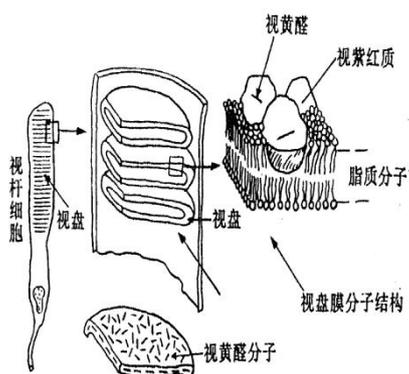


图 5.1.9 视杆细胞的超微结构

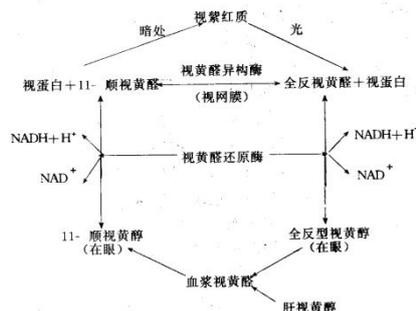
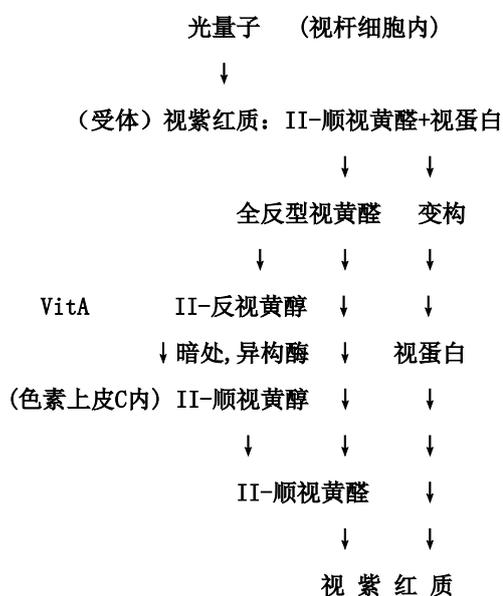


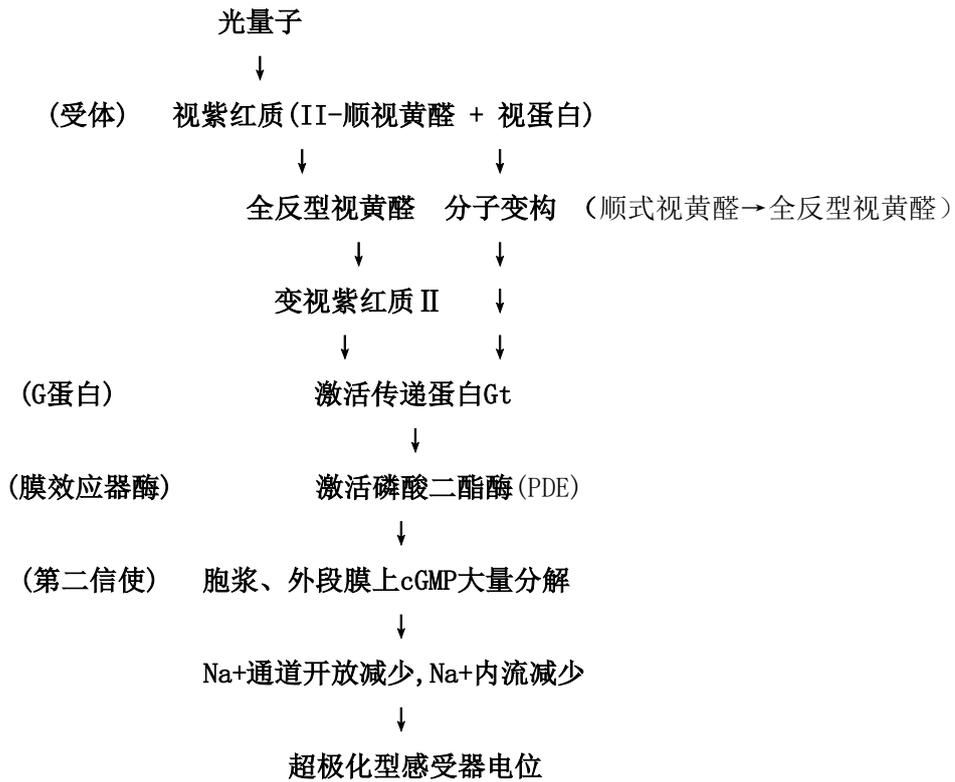
图 5.1.10 视紫红质的光化学反应及代谢过程

视紫红质的光化学反应及代谢过程如下：视网膜上的视觉细胞含有数以千万计的视紫红质分子，分布在由细胞膜折叠而成的近千个膜盘上。每个视紫红质分子都由 11-顺视黄醛和视蛋白缩合而成（三种视锥细胞和视杆细胞中的视蛋白结构有所不同，对不同波长的光敏感性也不同）。视觉细胞对光照的反应是极其灵敏的。受到光线照射时，折叠的 11-顺视黄醛分子链伸直变为全反视黄醛，并与视蛋白分离，造成视紫红质的漂白，这一过程称光分解反应。每个视紫红质分子的光分解反应，可以直接激活几个分子的三磷酸鸟苷(GTP)与 G 蛋白相结合的反应，使光化学效应得到数倍的初级放大。GTP 与 G 蛋白的结合，又激活磷酸二酯酶(DPE)，造成数以万计的 cGMP 分子的失活，使光化学反应得到数以万倍的二级放大。光分解反应及放大的过程，从视觉细胞内电位变化的角度来考察，表现为电位突然升高。根据测定，感受细胞内电位与光刺激强度的对数成比例，属非线性关系。当光线停止照射时，视觉细胞很快复原，处于静息状态(-20 毫伏)。

视紫红质的光化学反应及代谢过程



关于视杆细胞的生物电活动，有研究显示，未经光照时，存在静息电位 (RP)：-30~-40mV（细胞处于相对去极化状态），细胞外段，Na⁺内流，K⁺外流；细胞内段，钠泵工作。受到光照时，产生超极化的感受器电位；有一个“外段膜上cGMP分解→ 导致Na⁺内流下降→ 产生超极化型感受器电位”的过程。视杆细胞感受器电位的产生机理如下：



4. 视锥系统的换能和颜色视觉

视锥细胞感受器电位产生的机制为：光线→视锥细胞外段视锥色素变化→感受器电位变化（超极化）→神经节细胞动作电位产生。

视锥细胞可感知不同颜色视觉的机理为：视蛋白结构稍有不同→三种视锥色素→三种视锥细胞（蓝、绿、红视锥细胞）。

而视锥细胞的换能机制与视杆细胞外段相似。

颜色觉知的生理基础是视锥细胞。视锥细胞含有对光做出反应的感光色素。由Thomas Young提出，并经Hermann von Helmholtz进一步发展的视觉的三原色理论[三色原理]认为，人类视觉系统中的三种不同的视锥细胞，分别含有对红、绿、蓝光敏感的视色素。视觉系统中也存在三类分别对不同波长的光做出强烈反应的神经，分别对应不同视锥细胞：第一类，短波长—蓝色敏感；第二类，

中波长—绿色敏感；第三类，长波长—红色敏感。光线使三种视锥细胞分别产生不同程度的兴奋，信息传至中枢，即产生某种色觉。在一般情况下，外界颜色信息会激活两类甚至三类视锥细胞，产生不同的色觉是由于三种视锥细胞兴奋程度的比例不同，如：若比例为0:0:97，则产生蓝色感觉；若比例为99:42:0，则产生红色感觉；若比例为31:67:36，则产生绿色感觉；若比例为1:1:1，则产生白色感觉。Dartnall等曾于1983年验证了这一假说，但每类视锥细胞都可在一个较大波长幅度内起作用。

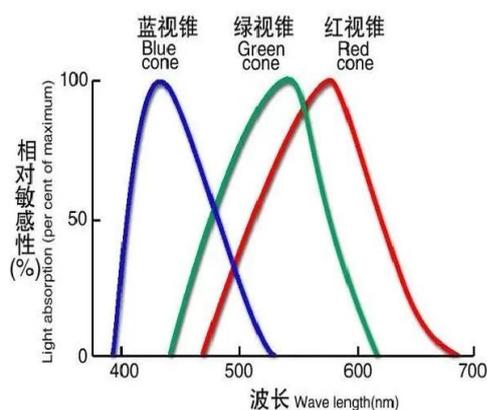


图 5.1.11 三种不同视锥细胞的光谱相对敏感性

颜色恒常性是照度变化时目标仍被知觉为同一种颜色的倾向。原因是颜色视觉并不完全由目标反射回来的波长决定。其原因包括：（1）色觉适应[Chromatic adaptation]。是对一给定颜色的敏感度随时间而降低的现象。（2）经验主义的作用。如习惯认为“红苹果”，“绿叶”等。（3）其他线索的暗示，如邻近区域颜色的影响等。

5.1.7.5 视觉理论—对人类视觉机制的不同研究和解说

视觉系统是人类最重要的感知系统，也是一个最奇妙的系统。揭示人类视觉的生理和心理机制一直是一个令人感兴趣的研究课题。为了解释人类的视觉机制，人们进行了大量的研究，也提出了不少的解说。其中，一些有代表性的观点包括：

1. Marr 的视觉计算理论。David Marr 是计算神经科学的先驱。Marr 认为，视觉实际上是一种信息处理过程，一种分层次的、在各个阶段有不同信息表达方式的、模块化的和单向的（由低到高）的处理过程，而其最终目标，则是建立一个（以某种方式给出的）关于外部世界的描述。其过程有三个层次：（1）将原始图像转换成基本要素图；（2） $2\frac{1}{2}$ 描述，即以观察者为中心，物体的可视表面、深度与轮廓地描述；（3）以物体为中心的三维物体的形状与空间位置的描述。各个层次都需要从三个方面去研究，即计算理论、算法描述和硬件实现。

2. 并行的视觉系统和模块。生理学和组织学的实验表明，视觉信息是由一些并行系统加工处理，这些系统分别处理形状、颜色、运动等信息。加工具有模块特性。如今，模块已经成为了研究人脑功能的重要概念之一，模块的特性包括信息的封闭性、通路的专一性等。与此同时，“双分离”也取代“联合”成为近年认知神经心理学主要的研究方法，视觉信息处理具有双分离现象。物体形状和空间位置的知觉是人类视觉最重要的任务，这两项功能是由大脑皮层中两个不同的系统完成。这已有大量的神经心理学实验和动物行为及解剖学实验的验证。

3. 视知觉组织[整合]理论。Roth认为，知觉(perception)是“把来自感觉器官的信息(传感数

据)转化为对目标、事件、声音和味道等的体验的过程”。Wilson和Boaz提出了知觉组织的一个理论架构,认为知觉组织由四个部分组成:层次表示、基元的探测、图像各部分间相似性和差异性的探测、图像各部分的分组机制。

层次表示 - 它描述了知觉组织许多层次上“部分”到“整体”的关系:一个层次上的“整体”常是下一层的“部分”。然而有证据表明:层次表示生成的过程并不严格遵循从局部到全局或从全局到局部的方式执行。

基元的探测—感受野匹配。视觉皮层的简单细胞和复杂细胞的感受野近似于一个过滤器。一个简单细胞的兴奋反应表明存在一个具有一定位置、朝向、大小和相位类似于它的感受野属性的局部图像图案。-感受野匹配也可能出现在除主视觉皮层外的其它区域,可能包含除了局部亮度或色彩轮廓外的其它图像结构的探测,例如相位不连续结构和简单的极端对称图案。感受野匹配为后续的知觉组织机制提供基元。

相似性/差异性探测机制。 **变形匹配**: 其思想是把一个图像区域用作与另一个图像区域比较的变形模板。如果应用一个合理的变形后,区域可很好的匹配,那么图像区域间的的一定的相似性被探测。而且,产生最佳匹配的某个变形提供了图像区域间差异性的信息。 **属性匹配**: 另一个比较分组的有名的方法是测度这些分组的属性,然后通过被测度属性上的差异表示各分组间的差异。这些属性可能是简单的测量,如一个分组中基元的颜色、位置、朝向或大小的均值和方差,或者可能是更复杂的测量,如不变形状矩。

分组机制。根据图像各部分间的相似性和差异性,这些部分可组织成整体,或者被重新分割成不同的部分的集合。知觉分割(Perceptual segregation)是最基本的知觉过程之一,可分辨哪些信息应该属于一个整体进而把这些信息组织成一个独立目标的能力。如图形-背景分割,目标或视野的某部分被知觉为图形,则其它不是注视中心的部分就是背景。但图形/背景是相对的,如图5.1.5的“鲁宾之壶”图形,既可知觉为花瓶,也可知觉为两个脸部剪影。格式塔知觉组织理论认为,知觉元素整合发生在视觉处理的早期,研究表明:可能在深度知觉加工之后。该理论强调自下而上(刺激驱动)的加工,认为目标信息不影响分割。已有实验表明,自上而下的加工部分指导着分割过程。

5.1.7.6 视觉信息的神经处理机制与过程

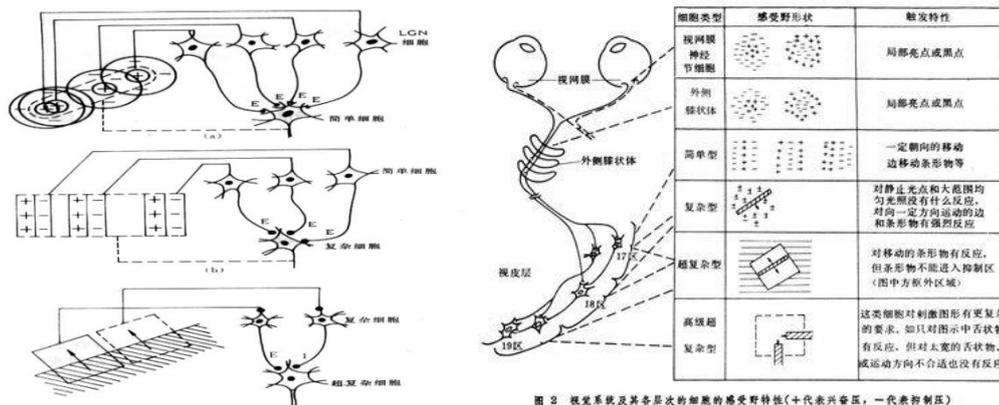


图 5.1.12 视觉系统各层次细胞的感受野及其特点

对视觉系统内在机理的深入揭示是神经生理学对人类视觉系统的研究。神经生理学的研究认为,在人脑中存在两种不同的视觉信息处理系统。一种是关于物体在空间的位置,即“在哪里”的处理系统;另一种是关于物体的属性,即“是什么”的处理系统。这两个系统有着不同神经[解剖]通路。

背侧通路主要包括枕叶和顶叶后部，负责物体“在哪里”的问题；腹侧通路主要包括枕叶和颞叶下部，负责物体“是什么”的问题。在人的认知活动中，两条通路并非单独行动，而是相辅相成，协同工作，共同参与视觉过程的完成。

但人类对世界的认知，绝不仅停留于“在哪里”和“是什么”的水平，而是包括对物体形状、颜色、运动和深度及各种规律等多方面内外属性的再认知。

视通路中任一神经元都有其各自的视野或在视网膜上有一个代表区域，这个对应区域就是该细胞的视觉感受野（receptor field）。也许，视觉感受野的研究是打开视觉功能的钥匙。

1. 视网膜与外膝体[LGN]神经元的视觉通路和感受野

研究认为，视觉信息在视网膜复杂的细胞构筑和化学构筑的网络中会进行初步处理，被分解为不同的“像素”。在光刺激作用下，由视杆和视锥细胞产生的电信号（超极化型慢电位变化），有一个在视网膜内经过复杂的神经网络的传递（这个过程有很多神经递质的参与），由神经节细胞以动作电位的形式向中枢传送的过程。

视网膜包含着大细胞(M型)和小细胞(P型)两类神经节细胞。大细胞把来自视锥细胞的信号叠加，投射至外侧膝状体的大细胞层；小细胞则处理和转换颜色信号，投射至外侧膝状体的小细胞层。自外侧膝状体不同层细胞投射至视皮质，存在着下述的平行信息处理通道：

(1) **大细胞(M)系统**。其感应域大（对应视网膜上的感光细胞量多），可实现轮廓和运动检测，处理运动和空间信息，也与立体视觉有关。其信息处理通道是：由视网膜M型神经节细胞至外侧膝状体的大细胞层，再到第一视区的4Ca-4B-6，然后经由V2粗条纹区→V3→中颞区(MT, V5)，最后到达内上颞区(MST)及顶叶的与空间视觉功能有关的区域。

(2) **小细胞-小杆间(P-I)系统**。其感应域小（对应视网膜上的感光细胞量少），主要处理形状信息，并在一定程度上参与颜色和细节信息的处理。其信息处理通道是：从视网膜P型神经节细胞到外侧膝状体的小细胞层，然后到第一视区的4Cβ，然后经由2/3亚层中的小杆间区→V2区细条纹区→V4，最后至下颞叶。这一系统神经元对朝向敏感，对于形状感知十分重要，对深度知觉也很重要。

(3) **小细胞-小杆(P-B)系统**。处理颜色信息。其信息通道是：由外侧膝状体的小细胞层，经由V1中的2/3亚层的小杆区→V2区细条纹区→v4→下颞叶。

研究认为，几乎所有的视网膜神经节细胞都具有同心圆结构的感受野。神经节细胞拮抗性的同心圆构型，主要与反差感受，也就是与视野中光亮水平和其周围的平均照明水平进行比较的功能有关。

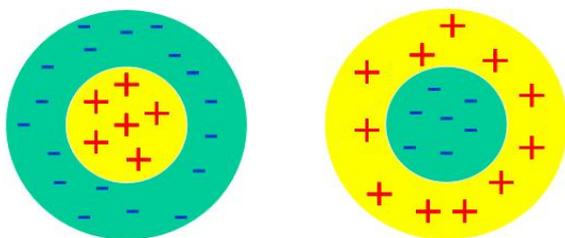


图5.1.13 不同类型的同心圆式感受野

神经节细胞的感受野大小各异。黄斑区附近神经节感受野小，外围神经节感受野更大一些，相邻神经节感受野有重叠。神经节细胞的感受野在反应敏感性上的空间分布呈同心圆颞颞形式，即在感受野的中心和外围，刺激对细胞响应的影响正好相反。有On-中心型和Off-中心型。On-中心型由

中心兴奋区和外围抑制区构成；当小光点单独刺激其兴奋区时，细胞有较强的响应，但如果光亮点面积增大到外围，则其相应会受到一定程度的抑制。Off-中心型正好相反。

外膝体神经元的感受野和神经节细胞相似，也显示同心圆式的、中心和周边相拮抗[颞颞]的反应特点，但其中心区和周边区的拮抗作用更明显，提示其继续抽提有关反差信息的作用。外膝体细胞接受在视网膜上相互十分靠近的几个节细胞输入的会聚。还有一定的朝向选择性。

2. 从外膝体到视皮层的信息通道和信息处理

人类的各种感觉器官感知着外部世界的各种信息，然后通过神经脉冲的形式传递到大脑。大脑是人类意识活动的中心，在我们意识或意识不到的情况下，对身体的一些活动进行处理。大脑也是各类感觉信息的处理中心，对各种感知信息进行处理。

大脑处理视觉信息的主要部位是视皮层。现知与视觉有关的大脑皮层多达 35 个。外膝体处理后的视觉信息首先传到皮层 17 区（V1 区或纹状体区）。外膝体细胞轴突末梢终止于第 4 层内，然后再与 2/3 层细胞，第 5, 6 层细胞建立突触联系。

初级视觉皮层[Primary Visual Cortex]也称为V1区。其功能主要是负责创建视觉空间的3D映射基函数，提取形状、方向和色彩等信息。具有局部性、方向性和带通性。初级视觉皮层的神经元，只有少数细胞为同心圆-颞颞模式，对光点反应；大多数细胞对光点刺激没有反应，而对一定的形状刺激敏感，因此被称为特征检测器。它们对方向性条形刺激也有反应，当具有一定朝向和宽度的条形刺激出现在其感受野的特定位置时，细胞响应最强，偏离时反应急剧降低甚至消失。Hubel和Wiesel认为，视觉皮层加工是基于直线/边缘的。

V1和V2区存在一些复杂细胞，其感受野比简单细胞更大。它们或者是变换不变的简单特征，如位置(平移)、朝向、尺度不变性，多数复杂细胞对感受野中刺激的位置不敏感；或者是简单细胞的组合，如角点检测器。

关于视觉信息处理的机制，目前是综合了“等级学说”和“并行处理学说”两学派的理论，认为视觉系统中信息处理是既平行又分级串行的。认为，在大脑皮层内，视觉信息的神经处理，是由简单细胞(Simple cell)到复杂细胞(Complex cell)，再到超复杂细胞(Hypercomplex cell)，再到更高级的超复杂细胞(High-order Hypercomplex cell)这样一个由简单到复杂、由低级到高级的过程；是一个复杂的动力学过程。它具有以下特点：(1) 双通路—腹部通路(What通路)和背部通路(Where通路)。(2) 层次结构：视网膜→外膝体→视皮层(初级→高级)。(3) 反馈连接。大部分连接都是双向的，如，初级皮层↔高级皮层。期待、焦虑等高级情感也会对底层的神经元活动产生影响。(4) 感受野等级特性。视觉通路上各层次神经细胞，由简单到复杂，所处理信息分别对应于视网膜上的一个局部区域，细胞层次越高，其所辖区域越大。(5) 选择注意机制：分层次处理，同层次内并行处理，且具有相似的感受野形状和反应特性，并完成相似的功能。(6) 其学习机制是自组织和无监督的。

Hubel和Wiesel提出的中枢视系统对图像信息的逐级抽提学说认为，视系统在不同水平具有不同类型的细胞，它们具有不同的反应特性，从而在图像处理过程中发挥不同的作用。视皮质细胞绝大多数不再具有中心-周边拮抗的同心圆式感受野，不再对小光点做出明显的反应，而是对特定朝向的线条产生反应。

Hubel和Wiesel把视皮质细胞分为简单细胞、复杂细胞、超复杂细胞3大类。认为，较复杂的细胞汇集来自较简单细胞的信息，并予以重组。简单细胞的感受野通常呈狭长的条状，分成两个或多

个空间上平行排列的、可严格分辨的亚区，其反应相互拮抗。复杂细胞具有简单细胞的基本特征，但不严格要求光刺激落在某个特定的位置上，只要在感受野内、具有一定朝向即可。复杂细胞的信息意义是关于朝向和运动的抽象概念，而不管它具体位置在哪里，它的行为就像是它接受来自若干个简单细胞的会聚。超复杂细胞除了要求光刺激有一定的朝向运动方向外，还对刺激的长度有严格的要求。超复杂细胞的性质，取决于两个或多个复杂细胞输入的重组，这些复杂细胞具有相似的感受野性质并作直线状排列它们中有的兴奋性，有的是抑制性，并共同会聚到一个超复杂细胞上。

综上所述，我们可以认为，从视网膜开始到视皮质，视觉系统对感受野的分析是逐级复杂化，其信息是逐渐抽象和整体化的。

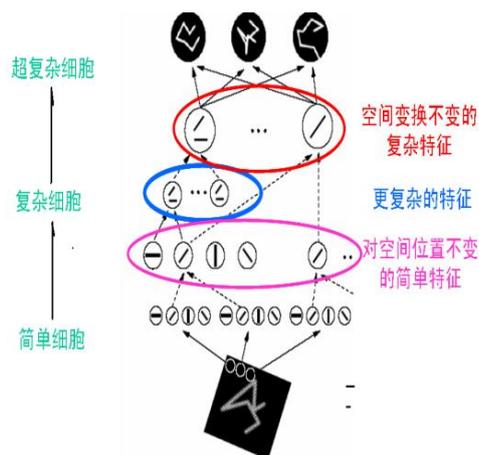


图5.1.14 视觉信息的处理机制[双半球与视交叉] 图5.1.15 视觉信息的神经处理机制

然而也有一些研究对等级学说的逻辑性提出了否定。比如，Schiller认为，超复杂细胞的功能只是视皮质抑制性网络的表现。又有研究表明，外膝体细胞可越级直接向复杂细胞提供输入，从而认为视网膜对图像信息进行有限的逐级抽提外，还存在平行的处理过程。特别是高级视系统部分，正是由于若干并列视区的共同活动，才能将各部特征综合，得以辨认图像。

一般认为，视觉信息是经由平行的两条通道，即X通道和Y通道，传递到外膝体，然后到达初级视皮层的。Van Essen等提出，从初级视皮层至少发出两条主要的通路投射到不同的纹状体区并处理视信息的不同方面。其中一条为X通路的继续，由V1区投射到V2区再投射到V3、V3a和V4区以及下颞皮质，这条通路主要与色觉以及形状感知有关。另一通路是Y通路的继续，由V1区经V2、V3区，最后投射到V5区以及后顶皮质，该通路主要与图像运动的感知及刺激的注意有关。两条通路在不同水平上发生相互联系和相互影响，产生大量的反应类型，从而作为分析视觉各种复杂细节的根视觉各种复杂细节的根据。

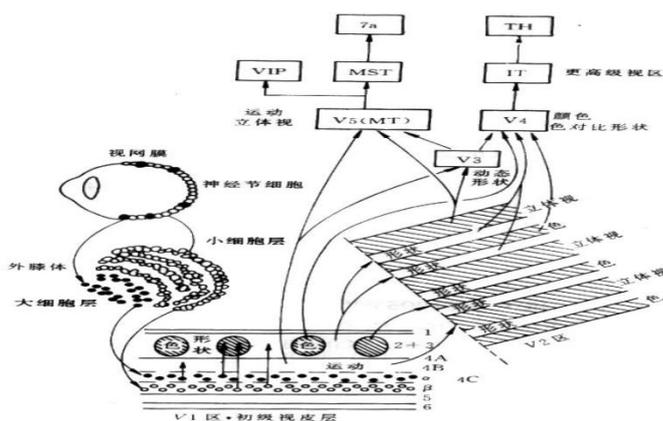


图 5.1.15 既平行又分级串行的信息处理机制

5.1.7.7 视觉研究—未解决的问题与未来的研究

有关视觉机理的研究已为我们揭示了人类视觉的不少秘密，使我们逐步了解了人类视觉的本质和机理。但是，由于视觉问题的复杂性，对于视觉，我们还有很多未解之谜。比如，双半球与视交叉问题。人类的两只眼睛的视神经为什么是分别连接在大脑的两个不同的半球上(左半球和右半球)而不是连在一个半球上？为什么眼球与视神经系统又是交叉相连而不是直线相连的呢？目前，对此问题我们还解答不了。有人提出：人的深度知觉能力是由视差比较计算而生成的，而视差的计算是基于左、右两个半球所得到的两眼视网膜的二维投影图象信息而实施的。但这仅是对前半个问题的回答，而且仅是假说。至于为什么眼球与视神经系统是交叉相连而不是直线相连的问题，目前还没有特别令人满意的解释，还是一个有待解决的问题。再如，视觉与意识的问题。Crick提出，脑内大量的“运算”是下意识进行的，而人们意识到的则是“运算的结果”。隐特征和显特征两者包含同样的信息，但隐特征需要进一步的加工以使其外显或清楚的表现出来。意识与注意和短期记忆有关。视觉的产生肯定是有意识加工的结果，但人类的意识是如何使人产生出丰富多彩的视觉的，我们至今还知道的不多。认知神经科学的研究已为视觉的研究开辟了新的方向。它对关于视觉本质的研究，关于视觉的从单个神经元到整个神经回路的机理研究，都提供了新的方法。但对视觉未来的研究，也许需要行为科学、神经科学、计算科学共同的努力。

5.1.8 人类的听觉感知机理

5.1.8.1 人类的听觉系统及其传声功能

人类的听觉系统，包括耳朵[外耳、中耳和内耳]、听神经和皮层听觉中心。与视觉系统相类似，也可认为听觉系统是由声波汇集系统、声波感受系统和声音感知系统组成。

听觉系统最突出的器官是耳朵。其主要功能就是汇集和传导声波，并将接受到的声波转换为相应的听神经的动作电位。其中，外耳和中耳的主要功能就是传音—将声波振动的能量传至内耳。外耳的耳廓可以集声和帮助判断声源，外耳道具有传声和通过共鸣产生扩音的作用。中耳的鼓膜和听骨链除具有传声功能外。中耳在传音过程中还具有增压作用：声波由鼓膜经听骨链传至(内耳)卵圆窗时，其振动的压强增大。中耳可增压的机制在于其特殊的结构。由于鼓膜与卵圆窗膜的面积之比约为 17.2:1,可使压强增大 17.2 倍;听骨链杠杆中长臂(锤骨柄)与短臂(砧骨长突)之比约为 1.3:1,可增压 1.3 倍;因而它们共可增压约 $17.2 \times 1.3 = 22.4$ 倍。

中耳肌的功能，正常情况下，鼓膜张肌有利于高音调声音传导，镫骨肌有利于低音调声音传导。

声强大于 70dB 时：鼓膜张肌和镫骨肌收缩，使中耳传音效果减弱，保护耳蜗。而咽鼓管的功能，一是保持鼓室内压与外界大气压压力平衡；二是可对中耳起到引流作用。

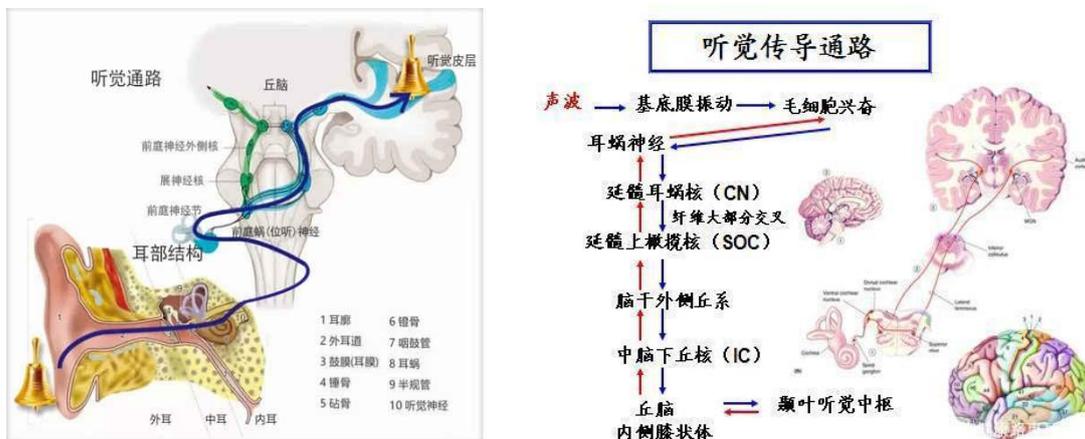
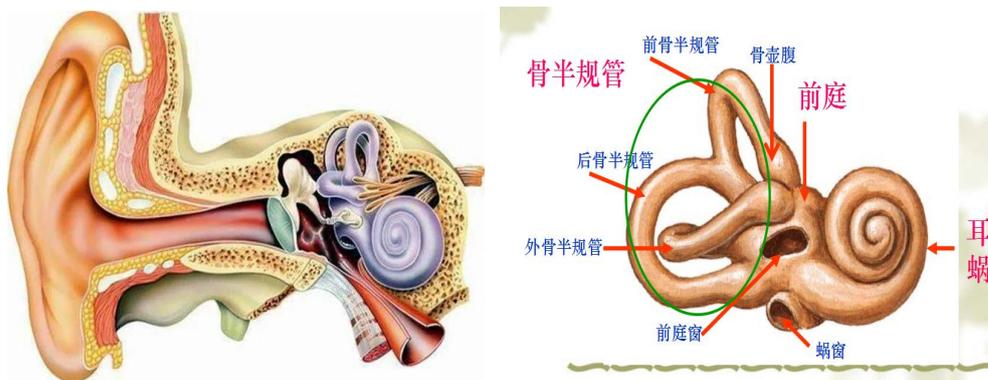


图5.1.16 听觉系统机体传声通路

声波传入内耳的途径有气传导和骨传导。气传导是声波传导的主要途径。声波经外耳道引起鼓膜振动，再经听骨链和卵圆窗膜进入耳蜗。其主要传导途径是：**外耳道→鼓膜→听骨链→卵圆窗膜→内耳**；次要传导途径是：**外耳道→鼓膜→鼓室空气→圆窗膜→内耳**。骨传导在正常情况下作用甚微，声波直接引起颅骨的振动，再引起位于颞骨骨质中的耳蜗内淋巴的振动。其传导途径是：**声波→颅骨振动→耳蜗内淋巴振动**。

5.1.8.2 内耳(耳蜗)的感音换能功能

内耳又称迷路，由耳蜗和前庭器官组成。耳蜗是内耳的主要器官。其基底膜更是声音感受器——柯蒂器的所在部位。其主要功能是把声波的机械能转换成听神经上的动作电位。前庭器官则与平衡感觉有关。



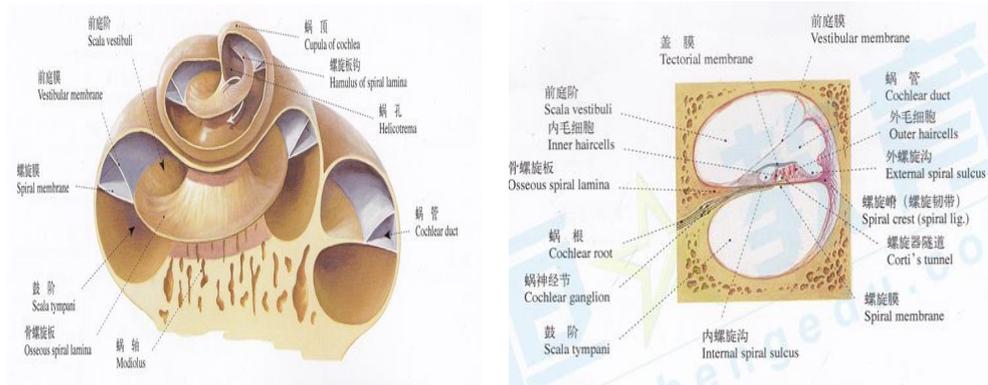


图5.1.16 耳蜗及其细部组织

耳蜗的感音换能功能首先靠的是基底膜振动。其振动传递过程是：声波→卵圆窗膜内移（外移）→前庭阶中外淋巴→前庭膜和基底膜下移（上移）→鼓阶中外淋巴→圆窗膜外移（内移）。

耳蜗的生物电现象。耳蜗的生物电现象有三种：未受声波刺激时的耳蜗的静息电位；受声波刺激时耳蜗产生的微音器电位；耳蜗微音器电位引发的耳蜗神经的动作电位。

耳蜗的静息电位：内淋巴电位为+80mV，其原因在于泵入的 K^+ >泵出的 Na^+ 。毛细胞静息电位为一70至一80mV。其顶端膜电位差160mV，毛细胞内电位-80mV，其它部位膜80mV。

耳蜗的微音器电位说的是，当耳蜗受到声波的刺激时，在耳蜗及附近的结构中，可记录到的一种特殊的电变化，其特点是它的波形和频率与作用的声波完全相同，这种电变化称为耳蜗的微音器电位。其产生是多个毛细胞受刺激产生感受器电位的总和。其特点是没有潜伏期和不反应期、不易疲劳，不发生适应现象，对缺氧和深麻醉不敏感，有等级性和方向性。

耳蜗神经的动作电位是耳蜗对声音刺激的一系列反应中最后出现的电变化；其作用是传递声音信息。耳蜗的柯蒂器有（内、外）毛细胞，毛细胞顶部膜的听毛是感受声音的主要感受器。其感音换能过程是：基底膜振动→毛细胞兴奋→感受器电位。

听神经的动作电位有：（1）单一听神经纤维的动作电位：对频率表达由特征频率的听神经产生动作电位反映；对强度的表达由特征频率听神经上动作电位的频率和参与信息传输的听神经数确定。

（2）听神经复合动作电位：反映整个听神经的兴奋状态，其振幅取决于声音的强度、起反应的听神经f数等。

耳蜗与蜗神经的生物电现象可归结为：耳蜗在没有声音刺激时存在静息电位；当有声音刺激时，在静息电位的基础上，使耳蜗毛细胞产生微音器电位，进而触发耳蜗神经产生动作电位，该神经冲动沿着蜗神经传入听觉中枢，经分析处理后从而产生主观上的听觉。

5.1.8.3 听觉的产生与辨识机理

听觉系统就像视觉系统一样，要利用以前的经验来解释输入。听觉系统把输入分为三类：噪声和可以忽略的不重要的声音；被赋予意义的非语言声音，如动物的叫声；用来组成语言的有意义的声音。

听觉产生的机理可归结为：基底膜振动→盖膜与基底膜交错移行→毛细胞听毛受到剪切力而弯曲→毛细胞顶部膜中钾通道开放↑[或↓]→由内淋巴流入细胞内的 K^+ ↑[或↓]→毛细胞发生去或超极化式的感受器电位→听神经动作电位→大脑皮层听觉中枢：产生听觉。

而对声音的辨析则有不同的说法。对音调的辨别，行波理论认为，不同频率的声波引起的行波

都是从基底膜的底部开始以行波的方式向耳蜗顶部传播，但不同频率的声波，行波传播远近及产生最大振幅的部位不同：频率愈低，传播愈远，最大振幅部愈近顶部；频率愈高则愈近底部。对声音强度的辨别：听神经冲动的频率与参与的神经纤维的数目。对声源方向的辨别：根据声波到两耳的时间差及强度差来辨别。

Lindsay 和 Norman 则认为，对声音的感知应是一个“材料-驱动 (Data-Driven)”和“概念-驱动 (Conceptually-Driven)”相结合的加工过程。其中，“材料-驱动”指的是对言语材料在感知水平上进行的加工过程，它是由下而上的分析过程。“概念-驱动”则是在理解水平上进行的加工过程，它是由上而下（从最高的结构概念开始）的分析过程。

5.1.9 人类感知机理—已有的一些见解

心理学理论力图理解大脑、心理、行为和环境之间的决定论关系。其中，心理物理学领域的研究主要研究环境中的物理事件和观察者对这些事件的心理体验之间的关系。观察者对刺激事件的觉察阈限依赖于刺激强度和观察者感觉适应水平的情况。韦伯定律为我们揭示了物理刺激变化和观察者知觉之间的关系。感觉生理学研究的目的是为了了解物理事件转换成能够被大脑接受的事件的途径。研究者已提出从感受器到大脑皮层区域信息的典型传递过程。比如，研究表明：来自视网膜的信息，经过一系列不同水平的加工，抽取事物是什么和在哪里的信息，并将这些信息传递到大脑。颜色知觉首先是对不同波长光的感受，可以分成色调、饱和度和明度三个维度。不同波长的光通过相加或相减的颜色混合产生不同的颜色。颜色视觉的研究既支持三原色理论，同时也支持拮抗加工理论的观点。视觉系统有三种锥体细胞，他们分别偏好不同波长的光。这三种锥体细胞在一个更高的加工水平上进行结合，从而产生了拮抗加工现象。还有，当空气中的化学物质与嗅觉纤毛细胞相结合的时候，嗅觉就会发放神经冲动。对于所有的物种，嗅觉都扮演着调节性行为和其他的重要功能的关键作用。很多食物都是由嗅觉和味觉系统共同作用来品尝的。特定的味蕾产生反应，形成混合的甜、酸、苦、咸等滋味。通过皮肤中的感受器感受压力、温和冷的感觉。由于重力作用，前庭觉会提供头部和身体的方向。动觉会告诉你不同身体部位的位置，并帮助协调自发的运动。伤害性疼痛是对有害刺激的反应。心理背景部分决定着您感觉到有多么疼。

对感知的研究已使我们人类感知的机理有了更深的了解。从系统的角度来看，人脑是一个结构和功能都很复杂的复杂系统。根据生理心理学的研究，我们可以将人脑系统从信息感知的角度在空间展开：其核心部分是前额区、顶-颞-前枕区、颞区，即“联合区”；与核心部分相连的是与语言相关的中枢，如视觉语言中枢、听觉语言中枢、运动性语言中枢、书写中枢等；再外一层是与外感器官、内脏腺体和运动反应器官相连的中枢，如视觉中枢、听觉中枢、各内脏腺体中枢和运动反应中枢等；系统的最外层则是通过神经系统连接的眼、耳等外感器官和内脏、腺体等内感器官，以及与运动反应中枢相连的眼、手、肌肉等运动反应器官等。人脑系统的结构复杂，它与外界的相互作用和自身各部分间的相互作用的过程更为复杂。各感觉中枢感知外部刺激的过程虽不尽相同，但过程相似。为清晰地表达这些相互作用过程中感知的形成，这里谨以视觉感知做一说明。

当人注视某一对象时，通过可见光和眼中晶状体的共同作用，注视对象会在视网膜上形成实像。此时，视网膜上某一部位接受光照的强度和颜色是确定的，相应引起的光分解反应及两级放大后的强度也是确定的。不同部位接受的光照强度和颜色不同，相应引起的光分解反应及两级放大后的强度也是不同的。从整体上看，视网膜上所接受的光照强度和颜色的空间分布是确定的，其空间分布特征即反映了注视对象的形状和色泽；相应地，由光照引起的光分解反应及两级放大后的强度的空

间分布也是确定的，其特征也反映了注视对象的形状和色泽，实际上也就是记录了注视对象的信息。

视网膜接受刺激信息后所引起的生化反应，会迅速引起视神经发生连锁的生化反应。对某一视神经而言，沿着视神经的传入方向，一方面，生化反应沿视神经不断扩展；另一方面，视神经又迅速复原，在视神经中实际形成的往往是一种脉冲式的生化反应。从电位的角度来考察这一过程，视神经内部实际上表现出一种电脉冲：正在发生生化反应的地方，实际电位由静息电位跃迁为动作电位；生化反应过后，随着视神经的迅速复原，电位又很快回归静息电位。视网膜上不同部位的生化反应，会分别引起相应部位的视神经发生生化反应。因此，从整体上看，当人注视某一对象时，视神经束中生化反应强度的空间分布特征，也记载了注视对象的形状和色泽信息。

人脑的视觉中枢有众多的神经元，它们通过突触与视神经束相联，且它们彼此之间也通过突触相联。研究发现，视觉中枢神经元和其他脑神经元一样，内部含有的 S100 酸性蛋白分子比其它细胞高出万倍。S100 酸性蛋白分子中含有两个能与钙离子结合的效应臂，它随时可以与钙离子结合，引起 S100 变构，露出两个疏水基，从而使 S100 蛋白吸引附近的效应蛋白质，并与之结合形成具有生物活性的 S100 效应蛋白复合体。在一定条件下，这种 S100 效应蛋白复合体又会发生离解，还原出 S100 酸性蛋白分子。

有研究认为，S100 发生复合还原反应的条件，与神经元所受的外界作用密切相关。在一般情况下，神经元中 S100 的复合还原反应是随时机的，反应强度也是不确定的。而在生化反应强度空间分布特征确定的一束视神经的作用下，视觉中枢各神经元中的复合还原反应强度则被确定下来，不再随机发生变化。其中，有的神经元受众多突触的影响，且这些影响相互抵消，则处在“抑制”状态，内部不发生复合还原反应；有的神经元受众多突触的影响，这些影响不是相互抵消而是相互促进，则处在“兴奋”状态，内部发生某一强度的 S100 复合还原反应。且有的反应强度相对较强，有的则相对较弱。从整体上看，人在注视某一对象时，视神经束中生化反应强度的空间分布特征，就决定了视觉中枢每个神经元内部 S100 复合还原反应强度，决定了视觉中枢神经元 S100 复合还原反应的空间分布特征。由于视神经中生化反应强度的空间分布特征记载了注视对象的形状、色泽等信息，那么，视觉中枢神经元 S100 复合还原反应强度的空间分布特征，也就记忆了注视对象的原始形状和色泽信息。

从系统的角度来看，当人眼注视某一对象时，视觉中枢神经元 S100 复合还原反应强度的空间分布被确定，各神经元 S100 反应强度不变，恪守自己在整体中的“地位”，表现出某种良好整体“秩序”。且注视对象不同，所形成的整体“秩序”也不同。这样，当人注视某一对象时，在视觉中枢形成的即是与注视对象的形状、色泽相对应的生化反应强度及其空间分布特征确定的区域性特定有序状态，它相应地也就记载和显示出了与注视对象的形状和色泽相对应的特定信息。

以上说明的是视觉中枢是如何感知外界刺激信息的。在人类感知系统中，除了视觉系统外，还有其它感知系统。它们分别能够接受外部世界的声音等刺激信息，感知的机理与视觉系统应是相似的。只是在感知系统中发生的生化反应有所不同。例如，当人耳注意某一声音时，耳中众多听觉细胞的生化反应强度的空间分布被确定，相应听觉中枢神经元 S100 复合还原反应强度也被确定，形成与所听到的声音信息相对应的有序状态。视觉语言中枢、听觉语言中枢接受外部信息的机理，与视觉中枢、听觉中枢的一样，只不过接受对象前者是语言信息，后者是原始信息。与外感器官接受外部信息相类似，各内脏和腺体中枢分别接受的是相应内脏、腺体中的信息。一种内脏或腺体的状态，对应的应是相应中枢的一种有序状态。

关于感知的理论研究还有很多。如, Gibson 的理论强调客观环境具有丰富内容, 存在光的时空模式的高阶不变性。这种不变性充分规定了环境结构, 并构造了生态光学。它为距离判断、深度知觉和运动知觉等空间知觉提供了最重要的信息。但是, 不变性直接知觉并不能支撑整个知觉系统的运作。Uilman 曾指出, 知觉的某些方面如对纹理的觉察, 似乎是比较直接的方式起作用; 而知觉的其他方面不能简单地归结为直接的登记和解释。Gibson 的同事 J. Cutting 用多年的研究也证明, 知觉系统只在极少情况下利用不变性来直接认知外部世界。

与之相对立的**知觉间接理论**则强调知觉形成过程中的知识和推理的作用。比如, 知觉推断理论认为, 知觉经验是一个混合物, 一部分来自当前的感觉, 而大部分是从大脑存储的信息中提取来的。瞬间输入的感觉信息是不完整的, 不足以确定外界刺激是什么。那么人的知觉任务就是要把这些瞬间看到的世界的映像进行整合、组织起来, 形成清晰稳定的完整映像。在这个过程中, 人的知觉系统首先要对外界物体的明度差别、边界、线条等几何光学特点进行分析, 然后以主观因式(个人的知识经验)作为参照系统, 对外界刺激做出物体性质的推断, 形成完整的知觉结构。Shepard 曾设计了心理旋转操作的实验, 它的重要性不在于它所得的结论, 而在于它所提出的问题: 人在反映外界三维空间时形成了一个内部的视觉表象空间体系, 按照这个内部表象体系的空间坐标来调节自己在环境中的活动, 确立所知觉的物体的空间方向以及在心理上对物体的空间关系进行操作。这是一个自下而上和自上而下的有机融合和相互作用的过程。在这个过程中, 人能自动运用知觉认知规律。通过一系列认知操作, 使人的知觉在一定目的下, 以尽可能小的代价获得尽可能好的结果。Arend 和 Reeves 认为, 人能排除由于照明光源变化所引起的表面色反射特性的变化。这涉及到人的视觉信息加工的高层次意识活动。近年来, 神经心理学在对正常人和脑损伤病人颜色命名的比较研究中发现, 颜色是知觉或记忆的基本模块。有人推断, 这可能是由于人类视觉系统对来自周围环境光的影响具有一种自动“估算”和抵消能力。这种能力的获得对于人类视觉是容易的: 因为人类视觉系统具有处理时空信息的智能。也就是说, 在视觉对象没有提供足够信息, 或者在提供了歪曲信息的情况下, 人类视觉可根据来自客观环境中的信息和来自其他感觉通道的信息, 并以过去经验的基础来进行解释。有人以光度测量为基础, 采用心理物理学的方法, 改变物理条件, 通过观察人的行为变化, 探讨获得颜色恒常性的认知操作过程。结果发现, 颜色恒常性及受颜色对比的影响, 也受颜色的内隐记忆的影响。这种记忆影响着对新的感觉信息的解释, 是观察者能够排除周围刺激的变化, 把同一类物体知觉为具有相同的稳定的特性。观察者在颜色匹配时, 尽管光源色温发生了变化, 但能根据已掌握的视觉对象的固有特征信息提取, 而不是简单的抽取。对不符合而且与认知目的相混淆的信息自动地加以校正, 从而排除由于照明光源不同所引起的色度变化, 而按照自己的颜色记忆系统排除不相关的信息, 从而保持了常性。因而可以说, 颜色常性不仅是一种视觉低层次自动完成的补偿, 使人的视觉系统能在外界变换光源条件下, 进行真实的颜色再认, 保持常性。这也进一步证实了颜色常性是人的视觉信息加工的高层次的意识活动, 保证人在不同情况下按照事物的本来面貌反映事物。

5.1.10 感知能力对智能研究的意义与感知智能

感觉虽是一种很简单的心理现象, 但却十分重要。而感知能力也是人最重要的一种智力。在智能科学的研究中, 对感知和感知能力的研究, 特别是对感知智能的研究, 具有十分重要的意义。

(1) **首先, 感觉可提供内外环境的信息。**通过感觉, 人们能够认识外界物体的颜色、气味、软硬等, 从而能够了解事物的各种属性, 同时, 通过感觉我们还能认识自身的状态, 因而有可能实现自

我调节，如饥择食、渴择饮。没有感觉提供的信息，人就不可能根据自身机体的状态来调节自己的行为。而没有感知能力，一个智能系统也就没有了接收信息和学习的能力。

(2) **其次，感觉保证了机体与环境的信息平衡。**人们要正常地生活，必须和环境保持平衡，其中包括信息的平衡。具体地说，人们从周围环境获得必要的信息，是保证机体正常生活所必需的。如果信息超载或不足，都会破坏信息的平衡，就会对机体产生严重的不良影响。可见，没有多种感觉提供的信息，人就很难正常地生存。同样，一个智能系统要正常运行，也必须不停地与外界进行信息交互，维持信息平衡，否则，将无法正常运行。

(3) **最后，感觉是认识的基础。感觉是一切较高级、复杂的心理现象产生的基础。**它是我们认识客观世界的第一步。只有通过它，人才能认识和分辨事物的各种基本属性，才能知道自身身体的运动、姿势和内部器官的工作状态。只有在感觉所获得的信息基础上，其他高级的、复杂的生理活动才能得到产生和发展。感觉是最初级的认识过程，人的知觉、记忆、思维、想象等高级的认识活动必须借助于感觉，必须建立在感觉认识提供的原始资料的基础上。人的情绪体验也必须依赖于人对环境和身体内部状态的感觉。因此，没有感觉，一切心理现象都将无从产生。

感知依赖于感知能力。人和动物都具备感知能力，都能够通过各种感知能力与自然界进行交互。感知智能所考虑的，主要是主体视觉、听觉、触觉等感知能力的水平。有研究者认为，人工智能的发展，主要分为三个层次，即运算智能、感知智能和认知智能。所谓运算智能，是指计算机快速计算和记忆存储的能力。所谓感知智能，是指通过各种传感器等获取信息的能力。所谓认知智能，是指机器具有理解、推理等能力。现在，某些智能机器在感知世界方面，比人类还有优势。人类都是被动感知的，但是未来的智能机器是可以主动感知的，如：激光雷达、微波雷达和红外雷达。因为充分利用大数据和大模型的成果，一些智能机器在感知智能方面已越来越接近于人类。

人类和高等动物都具有丰富的感觉器官，能通过视觉、听觉、味觉、触觉、嗅觉来感受外界刺激，获取环境信息。未来的智能机器人同样可以通过各种（智能）传感器来获取周围的环境信息。这些智能传感器和智能感知系统，对未来的智能机器人有着必不可少的重要作用。智能传感器技术和智能感知技术从根本上决定着智能机器人环境感知技术的发展。目前，主流的机器人传感器已包括智能视觉传感器、智能听觉传感器、智能触觉传感器等等，而多传感器信息的（智能）融合也决定了未来智能机器人对环境信息的感知能力。感知智能或智能环境感知技术已是智能机器人自主行为理论中的重要研究内容，具有十分重要的研究意义。随着智能传感器技术和感知智能研究的发展，将大大提高智能机器人对环境信息的获取能力。

5.2 记忆—基本内涵、机理和规律

什么是记忆？记忆是人脑对过去经验的保持和再现（回忆和再认）以及对新获得行为的保持的心理过程。记忆作为基本的心理过程，对保证人的正常生活起着极其重要的作用。由于记忆，人才能保持过去的经验，使当前的反映在以前经验的基础上进行，使反映更全面、更深入、更可靠。也正因为有了记忆，人才能积累经验，扩大经验，从而认识世界。从信息加工观点来看，记忆就是对信息的输入、编码、储存和提取的心理过程。记忆不同于感知觉，感知觉是人们对当前直接作用于感觉器官的客观事物的反映，而记忆则是对曾经经历过的事物的反映。识记、保持、再认或回忆是记忆的三个基本环节。

5.2.1 记忆的不同类型

若按记忆活动的特点划分，人类记忆有三种类型：**感觉记忆、短时记忆和长时记忆。**

感觉记忆也称瞬时记忆，是指当感觉刺激停止之后头脑所保持的瞬间映象。它是记忆系统的开始阶段。感觉记忆的保持时间非常短暂，约为 0.25 - 2 秒。感觉记忆中的信息完全依据它所具有的物理特征编码，因此信息贮存的方式具有鲜明的形象性。刺激作用停止后，它的影响并不立刻消失，可以形成后象。视觉后象最为明显。后象可以说是最直接、最原始的记忆。后象只能存在很短的时间，如最鲜明的视觉后象也不过持续几十秒钟。感觉记忆中保持的信息如果进一步受到注意，就会进入短时记忆系统。

短时记忆是指对脑中的信息保持在一分钟以内的记忆，是感觉记忆和长时记忆的中间阶段。短时记忆主要是希望对来自感觉记忆和长时记忆中所贮存的信息进行有意识的加工。短时记忆的特点是：① 信息保持时间很短；信息保持时间在没有复述的情况下一般只有 5-20 秒，最长不超过一分钟。其原因一是由于没有复述强化而记忆痕迹随时间自然衰退，二是由于干扰，即后来的信息把现有的信息排挤掉了。② 记忆容量小；短时记忆的容量有限，其容量为 7 ± 2 个项目。1956 年米勒提出用“创克”（Chunk，意指“组块”）来标志短时记忆的单位，一个组块指一个熟悉的单元，如词，物体名称等。采用“组块”标记，短时记忆的信息量将大为扩大。③ 短时记忆的信息编码以言语听觉编码和视觉编码为主。有研究表明，工作记忆的编码通常是以听觉的声音符号方式进行的，但在工作记忆的最初阶段存在视觉形式编码，之后逐渐向听觉形式过渡。④ 短时记忆的信息提取是比较完全的。提取信息采用串行加工或平行加工这两种主要途径。串行加工指按系列顺序相继从记忆系统中提取出来。平行加工指把信息同时从记忆系统中提取出来。⑤ 短时记忆是通过复述来保持信息的，并通过复述的方式把信息转入长时记忆系统。因此，复述是信息从短时记忆转入长时记忆系统的主要机制。复述又分为两种：一种是机械复述或保持性复述，将工作记忆中的信息不断地简单重复；另一种是精细复述，将工作记忆中的信息进行分析，使之与已有的经验建立起联系。⑥ 短时记忆中的信息可被意识。

长时记忆又称永久性记忆，是指记忆信息的保持从一分钟以上直到许多年甚至终身的记忆。长时记忆中的信息主要来自于对短时记忆信息的复述，也有一些感知中印象深刻的内容是一次性进入长时记忆系统而被贮存起来的。长时记忆具有以下特点：① 信息保持时间长，在理论上认为是永久性的。长时记忆中出现的遗忘现象，主要是由于信息受到干扰所引起的使提取信息的过程发生了困难。② 容量惊人，但不是无限的。有人认为它的范围是 5 万到 10 万个组块，也有人认为它的容量达到 10^{15} 比特的信息量。③ 信息编码以言语编码和表象编码为主。言语编码是通过词来加工信息，按意义、语法等来关联信息；表象编码是通过形象来表达信息，通过联想来组织信息。这两种编码方式可相互结合，相互补充。因此，贮存在长时记忆系统中的信息可分为语词和表象两大类。④ 长时记忆信息的提取采用再认和回忆两种形式。

长时记忆的编码就是把新的信息纳入已有的知识框架内，或把一些分散的信息单元组合成一个新的知识框架。长时记忆的编码形式主要有：语义类型编码、语言特点编码和主观组织。影响长时记忆编码的主要因素是编码时的意识状态和加工深度。研究表明，有意编码的效果明显优于自动编码的效果；加工深度不同，记忆效果也是不同的。

长时记忆的信息存储是一个动态过程。从量的方面，存储信息的数量会随时间的迁移而逐渐下降；从质的方面，存储的信息会出现不同形式的变化。长时记忆的信息提取包括再认和回忆。其中，

再认是指人们对感知过,思考过或体验过的事物,当它再度呈现时,仍能认识的心理过程。一般来说,间隔时间越长,再认的效果越差。回忆则是人们过去所经历过的事物以形象或概念的形式在头脑中重新出现的心理过程,回忆通常以联想为基础。

长时记忆中的信息会被逐渐遗忘。19世纪末,德国心理学家艾宾浩斯曾采用自然科学的方法对记忆进行了实验研究,得出了人类遗忘的一般规律。他还将实验的结果绘成曲线,这就是著名的艾宾浩斯遗忘曲线。干扰理论是解释遗忘原因的重要理论。干扰理论认为,遗忘是因为在学习和回忆之间受到其他刺激的干扰所致,一旦干扰被排除,记忆就能恢复,而记忆痕迹并未发生变化。

若按记忆的内容和对象分类,记忆有形象记忆、词语逻辑记忆、情绪记忆和运动记忆等。

形象记忆是以感知过的事物形象为内容的记忆。例如,游览了某处旅游胜地之后在头脑中留下的有关景物的形象。这种记忆保持了事物的具体形象,具有鲜明的“直观”性。它以表象的形式储存。表象是当事物不在眼前时,人们头脑中出现的关于事物的形象。表象具有直观性和概括性的特征。表象可分为:记忆表象和想象表象;视觉、听觉、动觉、嗅觉、味觉和触觉等表象;个别表象与一般表象;遗觉象[在刺激停止作用后,脑中继续保持的异常清晰、鲜明的表象称为遗觉象]等。

关于表象的理论有:①基本表象理论。美国心理学家巴格斯基(B. B. Bagelcki)等认为,人们对信息的贮存是将视觉和言语材料转化为表象贮存在记忆中的,表象是信息编码的最基本形式,人们可以对表象进行操作,而这种操作类似于对具体事物的操作。表象是信息贮存的一种形式。②双重编码理论。佩维奥(A. Paivio)等认为,在更多情况下,信息在脑中可以以词进行编码,也可以以表象进行编码。

词语逻辑记忆是用词的形式,在人们头脑中以思想、概念或命题为内容的记忆。它是人类特有的记忆,是个体保存经验的主要形式,具有抽象性、概括性、理解性和逻辑性等特点。

情绪记忆是指以个体体验过的某种情绪或情感为内容的记忆。如人们对新婚时的愉快心情的记忆,就是情绪记忆。情绪记忆常常成为人们当前活动的动力,它可推动人们从事某些活动或者制止某些行为,回避某些对它们有害的事情等。

运动记忆是以人们操作过的动作为内容的记忆。例如,对学过的游泳动作、体操动作、某种习惯动作等的记忆。运动记忆在识记时有时比较困难,但是一经记住,则容易保持、恢复而不易遗忘,运动记忆在个体各种记忆的发展中较为早些,一般幼儿在出生后的第一个月就表现出运动记忆。

人类的记忆还可以分为**过程记忆**和**命题记忆**。过程记忆是保持有关操作的技能。主要由知觉运动技能和认知技能组成。命题记忆是存储用符号表示的知识,反映事物的实质。命题记忆更进一步分为情景记忆和语义记忆。前者是存储个人发生的事件和经验的记忆形式。后者是存储个人理解的事件的本质的知识。即记忆关于世界的知识。

5.2.2 记忆的一般过程

记忆包括从“记”到“忆”的过程,主要分三个环节:**识记—保持—再认或回忆**。

1. 识记

识记即识别与记住。它是记忆过程的开端,是保持的必要前提,是信息的输入过程,是人获得和巩固知识经验的记忆过程。没有识记就不会有对信息的编码、贮存和提取。

根据识记时有无明确的目的,识记分为无意识记和有意识记。无意识记是指没有明确的目的,不采用任何有助于识记的方法,也不需要做出意志努力的识记。它具有以下三个特点:①它具有很大的选择性;②无意识记和个性特点有密切关系;③无意识记不需要意志力去努力,去消耗精力。

有意识记是指有明确的识记目的,并经过一定的意志力努力和采用一定方法进行的识记。有意识记比无意识记更为重要。在有意识记中,确定识记的任务对识记的效果有时会起着关键性的作用。凡认为需长期保持的信息,记忆保持的时间就会长一些;而认为只需短期保持的信息,记忆保持的时间就会短一些。根据识记材料有无意义或识记者是否了解其意义,识记分为意义识记和机械识记。**意义识记**是在对材料理解的基础上,依据事物的内在联系而进行的识记,也被称为理解识记或逻辑识记。意义识记涉及了两方面的问题:一是材料本身是否反映事物的本质及其内部联系;二是识记者本人所具有的知识经验及思维活动的水平。因而只有当新材料被纳入学习者已有的知识系统之中时,学习材料才容易被记住。**机械识记**指只根据材料的外部联系或表现形式,采取简单机械重复的方式进行的识记。机械识记基本上不去理解材料的意义及它们之间的关系,只是按照材料呈现的时空顺序进行逐字逐句的识记,平时所说的死记硬背就是机械识记。机械识记的效果虽然不如意义识记,但机械识记也是必要的。在识记过程中,应将机械识记和意义识记这两种基本方法结合起来,取长补短相互促进。教师在教学中应要求学生以意义识记为主,机械识记作为补充,并善于诱导学生把这两种识记方法结合起来加以运用,以发挥两种识记方式各自的长处,从而全面提高记忆的效果。

影响识记的因素主要有:①识记的目的任务。识记的目的任务越明确具体,识记者的认识活动的方向性越强,识记效果就越好。②识记的方法。识记一般有三种方法:整体识记法、部分识记法和综合识记法。整体识记法是将识记材料做整体的识记。部分识记法是将识记材料分部分的识记。综合识记法是将整体和局部识记相结合,即先进行整体识记再进行部分识记,最后再进行整体识记直至成功识记。经实验研究发现,识记效果最佳的是综合识记法,而最差的是部分识记法,运用部分识记法时若不了解识记材料的整体内容,对材料各部分只是孤立地去识记,会导致识记内容迅速遗忘。综合识记法利用了材料的内容,对各部分在相互联系中进行理解与识记,因而识记相对容易有效。当然,这三种识记方法的优劣并不是对所有材料都是一样的。一般来说,材料较短且具有意义联系的可采用整体识记法;对于没有多少意义联系的材料,可用部分识记法;对有意义联系且既长又难的材料,采用综合识记的效果较好。③对识记材料的理解程度。理解了的材料识记比较迅速和牢固,因为它与识记者已有的知识经验发生了内容丰富的联系。④识记材料的性质和数量。识记的效果受识记材料的性质、难易和数量影响。一般来说,成人对文字材料识记较好,儿童对直观材料识记常优于文字材料。另外,难易不同的识记材料在记忆进程中是不同的。如果识记材料比较简单,一般开始进展较快,后来逐渐减慢,成一减速曲线。如果识记的材料深奥难懂,常在一开始时进展较慢,后来逐步加快,成一加速曲线。并且识记材料的数量对识记效果的影响也很大。一般说来,达到同样的识记水平,材料越多,平均所用时间也越多。⑤觉醒状态。觉醒状态即大脑皮层的兴奋水平,它直接影响识记的效果。艾宾浩斯通过实验发现,被试在上午11-12点之间的学习效率最高,下午6-8之间效率最低。这种情况可能与大脑皮层不同的觉醒状态有关。因而,应在大脑皮层兴奋水平最佳的时间识记重要的学习内容,这样效果会更好。

2. 保持和遗忘。

保持是识记和回忆(再认)的中间环节。是信息贮存过程。保持不仅是巩固识记,也是实现再认或回忆的重要保证,没有保持也就无所谓记忆。知识经验在头脑中保持并不是静止的,而是一个动态的变化过程。在保持阶段,储存的知识经验会发生质与量两个方面的变化。在质的变化方面,由于每个人的知识经验不同,加工、组织知识经验的方式不同,个体保持的经验可能会有以下几种

形式的变化：①内容简略和概括，不重要的细节逐渐趋于消失；②内容变得更加完整、合理和有意义；③内容变得更加具体，或者更为夸张和突出。在量的方面，保持的数量随时间的推移通常会逐渐下降。记忆内容在质方面的变化，常常受到个人的知识经验、心向、动机等因素的影响。保持的内容在量的方面的变化有时会显示出记忆恢复现象。记忆恢复是指在一定条件下，个体学习后过几天的保持量比学习后立即测得的保持量要高的记忆现象。研究表明，记忆恢复现象儿童比成人表现更为普遍；学习较难的材料比学习较容易的材料表现得更为明显；学习程度低时比学习纯熟时更易出现；并且记忆恢复的内容大部分处于学习材料的中间部分，其原因可能是由于在记忆材料的过程中产生了抑制积累作用，影响即刻回忆成绩，经过充分休息后，抑制得到解除，因而回忆成绩有所上升。不过，产生这种现象的原因也可能由于记忆在识记之后需要有一个巩固发展的过程。

记忆保持的最显著变化就是**遗忘**。遗忘和保持是互相对立的两个方面，没有保持就无所谓遗忘。遗忘是指对识记过的内容不能再认和回忆，或者表现为错误的再认和回忆。用信息加工的观点解释，遗忘就是信息提取不出来或提取出现错误。遗忘也是巩固记忆的一个条件，如果一个人不遗忘那些不必要的内容，以减轻脑的记忆负荷，要记住和恢复必要的材料是不容易的。遗忘有各种情况，能再认不能回忆叫不完全遗忘；不能再认也不能回忆叫完全遗忘；记忆中的内容一时不能被提取，但在适宜条件下还可恢复的现象叫暂时性遗忘；记忆的材料，不经重新学习不能重新恢复的现象叫永久性遗忘。艾宾浩斯最早对遗忘现象作了系统研究。总结出人类遗忘的规律是“先快后慢”。为了进一步验证艾宾浩斯的结论是否具有普遍意义，后来许多人采用其他的方法进行了实验，得到的结果与艾宾浩斯的结论大体相同。

对于**遗忘的原因**，记忆痕迹衰退说强调生理活动过程对记忆痕迹的影响，认为是大脑中的记忆痕迹未得到强化而逐渐衰退的结果。干扰说认为，遗忘的主要原因是大脑中不同记忆材料之间互相干扰的结果。一旦干扰被排除，记忆就有可能恢复。干扰分两类：①前摄抑制：指先学习与记忆的材料对后继续学习与记忆的材料干扰。②后摄抑制：指后学习与记忆的材料对先前学习与记忆材料的干扰。研究表明：先后学习的两种材料越接近，相互间的干扰越大。压抑说也称动机性遗忘说，认为遗忘是由于某种动机的压抑所致。弗洛伊德认为人们常压抑早年生活中痛苦的记忆以免引起焦虑或不安。这种遗忘既不是记忆痕迹的消退所造成的，也不是记忆内容之间的干扰所引起的。如果通过催眠或自由联想等方式，这种被压抑的记忆就能恢复。

影响遗忘的因素包括：①识记材料的性质和数量。研究表明，对熟练的动作和形象材料遗忘很慢，无意义材料比有意义材料遗忘要快得多；在学习程度相等的情况下，识记材料越多，忘得越快越多，材料少，则遗忘较慢且少。因而在学习时，一般不要贪多求快。②识记材料的意义和作用。识记材料的意义和作用对遗忘进程有很大影响，人对不重要的、不感兴趣的，不符合需要的，在工作和学习中不占主要地位的那些材料遗忘最快最多。③识记材料的系列位置。识记材料的系列位置不同，遗忘发生的情况也有所不同。一般来说，在回忆系列材料时，最后呈现的材料最易回忆，遗忘得也最少，叫近因效应。最先呈现的材料较易回忆，遗忘较少，叫首因效应。而对中间呈现的材料回忆最难，同时遗忘得也最多。这种在回忆系列材料时发生的现象叫系列位置效应，此效应已被许多实验所证实。

3. 回忆和再认

回忆和再认都是信息的提取过程。再认是指对经历过的事物再次出现时能够认识。回忆也称再现或重现，是指经历过的事物不在面前时，能在头脑中重新呈现并加以确认的心理过程。例如，考

试回答问答题时，就是通过回忆完成的。回忆是记忆的重要环节之一。

根据是否有目的的参与，回忆可分为**有意回忆**和**无意回忆**。有意回忆是指根据一定的目的、任务，有意识地搜集和复现以往经验的回忆。无意回忆是指没有明确目的的回忆。从回忆过程是否有中介物参与可分为**直接回忆**和**间接回忆**。由当前事物唤起经验的重现是直接回忆。借助于中介物进行的回忆称为间接回忆。追忆是一种特殊的回忆，它同时具有有意回忆和间接回忆的特点。这种回忆不仅需要较大的意志努力，而且还需要思维活动的积极参与。一般认为，追忆是指根据有关线索，使用一定策略，通过推理和探索，在意志努力下完成的有意再现。如找丢失的物品，就要进行追忆。

联想是回忆的基础，也是回忆的主要形式。联想指的是由一个事物想到另一事物的心理活动。在心理学中，一般分**简单联想**和**复杂联想**两大类。接近、类似和对比属于对事物外部关系的联想，称为简单联想；而对原因与结果，部分与整体、主和次等事物内在关系的联想称为复杂联想，也称意义联想。联想的形成有以下几条规律：① 相似律。形式相似，性质相似的事物容易形成联想一类相似联想。如由春天想到繁荣，由傲雪之梅想到意志坚强、坚贞不屈等。② 接近律。时间，空间接近的事物容易形成联想—接近联想。例如，由元旦想到春节；由池塘想到荷花等等。③ 对比律。事物间相反的特征也很容易形成联想—对比联想。例如，白与黑，胖与瘦，大与小等。④ 因果律。事物间因果关系也容易形成联想—因果联想。例如，看到火想到温暖、热；看到阴天想到下雨等等。

再认是指人们经历过的事物再次出现时，仍能认识的心理过程。再认过程比回忆简单、容易。但在再认发生困难时，就会转化为回忆，从个体心理发展来看，再认比回忆出现得较早。再认的速度和准确性主要取决于以下两因素：① 对事物识记的巩固程度。保持巩固，再认就容易；反之则困难。② 当前的事物与以前识记过的事物的相似程度。万事万物总是不停地变化发展的，如果变化不大，就有可能再认；如果发生了很大变化，再认就有一定的难度。再认常依赖的线索有事物的结构、特性、特点等。

再认虽然比较容易但也会出现错误。再认的错误有两种情况：一种是不能再认，也就是对以前识记过的事物完全不能认出。另一种是错误的再认，它是由于识记不巩固、不精确，原有的联系消失或受到干扰，把没有识记过的事物错认为识记过的事物，这就是我们常说的“张冠李戴”。

5.2.3 记忆的生理机制

1. 关于记忆的脑机制研究概述

众所周知，人脑是一个复杂的系统，大脑中神经网络的活动决定着人类的行为。而大脑中神经网络的许多活动和人类的众多行为，都是在记忆的基础上进行的。但对记忆在大脑中究竟是怎么产生的？不同人有不同的说法。**机能定位说**认为，记忆与脑的特定部位有关，不同类型的记忆在脑的不同部位产生。其代表人物有加拿大神经外科医生潘非尔德等。美国心理学家拉什里等提出的**脑均势说**认为，记忆与大脑的各个部位都有关系，而无特殊定位。瑞典神经生物化学家海登等提出的**记忆分子说**认为，个体记忆经验是由神经元内的核糖核酸的分子结构来承担的，认为感知和学习能引起神经的活动，可以改变与之有关的那些神经元内部核糖核酸的细微化学结构。目前，大家比较一致的看法是：大脑是以形成特定有序的稳定状态的形式来记忆相关信息的；而特定有序稳定状态的特征也决定了人脑系统中众多突触的最新联结状态的空间分布特征；这些最新联结状态会在突触的生理结构方面留下痕迹，使其发生生理结构方面的改变，或称发生了新的生长；也正是众多突触生理结构方面的改变或最新的生长，记忆了相关的信息。人脑系统不仅具有短时记忆和长时记忆功能，还能实现对语言、视听等信息的协同记忆和多重编码，实现对语言信息、自然信息、动作

反应信息的历程化、网络化记忆。记忆的保持水平与相关突触联结状态痕迹是否完全消退或相关突触的生长结构是否被覆盖、新陈代谢或病变等因素改变有关。相关记忆信息的提取可以是直接的，也可以是间接的，不过，它们通常需要一定的线索或刺激激发。如今，对人脑的研究正从基因分子层面、神经元连接的突触层面、神经元局部网络层面以及行为层面等不同层面展开。对大脑功能的解读，尽管现在就像在人类遗传基因密码被破译之前人们只能通过基因的表型间接了解遗传一样，目前的研究大多还是通过对行为的测试来间接研究记忆的形成机制的。也许过不了多久，技术上的突破，会使我们能够直接通过检测大脑编码单元的活动状态来直接解读大脑记忆的形成，科学家们也一直在为此努力。

2. 短时感知记忆向长时记忆转化的机制

一般认为，人类在感知时感觉器官中的生化反应、传入神经中的生化反应、各感知神经中枢中神经网络稳定有序状态的形成，都是在瞬间实现的，它能够维持的时间是很短暂的。这一特性告诉我们，感知神经系统中某种稳定有序状态的形成与短时记忆是相对应的。而人不仅具有短时记忆能力，而且还具有长时记忆功能。那么，短时记忆是如何向长时记忆转化的呢？

有研究认为，短时记忆向长时记忆的转化，与突触递质释放及其所引发的生化反应密切相关。我们知道，神经元突触连接处存在若干小泡，泡内贮存着化学递质。但在不同的突触中其所拥有的泡的大小不同，不同的泡中拥有的化学递质也有所不同。突触中还存在着粒线体，它是一种微型结构，其内部膜皱折起来，可形成类似支架的东西。更进一步的研究表明，正是粒线体为突触泡提供了化学递质合成时所需要的三磷酸腺苷(ATP)。一般来说，一个突触只能产生一种递质：或是胆碱类，如乙酰胆碱(ACh)；或是单胺类，如多巴胺(DA)、去甲肾上腺素(NE)、肾上腺素等；或是氨基酸类，如谷氨酸、甘氨酸；或是肽类，如脑啡肽、血管加压素、催产素、肠激肽、生长抑素等等。对于某一突触而言，递质释放与否是该突触两端神经元共同作用的结果。对人脑系统中某一特定状态，众多突触，有的发生递质释放，有的不发生递质释放，有的释放较强，有的释放较弱。突触递质释放的过程，通常是一个在突触前钙调素的作用下，钙离子进入终端膜并引起突触泡的释放，被释放的递质越过突触间隙，与突触后膜上的受体发生反应，并相续引起突触的生理结构发生改变或生长的过程。例如，贮有谷氨酸的突触泡内的递质被大量释放后，会与突触后膜上的NMDA受体相结合，使NMDA受体发生变构，从而造成突触后膜钙离子通道开放乃至畅通，引起钙离子流入，镁离子流出。神经元内钙离子浓度增高，不仅会影响S100变构反应强度，还会通过钙-钙调素相依性机制，激活氧化氮合成酶，在辅酶(NADP)参与下，将精氨酸转化为瓜氨酸，并释放出氧化氮分子(NO)。由于NO具有极强的扩散和渗透性，迅速作用于邻近的突触末梢和星状胶质细胞，激活那里的鸟苷酸环化酶(GC)，从而导致大量的鸟苷酸环化，形成环-磷酸鸟苷(c-GMP)，促进突触前神经末梢的生化代谢过程。又例如，贮有多巴胺、去甲肾上腺素等单胺类递质的突触递质被释放后，与受体分子发生反应，会通过三磷酸鸟苷(GTP)耦联引起腺苷酸环化酶蛋白质激活，合成更多的环-磷酸腺苷(cAMP)，同时也引起少量的钙离子流入细胞膜内。在这里，不仅由于钙离子的流入影响S100复合还原反应，而且由于合成环-磷酸腺苷(cAMP)而影响后膜的生化代谢活动。

大多数人相信，人脑对信息的长时记忆，就是通过递质释放引发的突触结构改变或生长来实现的。当人脑处在某种稳定有序状态时，也即处在某种短时记忆状态时，有序区内有的突触不发生递质释放，不引起突触结构的改变或生长；有的则发生递质释放，引起突触结构的改变或生长。且有的改变或生长较多，有的改变或生长较少。从整体上来看，将由神经元网络的稳定有序状态，进而由S100

复合还原反应强度的空间分布特征来确定，是它们的联结状态短时记载了感知的信息，也是它们决定了大脑局部有序区内突触递质释放的空间分布特征，进而也就决定了突触结构相应的新的改变或生长的空间分布特征。因此，也可以说，是在短时记忆的稳定有序状态的作用下，大脑局部有序区内众多突触联结结构的新的改变或生长的空间分布特征，长时记载了记忆对象的相关信息。

一个人从出生起就不断地学习和记忆各种东西，在大脑中也相继形成了一个有序的状态，相应地也引起了突触的历程式的联结结构的改变或一层层的生长。就某一个体而言，其突触联结结构的前后生长的历程，也就如实地记载了其所有感知和记忆的历程，就犹如大树的年轮已相应地记载了其成长的历程和当地气候变迁的历史一样。就整体而言，是众多突触联结结构的历程式的改变和一层层的生长经历，如实记载了一个个体所有的感知和经历，也就如实记载了一个人生理和心理成长的历程。

3. 关于多重感知信息的整合与联合记忆机制

关于感知信息的整合问题，本质上是一个各感觉中枢接受到外界信息后，相互之间以及与运动反应中枢或联络区之间，相互联系和作用的问题。人脑是一个开放的系统。视听等感知中枢随时都在接受来自外部世界的信息，内脏和腺体等中枢随时都在接受来自内脏、腺体的状态信息。这样，在某时刻，人脑的各感觉中枢、运动反应中枢和联络区能否形成某种稳定有序状态，形成什么样的稳定有序状态，不仅受到单一刺激的影响，而且还会受到其它中枢或区域感知状态的影响。人脑的各个感知和记忆中枢，并不是独立发生作用的，而是以一个统一的整体形式发生作用的。人脑活动的这种整体性，主要表现在，人脑在某一确定时刻，只能关注某一个对象或关联对象群，形成相关关联区域的某一特定稳定有序状态。一般来说，人脑专注于某一对象的多个属性或某一关联对象群时，是有助于相应感知对象属性间或相关对象间特定的稳定有序状态的形成和稳定的。例如，当人在关注某一对象—“鸟”时，不仅会在视觉中枢中形成与“鸟”的形状相对应的有序状态，而且还会在听觉中枢形成与“鸟”的叫声相对应的有序状态。从大脑是一个整体的角度考虑，当人将这些现象做关联考虑时，这些相关感知中枢的有序状态也会产生相关的关联，从而促进大脑中较大区域或全区域稳定有序状态的形成，形成一种联合感知或信息的整合。

人脑整体性活动的特点，是人脑可实现协同或联合记忆的基础。而同时性和关联性，则是实现协同记忆的关键。例如，在学习“苹果”这一概念时，老师拿出一个苹果来，学生注意后就会在视觉中枢形成一种与苹果的形状、色泽相对应的暂时稳定有序状态。若老师又同时指着苹果说：“这叫苹果”，则学生会在听觉语言中枢形成一种与苹果的“字音”相对应的暂时稳定有序状态。由于以上两个中枢的稳定有序状态同时出现又相互关联，就会引导它们之间的联络区也有序化，形成与“苹果”的形态和名字同时相对应的一种联合有序状态。在视觉中枢、听觉语言中枢和部分联络区形成这种暂时稳定有序状态后，相应的突触联结结构的改变或生长就会形成，也即形成了与苹果的形状与苹果的字音相关的协同记忆，实现了关于苹果信息的“双重编码”。如果以上过程多次反复，再经过听名想物、见物思名的练习，就会形成一种协同记忆和双重编码的稳固态。以后，只要其中一个区域出现与“苹果”相对应的有序状态，相关区域与“苹果”相对应的有序状态就会很容易的“协同”产生。

根据以上原理，在学习“苹果”这一概念时，若继续通过阅读“苹果”两个字、说出“苹果”两个字音、写出“苹果”两个文字、吃“苹果”和闻“苹果”等感知和体验过程，来扩大与“苹果”相对应的关联有序状态的覆盖区，则更会在视觉语言中枢、运动性语言中枢、书写中枢、味觉中枢、

嗅觉中枢等等，形成关于“苹果”的全方位协同记忆和多重编码。

需要指出的是，视、听等联合记忆的形成，可以通过同步的外部刺激来实现，也可以通过非同步的再组合来实现。而发音、书写以及其它运动反应等联合记忆的形成，则往往不能单纯通过外部刺激来准确实现，需要通过自身的实践来逐步完善。例如，要让学生能够准确发出“苹果”的读音，往往需要有“教师示范发音，学生听后模仿发音，通过耳朵又反馈接收，与教师的发音比较后再调整发音”这样一个由示范、模仿、反馈到调整的逐步尝试的过程。

人脑不仅能够实现协同记忆和多重编码，而且还在一定程度上能够实现对自身的有序状态变化历程的记忆。在人脑中，稳定有序状态总是不断更替的。不断有新的有序状态逐步产生并占居主导地位，成为主序状态并在短时记忆中显现；而旧的主序状态将不断退居次要地位，成为隐序状态乃至在短时记忆中不再显现。这种稳定有序状态先后变化的历程，在一定程度上将会留在人的长时记忆之中。人脑之所以能够记载自身变化的历程，是因为其突触联结结构的改变或生长具有历程性而实现的。如果从某时刻起，某人先学习了A后再学习B，学习所引起的突触联结结构的改变或生长，将是与A相对应的有序状态先形成从而改变在前，与B相对应的有序状态后形成从而改变在后。相反，如果先学习了B再学习A，则与A相对应的有序状态后形成从而改变在后，与B相对应的有序状态先形成从而改变在前。两者最终所形成的突触联结结构的生长是不同的，具有不可对易性。由此，我们也可以认为，人脑中的众多突触联结总是“一层一层地有序生长”的，这种“生长过程”是历程性的，它也就决定了人脑可在一定程度上能够按照“生长层面”来追索自身的发展历程。

对于某段有序状态变化的历程而言，记忆的准确程度与感知或记忆得到重复的次数有关。一般来说，人们在亲身经历了某一事件后，事后回忆起来，在一定程度上能够判明是它是在什么事件之后发生的，是在什么事件之前发生的，事件本身先发生了什么，后发生了什么。如果以后多次回忆此事件，也会在一定程度上“刷新”旧有的记忆，即在旧有的突触联结结构的“生长面”上形成新的“生长层”，结果，关于此事件本身的记忆会得到相应强化。

对于某段有序状态变化的历程而言，记忆的清晰程度还与短时记忆空间中的“整体性加工质量”有关。在短时记忆空间中，如果先后迅速形成若干有序状态，先形成的有序状态刚开始隐退，依然清晰可鉴，新的主序状态就已经形成，那么，这种短时内先后形成的有序状态，会表现出显著的相干叠加性，形成一种相对清晰的复合的整体有序状态，为关联事件的清晰记忆打下良好的基础。

人脑所具有的可清晰记载自身的关联有序状态的变化历程的功能，也就意味着人的记忆实际上是一个时空有序的超级网络化记忆系统。如果我们把这一记忆系统看作一个超级有序的相空间，将记忆中的某一种有序状态看作是相空间中的一个点，用于表达某种语言的听说读写、感知的音容笑貌、动作的手舞足蹈等协同记忆单元，那么，人们记忆中的一个个自然、社会事件，或是某一语言序列，或是某一动作反应过程，所对应的将是相空间中的一条条相应的曲线。这些曲线错综复杂，纵横交织，就构成了一个人独特的人生。它既是一个人的过去，也是一个人未来发展的基础。

4. 关于记忆状态保持与遗忘的机理

人的记忆保持水平是随时间的推移而逐步降低的。艾宾浩斯的遗忘曲线充分说明了这一点。保持水平究竟与那些因素有关，常常是人们讨论的焦点。

一般来说，短时记忆的保持水平是比较高的。这主要是由于此时回忆内容所对应的有序状态退居隐序状态后，还没有完全消失就开始回忆，回忆成功率当然会比较高。随着回忆内容所对应的有序状态隐退时间的增长，回忆的成功率会迅速降低。在人脑中，由于与当前记忆内容相对应的主序

状态产生后[处于激发状态]可比较稳定地保持一段时间,因此,对当前感知或工作内容不存在回忆问题。只有当记忆内容所对应的有序状态退居隐序状态后,才存在回忆问题。据有关研究,从突触递质释放到有关蛋白质的合成一般需要几分钟时间。因此,在这几分钟内,应是新生的短时记忆向较稳定的长时记忆转化的过渡期。在长时记忆的初期,记忆保持水平降低比较明显,其主要原因可能是与回忆内容相对应的突触联结形成之后,在短期内尚不稳定,又不断受到后继的新生的特定结构的覆盖,故与回忆内容对应的突触“生长面”在整个突触“生长结构”中的显著性降低较快,相关记忆有可能迅速“消退”。

在记忆不稳定期过后,记忆的保持水平将是基本稳定的。其不太显著的变化则主要是生理和心理的“新陈代谢”所引起的。由于突触的不断“生长”总是伴随着一定的物质代谢。人脑的自然和社会生长也会不断形成新的“生长层面”,不断形成新的记忆,因而,随着时间的推移,旧有的生长“痕迹”总会有“消退”。一个人在成长初期[幼年],突触生长发育能力强,相应地学习能力也就强,但早期记忆的东西忘得也快;进入衰老期后,突触的生长能力变弱,甚至出现枯萎,相应地学习能力也变弱,甚至出现记忆萎缩的现象。

人脑长时记忆保持的水平,有时还受到病变等其它因素的影响。例如,慢性酒精中毒者最初会出现轻微的顺行性遗忘,对刚刚发生的事不能形成新的记忆;长期酗酒后又会出现逆行性遗忘,对病前近期发生的事情选择性遗忘。对这类病人的尸体解剖得知,其下丘脑乳头和内侧丘脑发生了病变,额叶皮层出现萎缩。有人推测,最初可能是丘脑病变,导致了其下方脑垂体分泌促甲状腺素和促肾上腺皮质激素、卵泡刺激素、生长素等等的能力降低乃至消失,影响了各中枢突触递质的再造和突触的生长,因此不能形成新的长时记忆;而长期酗酒后,病变的扩展使得突触失去生命力而萎缩、变形,结果导致原有记忆的逐步消退和失真。

5. 关于记忆信息的提取

过去形成的记忆,其对应的有序状态退出主序状态后,再次引起人们的注意,再次成为脑中的主序状态的过程,即是我们所说的回忆或信息的提取。已记忆信息的提取机理和方式,也是人们研究人脑记忆机制的一个重要组成部分。

就短时记忆而言,若干处于隐序状态的记忆内容,若尚处于工作区内,或可通过直接提取的方式提取,亦即工作思维可提供一种与提取内容相对应的某种关联线索,在它的作用下,提取内容可再次引起“注意”,使其从暂时的隐序状态再度成为当前的主序状态,从而实现对记忆内容的提取。短时记忆的提取方式也可以是自主回忆,即在短时记忆的过程中不断地复述,从前往后、从后往前的反复追索或任意查询,当正被记忆的内容再度成为主序状态时,复述、记忆和回忆可能是同时进行的。

通过突触联结结构的改变或“生长”实现的长时记忆,其提取的方式也有直接的和间接的二种基本形式。当与提取内容相关的某一刺激出现时,相应感觉中枢就会形成与提取内容相对应的主序状态,引起人们的“注意”,也进一步引导着人脑中其它相关中枢和联络区中与提取内容相对应的关联成分陆续进入主序状态。在这里,过去所形成的与提取内容相对应的突触的特定联结结构状态[或生长面],对相关记忆再现起着重要作用。一般来说,直接提取的速度和质量与当初学习时协同记忆的水平有关。协同加工水平越高,提取时速度越快、质量越高。例如,当某人专心读某一小说时,在可见光的作用下,视觉语言中枢的有序状态随书中文字变化;如果书中的字、词、句是熟悉的,是经过全方位加工学习过的,描述的场景是曾经经历过的,那么,其整个大脑系统的有序状态,会

随着其视觉语言中枢的有序状态而快速协同变化，“看”到的是书中的文字，想到的是文字的读音和文字所描述的场景和意义，“听”到的是与描述相对应的“电闪雷鸣”，感受到的是描述与自己情感的共鸣。但是，如果他对书中的字词感到陌生，对描述的场景并不熟悉，则这样的共鸣就很难出现，整个大脑系统中的整体有序状态就难以协同产生。

对全方位协同加工过的记忆内容，其直接提取的刺激，可以是语言的、文字的刺激信息，也可以是其它原始的刺激信息。对非全方位加工过的记忆内容则不然。例如，当我们闭上眼睛，捂上鼻子，品尝别人切的一片水果时，如果我们见过、吃过、闻过这种水果，知道过它的名称，那么，通过品尝，味觉中枢会形成与这种水果的滋味相对应的主序状态，通过关联，其它感知中枢中所记忆的与它相对应的有序状态也会通过回忆逐一进入主序状态；结果，这种水果的形状、色泽、名称等都会一一浮现。如果没吃过，或者吃过不知其名，则会虽有感知而不知其名。

长时记忆的间接提取是以记忆的历程化、网络化为基础的。如果比较清楚地记住了某一序列或过程，则只要给出该序列或过程中的某一部分，就能通过上下追索，形成对整个序列、过程的回忆。例如，学生背会了某篇范文，只要有人开个头，他就会背诵出整篇文章。又如，我们曾经有过的某种特殊、鲜明的经历，以后只要出现与其相类似的某一情景，都会让我们再次想起这些历程。在这里，提取的速度与当初历程记忆的加工水平有关。如果记忆已经被网络化了，则只要给出某种线索，就能由此先后回忆出一个又一个的记忆序列或过程。一般来说，在多关联记忆网络中，触发回忆的刺激或引导回忆的线索是多方面的，寻求回忆的路径也是有一定不确定性的。例如，我们在回忆自己的故乡时，有时可按时间顺行或逆行搜索记忆，回忆起先后发生的一件件有趣的往事；有时可按空间关系回想，结果故乡的山山水水、一草一木、家居摆设等会历历在目。我们在学习完一门课程后，常常会从概念、原理、特性、功能和应用方法等多方面来对其进行总结；而要理解一个概念，也常常会按表述、意义、不同情境下的应用、或与相关原理的关系等多个维度来做考虑。

需要指出的是，无论是直接提取还是间接提取，信息的提取过程同时也是一个信息再记忆的过程。在短时记忆空间中，初学内容的被提取也即再次重复记忆，在突触特定联结结构[生长面]上，会再次形成与记忆内容相对应的新的特定结构[生长面]或令原有的结构得以强化，导致记忆的加深。一般来说，连续重复的次数在6-8次之后，加深效果的显著性会降低。对长时记忆而言，再次提取也即再次重复记忆，记忆“刷新”的效果一般比较显著。

5.2.4 工作记忆

1974年，Baddeley和Hitch提出“工作记忆(Working memory, WM)”的概念。Baddeley等认为，工作记忆指的是一种系统，它为复杂的任务比如言语理解、学习和推理等提供临时的储存空间和加工时所必需的信息。工作记忆系统能同时储存和加工信息，这和短时记忆概念仅强调储存功能是不同的。工作记忆分成三个子成份，分别是**中枢执行系统、视空初步加工系统和语音环路**。大量行为研究和神经心理学上的许多证据已表明了这三个子成份的存在。有关工作记忆的结构和作用形式的认识也在不断地丰富和完善着。人们发现，**工作记忆与言语理解能力、注意及推理等联系紧密，工作记忆或蕴藏着智能的玄机。**

5.2.4.1 工作记忆及其典型模型

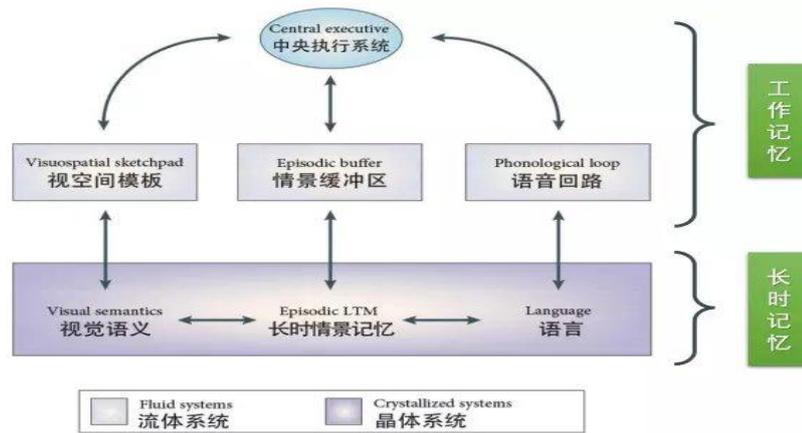
人们在进行学习、记忆、思维及问题解决等高级认知活动时，需要一个暂时的信息加工及存储机制，这种机制即为工作记忆。现在，人们所说的工作记忆，主要是指在解决认知任务的过程中，用于信息加工并同时保持与当前任务相关的信息的系统或机制，有着中央执行功能的作用。从认知

系统的信息加工角度考虑,工作记忆也可称为操作记忆,即一种为当前信息加工的需要而短时储存信息的过程和机制。与其相对应地,长时记忆则是为以后信息加工的需要而储存的信息。

1. Baddeley 的多成分模型

关于工作记忆,其最早的模型是由 Baddeley 和 Hitch 于 1974 年提出的。此后,有关工作记忆的研究,有很长时间是围绕着该模型的验证和完善进行的。传统的 Baddeley 模型认为,工作记忆由语音回路、“视觉空间画板”两个附属系统和中央执行系统(Central executive, CE)组成。语音回路负责以声音为基础的信息的储存与控制,包含语音储存和发音控制两个过程,能通过默读重新激活消退着的语音表征防止其衰退,而且还可以将书面语言转换为语音代码。“视觉空间画板”主要负责储存和加工视觉空间信息,可能包含视觉和空间两个分系统。中央执行系统是工作记忆的核心,负责各子系统之间以及它们与长时记忆的联系、注意资源的协调和策略的选择与计划等。随着研究的深入,该模型研究取得了多方面的进展。比如,关于语音回路,现在人们对其进化论意义有了更深入地了解。以往的研究主要考察的是语音回路在言语性刺激暂时保存中的作用,后来, Baddeley 等指出,这种保存只是派生的机能,语音回路真正的机能在于语言掌握。在视觉空间画板的研究上,有大量证据表明,视觉空间工作记忆本身又可分成一些独立的子成分。如脑成像研究发现,视觉客体信息和视觉空间信息的工作记忆,激活了各自独立的特殊脑区。对视觉信息复述机制的研究也取得了一定进展。Logie 指出,视觉空间画板可细分为视觉缓存(visual cache)和内部抄写器(inner scribe)两个成分。前者主要用于视觉信息的被动储存,后者参与视空信息的动态操作和复述。在中央执行系统的研究方面,首先,研究者们已经把信息保存功能、以及特定领域信息的加工功能从中央执行系统中分离出来,把该系统看成纯粹的信息执行结构;其次,又认为中央执行系统可进一步区分出一些下级系统。如 Miyake 等用潜变量分析的方法考察了中央执行系统的统一性与多样性,他们发现存在着 3 种主要的执行功能,即信息更新功能、优势反应的抑制功能和任务转换功能,三者之间呈中等程度的相关,表现出相对的独立性。

Baddeley 的工作记忆模型后来最大的发展是:在传统模型的基础上增加了一个新的子系统,即情境缓冲区(episodic buffer, EB)。情境缓冲区是为了克服传统模型的弱点而提出的。比如,在随机的单词记忆任务中,被试只能即时系列回忆出 5 个左右的单词,但如果根据文章内容进行记忆,则能够回忆出 16 个左右的单词。显然,传统的三成分模型无法解释这种结果。Baddeley 认为,关键在于传统的模型没有注意到不同类型的信息是怎样整合起来的,而且其整合结果是怎样保持的。为此,他认为应该在其传统模型的基础上增加一个能包含这部分功能的新成分,即情境缓冲区。情境缓冲区是一个能用多种维度代码储存信息的系统,为语音回路、视觉空间画板和长时记忆之间提供了一个暂时信息整合的平台,通过中央执行系统将不同来源的信息整合成完整连贯的情境。情境缓冲区与语音回路、视觉空间画板并列,受中央执行系统控制。虽然不同类型信息的整合本身由中央执行系统完成,但是情境缓冲区能保存其整合结果,并支持后续的整合操作。该系统独立于长时记忆,但却是长时情境学习中的一个必经阶段。情境缓冲区可用于解释系列回忆中的列表间位置干扰的问题、言语和视觉空间过程间的相互影响问题(如言语回忆中的视觉效应)、记忆组块问题和统一的意识经验问题等。新增情境缓冲区之后的四成分模型如图 5.2.1 所示。



[注：图中深阴影部分代表晶态认知系统, 浅阴影部分代表液态认知系统]

图 5.2.1 工作记忆的四成分模型 (Baddeley, 2000)

尽管 Baddeley 的多成分模型取得了不少可喜的进展，并为多数人所关注，但其很多环节仍停留在假设的水平上，而且还面临着一些无法合理解释的实验事实。例如，在语音回路上，该模型无法解释系列回忆任务中顺序信息和项目信息的不同保存机制；在视空画板上，有关视觉信息和空间信息的复述机制仍没得到有力的证实；有关视空工作记忆、视知觉、视觉注意和有意识的视觉表象之间的关系也很不清楚。在中央执行系统的研究上问题更为突出，有关执行功能与暂时储存和通道特殊性加工之间的关系模糊性是当前工作记忆理论的一个致命弱点。一个明确的工作记忆模型应该能清楚地区分心理现象中的记忆成分和执行成分，能提出有关各子系统之间及与其他认知过程的关系。然而，其中央执行系统就像一个“破布袋”，把过多的认知功能都归结到其名义之下，以至于连工作记忆研究专家也说不清哪些认知加工属于工作记忆的执行功能，哪些不属于。因此，只有把中央执行系统和属于子系统的通道特异性加工区分出来，把注意和意识等认知功能从工作记忆中独立出来，并研究清楚它们与工作记忆的关系，才能使工作记忆理论得到进一步的发展和完善。另外，其情境缓冲区只是新提出的假想结构，尚缺乏认知实验证据或神经科学证据的有力支持；其复述机制尚不清楚，情境缓冲区与其他子系统之间的具体关系也未得到证实。有人甚至认为情境缓冲区根本就是无法验证的，因为很难在不影响通道特异性子系统的前提下，对整合跨通道信息的成分进行操纵。有人则指出，即使能找到选择性施加情境缓冲区负载的技术，其复杂的实验设计也会降低一个模型直观上的吸引力，失去传统模型最突出的简约和直观的优点。因此，目前尚不能确定情境缓冲区能否像语音回路、视觉空间画板一样得到有力证据的支持并发展下去。我们认为，尽管 Baddeley 的多成分模型存在不足，但它毕竟是揭示工作记忆功能和机理的众多尝试中最引人注目的一个，应是推动工作记忆进一步深入研究的较好基础。

2. 关于工作记忆的其他解释模型

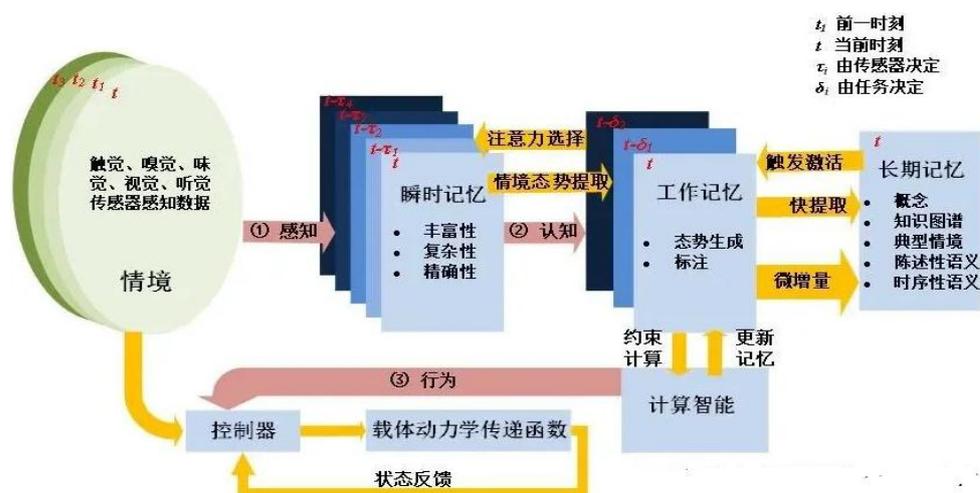


图 5.2.2 关于工作记忆的更深入研究

为了解释工作记忆的功能和机理，人们还提出不少模型。其中包括：

(1) **Lovett 等的 ACT-R 模型**。该模型把工作记忆资源看成一种注意激活，叫做“源激活 (source activation)”。认为源激活能从当前的注意焦点扩散到与当前任务相关的记忆节点，并保存那些处于“可获得状态 (accessible state)”的节点。如果说 Baddeley 所建立的多成分模型主要是为了解释双作业任务和认知神经学方面的大量研究资料，则 ACT-R 模型可用于解释大量个体差异方面的研究数据。根据 Lovett 等的解释，ACT-R 是一个产生式系统，可根据产生式规则的激活进行信息加工；并强调加工活动对目标信息的依赖性。当前目标越强烈，相关信息的激活水平就越高，信息加工就越迅速准确。该模型认为，工作记忆容量的个人差异实际上反映了“源激活”总量的差异，而且这种源激活具有领域普遍性和单一性。语言和视觉空间信息的源激活基于相同的机制。该模型的明显缺陷在于只是用一个参数去说明复杂认知任务中的个体差异，但工作记忆的个体差异还可能与加工速度、认知策略、已有知识技能等有关。ACT-R 模型强调工作记忆的单一性，以详细阐明共同结构作为主要任务，只能弥补强调工作记忆多样性的模型的部分不足。

(2) **Engle 等的“注意控制”模型**。Engle 等提出的“注意控制”模型认为，工作记忆实际上就是“短时记忆”+“注意控制”。他们认为，工作记忆容量的个体差异反映了个体控制加工过程的能力，也就是说，只有在需要控制注意参与的任务中才能反映出工作记忆容量的差异。具体而言，工作记忆容量反映了个体面临无关信息干扰时，有意识地激活记忆表征、并将这些表征引到注意焦点以及把注意焦点维持在这些表征上的能力。他们甚至提出，工作记忆容量实际上就是执行注意能力。该模型得到了有关前额叶功能的认知神经科学研究的支持。其框架类似于 Baddeley 模型的“工作记忆=附属系统+中央执行系统”，但它认为注意控制机能具有单一性和普遍性，这一点又类似于 ACT-R 模型。

(3) **Ericsson 等人的长时工作记忆模型**。Ericsson 等人从工作记忆和长时记忆关系的角度，提出了长时工作记忆模型。该模型认为，Baddeley 的工作记忆只能叫做“短时工作记忆”，因为还存在其他形式的工作记忆。该模型广泛地描述了工作记忆可能存在的形式和机制。他们认为，工作记忆概念的实质在于在特定的时间内，只有长时记忆中的一小部分知识、技能和信息影响被试当前的行为和心理过程。因此，工作记忆现象应该包括所有用于保证个体选择性通达完成当前任务所需信

息和程序的机制。该模型在揭示传统工作记忆与长时记忆关系方面具有一定积极意义。

与工作记忆有关的解释模型还有 Cowan 等的“过程嵌套模型”、Barnard 等的“认知交互模型”、O’ Reilly 等的“基于生物学的运算模型”等。这些模型从不同的角度对工作记忆的实质和结构发表了各自的看法，虽然内容和形式都相差很大，但彼此之间还是有一些共同关注的问题的，如：信息表征方式、资源有限性、与复杂认知活动的关系等。概括起来，我们或可以把所有的工作记忆模型分成两大类：一类是以 Baddeley 的多成分模型为代表的传统的工作记忆模型，它们强调把工作记忆分成多种具有独立资源的附属系统，突出通道特异性加工和储存；另一类则是以 ACT-R 模型为代表的工作记忆模型，它们强调工作记忆的整体性，突出一般性的资源分配和激活。前者的研究主要集中在工作记忆的储存成分，即语音回路和视空画板；如 Baddeley 明确提出，应该在探讨更复杂的加工问题之前，先把比较容易操作的短时储存问题研究清楚。而后者注重探讨工作记忆在复杂认知任务中的作用，如阅读和言语理解等。因此，后者所指的工作记忆类似于前者模型中一般性的中央执行系统。现在，这两类研究正越来越多地相互认同一些东西，并在各自的理论建构上产生相互影响。如情境缓冲区的提出与 Barnard 的“认知交互模型”中的命题表征系统很相似。因此，两类研究已表现出一定的整合和统一趋势。

5.2.4.2 关于工作记忆研究中的一些基本理论问题

对工作记忆模型的多样化研究丰富和深化了人们对工作记忆的本质的更全面、更深入的认识。但是，在工作记忆的模型和理论的完善方面，目前存在的问题还是很突出的。比如，传统的工作记忆模型无法解释系列信息的储存和加工问题、中央执行系统功能的过于笼统问题、情境缓冲区的验证问题、不同模型的融合问题、各附属系统与长时记忆关系的问题、以及工作记忆容量个体差异的实质问题等，这些都是目前工作记忆的理论研究需要深入研究的课题。本节，我们谨简述人们对工作记忆一些基本问题的研究和考虑。

1. 关于工作记忆的研究范式问题

关于工作记忆的实验研究范式，双作业任务实验是应用最广泛的。尤其是在研究 Baddeley 的工作记忆模型时常被作为验证的基础。该范式的基本程序是：同时给被试呈现主任务和次任务或者只呈现主任务，然后对这两种条件下被试的实验结果进行比较，根据次任务对绩效的影响，判定工作记忆的子系统之间的关系。

干扰语音回路的次任务一般采用“发音抑制(articulatory suppression)”任务，该任务要求被试重复说习惯化了的词语。当该任务作为次任务时，单词或数字回忆等依赖言语信息储存的主任务成绩明显下降，但依赖于视觉空间信息储存的任务成绩几乎不变。干扰视觉空间画板的次任务一般采用“空间击打(spatial tapping)”任务。任务一般要求被试描述简单的图形，如用手指按顺序轻击正方形的四个角。但是人们发现，该任务虽然能有效干扰空间信息的储存，但对视觉信息干扰不是很有效。为此，Quinn 等人新开发了一种叫“无关图形范式”的次任务，要求被试在进行主任务时双眼注视电脑屏幕上呈现的动态视觉模式。干扰中央执行系统的次任务一般采用“随机数生成(random number generation)”任务，要求被试在一定的区间内把从 1 到 9 的数字进行尽量随机的排列，以被生成数的随机程度作为分析指标。但是，由于该任务通常采用口头反应，不仅需中央执行系统完成，还必须有语音回路的参与；而且随机程度有不同的指标，并对应于不同的执行功能。所以，采用随机生成任务作为次级任务时，应考虑到数据分析和结果解释的复杂性。

但也有人(如 Hegarty 等)指出，通常的双任务实验在逻辑上是有问题的。一是反应选择的瓶

颈问题；二是两种任务间的策略权衡问题。反应选择的瓶颈问题是指，在双任务情境下，个体不可能同时对两种反应都做出选择。如随机生成任务要求被试进行快速、持续的反应选择，那么，这种任务对同样需要快速反应选择、但对中央执行功能依赖性比较小的主任务(如简单的知觉判断)将产生严重干扰。显然，这种严重干扰与双任务的实验逻辑是相违背的。策略权衡问题是指，尽管实验指定哪个是主任务、哪个是次任务，但是，被试倾向于自动地将更多的资源分配到他们觉得更难的任务上。如当把随机生成任务和一个不怎么需要中央执行功能的主任务结合时，由于被试将加工重点放在更难的次任务上，主任务的操作成绩反而会受到很大的干扰；当将其和一个更复杂的非常需要执行功能的主任务结合时，由于被试将加工重点放在更难的主任务上，主任务的操作成绩所受的干扰反而较小。因此，在用双任务范式进行工作记忆研究时，应该考虑到这些因素。由此看来，以往很多采用双任务范式得出的研究结论需要进行慎重考察。

2. 关于工作记忆与短时记忆的区别问题

关于工作记忆和短时记忆的区分也是工作记忆研究中的一个基本问题。工作记忆的概念最初是由短时记忆发展而来的。从短时记忆的概念发展为多成份的工作记忆概念，除了认为“工作记忆不是单一成分，而是由中央执行系统、视觉空间画板及语音环路等多个部分构成的；中央执行系统负责工作记忆中的注意控制，是一个能量有限的控制系统；视觉空间画板负责视觉材料的存储，语音环路负责语言材料的存储”等传统观点外，工作记忆概念还强调它对其它高级认知功能的功能作用，认为其作用包括对信息的执行控制和对激活信息的存储等。

现在，一种比较流行的看法是，认为工作记忆和短时记忆在功能上存在显著差异但在结构上是类似的。从功能上看，工作记忆是指被暂时贮存的内容在之后的复杂认知活动中是必不可少的，是进行其他认知活动的前提基础，如心算时的中间结果；短时记忆则是指所储存的信息在之后的认知加工中指望使用的记忆机能，如对只要拨出去就可以忘掉的电话号码的暂时贮存，其焦点侧重于信息的保持。从结构上看，不少研究者认为工作记忆系统包含短时记忆，也就是说，工作记忆系统是由“短时记忆”和“执行功能”构成的。但是，这里所说的短时记忆主要是指短时贮存，而光有这种短时储存库是不能实现短时贮存机能的。因为，双重贮存模型指出，为了实现短时记忆机能，除了短时贮存库，还需要执行机能的参与。若从这一角度来看，则短时记忆系统和工作记忆系统都是由短时贮存和执行机能构成的，二者在系统组成上没什么差别。因此，工作记忆和短时记忆的差异应在于系统的工作方式不同，前者比后者需要更多的执行功能参与，不仅支持保持功能，而且用于支持认知活动中的动态记忆，承担着更为复杂的认知任务。

由此，可以认为，工作记忆比短时记忆的功能更多、含盖范围更广。工作记忆能包含短时记忆，而短时记忆则代表不了工作记忆。实际上，在现实生活中，很少有纯粹的短时记忆，因为绝大多数暂时储存都是为随后的加工服务的。因此，在大多数场合，用工作记忆代替短时记忆，应该比较合理的。

3. 关于工作记忆和长时记忆的关系问题

早期的工作记忆研究常将工作记忆和长时记忆分开考虑，但是，近年来，人们已认识到，很多工作记忆任务中的信息保持不单与工作记忆的作用有关，还可能受到长时记忆的支持。比如，一般认为，由视空画板生成和保持的视觉形象的主观鲜明性，就受到长时知识的影响。有研究发现，在语音回路中，实际存在单词的记忆成绩明显好于非单词，呈现出“词汇效应”；类似单词的非单词的记忆成绩比不像单词的非单词记忆效果好，呈现出“近似单词效应”。这两种效应表明，长时记

脑中保存的语词信息对语音回路的功能有显著影响。现在，与长时记忆建立关系已成为完善工作记忆理论的一个重要环节。

长时工作记忆理论的提出对二者关系的研究起到了更大的推动作用。该理论认为，记忆能力强的人通常能保持超过工作记忆的容量的信息，我们不能认为他们所记的信息在工作记忆都处于激活状态，而应该认为他们得到长时记忆的支持。他们能利用熟悉领域的丰富知识和技能，把目标信息编码成随后能迅速提取的状态储存到长时记忆里，只是把极为少量的有助于提取的提示信息保持在工作记忆里，以减少工作记忆本身的负担。Ericsson 等更把这种根据提示，必要时能迅速提取目标信息的长时记忆信息，叫做“长时工作记忆”。长时工作记忆关注的焦点是如何在日常复杂的认知活动中减少记忆负担，并对信息的短时保持做出贡献。Baddeley 所提出的情景缓冲区，就是通过和负责信息激活及整合的中央执行功能的相互作用，把工作记忆信息和长时记忆信息整合成为可能的附属系统的。显然，该理论的发展也是受了“长时工作记忆”概念影响的结果。目前，有关工作记忆和长时记忆关系的研究还不算多，但已引起广泛关注。

4. 关于制约工作记忆容量的原因问题

众所周知，工作记忆的容量是有限的。那么，工作记忆的容量为什么有限？它受哪些因素制约？这也是工作记忆研究中的一个基础问题。人们从多种角度对此问题进行了探讨。比如，Towse 等人认为，信息在时间上的衰退可能是限制工作记忆广度的主要因素。如被试在信息保持上所花的时间越长，容易遗忘的目标信息也越多。该观点与传统的衰退说比较相似。Lustig 等人则认为，工作记忆广度的决定因素是对来自先前试验的前摄干扰的感受性，对抗干扰能力相同的被试而言，工作记忆广度成绩随影响前摄干扰量的变化而变化。Engle 等人则发现，工作记忆广度由短时记忆容量和注意控制功能的效率共同决定。Oberauer 等人则认为，工作记忆容量实际反映了可同时直接提取的项目数，其资源限制主要受两种因素制约：一是工作记忆表征的“覆盖(overwriting)”，即共享特征的记忆表征在特征编码上相互混淆；二是某个项目被提取时所产生的不同项目间的干扰和竞争。

上述观点在解释工作记忆容量的局限性方面都有一定积极意义，但都只强调了其中的某一侧面，作为说明工作记忆广度任务的个体差异的决定因素还不充分。工作记忆广度任务的复杂性和大量研究结果，已使越来越多的研究者认识到制约工作记忆容量的原因具有多样性。有关这些因素具体如何制约工作记忆广度任务执行、相互之间有何作用、与其他认知任务的关系、以及与发展 and 老化的关系等问题，仍需要进一步地深入研究。

5. 关于维持性注意和选择性注意对工作记忆的影响问题

我们知道，记忆所表述的是认知心理活动对信息的储存功能，“注意”属于价值性意向心理活动。选择性注意和工作记忆是对知觉、思维和行为间的动态交互作用至关重要的两个认知过程。二者的相互作用是信息加工系统的一个中心环节。有研究通过认知行为实验和事件相关脑电位技术，考察了视觉选择性注意在工作记忆中的作用，工作记忆在视觉选择性注意中的作用，以及二者相互作用的机制。包括选择性注意在视觉空间和客体工作记忆的信息表征和保存中的作用；通过延迟匹配和知觉辨别相结合的任务考察工作记忆内容对视觉选择性注意定向的影响；使用 ERP 技术同时考察视觉选择性注意与工作记忆关系的相互作用。结果发现：选择性注意在信息从知觉表征向工作记忆表征的转换过程中起促进作用，而且对空间信息的作用大于客体信息；对颜色-位置信息和颜色-形状信息的作用大于对颜色-颜色信息，呈现出组成同一个客体的特征维度相差越大注意影响也越大的趋势。视觉选择性注意对单一信息表征的影响可能基于增益机制，对联结信息表征的影响则是增

益机制和特征捆绑机制共同作用的结果。

关于维持性注意和选择性注意对工作记忆的影响。有研究发现：(1)维持性注意和选择性注意在工作记忆的机制中扮演不同作用。维持性注意是工作记忆中央执行器的核心，由此论断在信息加工中，维持性注意是注意的核心认知成分。(2)工作记忆对智力有显著的正向预测作用，与智力有高度相关，但是两者的结构和机制并不相同。(3)信息加工速度中，选择反应速度对智力的预测力大于简单反应速度对智力的预测力，即复杂反应时对智力的预测力比简单反应时大，简单反应时对智力的预测作用不显著，复杂反应时对智力有显著的（负向）预测作用。(4)注意、工作记忆、信息加工速度对智力都有直接的预测作用，三者的地位和作用不同。注意是影响智力的基础因素，注意可以通过工作记忆对智力产生影响。

5.2.4.3 关于工作记忆的脑科学研究

随着对工作记忆理论建构中所面临的一些基本问题的研究日益深入，现在，对工作记忆实验研究的方法越来越可靠，工作记忆与相关概念之间的关系越来越明确，对工作记忆资源有限的实质也有了更深入的认识。但是，工作记忆研究中的基本理论问题还有很多，如工作记忆机制的单一性或多样性问题，工作记忆与意识的关系问题，工作记忆与情绪的关系问题等。也许只有我们对这些基本问题都有了基本一致的看法之后，统一的工作记忆理论才有可能建立。

工作记忆研究的重要性是不言而喻的。Goldman-Rakic 曾把工作记忆评价为“人类心理进化中最重要的成就”。因为从长远来看，工作记忆不仅属于记忆研究领域，而且还应该成为人类行为、情感和意识研究中的重要领域。但是，由于工作记忆问题的复杂性，工作记忆基本理论的完善，应是一个漫长的过程。对工作记忆问题的研究，除了需要心理层面的更深入地研究外，更需要脑和神经科学层面的研究。

关于工作记忆的心理层面研究，人们已有的认识包括：认为影响工作记忆编码效果的因素主要是觉醒水平、工作记忆的组块和认知加工深度；认为复述是工作记忆信息存储的有效方法，当然，复述包括机械复述（或称保持性复述，即将工作记忆中的信息不断地简单重复）和精细复述（即将工作记忆中的信息进行分析，使之与已有的经验建立起联系），后者应该更有效；而工作记忆的遗忘，即工作时需要的记忆的内容不能保持或者提取时有困难，则是工作记忆的容量有限、储存时间也很短的结果；认为工作记忆的信息提取方式为完全系列扫描，即对全部项目进行完全的检索，然后做出判断；在这种提取方式下，肯定判断和否定判断都要对全部项目进行搜索，因此，它们应该具有同样的反应时间；另外，反应时间应是项目长度的函数；等等。

对工作记忆的更深入的研究是关于工作记忆的脑机制研究。由于工作记忆对于人类认知具有重要作用，因而关于工作记忆的脑机制也就成为了一个令人瞩目的研究对象。下面是关于工作记忆的认知神经科学研究的部分研究成果。

1. 工作记忆常用的脑功能成像实验研究范式

随着认知神经科学的发展，无创伤性脑（认知）功能成像技术迅速发展并应用于临床研究。人类活动时，脑细胞电位、脑细胞代谢及脑血流会发生变化，而这些变化可以分别通过脑诱发电位(ERP)、正电子发射断层扫描(PET)及功能性磁共振成像(fMRI)等技术检测出来，其中，ERP 有较好的时间分辨率，可以实时显像，但空间分辨率较差；PET 的空间分辨率有所提高，但仍欠理想；fMRI 有着较好的时间分辨率及空间分辨率。

早期工作记忆的**脑功能成像实验**研究主要集中在信息的存储功能，并试图把两个子系统进一步

分成被动存储(passive storage)与主动复述(active rehearsal)两个过程;近期,已有更多的研究关注信息执行控制。工作记忆信息存储常用的实验研究范式是 Sternberg 作业(The Sternberg Task)或项目再认作业(item-recognition task)(两种测验方法基本一致)。Sternberg 作业的典型范式是:先给被试依次呈现一系列记忆项目(memory set),移开几秒钟后,然后出现探究刺激(probe stimulus),要求被试指出该探究刺激是否与先前呈现的某个记忆项目相配(即探究刺激是否就是记忆项目中的某个刺激)。依据不同的实验材料(如字母、图象、面像、圆点等),分别测定语言信息存储、客体信息存储及空间信息存储等。

工作记忆的信息执行控制过程比较复杂,为此,Smith 等将其进一步具体化为以下几个方面:

①注意与抑制(attention and inhibition)—将注意力集中在相关信息及处理过程上,而抑制无关的信息及过程;②任务管理(task management)—对复杂任务中的具体过程进行排序,并在不同任务间转移注意力;③计划(planning)—制定一系列具体任务以完成最终目标;④监督管理(monitors)—更新和检查工作记忆的内容,并确定系列任务中的下一步;⑤编码(coding)—按呈现的时间和位置对工作记忆中的表征(representation)进行编码。由于在脑功能成像实验研究中较难将这些不同的功能区别开,常用的试验范式有:①倒数 n 项测验(N-back task):即要求被试判断当前出现的项目是否与连续出现的测验项目系列中倒数 n 个项目相配,n 一般被认为反映记忆容量,如果 n=0(常用作对照),则只要求对预先规定的靶刺激作出反应,该作业同时包括信息存储及执行控制过程;②产生作业(generation task):常用自身排序作业(self-ordering task)、随机数字产生作业(random number generation)及词语流畅性作业(verbal fluency task)等;③双重任务(dual tasks):要求被试同时完成两种作业,主要用于测定被试的任务管理能力;④重新排序作业(reordering task);⑤计划作业(planning tasks);如伦敦塔作业(tower of London task)、分支作业(branching task)等;⑥其它认知作业;如威斯康星卡片分类测验、瑞文测验以及 Stroop 测验等。

2. 关于工作记忆的脑功能定位研究

早期的研究支持工作记忆的被动存储主要与后部脑区(如顶叶及颞叶)有关,而主动复述与额叶的后部有关,并且语言信息存储主要与左侧、空间信息存储主要与右侧有关。然而,近期的一些研究(包括信息存储及执行控制)均表明工作记忆与额叶有着密切关系。

Smith 等发现,左侧顶叶后下面、左侧额叶腹外侧、左侧补充运动区及运动前区参与语言信息的存储,主要位于左侧半球。关于语言信息的被动存储与主动复述过程,Paulses 等发现左侧顶叶下部参与语言信息的被动存储,而左侧额叶腹外侧、补充运动区及运动前区参与语言信息的主动复述,据此,Smith 等认为,额叶后部(从运动前区及补充运动区腹侧至 Broca 区)是语言信息主动复述的脑功能区。

空间信息及客体信息均与视觉有关,且均经视觉空间存储器存储,因而常常被一起研究。Smith 等发现,空间信息材料主要激活右利手者的右侧半球,包括顶叶、运动前区背侧及额叶腹外侧,客体信息材料主要激活左侧半球,包括顶叶下部、颞叶下部及额叶腹外侧。有学者对客体信息材料与空间信息材料进行了直接比较,有的发现客体信息材料主要激活左侧顶叶后部及颞叶下部,空间信息材料主要激活右侧顶叶后部及枕叶前部、右侧运动前区及额叶腹外侧。另有一些学者发现,客体信息材料主要激活左侧额叶腹外侧(ventrolateral frontal cortex, VLFC)及双侧额叶背外侧(dorsolateral frontal cortex, DLFC),而空间信息材料主要激活右侧额叶背外侧。Fletcher 等在总结前人研究的基础上,认为客体信息与空间信息存储之间的差别,主要反映在左侧及右侧的侧

化,即客体信息存储的脑功能区主要位于左侧(或双侧)额叶,而空间信息的功能区主要位于右侧额叶。也有学者认为客体信息存储与空间信息存储之间似乎也存在额叶腹外侧与背外侧之间的差别。虽有人试图分别研究客体信息及空间信息的被动存储与主动复述过程,但这两个过程较难分离。

关于工作记忆执行控制功能的研究方法较多,不同方法要涉及到执行控制功能的不同方面。但目前的研究很难将其精确区分开。倒数 n 项测验实际包括着信息存储及执行控制两个过程,Braver 等的倒数 n 项测验研究发现,双侧 DLFC、VLFC 及顶叶均有明显激活,且激活程度与工作记忆容量呈正相关,从而推断双侧 DLFC 与言语性工作记忆的执行控制功能有关。Smith 等报道,语言信息材料及空间信息材料(n=3)均激活双侧 DLFC 及额叶前部(AFC),并且语言信息材料主要激活左侧 DLFC,空间信息材料主要激活右侧 DLFC。Owen 等比较了空间信息材料与客体信息材料的不同实验结果(n=2),发现两者均明显激活双侧 DLFC 及 AFC,且位置基本一致。Cohen 等曾用事件相关性 fMRI 研究倒数 n 项测验中的执行控制功能,发现左侧 VLFC 表现出明显的激活。双重任务主要用于测定被试的任务管理能力,D'Esposito 等曾用语言及空间信息材料进行双重任务研究,发现单一任务均不能激活 DLFC,但执行双重任务时,双侧 DLFC 及扣带回前部均有明显激活。Petrides 等曾多次用自身排序作业进行研究,发现语言信息材料主要激活双侧 DLFC,而视觉空间信息材料主要激活右侧 DLFC。此外,有较多研究均支持词语流畅性作业与左额叶的 DLFC 及 VLFC 有关。计划作业主要用于检测被试的计划能力,Owen 等和 Baker 等曾分别用伦敦塔作业做实验研究,前者发现左侧 DLFC 有激活,后者发现双侧 DLFC 及右侧 AFC 均明显激活。此外,Koechlin 等的分支作业研究发现,被试双侧 AFC 有明显激活。

以上关于人类工作记忆的研究,对于我们认识高级认知功能的本质及其脑功能定位,具有重要意义。虽然我们目前尚不能得出肯定结论,但从这些研究中,我们可以得出一些有益启示:工作记忆的功能包括对激活信息的存储及对信息的执行控制,前者可以分为被动存储及主动复述两个过程,后者又可进一步分为注意与抑制、任务管理、计划、监督管理及编码等五个方面。研究发现,激活信息的存储主要位于 VLFC,不同类型信息似乎存在不同侧化,语言信息主要存储在左侧 VLFC,空间信息主要存储在右侧 VLFC,客体信息存储可能与左侧有关,并且,研究进一步支持被动存储与主动复述过程的分离—被动存储主要与后部脑区(顶叶、颞叶及枕叶)相联系,而主动复述的脑功能区则位于额叶(包括 VLFC)。工作记忆的执行控制主要与 DLFC 有关,更复杂任务时 AFC 也被激活;并且,执行控制的脑功能区与信息存储存在相类似的侧化,即语言信息材料主要激活左侧,空间信息材料主要激活右侧。

在大量研究的基础上,人们提出了工作记忆的两个基本理论,即特定部位(domain-specific)与特定过程(process-specific)理论。前者认为,额叶腹外侧负责客体信息(object information)的保持,而额叶背外侧负责空间信息(spatial information)的保持;后者则认为,额叶腹外侧主要是对信息进行转换、提取、保持及匹配等过程,而额叶背外侧对保持在工作记忆中的信息进行更复杂的处理。虽然目前尚未形成完全一致的观点,但大多数人都认为,工作记忆与额叶外侧皮质有关,对工作记忆的研究可以从处理对象(材料)及处理过程两个不同侧面进行。

工作记忆是一项为学习、推理、理解及问题解决等高级认知功能服务的脑基本功能,可以理解为是高级认知功能的“工作平台”。目前的研究表明,工作记忆主要与额叶(主要是 DLFC 及 VLFC)有关,而不同类型工作记忆与不同脑区相联系。但在这些研究中,还有些问题需要注意或有待进一步研究:①工作记忆提出了两个子系统,这些子系统主要依据激活信息的类型分类,且视觉客体信

息材料与空间信息材料共用一个子系统,这种分类是否与客观事实相符还有待进一步研究,且需进一步研究是否存在其它类型子系统。②fMRI及PET虽有较好的时间分辨率及空间分辨率,但尚不能实时显像,认知活动与影像表现之间,有一定时间间隔,且尚不能完全排除头部运动、呼吸及心跳等人为影响因素。③工作记忆包括较多的认知成分,如何采取有效办法将这些成分分离并分别予以研究很值得考虑。④目前功能成像主要依据局部脑血流的变化进行研究,但这些局部脑血流的增加或减少与认知活动(增强或减弱)之间的关系如何解释有待进一步研究。⑤高级认知活动最终是由神经元及其之间的相互连接完成的。但激活脑区神经元的活动、局部脑血流及功能成像表现之间的关系如何解释也有待进一步研究。

5.2.4.4 工作记忆与智能

近年来,有关认知发展心理机制的研究已成为认知发展研究领域一个颇引人注目的内容,这些研究探讨了年龄、工作记忆、加工速度与流体智力之间的关系。研究发现,在流体智力的发展过程中,工作记忆可能比加工速度发挥着更直接、更一般的作用,而加工速度则对工作记忆的发展起直接调节作用。

认知发展是发展心理学中一个重要的基础研究领域。半个世纪以来,研究者围绕认知发展作了大量富有成效的研究。其中之一就是认知发展过程中的心理机制问题。人们相继发现,加工速度不仅是评价认知功能年龄差异的一项敏感性指标,而且是认知功能年龄差异的一个重要调节因素。相对于学习、记忆、思维等一般认知能力,加工速度被看作是一种特殊能力。例如,在成人认知发展(即认知老化)研究中,有研究者提出认知老化的加工速度理论。该理论认为,加工速度反映认知功能的中枢状态,由增龄而导致的加工速度减慢是认知能力衰退的前提,因而加工速度减慢可能是认知功能年龄变化的一个决定因素,这就是说,加工速度在年龄和认知能力之间起一种中介调节作用。进一步的研究发现,工作记忆也在认知发展过程中发挥重要作用。在认知发展研究中,观察到工作记忆是年龄的另一项敏感指标,工作记忆能力的发展可能是认知发展的一个重要基础。因此,加工速度与工作记忆可能都起着中介性调节作用。那么,这两个中介性调节因素是否存在一定关系?这意味着,阐明工作记忆与加工速度两者之间的关系是认知发展研究中的一个重要内容。

一般认为,认知有广义与狭义之分,广义的认知与智力具有大体等同的含义。从生态文化角度出发,卡特尔按照与先天禀赋和社会文化的密切程度,把智力划分为流体智力和晶体智力,其中流体智力被认为是信息加工和问题解决过程中所表现出来的能力,以神经生理为基础,随神经系统的成熟而成熟,相对不受教育文化的影响而决定于个人的禀赋。由于流体智力类似于斯皮尔曼提出的一般智力,故研究者多称其为一般流体智力。研究年龄、工作记忆、加工速度与流体智力之间的关系,将有助于阐明认知发展的内在心理机制。

如果保持年龄变量恒定,工作记忆、加工速度与流体智力之间存在何种关系?Conway等人采用潜变量分析方法探讨了这一问题。Conway等的研究以阅读广度、操作广度和计数广度作为工作记忆的测查指标,以词语广度任务的四种变式作为短时记忆的测查指标,以字母抄写、图形和字母比较、数字抄写作为加工速度的测查指标,以瑞文推理测验成绩和卡特尔文化公平测验成绩作为一般流体智力的测查指标。其词语广度任务的四种变式是:非限定词的回忆广度、限定词的回忆广度、发音抑制情况下的非限定词回忆广度、发音抑制情况下的限定词回忆广度。其中非限定词指呈现的词预先未具体设定,其词来源随机,而限定词指呈现的词预先设定。

通过对工作记忆、短时记忆、加工速度与一般流体智力这四个潜变量之间的关系进行分析,所

获得的最适结构方程模型见图 5.2.3。从图 5.2.3 所示的结构方程模型可以看出，仅有工作记忆与流体智力之间存在密切关系，标准化路径系数高达 0.60，而短时记忆、加工速度二者与流体智力之间并无密切关系，标准化路径系数分别为 0.18、0.07，远低于工作记忆与流体智力间的路径系数。这不仅证实了工作记忆与流体智力之间关系密切，还进一步表明，加工速度与流体智力之间不存在直接关系。

虽然短时记忆与流体智力之间并没有明显关系，但大量研究发现，短时记忆与工作记忆存在很高的相关性。如何解释这一点呢？研究发现，工作记忆与短时记忆二者间确实存在密切关系，但它们之间的关系是一种包含关系，即工作记忆能力相当于短时记忆能力加上注意控制能力。其中，注意控制能力正是工作记忆系统中中央执行器的功能。

上述研究表明，工作记忆与流体智力之间存在密切关系，而加工速度与流体智力之间不存在直接关系。那么，在流体智力的发展过程中，工作记忆与加工速度在其中所起的作用是否亦具有类似特点？也就是说，工作记忆是否比加工速度在流体智力发展过程中起更一般性的作用？Miller 和 Vernonr、Fry 和 Hale 曾分别对这一问题进行了研究。

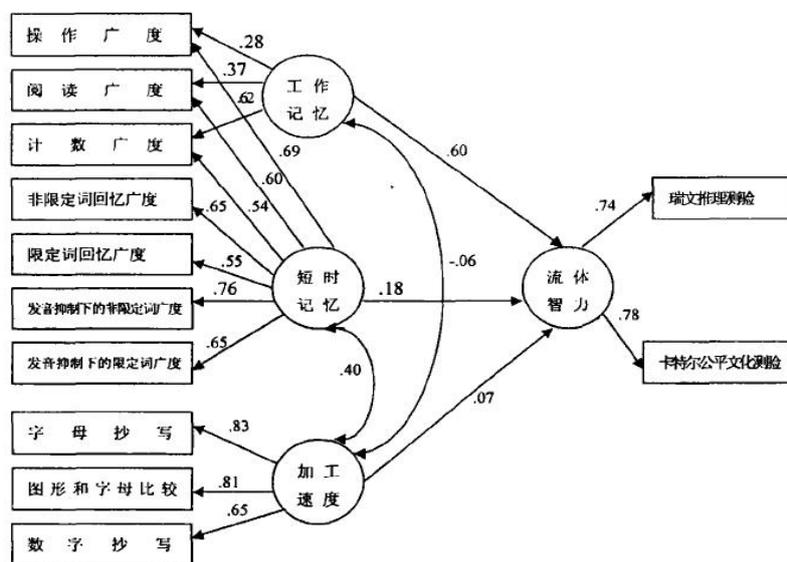


图 5.2.3 工作记忆、短时记忆、加工速度与一般流体智力四个潜变量的结构方程模型

Miller 和 Vernon 的研究选取了从 4 岁到 7 岁的 109 名儿童，以形状判断、颜色判断、大小判断、数字判断、形状记忆、颜色记忆和箭头方向判断、延迟性匹配等 8 项任务作为加工速度的测查指标，以序列性颜色广度任务、同时性颜色广度任务、序列性形状广度任务、同时性形状广度任务、音调广度任务等 5 项任务作为工作记忆的测查指标，以 Wechsler 的儿童智力量表修订版测量了被试的流体智力。在此基础上，分别以年龄、加工速度、工作记忆为预测变量(自变量)对标准变量(因变量)流体智力进行了多元回归分析。分析发现，当速度变量在记忆变量之后进入回归方程时，R² 的增加量并不显著，相反，当记忆变量在速度变量之后进入回归方程时，R² 的增加量非常显著。这表明加工速度与流体智力间并不存在明显的直接关系，也就是说，有关成年人认知老化研究中加工速度在年龄和认知能力之间起一种中介调节作用的观点在儿童的认知发展过程中并不成立。相反，工作记忆比加工速度更能反映流体智力的状况，即工作记忆在年龄与一般流体智力之间起一种中介调节作用。

Miller 和 Vernon 的上述研究结果在 Fry 和 Hale 的研究中得到了进一步的确认。Fry 和 Hale 的研究选取了 7 至 19 岁被试共 219 名，每个被试进行了加工速度、工作记忆和流体智力的检测。他们以反向划箭头、形状分类、视觉搜索、抽象匹配等 4 项非词汇测试作为加工速度的测查指标，以词语工作记忆和空间工作记忆广度作为工作记忆的测查指标，以瑞文推理测验成绩作为流体智力的测查指标。在此基础上，对年龄、加工速度、工作记忆以及流体智力进行了路径分析。见图 5.2.4。分析发现，虽然在年龄与工作记忆、年龄与流体智力间亦存在显著的路径系数，但几乎所有 (97%) 工作记忆的年龄差异都是由加工速度的年龄差异所引起的 (即仅有 3% 的工作记忆的年龄差异是独立的)。也就是说，儿童加工速度的发展是其工作记忆发展的基础，但加工速度并不直接影响流体智力。儿童工作记忆的发展才直接影响着流体智力的发展，即与年龄相关的工作记忆是流体智力发展的直接影响因素。因此，上述研究中工作记忆在年龄与一般流体智力之间起一种中介调节作用的观点可以更准确地表述为：工作记忆对流体智力的发展起直接调节作用，而加工速度对流体智力发展的影响是间接的，即加工速度仅对工作记忆的发展起一种直接调节作用。

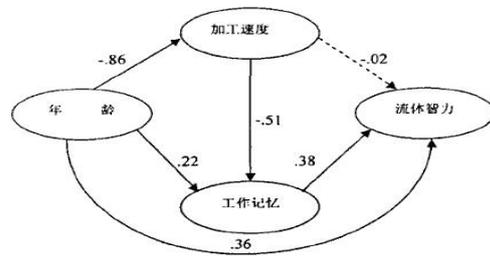


图 5.2.4 年龄、加工速度、工作记忆、流体智力之间的路径关系

如何解释加工速度的发展是工作记忆发展变化的基础？事实上，在工作记忆广度测量中，以被试工作记忆广度所表示的工作记忆能力大小在很大程度上直接取决于被试内在发音速率的高低，而发音速率的高低又直接取决于被试加工速度能力。这一点已经得到有关研究的证实。

总体上，有关流体智力发展的研究表明，儿童工作记忆的发展是其流体智力发展的直接基础，这种密切关系的关键可能在于工作记忆的中央执行功能，而加工速度对流体智力发展的影响是间接的，它仅对工作记忆的发展起一种直接调节作用。成人的认知发展可能也遵循这一规律，但尚有待进一步的研究。

5.2.5 关于内隐记忆的研究

与外显记忆相比，内隐记忆具有许多鲜明的特点。首先，个体差异对内隐和外显记忆的影响不同，对脑损伤、脑老化和酒精中毒等个体差异的研究发现，内隐记忆对个体差异相对而言不敏感。其次，从个体发生的角度看，内隐记忆的发展要早于外显记忆，在发生发展过程中也表现出与外显记忆不同的特点。另外，内隐记忆的神经心理学基础也有较大差异。

目前，对内隐记忆的研究主要有：

(1) **基于传统外显记忆研究方法的研究。**作为与传统外显记忆相对独立的全新的记忆研究领域，内隐记忆研究的方法与传统方法有很大不同，其独具特色的研究方法目前主要有任务分离法和加工分离法两种。但建立在传统记忆研究基础上的内隐记忆研究，不可能也没有必要对传统研究方法弃之不用。信号检测论、信息论及非参数模型都曾在内隐记忆研究中得到成功运用。以信号检测论为例，Merikle 和 Reingold 认为，许多涉及内隐记忆的测验都未分离出辨别力和反应偏向的影响，如果某种间接测量与相应的直接测量相比显示了较高的辨别力，就可以说明内隐记忆存在于这种测验中。在一项关于内隐学习的研究中，杨治良等曾将被试按学习材料中所含的关键字母“SCT”的比例

不同分成6个组,结果发现含“SCT”比例高的学习材料启动效应明显,从而证明了存在着一个独立的记忆过程,并分离出内隐记忆的心理偏向。

(2) **基于任务分离法的研究**。任务分离法是指在内隐记忆研究中,通过改变测验指导语造成直接测验和间接测验两种记忆任务,再通过考察两种记忆测验间的关系来确定是否出现分离,但所获得的分离也可能仅仅是由于任务外部形式上或内部心理操作上的分离,而不是底层加工过程的分离。匹配比较法将直接测量任务和间接测量任务在形式上和心理操作上匹配起来,使他们只存在指导语上的差别,可以较好地解决这一问题。杨治良等曾运用匹配比较法对汉字内隐记忆进行了研究,考察了汉字的注意因素、测量任务因素和时程因素经过不同的组合构成的10种情况,其中测量任务因素的间接测量根据汉字的局部加工(字形、字义、字音)和整体加工(整体特征)分为4种子任务,发现了内隐记忆存在的三个必要条件是,非注意目标汉字、汉字的整体加工和偏好判断任务后阶段。

(3) **基于加工分离法的研究**。1990年代初, Jacoby 等人提出了加工分离程序(Frocess Dissociation Procedure, PDP),该范式将测验中的意识和无意识影响进行了分离并运用经典测验理论的公式计算这种影响。研究者们用加工分离法对内隐记忆的特征、内隐社会认知、选择性注意中意识与无意识的关系等进行了研究。针对PDP意识与无意识加工之间的随机独立性,朱模等区分了排除测验的先验概率和后验的数据的修正公式,并由此认为记忆过程中意识与无意识是相互独立的。由于在PDP再认测验中,除意识性提取和熟悉性的影响外,还有猜测引起的反应偏向,PDP的意识性提取和熟悉性成分的贡献会由于反应偏向的影响而失真。据此并考虑到包含和排除测验中猜测可能不一样, Buchner 等增加了两个猜测变量,将反应偏向的影响从意识性提取和熟悉性成分的贡献中分离出来,提出了对PDP修正的扩展模型。

5.3 感知与认知过程中的辨识

5.3.1 事物辨识的机理与过程

在人类感知和认知的过程中,始终离不开“知”和“识”。“知”和“识”,人类是一切“知识”的基础,也人类思维的主要功能。“知”包括感知、觉知和认知等,而“识”则包括认识和辨识等。

按照我们的理解,在人类感知与认知的过程中,辨识应是主体对特定领域中的事物的比较和确认的过程。而理解则是主体在一定认知框架下,在不同信息之间建立关系的过程。

人们常将对事物的辨识过程,理解为一个“模式识别”的过程,即将某一类特定的事物看作是某一特定的“模式”。而“模式”是指由若干元素或成分按一定关系形成的某种刺激结构,或者说模式是指某类特定刺激的组合。模式识别是人的一种基本的认知能力或意识能力,在人类的各种感知和认知活动中具有非常重要的作用。

人的模式识别也可看作一类典型的知觉过程,它依赖于人的知识和经验。一般说来,感知过程中的模式识别过程,应是感觉信息与长时记忆中的相关信息进行比较,再决定它与哪个长时记忆中的事物信息有着最佳匹配的过程。关于匹配过程的实现方式,大多数人相信人类的识别,特别是视觉识别,有三种主要的识别方法:模板匹配识别;原型匹配识别;特征分析识别。

现代认知心理学理论认为,人的知觉过程并不是大脑及其感觉系统对外界事物的直接认识过程,而是一种“定向、抽取特征,与记忆中的知识相对照,然后再定向,再抽取特征,再对照,直到明确知觉对象的意义为止的这样一种循环的过程。”

研究认为,在模式识别过程中,事物的某些初始特征(如人的鼻子和眼睛)会通过视觉通道进入大脑中,给出这种模式的初始状态。此后原来已经保存在大脑记忆里的相应的图象展开竞争。竞

争获胜者取得了初步输出的权力。初步确定了整体的图样，而后再次进行比较，并补充其它点，直至一幅完整的图像出现。整个识别过程多次使用相似比较。有趣的是有些图像呈两种或两种以上的解释。被称为“两可图”。

对图 5.3.1 的第一幅图，在该图的识别过程中，可识别为老妇，也可识别为少女。最初识别时一般人可能会识别为少女，但如果事先告之这是一幅老妇的头部形象，识别人就会把“少女”的脸部识别为“老妇”的鼻子，把“少女”的脖子识别为“老妇”的嘴。但如果事先告之这是一幅“少女”的头部形象，则“老妇”的鼻子就被识别为了“少女”的脸部，“老妇”的嘴就被识别为了“少女”的脖子。这种现象说明，在模式识别时大脑中事先所存在的“模式”的重要性，对外界图像的识别，辨认相当程度上取决于脑内已有的“相似块”，该“相似块”一定程度上决定了识别的结果。

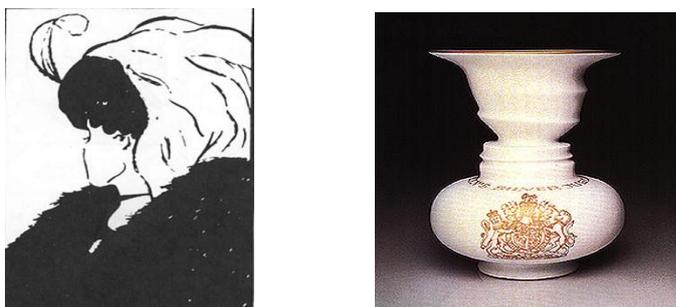


图 5.3.1 识别中的两可图示例

对图 5.3.1 中的第二幅图也同样表明了这样一个结果。该图究竟是“花瓶”，还是两幅人的侧面像，一般人可能两者选择都存在。面对某些人就可能顽固的认为是“花瓶”，因为他脑中对花瓶的“印痕”较深刻，而另一些人可能就认定是男人的侧面像，因为他可能是长期从事人物剪纸工作的。这种解释充分地说明了意识中“相似块”的巨大作用。意识不完全取决于事物的“实象”，而是与观察者的“内在素质”有极其密切地关系。

有一则十分有趣的故事，说是有一本关于量子力学的经典论著。一个物理学家见了，奉为至宝，爱不释手；一个中等文化人看到了，认为写的什么离奇古怪的东西，简直是天方夜谭；如果被一个尚未开化的野蛮人见到了，只能当作一卷出恭的废纸而已。由此可见，“实象”是因观察者内在因素而异的。只有“对号入座”了，事物才会呈现出其真实地价值。

模板匹配识别理论认为，在人的记忆系统中储存着大量的与我们曾感知过的特定事物相对应的表征，即模板。识别就是将特定事物的感知信息与人的记忆系统中的大量内部表征模板相匹配的过程。与输入刺激最为接近的那个相关模板所代表的事物，即是我们识别出的事物。原型匹配识别理论认为，是感知事物与人类记忆系统中各原形之间的多个相关刺激的相似性在识别中起了基本的作用。记忆系统中的原型被定义为某一类刺激的平均共性和个性。这大大降低了对记忆贮存的要求，其匹配工作也更加灵活有效，但是对外界刺激究竟如何经过抽象，从而建立内部表征和原型的结构，还缺乏明确、具体的描述。特征分析识别理论认为，在脑的内部，刺激将被表征为一系列的特征。或者说模式是由一组特征或属性组成。如：脸=眼睛+鼻子+嘴巴+…。对事物的识别通常经过 4 个阶段：映像、特征、认知和决策。神经生理学的实验发现，大脑存在大量对不同的性质（如线段方位、运动方向、颜色）有选择性反应的细胞，这可以成为特征检测与识别的证据，但也有人对此抱怀疑态度，认为实验所发现的选择反应细胞并不完全符合检测器的理论标准，特征分析也不能解释内容优势效应。

5.3.2 识别中特征的提取和选择

特征分析理论强调识别中特征的突出意义。认为识别的本质就是特征的分析 and 比较。人是如何进行有意识的特征提取与特征选择的？特征分析理论认为，这是由人的感知系统的特性决定的。比如，在所有视觉信息中，最基本、最重要的是图像。而所谓图像，实际上就是不同明暗部分的组合，视觉信息系统在处理图像信息时，所采取的一种基本方式，就是通过不同形式的感受野逐级进行检测和抽提。视网膜上特定的中心-周边拮抗的感受野结构，就意味着它检测的主要不是背景的光线平均亮度信息，而是明暗对比的视网膜影像的反差信息。类似的这样的信息特征抽提，在外膝体和视皮质各级水平上将会继续进行。

对所感知物体特征的分析包括局部分分析和整体分析。基于结构主义的特征检测理论强调自下而上的过程，认为通过了解简单组成部分，就可以理解复杂的知觉，即把知觉分解成初始的感觉。格式塔反对这种还原论的思想，认为部分之间的相互作用产生整体知觉。对视知觉组织的研究将涉及三个方面：群集、图形背景分割、知觉中的参考系。其中部分是如何组织、群集成一个整体是一个基本问题。Navon更提出整体优先性理论。强调内部结构的优势效应，认为图形的整体性质决定了识别的正确率。实验表明，整体对局部有加工的作用。现在，多数人的意见是：**人脑信息的加工是双向的，即从下到上(bottom-up)和由上向下(top-down)。人类的识别应是一个Bottom-up与Top-down结合的过程。**

对视觉图像的觉知，图形分割也非常重要。Hoffman和Richards发现，两个任意形状的曲面作随机穿插时，其相交的边界，总是在凹性不连续处。对于人来说，知觉不变性是有限度的、受条件约束的。它有可能因为刺激太复杂、加工太困难或因为需要更大的神经系统或更多的计算时间而无法实现。

另外，对刺激物体的知觉还包括整体意义上的加工，即：刺激与环境、刺激与参照系之间关系的确定，刺激或许可以不受时空因素的影响，但是刺激与环境、与参照系之间的关系却受到这些因素的影响而变化。

5.3.3 识别中具有挑战性的问题

对人类识别能力的研究还有不少颇具挑战性问题。比如，（1）“**恒常性问题**”，对于特征变化很大的事物，人是如何识别的？对于在视觉上大小不同、姿态和明暗千变万化的个体，人是如何将它们归为同一个体的？（2）“**抽象性问题**”，对于在视觉上形态、大小各异的不同事物，人又是如何将它们归纳为同一类事物的？“**不完全识别问题**”，只感受到了一些局部特征，人是如何准确识别出特定对象的？（3）“**选择性**问题”，面对一幅复杂的视觉图像，人又是如何有选择地区分出对象和背景的？“**整合性**问题”，对于一些离散像素，人又是如何将它们整合成一幅有意义的图像的？

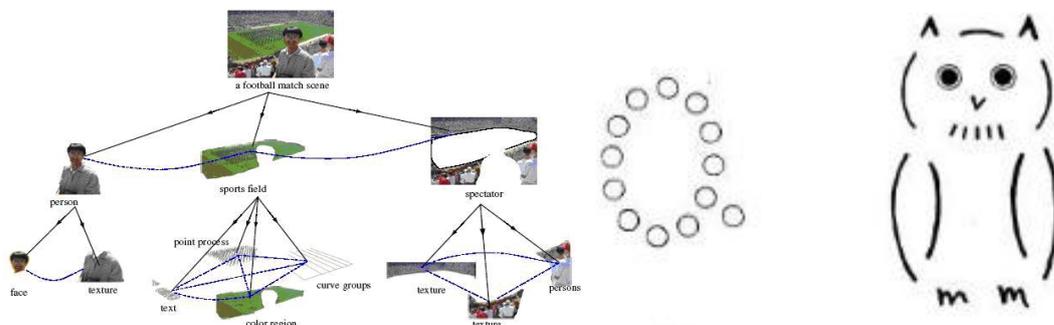


图5.3.1 图像的选择性分解与整合

识别机理的研究需要心理层面的解析，更需要神经生理方面的探究。一些神经元模拟方法正试图采用单细胞记录方法研究神经元的响应性质。其中，Malsburg和Daugman 创立了一种用空间频率对图像和视觉现象进行分析的方法。他们以滤波器作为特征检测器，用不同滤波器或他们的组合来模拟各种类型的**感受野；认为视觉系统在处理图像信息是采取的基本方式是：通过不同类型的感受野进行逐级抽取，每一级在上一级的基础上提取有用特征，抛弃不重要的特征。**更有研究提出，初级视觉皮层的简单细胞具有特征选择性，用Gabor小波变换可模拟视觉表象，单个Gabor滤波器与简单细胞的感受野性质相似，具有类似于简单细胞的特征选择性，对于特定的朝向和频率刺激敏感；而复杂细胞可整合简单细胞感受野。

参考文献

- 0501 王文涛 人脑系统的记忆机制[J]. 心理学探新, 1997, (3):28-33.
- 0502 王文涛 再论人脑系统的记忆机制江西师范大学学报(哲学社会科学版) 1999年8月第32卷第3期。
- 0503 王亚南 刘昌 工作记忆、加工速度与流体智力的发展 心理科学 2004年 27 (2) 507-509
- 0504 刘登堂 江开达 徐一峰 工作记忆的脑功能定位研究 国外医学精神病学分册 2003年第30卷第1期
- 0505 杨治良 内隐记忆研究的探索 BBS水木清华站(Dec 20, 2003)
- 0506 焦书兰 视知觉研究的回顾和展望 BBS 水木清华站(Sat Feb 14 2004)
- 0507 陈彩琦, 李坚, 刘志华 工作记忆的模型与基本理论问题 华南师范大学学报(自然科学版) 2003年11月2003年第4期
- 0508 王亚南 刘昌 工作记忆、加工速度与流体智力的发展 心理科学 2004年 27 (2) 507-509
- 0509 Baddeley A. D. Is working memory working? American Psychologist 2001 11:851-864
- 0510 林志成. 眼睛注视：独特的还是不独特的?. 心理科学进展, 2005, (4)
- 0511 张春兴. 现代心理学. 上海：上海人民出版社，1994
- 0512 罗四维 视觉感知系统信息处理理论：电子工业出版社 2006-02
- 0513 凤四海, 黄希庭. 时间知觉理论和实验范型. 心理科学, 2004, (05).
- 0514 刘强, 陈安涛, 王琪等. 知觉加工中存在颜色类别知觉效应的证据. 心理学报, 2008, (1)
- 0515 任衍具, 禚宇明, 傅小兰. 视觉短时记忆与视知觉的信息整合. 心理科学进展, 2007, (2)
- 0516 苏彦捷, 郭晓娟. 儿童视听觉通道现实监控的发展. 心理学报. 2007, (1)
- 0517 魏萍, 周晓林. 从知觉负载理论来理解选择性注意. 心理科学进展, 2005, (4)
- 0518 Bornstein M H, Kessen W, Weiskopf S. Color vision and hue categorization in young human infants. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1976, (2) :115-129
- 0519 Duncan J, Humphreys G W. Visual search and stimulus similarity. Psychological Review. 1989, 96 :433-458
- 0520 Lavie N. Perceptual load as a necessary condition for selective attention. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1995, (21) :451-468

- 0521 Meck W H. Neuropsychology of timing and time perception. *Brain and Cognition*, 2005, 58 (1) :1-8
- 0522 Pilling M, Wiggett A, zgen E, Davies I R L. Is colorcategorical perceptionreally perceptual? .*Memory & Cognition*. 2003, 31 :538~551
- 0523 Baddeley A D, Hitch G J. Working memory .G A Bower (Ed.). Recent advances in learning and motivation. New York: Academic Press, 1974
- 0524 Brewer J B, Zhao Z, Desmond J E, et al. Making memories: brain activity that predicts how well visual experience will be remembered .*Science*, 1998, 281(5380) :1185-1187
- 0525 Case R, Kurland M, Goldberg J. Operation efficiency and the growth of short-term memory .*Journal of Experimental Child Psychology*, 1982, 33 :386-404
- 0526 Finke, R. A., & Pinker, S. Spontaneous imagery scanning in mental extrapolation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1982, 8: 142-147.
- 0527 Finke, R. A., and Kosslyn, S. M. Mental imagery acuity in the peripheral visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1980, 6: 126-139
- 0528 Kosslyn, S. M. Aspects of a cognitive neuroscience of mental imagery. *Science*, 1998, 40: 1621-1626.
- 0529 Kosslyn, S. M. *Image and brain*. Cambridge, MA: MIT Press. 1994
- 0530 Logan G D. Working memory, task switching, and executive control in the task span procedure .*Journal of Experimental Psychology: General*, 2004, 133 (2) :218-236
- 0531 Luck S J , Vogel E K. The capacity of visual working memory For Features and conjunctions .*Nature*, 1997, 390 :279-281
- 0532 Paller K A, Wagner A D. Observing the transformation of experience into memory .*Trends in Cognitive Science*, 2002, 6(2) :93-102
- 0533 Shepard R.N., Metzler J. Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 1971(171) :701-703.
- 0534 Wheeler M, Treisman A M. Binding in short-term visual memory .*Journal of Experimental Psychology:General*. 2002, 131:48-64
- 0535 杜建政. 记忆研究的新取向. *心理科学进展*, 2002 (2)
- 0536 李林, 杨治良. 内隐记忆研究的新进展:概念、实验和模型. *心理科学*, 2004, (5).
- 0537 彭聃龄, 张必隐. *认知心理学*. 台北市: 东华书局, 1997
- 0538 沈模卫, 李杰, 郎学明等. 客体在视觉工作记忆中的存储机制. *心理学报*. 2007, (5)
- 0539 王甦, 汪安圣. *认知心理学*. 北京: 北京大学出版社, 1992
- 0540 王甦, 朱滢等. *当代心理学*. 北京: 北京大学出版社, 1993
- 0541 游旭群, 杨治良. 视觉空间关系识别中的认知加工特性. *心理学报*, 2002, (7)
- 0542 张奇, 王霞. 工作记忆广度: 资源限制、记忆消退还是转换机制? *心理学报*, 2007, (5)