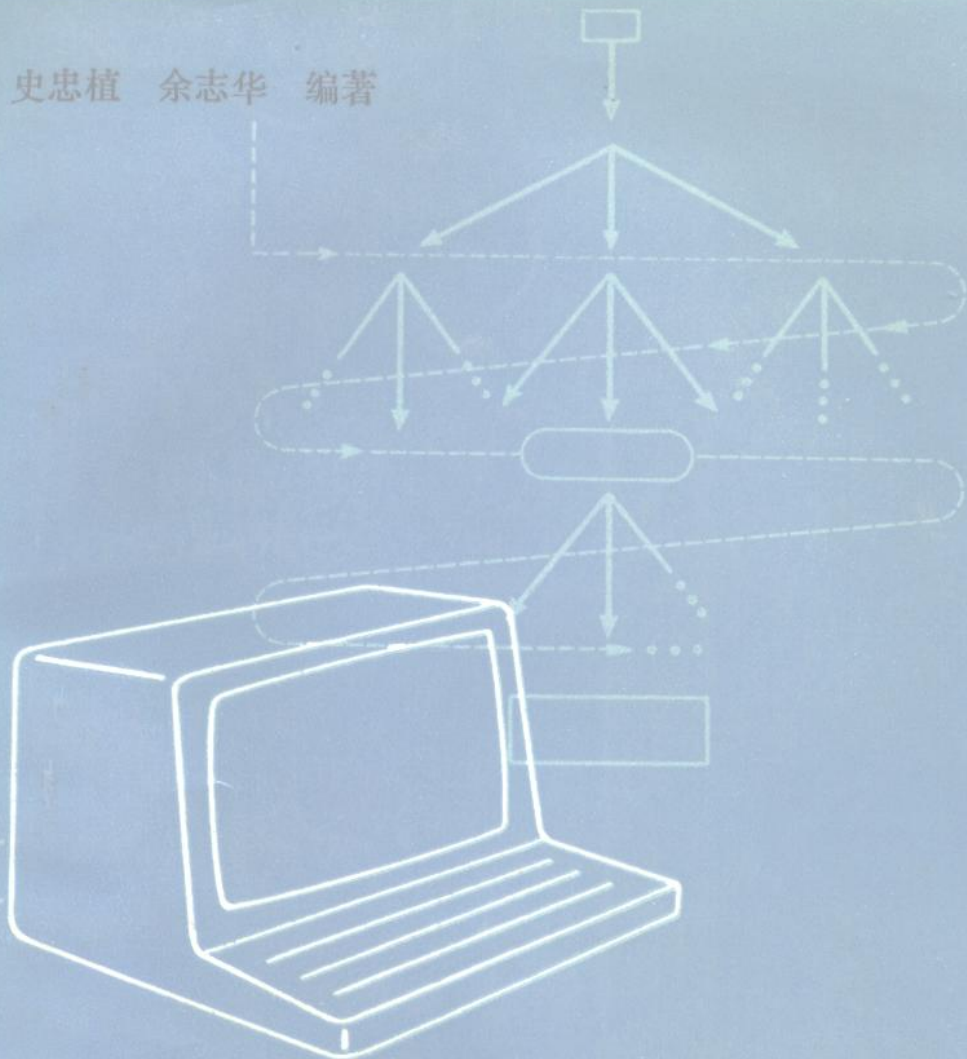


史忠植 余志华 编著



认知科学和计算机

科学普及出版社

B845.1
90-48

认知科学和计算机

史忠植 余志华 编著



S0171161

科学普及出版社

内 容 提 要

本书较系统地介绍了认知科学的概念和方法,同时吸收了认知心理学、脑科学、人工智能、并行处理、形象思维学以及科学方法论等方面的研究成果,综合地探索人类智能和机器智能的性质和规律。本书作者遵循理论性与应用性并重、学术性与普及性兼顾的指导思想,力求用新思想、新材料、新形式、新语言,提供丰富的信息,以帮助读者开阔视野,更新知识结构。

本书可作大学专业课教材,也可供有关此类专业的科研人员参考阅读。

认知科学和计算机

史忠植 余志华 编著

责任编辑: 高秀英

封面设计: 王序德

技术设计: 王震宇 范小芳

*

科学普及出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京昌平长城印刷厂印刷

*

开本: 850×1168毫米1/32 印张: 12.5字数: 322千字

1990年3月第1版 1990年3月第1次印刷

印数: 1—3,000册 定价: 8.50元

ISBN 7-110-01231-X/B·23

前 言

认知科学是研究人类感知和思维信息处理过程的科学，包括从感觉的输入到复杂问题求解，从人类个体到人类社会的智能活动，以及人类智能和机器智能的性质。认知科学是现代心理学、信息科学、神经科学、数学、科学语言学、人类学乃至自然哲学等学科交叉发展的结果。

认知科学的兴起和发展标志着对以人类为中心的认知和智能活动的研究已进入到新的阶段。认知科学的研究将使人类自我了解和自我控制，把人的知识和智能提高到空前未有的高度。生命现象错综复杂，许多问题还没有得到很好的说明，而能从中学习的内容也是大量的、多方面的。如何从中提炼出最重要的、关键性的问题和相应的技术，这是许多科学家长期来追求的目标。要解决人类在21世纪所面临的许多困难，诸如能源的大量需求、环境的污染、资源的耗竭、人口的膨胀等等，单靠现有的科学成就是很不够的。必须向生物学习，寻找新的科技发展的道路。1986年，日本制定了两个庞大的研究计划。一个是“人类前沿科学计划”，它将从神经科学和认知科学的角度来认识人类的视觉、听觉、思维与记忆机理。另一个是促进有关代替或增强人类智能系统的信息、电子技术的综合研究与开发，其核心是研究生物芯片和知识科学。美国这方面的研究极其活跃，并用来探索新颖的并行分布处理计算机系统。

我国著名科学家钱学森教授积极倡导开展思维科学的研究，促进了我国认知科学研究的发展。认知科学的研究将为智力革命、知识革命和信息革命建立理论基础，为智能计算机系统的研制提供新概念、新思想、新途径。《认知科学和计算机》系统地介绍了认知科学的概念和方法，吸收了认知心理学、脑科学、人

工智能、并行处理、数理逻辑、形象思维学、社会思维学、模糊理论、系统理论、科学方法论、哲学等方面的研究成果，综合地探索人类智能和机器智能的性质和规律。全书共分15章。第一章是绪论，介绍认知科学的兴起和研究内容。第二、三章分别介绍认知科学研究的信息加工基础和生理基础。第四章介绍感觉、知觉和表象。第五章讨论视觉信息处理，重点介绍现代最新的视觉理论。第六章是听觉信息处理。第七章讨论语言的作用和理论。第八、九章重点讨论了学习和记忆，介绍了现代有关的认知模型和理论。思维是认知的核心，我们用了三个章节进行论述。第十章是思维，重点讨论一般的思维形式和类型。第十一章是涉及问题求解中常用的方法和策略。第十二章讨论创造思维中的有关问题。第十三章是从巨系统的观点介绍脑系统理论。根据计算机工作原理，我们将它分成常规计算机和神经计算机。常规计算机是基于逻辑的体系，而神经计算机是基于人脑神经网络的工作原理。第十四章介绍常规计算机。第十五章讨论神经计算机。

作者遵循理论性与应用性并重，学术性与普及性兼顾的指导思想，力求用新思想、新材料、新形式、新语言，提供丰富的新知识和新信息，以帮助读者开阔视野，更新知识结构。本着“献身、求实、创新、协作”的精神，发扬“百花齐放、百家争鸣”的学风，本书力求客观地介绍各种学派的理论，以供读者深入研究参考。

本书可作为大学高年级和研究生一年级的认知科学、高级计算机体系结构等课程的教科书，也可供从事心理学、脑科学、计算机科学、哲学等领域的人员参考。作为了解新兴学科，本书也可推荐给广大读者。

当代知识体系呈现多彩的势态，全新的格局，不断新陈代谢。加之作者水平有限，编写时间仓促，因此书中谬误可能不少，恳请读者指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 心理学的研究	(1)
1.2 认知科学的兴起	(4)
1.3 认知科学的内容	(8)
1.4 物理符号系统	(10)
第二章 信息加工基础	(17)
2.1 信息	(17)
2.1.1 通信系统	(18)
2.1.2 信息量和熵	(19)
2.1.3 信道容量	(20)
2.2 信息加工方法	(21)
2.3 模型	(22)
2.4 认知模型	(24)
2.5 自动机	(28)
2.5.1 逻辑自动机	(30)
2.5.2 有限记忆自动机	(32)
2.5.3 图灵机	(33)
2.6 计算机模拟	(35)
第三章 人类认知的生理基础	(39)
3.1 神经元	(39)
3.2 神经冲动	(43)
3.3 反射	(44)

3.4	神经系统.....	(45)
3.4.1	中枢神经系统.....	(46)
3.4.2	周围神经系统.....	(48)
3.5	大脑皮层的机能	(50)
3.6	条件反射.....	(55)
第四章	感性认识的基本形式	(57)
4.1	认识的辩证过程	(57)
4.2	感觉	(59)
4.3	知觉	(61)
4.4	知觉的组合	(63)
4.5	知觉理论.....	(65)
4.5.1	格式塔理论	(67)
4.5.2	构造论理论	(68)
4.5.3	动作理论	(68)
4.5.4	吉布森生态学理论	(69)
4.6	表象	(69)
第五章	视觉信息处理.....	(77)
5.1	视觉的生理机制	(77)
5.1.1	折光系统.....	(78)
5.1.2	感光系统.....	(79)
5.1.3	传导机制.....	(80)
5.1.4	中枢机制.....	(80)
5.2	视觉系统的基本功能.....	(81)
5.2.1	视觉阈限.....	(81)
5.2.2	视锐觉.....	(82)
5.2.3	颜色视觉.....	(82)
5.2.4	视觉后象.....	(84)
5.3	马尔的视觉计算理论.....	(86)

5.3.1	视觉系统的表示法	(86)
5.3.2	边缘的检测	(89)
5.3.3	立体视觉系统	(93)
5.3.4	表面方向的计算	(94)
5.4	拓扑性质检测的视觉模型	(97)
5.5	视觉的正则化理论	(104)
第六章	听觉信息处理	(111)
6.1	耳的结构	(111)
6.2	感声机制	(112)
6.3	中枢信息加工	(113)
6.3.1	频率分析机理	(114)
6.3.2	强度分析机理	(116)
6.3.3	声源定位和双耳听觉	(117)
6.3.4	对复杂声的分析	(117)
6.4	语音识别	(118)
6.5	语音合成	(126)
第七章	语言	(129)
7.1	语言的性质	(129)
7.2	语言和思维	(130)
7.3	语言习得和发展	(133)
7.4	数理语言文法	(136)
7.4.1	形式文法	(136)
7.4.2	转换文法	(140)
7.4.3	蒙太格(Montague)文法	(142)
7.5	扩充转移网络	(143)
7.6	自然语言理解	(150)

第八章 学习	(165)
8.1 学习的基本原理	(165)
8.2 学习过程	(166)
8.2.1 刺激反应论	(167)
8.2.2 认知论	(168)
8.3 EPAM系统	(171)
8.4 学习的连接模型	(174)
8.4.1 带有教师信号的简单学习过程	(175)
8.4.2 回传法	(177)
8.4.3 波尔茨曼机	(179)
8.4.4 竞争学习	(182)
第九章 记忆	(185)
9.1 记忆系统	(185)
9.1.1 感觉记忆	(186)
9.1.2 短时记忆	(187)
9.1.3 长时记忆	(187)
9.2 长时记忆的存储形式	(190)
9.3 动态记忆理论	(196)
9.4 联想记忆模型	(198)
9.4.1 线性联想记忆模型	(199)
9.4.2 非线性联想记忆模型	(200)
9.4.3 两级联想记忆模型	(200)
9.5 记忆的生理机制	(201)
第十章 思维	(207)
10.1 思维的本质和特性	(207)
10.2 思维的研究	(209)
10.3 皮亚杰的发生认识论	(214)
10.4 抽象思维	(217)
10.4.1 谓词演算	(218)

10.4.2	归结原理	(226)
10.4.3	演绎推理	(228)
10.4.4	归纳推理	(230)
10.4.5	类比推理	(232)
10.4.6	非单调逻辑	(235)
10.4.7	数理辩证逻辑	(237)
10.5	形象思维	(237)
10.6	灵感思维	(241)
第十一章	问题求解	(248)
11.1	问题空间	(248)
11.2	产生式系统	(252)
11.3	启发式搜索	(255)
11.4	手段目的分析法	(257)
11.5	解决问题的策略	(260)
第十二章	发现和创造	(266)
12.1	科学发现	(266)
12.1.1	经验论	(267)
12.1.2	唯理论	(268)
12.1.3	先验论	(270)
12.1.4	结构主义	(271)
12.2	发现过程	(272)
12.2.1	数据驱动	(273)
12.2.2	理论驱动	(274)
12.3	创造性思维	(277)
12.4	智力	(280)
12.5	发现系统BACON	(286)

第十三章 脑系统理论 (296)

- 13.1 人脑是巨系统 (296)
- 13.2 经典的神经网络理论 (301)
- 13.3 神经网络中的回响现象 (301)
- 13.4 神经网络中的竞争和协作 (303)
- 13.5 神经网络动力学 (305)

第十四章 计算机 (310)

- 14.1 计算机的发展 (311)
- 14.2 计算机的原理 (313)
- 14.3 智能计算机 (319)
- 14.4 并行处理计算机 (327)
 - 14.4.1 流水线处理机 (328)
 - 14.4.2 阵列处理机 (331)
 - 14.4.3 多处理机系统 (334)
 - 14.4.4 向量处理机 (337)
 - 14.4.5 数据流处理机 (339)
- 14.5 符号处理机 (343)
 - 14.5.1 Prolog机 (343)
 - 14.5.2 Lisp机 (350)
 - 14.5.3 面向对象的处理机 (353)
- 14.6 专家系统处理机 (353)
- 14.7 数据库机 (359)
- 14.8 超并行计算机 (363)

第十五章 神经计算机 (370)

- 15.1 什么是神经计算机 (370)
- 15.2 神经回路的计算模型 (373)
- 15.3 光学神经计算机 (379)

第一章 绪 论

认知科学 (Cognitive Science) 的兴起标志着对以人类为中心的认知和智能活动的研究已进入到新的阶段, 认知科学的发展将进一步为信息科学技术的智能化作出巨大贡献。认知科学的研究将使人类自我了解和自我控制, 把人的知识和智能提高到前所未有的高度。本章主要介绍认知科学的形成背景及其发展过程, 探讨认知科学研究的对象和内容。认知科学将要把自然系统(人)和人工系统(计算机)作为符号操作来把握。

1.1 心理学的研究

从科学发展的历史看, 人类对其自身的研究要比对其周围事物的研究晚, 科学心理学也是如此。但考其前身, 却是源远流长。早在公元前400年左右, 希腊哲学家柏拉图(Plato)与亚里士多德(Aristotle)等, 就对心智等问题作了系统的思考研究, 并建立其形而上学的心理学体系。科学心理学的开创, 是19世纪中叶以后多方面的研究结果。到目前为止, 心理学家不但经由科学研究获得了很多有关人类行为的重要知识, 而且进一步把所得的知识用来解决了很多有关人类行为上的问题。因此, 现代心理学不只是一门理论科学, 而且也是一门实用科学。目前, 心理学的原理与方法, 已被广泛应用在社会、政治、教育、管理、军事、医学、商业等方面。

心理学是研究心理现象的科学。人的任何活动中都有心理现象。认识活动和情绪、意志, 都可以称为心理活动。任何心理活动都有它的发生、发展和完成的过程。例如, 思维活动总要经过遇到问题、分析材料、试行解答、检验和修正等阶段。因此, 这

些心理过程是心理学研究对象的一部分。

心理学研究对象的另一部分是个性心理特点。个性心理特点包括个人的才能和性格。才能是人们认识世界和改造世界的智慧和能力。是人们完成某种活动必备的多种能力的综合。性格是指人对人对事的态度和作风，如热情、爽直、活泼、沉静等方面。

心理学研究的上述两个方面是密切联系的。个性心理特征是通过心理过程形成的，是在对客观世界的认识及其改造过程中逐步生成的。已经生成的个性心理特征又制约着心理过程，在心理过程中表现出来。伟大的生物学家达尔文创立了生物进化论，推动了生物科学的发展，把生物学放在完全科学的基础上。达尔文在描述自己的才能和气质时写道：“我超过常人的地方在于，我能够察觉那些很容易被忽视的事物，我还对它们进行精细的观察”。他探索问题的敏锐性，对任何问题都不倦思索，锲而不舍，勤于观察和收集事实材料，因此他能对人类作出如此大的贡献。由此可见，心理过程和个性心理特征，是既有区别而又不可分割地融合在一起。心理学的基本任务就是研究心理现象的规律，主要是研究心理活动的过程及其机制、心理特征的形成过程及其机制、心理过程和个性心理特征的相互关系等许多方面的规律性。

心理学研究的范围非常广泛。心理学有许多的分支，各自研究心理现象的一方面或在人的生活中一个领域内的心理现象。普通心理学研究心理现象的一般规律。专门研究心理活动的不同过程和个性心理特征的不同方面的有感觉知觉心理学、记忆心理学、思维心理学、言语心理学、个性心理学、发展心理学、创造心理学。研究不同主体的心理现象有儿童心理学、动物心理学、生理心理学、神经心理学、病理心理学等。研究社会不同领域内心理活动的规律，以提高有关方面的工作效率为主要任务的有社会心理学、政治心理学、教育心理学、军事心理学、管理心理学、商业心理学、医学心理学、艺术心理学、运动心理学等。

在心理学中发现规律是很困难的，这主要是由于研究对象本

身的复杂性。我们所研究的人类机体总处于一定的环境之中，而且适应性又很强，人的行为既决定于机体本身，同时又是适应环境的结果。所以我们只研究机体本身是不够的，还需要研究机体与周围环境的关系。即使是在同样的环境中不同的人有不同的反应，人与人之间有个别差异，这就造成了研究结果的不确定性。

最近几十年来，对复杂行为的理论主要有三个派别：新行为主义、格式塔心理学派和信息加工学派。各派心理学都想更好地认识人类机体是如何活动的，它们从各个不同方面研究行为，在方法学上强调的重点不一致。

新行为主义强调客观的实验方法，要求对实验严格加以控制，它的方法是操作主义的，也就是说其结果能被别人重复。行为主义把复杂的心理现象化为各个简单部分，并研究比较简单的初级的现象，也就是所谓的还原主义。他们提出刺激——反应（S——R）公式，而不谈刺激和反应之间发生的过程，即不谈大脑中的活动。如以方程式表示，即为：

$$R=f(S) \quad (1.1)$$

其中S代表刺激，R代表反应。反应是刺激的函数，或个体反应因刺激的改变而改变。行为主义为科学心理学找到了适当的研究对象——行为，提出方法论的重要性。行为主义心理学是由美国华生（J.B. Watson）于1913年前后创始的。华生是结构论最强烈的反对者。其早期研究，多偏重于动物及婴儿的行为。动物与婴儿既不能内省，也无法陈述其经验的意识，因此，华生既扬弃了结构论者惯用的内省法，同时也改变了心理学研究的对象——放弃意识，而专门从事行为的研究。他认为只有行为才能成为科学研究的对象，也只有行为才能作客观的观察和测量。意识是不能作客观研究的，所以意识不在心理学研究的范围之内。从结构论者尊重意识，经功能论对意识与行为的兼顾，到行为主义专重行为，是心理学研究中客观化的过程。

华生将行为分为两大类：外观行为和内隐行为。前者系指可

由别人观测的一切活动,如说话、写字。后者是指不易被人观察,但却可用仪器加以观察或测量的个体活动,如腺体分泌、内脏活动。他用内隐行为来解释很多通常不易观察的心理过程。例如,他认为思维是一种自己跟自己无声对话的过程。

格式塔 (Gastalt) 心理学是 20 世纪初叶德国一群实验心理学家开始的运动,开创先锋是韦特海姆 (Max Wertheimer)、考夫卡 (Kurt Koffka) 和柯勒 (Wolfgang Köhler)。他们强调研究复杂的心理现象,而这些现象有时是很难用客观的术语和客观的方法加以描述的。格式塔心理学认为经验或行为的本身是不可分解的,每一经验或行为活动,都自成为一个特殊的形态,且有其一定的特征或属性。一个经验或行为一旦被分解成若干部分,则该经验或行为原有形态和属性就消失了。换言之,全体形态和属性并不等于各部分之和。他们认为在问题解决的复杂过程中,不只靠简单的尝试错误,而且还要通过顿悟。在研究方法上,格式塔心理学主张内省法和客观法并用。主张主要研究知觉、思维和解决问题。

认知心理学是用信息加工过程来解释人的复杂行为,它吸收了行为主义和格式塔心理学的有益成果。认知心理学也认为复杂的现象总要分解成最基本的部分才能进行研究。当给被试刺激时,他要依靠头脑中的经验才能决定做出什么反应。所谓经验,包括机体的状态和记忆存储的内容。因此,刺激和被试当前的心理状态这二者共同决定着被试作出什么反应。下面我们将要详细介绍认知心理学产生的背景,为认知科学的形成奠定了基础。

1.2 认知科学的兴起

关于认知的探索由来已久。早在古希腊时代,柏拉图和亚里士多德等都曾对于人的知识的性质和起源进行了探索,并且发表了有关记忆和思维的论述。他们的一些论点后来得以发展而成为经验论与唯理论之间的争论焦点。

唯理论者笛卡尔 (R.Descartes) 很强调思维或理智的作用, 他的名言是“我思, 故我在”。经验论者洛克 (J.Locke) 提出了有名的白板论。他认为人的心理最初象一块白板, 上面没有任何字迹, 一切观念或认识都是从后天的经验得来。关于知识的性质, 洛克一方面认为是由外界事物作用于感官引起的, 因而肯定知识的真理性在于它与外物相契合; 但是他又认为, 思想的直接对象只是观念。他还把知识分成直觉的、解证的、感觉的 3 种, 并且强调直觉的、解证的知识的确实性, 这就使他的认识论又具有较多的理性主义倾向。

1879年德国冯特 (W.Wundt) 建立第一个心理学实验室, 标志着把认知问题从思辩哲学的领域转移到实验研究园地。他主张用“内省法 (introspection)”即自我观察法去探讨意识的内容。冯特及其追随者们用内省法企图对意识的结构或构造进行分析研究就形成一个叫做“构造派”的心理学派。

1913年美国心理学家华生 (J.B.Watson) 发表了震动心理学界的论文“行为主义者眼中的心理学”, 对冯特的心理学的整个体系和研究方法发出了猛烈的攻击。他断言, 心理学中唯一确实的、站得住脚的材料是机体的行为。他认为意识既不是一个明确的也不是一个可以应用的概念。反对把思维作为特殊的心理活动来研究, 认为思维只不过是无声的语言。把一切行为都归之于刺激与反应的作用, 以为有什么刺激就有什么反应。一切行为都是由环境决定的, 把人同动物一样视为接受刺激作出反应的有机体。行为主义者的反心理主义立场使人们对思维、对认识过程的研究几乎中断了40年之久。

行为主义者的客观决定论造成了当代心理学发展的危机。现代认知心理学最初是以反对行为主义的面目出现的。它的产生是有其社会背景、思想背景、技术背景和方法论背景。图 1.1 给出了认知心理学产生的背景。

(1) 社会背景 二次大战以后, 约从 50 年代开始, 由于科

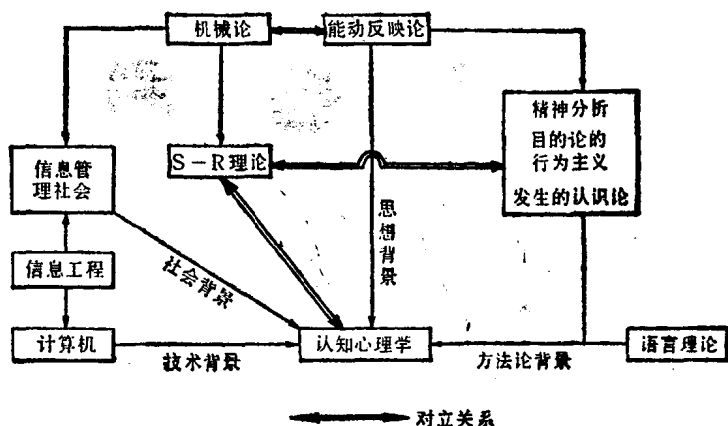


图 1.1 认知心理学产生的背景

学、知识、智力在国际竞争中日益显示其重要性。信息革命使人类社会将从工业社会转入信息社会，或叫知识、智力社会。在信息社会中，认知、智力或思维的研究，越来越受到重视，成为信息社会中一种类似制度化的研究活动。

(2) 思维背景 行为主义派把人和人的心理看成是机械的、环境可以任意支配的个体及其反应，这是纯属机械论的观点。与此相反，是能动的反映论。人的认识不是对客观外界的消极的、被动的反映，而是在改造客观世界的过程中积极的能动的反映。

(3) 技术背景 给现代认知心理学以深刻影响的新的科学成果主要是信息论和计算机科学。信息论的问世，给了认知心理学一个重要的启示：可以把人看成是一个信息加工系统。人们对客观外界的知觉、记忆、思维等一系列的认知过程，可以看成是对信息的产生、接收和传送的过程。信息论所关心的是纯粹的信息量，而认知心理学除了研究人的信息容量外，更重视信息的质，即信息的结构本质。

计算机和人脑，两者的物质结构大不一样，一个是无生命的