



# 认知与情绪的交互作用

刘焯, 付秋芳, 傅小兰\*

中国科学院心理研究所, 脑与认知国家重点实验室, 北京 100101

\* 联系人, E-mail: fuxl@psych.ac.cn

2009-06-30 收稿, 2009-08-24 接受

国家重点基础研究发展计划(批准号: 2006CB303101)、国家自然科学基金(批准号: 60433030, 90820305, 30700233)和中国科学院心理研究所青年基金(批准号: 07CX132013, 07CX142014)资助项目

**摘要** 长期以来认知与情绪被认为是相互分离的系统, 但是近期大量的认知科学和神经生物学研究表明, 认知与情绪之间的关系可能是相互依赖, 而不是彼此分离. 基于行为和神经科学的研究证据, 研究者们意识到, 有必要提出一个全新的概念框架来描述认知与情绪的关系. 本文总结近期有关认知与情绪交互作用的行为、神经科学和发展心理学研究, 并探讨认知与情绪的交互作用对计算机科学和人工智能领域的影响, 特别是其在情感计算领域的应用.

关键词

认知  
情绪  
交互  
情感计算

几个世纪以来, 认知与情绪之间的关系一直受到哲学家和科学家的关注<sup>[1,2]</sup>. 自从托马斯·阿奎纳(1225~1274)<sup>[3]</sup>将行为研究分成认知与情绪两大类后, 关于两者关系的主流观点始终认为, 认知和情绪是分离的系统和加工过程, 彼此之间很少有交互作用<sup>[1]</sup>. 与此同时, 在过去的几百年里, 功能定位的研究取向也深深地影响着人们对脑功能的认识, 人们普遍认为存在着认知脑与情绪脑的分离<sup>[2]</sup>. 但是, 最近20年的行为和神经科学数据证明, 脑功能的特异性观念存在诸多问题. 越来越多的研究者开始认识到, 认知与情绪的加工过程不但彼此交互, 而且它们的神经机制还存在功能整合, 共同构成了行为活动的基础<sup>[1,2,4-6]</sup>.

本文将总结近期支持认知与情绪交互作用的行为和神经科学证据, 阐述认知与情绪关系的新观点. 主要包括以下3点: 首先, 无论在功能水平还是在神经水平, 认知和情绪之间都存在交互作用; 其次, 认知与情绪的交互作用和功能整合是人类发展的必要基础, 幼年时期控制情绪的能力对后期的发展至关重要; 最后, 认知与情绪的交互作用影响着人们日常生活的方方面面, 包括技术的革新等. 在本文的第一

部分, 我们主要探讨认知与情绪在功能水平的交互作用; 第二部分介绍参与两者交互作用的神经区域; 第三部分讨论认知与情绪的交互作用对我们日常生活的潜在意义, 尤其是在情感计算领域的应用.

## 1 认知与情绪在功能水平的交互作用

传统观点认为, 认知是诸如记忆、注意、语言、问题解决和推理等的心智功能和加工过程; 在个体排除干扰, 实现某个特定目标时所进行的许多认知过程都会包含相同的认知加工, 如控制加工和目标驱动<sup>[2]</sup>. 但是, 为情绪提供一个明确的定义则相对困难得多. 有些研究者将情绪定义为驱动力和动机<sup>[4]</sup>; 有些研究者更关注情绪体验<sup>[7]</sup>; 还有些研究者强调情绪图式<sup>[8]</sup>, 或者基本情绪<sup>[9]</sup>. 迄今为止, 心理学家提出了大量描述情感的维度, 其中, 愉悦度-激活度-优势度(pleasure-arousal-dominance, PAD)情绪模型<sup>[10-12]</sup>已被许多研究者接受, 并被广泛应用于心理学、社会学和计算机科学. PAD情绪模型用愉悦度、激活度和优势度这3个近乎相互独立的维度来描述和测量情绪状态. 其中, 愉悦度表示个体情绪状态的正负情感特性, 也就是情绪的效价. 激活度表示个体的神经生

**引用格式:** 刘焯, 付秋芳, 傅小兰. 认知与情绪的交互作用. 科学通报, 2009, 54: 2783~2796

Liu Y, Fu Q F, Fu X L. The interaction between cognition and emotion. Chinese Sci Bull, 54, doi: 10.1007/s11434-009-0632-2

理激活水平和心理警觉状态。优势度表示个体对环境和他人的控制状态,即处于优势状态还是处于顺从状态。尽管有关情绪的定义不尽相同,但是近期研究表明,认知与情绪的这3个维度都存在密切的交互作用。

### 1.1 情绪在认知过程中的作用

目前已有大量关于情绪或者情感影响行为绩效的文献记载,而且情绪一直都被视为人类行为(如注意和决策)非理性或者偏差的来源<sup>[13]</sup>。例如,人们会受到问题表征形式的影响,更倾向于选择具有40%成功概率的操作,而不是具有60%失败概率的操作<sup>[14]</sup>。Clore与Storbeck<sup>[15]</sup>进一步指出,情绪能够提供关于好与坏价值判断的具体信息,并且,通过这种方式,情绪体验支配着我们的态度和思考风格。但是,近来的研究表明,情绪对认知的影响远比引起非理性或者偏差更基础,也更复杂。例如,记忆的心境一致性效应<sup>[16]</sup>表明,情绪不仅在记忆编码、提取阶段对记忆绩效产生影响,还可以在回忆阶段起作用<sup>[16,17]</sup>。而且,除了记忆,大量强有力的证据还表明,情绪和动机在知觉、注意、执行控制和决策中也都起着关键的作用<sup>[15,18~20]</sup>。

Stefanucci及其同事<sup>[21,22]</sup>发现,情绪激活和情绪效价都会影响高度知觉,而且恐惧情绪可以导致对高度的过度估计。当人们从高处往下看,并且伴随着对高度的特质性恐惧或者状态性恐惧时,通常会对距离和尺寸的估计过大<sup>[21]</sup>。进一步的研究表明,情绪激活对高度判断的影响受到情绪调节策略的影响<sup>[22]</sup>。当要求被试想象自己就是情绪情境中的人物时,他们高估高度的程度会显著大于那些被要求作为第三者来想象该情境的被试,也显著大于那些不做任何情绪调节的被试。除了空间知觉,有些研究还发现,情绪激活和情绪效价会共同影响时间知觉<sup>[23,24]</sup>,并且个体控制负性情绪的能力会影响由情绪引起的对时间的过度估计<sup>[25]</sup>。

很多注意模型认为,不同物体会竞争有限的知觉加工容量和行为控制资源<sup>[4,5]</sup>。最近的研究发现,视觉注意会被自动地导向具有显著情绪意义的刺激<sup>[26]</sup>。而且,近期的大量研究一致发现,负性刺激比正性刺激更能有效地捕获注意。关注这一问题的大多数研究通常采用视觉搜索的研究范式。Hao等<sup>[27]</sup>采用视觉标记的研究范式考察负性表情的加工优势,

结果也发现,在预览条件下搜索负性表情比搜索正性表情更快,尽管当负性表情作为干扰子时,负性表情的加工优势会消失。此外,在空间竞争任务中,当目标字母重叠地呈现在情绪刺激之上时,即使情绪刺激与任务无关,它们被编码的程度甚至也会比目标字母更强<sup>[28]</sup>。最后,除了通常的情绪刺激,Langeslag等<sup>[18]</sup>还发现,相对于与朋友相关的刺激,被试会更关注与他们爱人相关的刺激,并且情绪相关的因素与人物相关的因素一样,都调节P3成分。

但是,也有研究表明,人们不仅仅在负性情境下才具有高效的注意执行控制能力,在正性情境下也是如此<sup>[29,30]</sup>。正性心境会使整个认知控制(包括从知觉到语义概念空间的各个水平)放松,并且可以使选择性注意发生根本改变<sup>[19]</sup>。Pessoa<sup>[4]</sup>提出双竞争模型来描述情绪和情感如何影响信息加工的过程。在这个模型中,情感意义以刺激驱动和状态依赖两种方式影响信息加工过程,在这两种情况下竞争都发生在知觉和控制水平<sup>[4]</sup>。而且,Pessoa<sup>[4]</sup>进一步指出,情绪刺激驱动执行控制的原因有两个:第一,被强化的知觉表征引起增强的视觉反应,从而受到注意的优先加工;第二,情感信息可能被直接传递到调节执行控制的神经结构。但是,与刺激驱动的方式不同,状态依赖的方式需要包括与奖赏相关的动机加工过程参与<sup>[4]</sup>。

工作记忆是另外一个与执行控制密切相关的认知过程。工作记忆理论假设存在一个注意容量有限的系统,可以暂时维持和保存当前的信息,并且通过联结知觉和长时记忆来支持思维过程<sup>[31]</sup>。大量情绪和工作记忆的研究发现,情绪状态或者心境会影响工作记忆任务的绩效<sup>[32]</sup>。Baddeley<sup>[33]</sup>总结了危险、兴高采烈、焦虑和渴望等状态对工作记忆的影响,认为上述情绪都可以干扰工作记忆。例如,渴望本质上是一种正性的、侵扰性的想法,它可以在情景缓冲器里被进一步精加工,从而减少工作记忆的加工容量。因此,Baddeley<sup>[33]</sup>提出了一个修订的工作记忆模型,通过增加快感探测器和情景缓冲器,用以描述情绪因素对工作记忆的影响。

自古希腊的哲学开始,理性主义者一直认为,情绪的侵扰会误导诸如理性和决策这样的高级认知功能<sup>[34]</sup>。经典经济学理论的基本假设来自理性主义,认为如果人们能够获悉所有相关信息,那么他们就可以确定并作出对他们最有利的选择<sup>[35]</sup>。但是,近来

的研究发现,大多数决策都是由追求主观幸福感的动力所驱使<sup>[36]</sup>,而且人们并不总是能够选择可以产生最强幸福感或者最佳体验的选项<sup>[35]</sup>。人们不能成功地选择最优项的原因非常复杂。Hsee 和 Hastie<sup>[35]</sup>总结了人们选择错误的 3 种情况:第一,不能精确地预测备选项中的哪一个选项会产生更好的体验;第二,不能基于预测选择正确的选项;第三,这两种情况同时出现。进而 Hsee 和 Hastie<sup>[35]</sup>提出了选择错误的两个一般性原因:第一,因为预测者不能充分地认识到他们当前预测的状态和将来体验到的状态之间的差别,所以导致了预测偏差的发生;第二,因为选择者不能达到冲动性与自我控制的最优平衡,这使得他们不能遵循自己的预测。

此外,经济行为学的研究还发现,人们讨厌不确定性<sup>[37]</sup>。研究者指出,当需要处理不确定性的情境时,这个决策过程既涉及情绪也涉及推理,而且,当不确定性的情境非常模糊时,人们往往认为,他们所采取的每一个行动都可能导致最坏的结果发生<sup>[37]</sup>。最后,情绪与道德判断还有着重要的联系。有些研究者甚至认为,情绪是我们直觉的道德判断<sup>[38]</sup>。尽管另一些研究者认为,当前的神经科学、行为、发展和进化的证据还不足以证明情绪是做出道德判断的必要条件,但是他们也同意道德判断之后总是伴随着某种情绪,而且这种情绪状态在驱动与道德相关的行为中起主要作用<sup>[39]</sup>。

1.2 认知在情绪中的作用

Lazarus<sup>[40]</sup>指出,认知功能与情绪功能之间的关系是双向的,无论作为自变量还是因变量,情绪都是

个体对周围事件相对于自身的意义或者福祉的评估。Lazarus<sup>[40]</sup>还进一步指出,情绪从来都是对认知活动的反应,或者说情绪是在认知过程中产生的某种意义,而且认知过程的目的就是实现这一意义。因此,他相信认知是情绪的充分和必要条件<sup>[40]</sup>。近期大量的研究为 Lazarus 的观点提供了有力的支持证据。

( ) 注意等认知加工对情绪的影响。正如我们在第一部分里所指出的,情绪状态会影响注意加工。与之相关的另一个问题是,注意是否会反过来影响情绪体验。近来的大量研究证明,这一反作用的确存在<sup>[41-43]</sup>。例如,在预览搜索任务中,和与其相似的、没有预览过的干扰项相比,预览过的干扰项会在随后的情绪评价任务中被评为更加负性<sup>[41]</sup>。相对于那些远离目标项呈现的干扰项,被试对靠近目标项周围的干扰项的评价更加负性,而且,被试对干扰项的评价会比目标项的评价更加负性<sup>[42]</sup>。此外, Kiss 等<sup>[20]</sup>进一步发现,注意选择的效率可以预测随后的情绪反应,并且注意选择可以影响随后对视觉刺激的情绪评价。Fenske 等<sup>[43]</sup>也发现,先前与不熟悉面孔相关的抑制状态,会降低被试随后对这些面孔进行的可信度水平的评价,尽管被试根本不认识这些面孔。

注意加工对情绪的影响,甚至可以迁移到从未看过的同类刺激。例如,相对于那些与被试没有注意过的干扰项有相同结构的刺激,被试会对那些从未见过但与其注意过的目标项有相同结构的刺激给出更正性的评价<sup>[44]</sup>。Zhou 等人<sup>[44]</sup>采用人工语法学习范式对上述问题做了进一步探讨。人工语法学习范式是内隐学习研究的经典范式,通常包括学习和测验

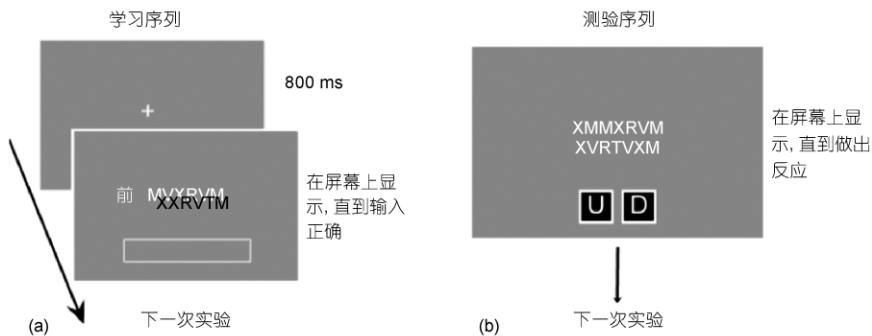


图 1 实验流程(引自文献[44])

(a) 学习阶段中,一次实验的时间序列。如果字符串左边是“前”,那么要求被试键入呈现在前方的字符串;如果字符串左边是“后”,要求被试键入呈现在后方的字符串。被试键入的字符串出现在两个字符串下方的矩形内。(b) 测验阶段中,一次实验的时间序列。被试通过点击两个字符串下方的按钮,来选择他们偏好的字符串,U 代表上方的字符串,D 代表下方的字符串

两个阶段。如图 1 所示,在学习阶段,要求被试记忆(即机械学习)一些遵循某种规则(或者语法)的字符串;在测验阶段,要求他们对一些测试项目进行分类,而且这些测试的字符串是他们从未见过的新项目,只不过有些项目遵循了与学习阶段字符串相同的规则。人工语法学习范式的研究表明,人们能够抽象出所记忆项目遵循的复杂规则,而且这个过程不依赖于有意识的努力。因此,人工语法学习为我们揭示注意抑制带来的情感后果是否能够扩散到相同家族的新刺激上,提供了最基本的逻辑。Zhou 等人<sup>[44]</sup>的研究表明,即使是中性刺激(字符串),被试先前对这些刺激的注意状态(注意或者抑制)也会影响其随后对从未见过的新刺激的偏好判断,只要新刺激与前一阶段看到的刺激具有相同的规则。

不仅仅是注意,其他认知加工也在情绪知觉和情绪体验中发挥着重要作用。例如,Storbeck 和 Clore<sup>[45]</sup>发现与负性心境相关的加工会引起精确的记忆,而与正性心境相关的加工会导致错误的记忆。Righart 和 de Gelder<sup>[46]</sup>发现,无论低任务负荷还是高任务负荷,面部表情与背景一致时,对面部表情的反应都快于面部表情与背景不一致时的反应,说明对周围环境的知觉在面部表情识别中具有重要作用。并且大量研究表明,多次曝光可以提高被试对中性刺激的偏爱程度。甚至,仅仅是单纯地给被试呈现一次,就足以增加被试对该刺激的喜欢程度。随后的研究证明,不管是儿童还是成人,不管是现实生活场景还是在实验室中,中性刺激的单纯曝光效应都具有很强的鲁棒性<sup>[47]</sup>。而且,Witvliet 和 Vrana<sup>[48]</sup>发现,反复听正性音乐会提高被试对正性音乐的喜欢程度,但是反复听负性音乐却会增强被试对负性音乐的厌恶。由于单纯曝光效应具有广泛的可应用性和鲁棒性,熟悉度和喜好度之间的这一联系已经被广泛地应用到社会实践和经济生活中。

( ) 语言对情绪知觉的影响。传统的面部表情识别研究都遵循基本情绪的研究取向,主张存在明确的几个情绪范畴,而且它们是普遍的情绪状态,适用于人类的所有种族和民族<sup>[49]</sup>。根据基本情绪的研究取向,面部表情是明确的、确定无疑的,因此表情识别对所有人都非常容易,而且,情绪的识别会自动地发生,不需要语言的参与,甚至年幼的婴儿都能够

区分不同的表情<sup>[50,51]</sup>。但是,日常生活中存在许多模棱两可的情境,需要额外的线索来帮助我们判断面部表情。例如,当别人的情绪无法用语言来描述时,人们就比较难以识别这一表情。近期的研究表明,语义信息是情绪知觉的必要的背景线索,并且语言本身可以影响一个人如何理解其他人行为中包含的情绪<sup>[49,52,53]</sup>。此外,Lindquist 等人<sup>[53]</sup>的研究还发现,通过使用标准的语义饱和程序使得情绪语言不容易通达时,被试会更难以判断面孔所表达的情绪。

Barrett<sup>[52]</sup>回顾了那些不支持基本情绪范畴的证据(包括那些可观察到的属性和因果机制)后指出,情绪并不会准确无误地传达面孔的精确信息。Barrett 等人<sup>[49]</sup>不仅认为语言在情绪知觉中的作用就是减少面部信息结构所带来的模糊性,并且提出两种可能的作用机制:一种可能的机制是,语言会影响刺激分类的某一阶段,在这一阶段有关情绪概念知识的记忆会被提取并影响已经形成的知觉;另一种可能的机制是,语言通过动态地重构面部结构信息被加工的方式,从而对情绪知觉产生影响<sup>[49]</sup>。因此,情绪词可以影响人们如何提取和加工面部的感觉信息,并建构情绪知觉。Barrett 等人<sup>[49]</sup>提出了语言背景假说,并认为这一假说为将来研究语言如何影响社会知觉的其他方面(如性别和种族的知觉)提供了基础。如果概念知识可以影响社会现实的知觉,而语言可以影响概念的发展,那么就说明语言可能在我们的社会认知中起着巨大的作用<sup>[49]</sup>。

( ) 表情识别和面孔识别的关系。多年来,表情识别与面孔身份识别的关系一直吸引着许多研究者的注意。传统上,面部表情加工和面孔身份加工被认为是平行的加工过程,不过,目前这一观点已开始受到质疑。尽管仍有研究者坚持认为这两种加工相互独立<sup>[54]</sup>,但另外一些研究者则指出这两种加工存在交互作用,并且面孔的熟悉度会增加面孔身份与表情之间的知觉整合程度<sup>[55]</sup>。而且,近年来,越来越多的证据支持面孔表情加工和身份加工的交互关系。

我们总结了在 Bruce 和 Young<sup>[56]</sup>提出面孔识别功能模型之后的相关研究,并且着重分析了面部表情识别与面孔身份识别的平行加工与交互加工的争论<sup>[57]</sup>。基于分布式的人类神经系统模型,我们提出了多级整合模型(图 2)来说明面部表情与面孔身份识别之间的作用机制。

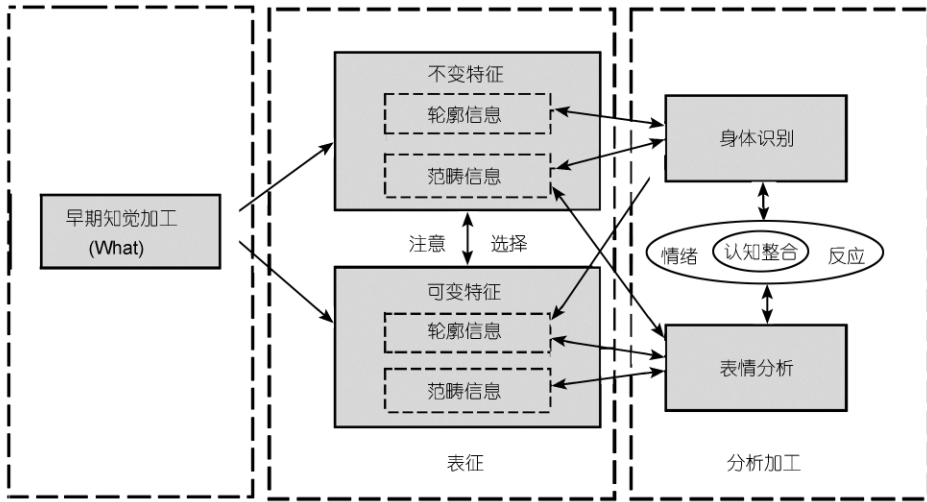


图 2 多级整合模型(引自文献[57])

面孔身份识别是基于对面孔结构的知觉，而面孔结构会随着面部表情、眼睛和嘴巴的运动而变化<sup>[58]</sup>。但是，Wang 和 Fu<sup>[59]</sup>指出，几乎所有以前的研究都忽略了面部表情所包含的强度变化信息，而这些信息可能是影响面部表情识别的重要因素。为了进一步检验表情识别与身份识别的交互关系，Wang 和 Fu<sup>[59]</sup>通过变形(morphing)技术改变图片，以操纵面部表情的强度。结果发现，当面部表情的区分度低时，身份识别影响表情识别，但是表情识别不影响身份识别。这一结果说明，面部表情强度增加了表情的区分度，而不是身份的区分度，而且，身份对表情识别的影响在某些条件下会消失。Zhang 等人<sup>[60]</sup>采用视觉搜索任务，考察了面孔身份在面部表情加工中的作用。实验要求被试在一堆情绪面孔图片中搜索快乐或者悲伤的面孔。结果发现，与呈现的面孔分别属于两个不同人的情况相比，当呈现的所有面孔都是同一个人的面孔时，表情搜索会更快，搜索的准确度也更高，这说明身份变化会干扰表情识别<sup>[60]</sup>。此外，对某个特定表情的搜索速度还依赖于面孔身份的异同：当同时呈现的面孔属于同一个人时，从快乐表情中搜索一个悲伤表情远远快于从悲伤表情中搜索一个快乐表情；但是，当同时呈现的面孔属于两个不同的人时，从悲伤表情中搜索一个快乐表情显著快于从快乐表情中搜索一个悲伤表情<sup>[60]</sup>。

近年来，越来越多的研究者开始关注眼睛注视方向在面部表情识别中的作用。眼睛注视能够为社交交互和情绪知觉提供大量不同的线索。Adams 和

Kleck<sup>[61]</sup>提出，眼睛注视方向与趋向-回避的行为倾向有密切关系。他们发现，当趋向性的情绪(如生气和愉快)是直视的眼神时，表情识别的速度更快；而当回避性的情绪(如恐惧和悲伤)是斜视的眼神时，表情识别的速度更快。Graham 和 LaBar<sup>[62]</sup>采用 Garner 范式发现，只有当面部表情难以区分时，眼睛注视方向才会干扰表情加工，因此认为眼睛注视方向和表情识别的加工在某种程度上相互依赖。Shang 等人<sup>[63]</sup>还发现，注视方向影响中性表情和愤怒表情的优势度，并且，斜视眼神促进愤怒表情的知觉加工，说明对于威胁性面部表情(如愤怒)，社会优势度可能会调解眼睛注视方向对表情知觉的影响。

( ) 情绪的认知控制。我们应该如何管理我们的情绪？尽管不同的文化对这个问题的回答各不相同，但是达成了一种共识：我们需要施加某种影响来控制我们的情绪<sup>[64]</sup>。情绪调节能力是人类适应环境的一种重要的认知功能，而且调节情绪的努力程度在很大程度上决定了负性情绪对我们心智和身体健康的影响<sup>[65]</sup>。

情绪调节是指我们对产生什么样的情绪，什么时候产生它们，以及如何体验和表达它们等过程的控制<sup>[66]</sup>。Gross<sup>[66]</sup>提出了 5 个情绪调节策略：第一，情境选择，是指倾向于回避某些人、地方或者事情，以此来调节情绪；第二，情境修正，是指以问题为焦点的处理或者基本控制；第三，注意调配，是指选择情境中你所关注的那些方面；第四，认知变化，是指从你所关注的这个方面涉及的多个可能含义中做出选

择;第五,反应调节,是指一旦情绪被激发,试图影响情绪反应倾向的努力. Gross<sup>[66]</sup>认为前4种是在情绪反应发生之前采用的聚焦策略,因为这些策略发生在情绪反应趋势被完全激活之前,它们在尚未影响我们的行为和外周生理反应之前被使用;而第五个策略是针对情绪反应的策略,出现在情绪反应倾向产生之后,这时上述策略都已经被使用. 通过回顾与再评价(即认知变化)和抑制(即反应调节)相关研究, Gross<sup>[66]</sup>认为再评价和抑制策略会导致不同的情感体验、认知和社会后果. 例如,抑制对负性情绪体验具有较弱的影响,但是会降低正性情绪行为;与之相反,再评价降低负性情绪的体验和表情,但是会增加正性情绪的体验和表情.

Ochsner 和 Gross<sup>[65]</sup>总结了最近的神经成像研究,认为已有的研究考察了两种认知调节,注意控制和认知改变. 正如我们前面所述,注意通常是指信息加工的选择过程,使得认知资源聚焦于与目标相关的信息,并忽略与目标无关的信息. 注意控制使注意力自发地从令我们厌恶的事件上转移到令我们愉悦的事情上. 一些研究发现当被试注意和评价情绪特征时,例如基于情绪标签匹配情绪面孔或者情境时,杏仁核的活动会减弱<sup>[67]</sup>. Ochsner 和 Gross<sup>[65]</sup>认为,这是因为情绪判断会导致较大的注意负荷,从而有力地限制了知觉输入加工,表明被试有时会主动地调节自己的反应. 因此, Ochsner 和 Gross<sup>[65]</sup>进而将情绪调节分为行为调节(例如抑制情绪行为)和认知调节(如以限制情绪反应的方式来注意或者解释情绪诱发的情境),并且提出了3种研究如何使用认知改变情绪反应的方法:第一种是检验先于预期的情绪事件发生的预期反应所涉及的神经连结;第二种是检验对刺激所带来的情绪感受的预期如何影响神经对其的反应;第三种方法是直接比较自上而下由信念产生的反应与自下而上由厌恶刺激的直接知觉所驱动的反应.

尽管大多数情绪调节研究强调降低不愉快情绪的重要性,但是 Tamir 等人<sup>[68]</sup>证明,当参与对抗性任务时,个体有时会为了获得更好的绩效而主动增加他们的愤怒情绪. 在回顾了近来有关情绪调节的研究后, Gross<sup>[69]</sup>指出,既然不同的情绪调节策略会导致不同的结果,关键的问题就是选择和使用与我们目标相匹配的策略. 并且,他提出了情绪调节研究的

3个新的研究方向:首先,信念在我们选择调节情绪的时机和方式中的作用;其次,自动情绪调节问题;最后,建立情绪和情绪调节的基础研究与临床实践之间的桥梁. 这些研究领域的成果将有助于解决我们日常生活中的情绪调节问题<sup>[69]</sup>.

## 2 认知与情绪交互作用的神经机制

尽管某些脑区与特定的情绪功能相关,但是,似乎并没有哪一个脑区单纯负责情绪,因此,很难概括地说哪些脑区构成了情绪脑. 下丘脑(hypothalamus)是第一个被发现与情绪相关的脑区. Pessoa<sup>[2]</sup>根据在相关文献中出现的频率,总结出一些主要与情绪功能相关的脑区. 他指出,在文献中出现频率较多的核心情绪脑区包括皮层下的杏仁核(amygdala)、伏核(nucleus accumbens)、海马(hypothalamus)、脑皮层上的前额叶眶回(orbitofrontal cortex, OFC)、前扣带回(anterior cingulate cortex, ACC)和腹内侧前额叶皮层(ventromedial prefrontal cortex);在文献中出现频率较少的扩展情绪脑区,包括皮层下的脑干(brain stem)、腹侧背盖区(ventral tegmental area)、海马(hippocampus)、导水管周围灰质(periaqueductal grey)和基底前脑(basal forebrain),以及脑皮层上的前脑岛(anterior insula)、前额叶皮层(the prefrontal cortex, PFC)、颞叶前部(anterior temporal lobe)、后扣带回(posterior cingulate cortex)、颞上沟(superior temporal sulcus)和躯体感觉皮层(somatosensory cortex). 但是,近来的神经科学研究提供的大量证据表明,上述大多数脑区同时也会参与认知加工,而且其中某些脑区(如海马、前额叶和顶叶)还在认知加工中发挥着核心作用.

Pessoa<sup>[2]</sup>指出,根据现有的脑功能和脑联结知识,将大脑分为认知脑和情绪脑,从本质上存在问题. 即使在婴儿和儿童早期,不仅认知和情绪的功能和神经机制存在交互作用,而且大脑的功能组织也存在整合<sup>[2,70]</sup>. 事实上,不但传统观点所认为的情绪脑区参与认知过程,而且通常所认为的认知脑区也参与情绪加工. 因此,认知和情绪的每个脑区都是一个复杂的区域,会参与许多功能. 这一部分将探讨认知和情绪交互和整合的神经科学证据,并回顾二者整合所可能依赖的神经机制.

### 2.1 杏仁核

杏仁核经常被认为是情绪脑区, 并与恐惧加工紧密相关. 不过, 这一脑区也参与诸如注意、联想学习(甚至是内隐学习)、伴随自动情绪反应的知觉和记忆等认知加工.

杏仁核对增强情绪刺激的视觉加工至关重要, 并参与选择性注意过程<sup>[2,4,47,65]</sup>. 例如, 杏仁核受损的老鼠不能有效地注意线索, 导致其不能习得朝向反应<sup>[71]</sup>. 近来的研究为杏仁核调节情绪刺激的加工优势提供了强有力的支持证据<sup>[2]</sup>. Lim 和 Pessoa<sup>[72]</sup>发现, 在中性/恐惧辨别任务中, 被试对与电击匹配的面孔和斑点图更加敏感, 如果面孔和斑点图的颜色与以前和电击匹配的颜色相同, 那么他们更倾向于报告面孔和斑点图是可怕的.

越来越多的证据表明, 杏仁核参与调节情绪对知觉的影响, 并起着重要作用. 例如, 给盲视或者视觉忽视(visual extinction)病人受损的半侧视野呈现情绪刺激时, 尽管刺激不能被意识到, 但仍会引起杏仁核的活动<sup>[5]</sup>. 利用视觉后掩蔽范式的脑功能成像研究也表明, 当刺激呈现处于阈下水平不能被意识到时, 情绪性目标刺激和非情绪性目标刺激引起的杏仁核活动存在差异<sup>[5]</sup>. 视觉表情再认的研究还发现, 当向视皮层受损的神经病人呈现情绪面孔时, 尽管病人不能报告所看到的刺激, 但是可以通过猜测来辨别面孔的情绪<sup>[73]</sup>. 随后的脑功能成像研究也发现, 尽管病人不存在有意识的视觉体验, 但是不同情绪面孔引起的杏仁核活动大相径庭.

迄今为止, 已有相当多的证据表明, 杏仁核还参与联想学习的过程. 当一个线索预示后面会出现令人厌恶的刺激时, 杏仁核受损的动物不会表现出恐惧行为, 而且在学习线索与正性情绪体验之间的联结时, 存在功能缺陷<sup>[71]</sup>. 尽管杏仁核受损的病人能够获得有关条件刺激(CS)和无条件刺激(US)关系的外显知识, 但是他们却不能获得条件恐惧反应<sup>[5]</sup>. 为了解释在联想学习中, 杏仁核的基底外侧核(basolateral nucleus, BLA)的神经元如何激活, Barot 等人<sup>[74]</sup>提出模型, 认为当前面出现一个新的条件刺激时, BLA 的神经元会对随后的无条件刺激的输入变得更敏感, 并出现会聚性的激活.

通过影响知觉和注意, 杏仁核可以调节对情绪事件的情景记忆的编码. Phelps<sup>[75]</sup>进一步指出, 杏仁核参与调控的认知过程不仅包括记忆的编码, 还包

括海马依赖性记忆的巩固. 就像我们前面所提到的, 杏仁核与视皮层等感觉皮层区域存在紧密的联结. 当刺激呈现给认知系统时, 杏仁核可能很早就接受到刺激的情绪显著性信息, 杏仁核的反馈会引起情绪事件知觉编码的增强. 编码之后有一个较慢的巩固期, 然后, 记忆被整理和贮存到长时记忆. 在这期间, 对事件的任何情绪反应都会改变激素的水平, 使事件变得重要而被记忆. 动物模型的研究还表明, 应激激素会激活杏仁核中 BLA 的肾上腺素受体, 进而激素的水平调节记忆在海马中的巩固<sup>[75]</sup>.

## 2.2 海马

作为边缘系统的一部分, 海马也被认为与情绪相关. 较早的研究发现, 破坏猴子的海马会产生抑郁反应<sup>[76]</sup>. 基于对动物和人类的研究, Papez<sup>[76]</sup>指出, 海马在情绪加工的核心过程中起着重要作用. 但是, 最近 30 多年的研究证明, 海马在长时记忆、空间导航和其他重要的认知过程中也起着举足轻重的作用<sup>[77]</sup>.

目前, 杏仁核-海马的交互系统被公认是情绪和记忆交互作用的基本神经机制. 杏仁核影响海马对情绪信息的记忆编码, 而海马则形成情绪刺激和事件的记忆, 并进一步影响情绪刺激出现时的杏仁核反应<sup>[75,78,79]</sup>. 杏仁核和海马间的交互不仅对情绪记忆的编码和巩固非常必要, 而且对情绪记忆的提取也是必需的<sup>[16]</sup>. 例如, 最近的研究表明, 当动物在提取恐惧记忆时, 杏仁核和海马会同步活动; 而且, 当人类被试在提取恐惧记忆时, 也会出现杏仁核和海马之间的同步活动<sup>[16]</sup>. 除此之外, 海马依赖性记忆对杏仁核的活动具有明显的影响. 例如, fMRI 的研究表明, 如果告诉被试在呈现一个特殊的线索后他们会受到一个或多个轻微的电击, 那么当线索出现时, 即使并没有出现电击, 被试的左侧杏仁核也会有活动<sup>[75]</sup>.

## 2.3 前额叶

前额叶对信息的保持和处理至关重要, 其外侧皮层在执行控制功能中起着重要作用<sup>[2,4]</sup>. 近来的研究发现, 前额叶与其他脑区的联结也参与认知与情绪的交互作用.

前额叶与杏仁核的联结帮助注意资源朝向情绪项目的位置, 前额叶、杏仁核和海马的联结促成情绪

的情景记忆<sup>[4]</sup>。Gray 等人<sup>[80]</sup>发现, 情绪状态会有选择地影响与认知有关的外侧前额叶的神经活动, 这一活动对于以目标为导向的行为至关重要, 并且对趋向逃避的情绪也很敏感。在他们的研究中, 用观看短片的方法诱发愉悦状态(与趋向有关)、不愉悦状态(与逃避有关)和中性状态后, 用 fMRI 扫描被试完成有关词或面孔刺激的工作记忆任务过程。他们发现, 情绪和刺激类型两个变量所引起的双侧前额叶的神经活动之间存在明显的交互作用, 而且神经活动与任务绩效相一致, 为认知与情绪的交互作用提供了强有力的证据。另外, 对杏仁核受损病人的研究也表明, 即使在杏仁核功能不全时, 记忆中仍然有情绪优势<sup>[78]</sup>。这些发现表明, 内侧颞叶和前额叶的直接交互作用可能调节对情绪信息的加工<sup>[78]</sup>。

现在, 大家普遍认为, 前额叶的很多区, 如前扣带回(ACC)、前额叶眶回(OFC)和腹内侧前额叶, 具有自己的特定功能<sup>[2]</sup>。下面, 我们接着探讨前额叶的两个脑区, 即前额叶眶回和基底神经节, 在认知与情绪交互中的作用。

#### 2.4 前额叶眶回

作为前额叶的一部分, 前额叶眶回是人脑中联合皮层的一个区域。因为其在情绪和奖励中的作用, 前额叶眶回被认为是边缘系统的一部分<sup>[2,81]</sup>。

研究者认为, 前额叶眶回对于强化刺激对行为的常规控制是必要的。有些动物研究表明, 在猴子学会在两个物体中选择一个物体可以得到奖励后, 当刺激和奖励间的关系发生倒转时, 前额叶眶回受损的猴子不能抑制对先前得到奖励的刺激的反应<sup>[82]</sup>。有些神经心理学研究也表明, 前额叶眶回受损的病人在遭遇损失后, 不能改变他们的选择以避免损失<sup>[82]</sup>。在单神经元记录和神经成像的研究中, 也发现前额叶眶回对强化和与强化相关的事件有反应<sup>[81]</sup>。

而且, 近来研究者发现, 前额叶眶回可能对结果预期的产生和应用具有重要作用<sup>[83]</sup>。例如, 对正常人类被试的脑神经成像研究表明, 在对期望的结果进行预期, 以及预期结果的价值改变或没有实现时, 前额叶眶回的血流量会发生改变, 说明前额叶眶回的活动反映了这些项目的激励价值<sup>[83]</sup>。Wallis<sup>[82]</sup>指出, 前额叶眶回根据奖励结果, 整合多个信息源以得到一个价值分数, 然后外侧前额叶进行计划和组织, 去获取奖励结果, 最后所有的活动和努力在内侧前额

叶得到评估。

前额叶眶回受损会产生不同寻常的缺失模式, 这种病人虽具有完整的认知能力, 但是日常生活中的决策能力受损。前额叶眶回在决策中的作用近来吸引了较多的注意。Beer 等人<sup>[84]</sup>利用冒险任务考察了这一问题。他们在赌博任务呈现之前, 给被试呈现一些负性和中性的图片, 要求被试忽视这些图片或者告诉被试负性图片意味着即将来临的赌博风险更大。研究结果表明, 不仅相关的负性情绪, 而且无关的负性情绪也会使外侧前额叶眶回的活动显著提高。此外, Wallis<sup>[82]</sup>也指出, 前额叶眶回之所以对于决策至关重要, 是因为前额叶眶回在奖励加工过程中起重要作用, 保证了我们的行为最有效地满足我们的需求。

#### 2.5 前扣带皮层

前扣带皮层也被认为是边缘系统的一部分<sup>[85]</sup>。传统上认为这一区域在抑郁和情绪性障碍的神经生物学中具有重要作用<sup>[86]</sup>。而且, 最近三十多年的大量神经成像研究表明, 前扣带皮层参与诸如内隐学习、决策和注意等多个认知过程。

为了全面了解前扣带皮层的作用, 可将其分为情绪和认知两部分: 情绪部分包括前扣带皮层的喙侧和腹侧区域, 参与对某些本能反应的调节, 包括对应激性行为、情绪事件、情绪表达和社会行为等的自动反应; 认知部分包括前扣带皮层的背侧区域, 在反应选择和认知加工中起重要作用<sup>[87]</sup>。例如, 加工竞争性的信息或者调节认知或情绪的冲突会激活其背侧区域, 说明前扣带皮层的认知部分可能具有评估的功能, 而且, 背侧区域在评价潜在冲突的出现中也起着重要作用<sup>[87]</sup>。因此, 前扣带皮层与诸如强迫症(obsessive-compulsive disorder, OCD)、创伤后应激障碍(posttraumatic stress disorder, PTSD)和单纯恐怖症(simple phobia)等不同的焦虑症关系密切也就不足为奇了。

前扣带皮层通过与杏仁核和其他脑区的联结, 参与社会认知中对他人情绪的理解<sup>[88]</sup>。最近的一项 fMRI 研究, 采用 Stroop 范式来探测情绪冲突, 结果表明, 杏仁核和背外侧前额叶的活动反映了情绪冲突的数量, 并且, 前扣带皮层喙侧的活动与情绪冲突的解决有关<sup>[89]</sup>。前扣带皮层喙侧的活动可以由先前与冲突有关的神经活动的数量来预测, 并同时伴随着杏仁核活动的下降, 说明情绪冲突的解决是通过



前扣带皮层喙侧自下而上对杏仁核的抑制来完成的<sup>[89]</sup>。其他研究也表明,前扣带皮层通过编码得到奖励的可能性来计算行为的得失,与此同时,前扣带皮层对于权衡努力代价的决策过程也至关重要<sup>[2]</sup>。

## 2.6 小脑

传统上,小脑被认为是单纯的运动控制区域。然而,越来越多的研究表明,除运动协调的作用之外,小脑还有助于认知加工和情绪控制<sup>[90]</sup>。

脑损伤病人的研究发现,小脑受损的病人会表现出执行功能、语言和情绪调节的障碍。而且,功能成像的研究也发现,视觉诱发的情绪或者面部表情再认会增强小脑的活动<sup>[91]</sup>。为了进一步探讨小脑在情绪中的作用,Turner等人<sup>[91]</sup>首次把正电子发射断层扫描技术(PET)和情绪诱发探测方法结合起来用于小脑中风的病人,结果发现,尽管加工其他情绪刺激的认知绩效正常,但是会对诱发快乐的刺激表现出较弱的快乐体验;而且,尽管他们对恐惧刺激具有与正常被试相似的体验,但是会伴随着右腹侧和左背侧前额叶、杏仁核、丘脑和扣带回的活动显著降低。不快乐的体验激活“可替代的”边缘回路而不是正常区域(如杏仁核),说明在小脑受损后其他神经回路开始负责保持在进化上至关重要的恐惧反应。

此外,临床研究为精神分裂症和抑郁等情绪障碍中的小脑异常提供了强有力的证据<sup>[92]</sup>。神经生物学的研究表明,前小脑蚓部的浦肯野细胞(Purkinje cells)的细胞外单位反应随恐惧学习的过程而变化,并且,小脑对线索恐惧条件反应的诱导长时程增强。这些研究为小脑参与恐惧学习提供了确凿的证据,说明小脑是调控情绪行为的复杂系统的一部分<sup>[92,93]</sup>。而且,经颅磁刺激技术(TMS)的研究证明,对被试的小脑进行几天的缓慢重复经颅磁刺激,会导致负性心境的加强,说明刺激破坏了对情绪的调节<sup>[94]</sup>。

## 2.7 相关的发展研究

认知与情绪的交互作用对儿童的发展至关重要。基于交互作用的取向,Wolfe和Bell<sup>[70]</sup>试图通过考察认知控制(工作记忆)和情绪调控(儿童的气质)的交互作用,来研究儿童最初几年中认知发展和情绪发展的关系。他们选择了8个月和4.5岁大的儿童作为被试,发现儿童早期的调控和注意行为会极大地影响其后期的发展,说明或许并不是儿童的认知成绩,而是儿童的气质特点可以预测儿童早期的认知能力。

对青少年时期发病的精神分裂症的研究也表明,认知和情绪交互的大脑功能障碍出现在很早的年龄<sup>[95]</sup>。例如,在诱发了负性和正性情绪之后的工作记忆任务中,青少年时期发病的精神分裂症病人与工作记忆绩效相关的脑区,如背侧前额叶、顶叶和前扣带回,通常比正常被试的激活水平低。不过,在负性情绪激活时,这些病人的活动增强的脑区主要是在情绪加工的区域,如左侧前额叶眶回和内侧额叶等<sup>[95]</sup>。正如前面我们所总结的那样,认知对情绪的控制和情绪对认知的影响都依赖于几个脑区,如前额叶、前额叶眶回、杏仁核和其他相关脑区的整合。这些研究结果进一步证明,认知和情绪的成功整合对于人类日常心理体验的质量和范围至关重要。

## 3 实践意义

正如心理学研究在过去几个世纪里将情绪从认知中剥离出来一样,计算机科学长期以来也忽视了情感因素在智能机器中的作用。1985年,Minsky<sup>[96]</sup>首次指出,问题的关键不是智能机器是否需要任何情绪,而是没有情绪的机器是否能够实现智能。随后,计算机领域的研究者逐渐认识到机器智能应该包括情绪智力。情绪智力是指识别情绪的能力,被认为是人类智力的一个方面<sup>[97]</sup>。但是,长期以来,除了科幻电影中展示的那些具有类似于人类情绪的机器人外,尚未有多少关于计算机情绪智力的科学研究。直到1997年Picard的《情感计算》<sup>[98]</sup>一书出版,这个局面才开始改变。

情感计算是指与情绪有关的、由情绪引发或者用于影响情绪的计算<sup>[98]</sup>。情感计算的目标是,通过赋予计算机识别、理解、表达和响应人的情感的能力来建立和谐人机环境,并使计算机具有更高的、全面的智能。这种计算机具有影响人类情绪,以及被人类情绪影响的能力,可以与人类更加自然、友好地进行交互,将会有效地改善人类对技术的情感体验。开展情感计算研究,有助于构建和谐电子社会,也有益于推进心理科学的发展。

在过去10年里,作为一个新兴的交叉学科,情感计算已经吸引了大量的注意和研究投入。目前,全世界有许多实验室在关注情感计算的研究,如美国MIT多媒体实验室、瑞士国家情感计算研究中心、中国科学院心理研究所和清华大学。研究者们致力于赋予计算机感知、识别和响应人类情绪的某些特定方

面,特别是挫折、迷茫、兴趣、应激、生气和快乐等情绪,开发出可穿戴的计算机系统,并在研制能够积极地聆听和能够表现同情和移情的计算机。

认知与情绪的交互作用研究对情感计算领域意味着什么呢?虽然情绪是人类基本的精神体验,但是长期以来,工程技术领域的专家却一直忽略情绪,其产品经常使人们感受到挫折。工程技术专家忽略情绪常常也是出于无奈,这部分缘于认知和情绪之间的复杂关系。幸运的是,随着认知与情绪交互作用的观点日益深入人心,研究者越来越关注情绪在计算机科学中的作用,开始将较多的注意投入到如何创造更友好的人机交互关系上。

设计者、工程师和技术人员已开始认识到,情感因素对他们的产品很重要。例如, Norman<sup>[99]</sup>指出,可爱的事物能使其功能得到更好的发挥,对于产品的成功,设计的情感因素比它的实用因素更关键。随着有关认知和情绪交互作用的深入细致研究,我们心智的两个部分之间的关系变得稍微清晰了一些。这也使得设计者、工程师和技术人员将较多的注意投入到如何创造更友好的人机交互关系上。这些研究不仅进一步深化了对情绪及情绪在人们生活和工作中作用的理解,也将有助于设计者、工程师和技术人员开发新技术和研发新产品,使认知和情感因素在技术设计中达到适当的平衡,以更好地满足人们的需求。

然而,由于情绪现象非常复杂,实现情感计算并不容易。例如,尽管在国际期刊和会议上发表了各种各样有关情感计算的研究,但迄今为止,表示和测量情绪和情绪差异的计算模型这一情感计算研究的基础问题并未得到有效的解决。而且,尽管心理学研究已证明,可以在近似三维的空间中描绘情绪状态,例如基于愉悦度、激活度、优势度的 PAD 情绪状态模型可以对情绪状态进行充分的描述<sup>[10~12]</sup>,但是有关情感计算的研究还主要集中于识别六种典型的情绪。为了进一步探讨这一问题, Tao 等人<sup>[100]</sup>提出了一种计算方法,来分析精心设计的心理学实验所收集的数据,并建立了适合这些数据的模型,结果表明,基于 PAD 三维坐标系统,情绪状态可以在相关的 PAD 空间中得到表示和测量(图 3)。

尽管困难很大,但已经有研究证明,认知和情绪交互作用的基本思想可以被用于智能计算机系统的表情识别和情绪学习。例如, Niedenthal<sup>[101]</sup>发现,在

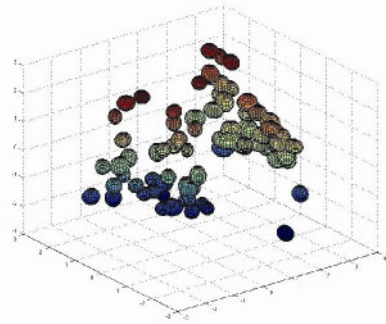


图 3 80 个情景的 80 高斯模型(引自文献[100])

三维坐标是 P, A 和 D. 椭圆的中心是数据分布的中心, 椭圆的数量代表了数据集的变化

实验室中当通过操纵面部表情和体态来表达情绪时,情绪的表达会影响情绪信息的加工:接受者身体表达的情绪与发出者语言的情绪基调相一致时会促进情绪交流中的相互理解,不一致时则会破坏情绪交流中的相互理解。他还发现,当人们采纳相一致的特定情绪体态时,他们会报告其体验到了与其相关的情绪,说明个人所选定的面部表情或者所做出的情绪姿态会影响他们的喜好和态度。不过,他也发现,当人们的活动受到抑制时,他们的表情体验也会受到影响。这些结果说明,对情绪的感知或者思考包括了本人对相关情绪的知觉的、体觉的和运动的再体验。

此外,有关表情识别的研究,尤其是有关眼睛注视和面部表情的研究,对智能系统具有一定的意义。正如前面我们所提到的那样,眼睛注视在面部表情识别中具有重要作用。眼睛注视被认为是自动表情分析系统识别面部表情的重要线索<sup>[63]</sup>。有一些系统,如自动面部分析系统是基于面部特征来分析面部表情。眼睛注视是这些系统更有效地识别表情的一个关键因素。在虚拟环境中,人们通过化身的注视来了解其他人的情绪和注意,眼神对于参与者的反应具有积极影响,会使其产生身临其境的互动<sup>[63]</sup>。同样,目光接触对于人机交互也至关重要。在生成能够识别或者表达人类情绪的动画人物或者机器人时,注视方向可以作为有效的辅助因素,它会使得化身在虚拟环境的交流中更富有表达力,并使人机和人与机器人的交互更加有效<sup>[63]</sup>。

总之,认知与情绪的交互作用是人类适应环境

的基础。在本文中,我们首先总结了认知和情绪过程如何产生交互作用,接着介绍了认知和情绪交互作用的神经基础,最后探讨了认知与情绪的交互作用研究对计算机科学和人工智能领域,特别是对情感计算领域的影响。然而,值得指出的是,尽管近来的研究为认知与情绪的交互作用提供了强大的证据支持,而且部分相关研究成果已被应用于日常生活,但是仍然存在许多尚未解决的问题,需要未来研究做

进一步探讨。首先,认知和情绪中,哪一个是人类生存的基本功能?其次,我们对认知和情绪交互作用的新理解如何扩展到社会心理学和精神病理学领域?最后,认知与情绪的交互作用如何从婴儿一出生就影响着个体的发展?是否有什么方法可以挖掘人类的认知和情绪智力潜能?最后,有关我们心智的这两部分关系的研究如何为形成更友好的人机交互环境提供更具创造性的思想?

## 参考文献

- 1 Ochsner K N, Phelps E. Emerging perspectives on emotion-cognition interactions. *Trends Cogn Sci*, 2007, 11: 317—318
- 2 Pessoa L. On the relationship between cognition and emotion. *Nat Rev Neurosci*, 2008, 9: 148—158
- 3 Lyons W. The philosophy of cognition and emotion. In: Dalgleish T, Power M, eds. *Handbook of Cognition and Emotion*. Chichester: Wiley, 1999. 21—44
- 4 Pessoa L. How do emotion and motivation direct executive control? *Trends Cogn Sci*, 2009, 13: 160—166
- 5 Dolan R. Emotion, cognition, and behavior. *Science*, 2002, 298: 1191—1194
- 6 Phelps E A. Cognition and emotion: insights from studies of the human amygdala. *Annu Rev Psychol*, 2006, 57: 27—53
- 7 Barrett L F, Mesquita B, Ochsner K N, et al. The experience of emotion. *Annu Rev Psychol*, 2007, 58: 373—403
- 8 Izard C E. Emotion Theory and research: Highlights, unanswered questions, and emerging issues. *Annu Rev Psychol*, 2009, 60: 1—25
- 9 Ekman P. *Handbook of Cognition and Emotion*. Chichester: Wiley, 1999
- 10 Mehrabian A. Framework for a comprehensive description and measurement of emotional states. *Genet Soc Gen Psychol Monogr*, 1995, 3: 339—361
- 11 Mehrabian A. Pleasure-Arousal-Dominance: A general framework for describing and measuring individual differences in temperament. *Curr Psychol Dev Learning Personal Soc*, 1996, 4: 261—292
- 12 Li X, Zhou H, Song S, et al. The reliability and validity of the Chinese version of abbreviated PAD emotion scales. In: Tao J, Tan T, Picard R W, eds. *Affective Computing and Intelligent Interaction*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 513—518
- 13 Martino B D, Kumaran D, Seymour B, et al. Frames, biases, and rational decision-making in the human brain. *Science*, 2006, 313: 684—687
- 14 Irrational Decisions Driven By Emotions, ScienceDaily. Retrieved June 29, 2009, from <http://www.sciencedaily.com/releases/2006/08/060803171138.htm>
- 15 Clore G L, Storbeck J. Affect as information about liking, efficacy, and importance. In: Forgas J, ed. *Affect in Social Thinking and Behavior*. New York and Hove: Psychology Press, 2006. 123—142
- 16 Buchanan T W. Retrieval of emotional memories. *Psychol Bull*, 2007, 133: 761—779
- 17 Bower G H, Forgas J P. Affect, memory, and social cognition. In: Eich E, Kihlstrom J F, Bower G H, et al., eds. *Cognition and Emotion*. New York: Oxford University Press, 2000. 87—168
- 18 Langeslag S J E, Franken I H A, van Strien J W. Dissociating love-related attention from task-related attention: An event-related potential oddball study. *Neurosci Lett*, 2008, 431: 236—240
- 19 Rowe G, Hirsh J B, Anderson A K. Positive affect increases the breadth of attentional selection. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2007, 104: 383—388
- 20 Kiss M, Goolsby B, Raymond J E, et al. Efficient attentional selection predicts distractor devaluation: ERP evidence for a direct link between attention and emotion. *J Cogn Neurosci*, 2007, 19: 1316—1322
- 21 Stefanucci J K, Proffitt D R. The roles of altitude and fear in the perception of height. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 2009, 35: 424—438
- 22 Stefanucci J K, Storbeck J. Don't look down: Emotional arousal elevates height perception. *J Exp Psychol Gen*, 2009, 138: 131—145

- 23 Droit-Volet S, Meck W H. How emotions colour our perception of time. *Trends Cogn Sci*, 2007, 11: 504—513
- 24 Effron D A, Niedenthal P M, Gil S, et al. Embodied temporal perception of emotion. *Emotion*, 2006, 6: 1—9
- 25 Tipples J. Negative emotionality influences the effects of emotion on time perception. *Emotion*, 2008, 8: 127—131
- 26 Schupp H T, Stockburger J, Codispoti M, et al. Selective visual attention to emotion. *J Neurosci*, 2007, 27: 1082—1089
- 27 Hao F, Zhang H, Fu X. Modulation of attention by faces expressing emotion: Evidence from visual marking. In: Tao J, Tan T, Picard R W, eds. *Affective Computing and Intelligent Interaction*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 127—134
- 28 Lim S L, Padmala S, Pessoa L. Affective learning modulates spatial competition during low-load attentional conditions. *Neuropsychologia*, 2008, 46: 1267—1278
- 29 Kanske P, Kotz S A. Concreteness in emotional words: ERP evidence from a hemifield study. *Brain Res*, 2007, 1138: 138—148
- 30 Kanske P, Kotz S A. Executive control of attention benefits from positive emotion: ERP evidence. *Int J Psychol*, 2008, 43: 279
- 31 Baddeley A. Working memory: Looking back and looking forward. *Nat Rev Neurosci*, 2003, 4: 829—839
- 32 Levens S M, Phelps E A. Emotion processing effects on interference resolution in working memory. *Emotion*, 2008, 8: 267—280
- 33 Baddeley A. *Working Memory, Thought, and Action*. Oxford: Oxford University Press, 2007
- 34 Cacioppo J T, Gardner W L. Emotion. *Annu Rev Psychol*, 1999, 50: 191—214
- 35 Hsee C K, Hastie R. Decision and experience: Why don ' t we choose what makes us happy? *Trends Cogn Sci*, 2006, 10: 31—37
- 36 Kahneman D. Experienced utility and objective happiness: A moment-based approach. In: Kahneman D, Tversky A, eds. *Choices, Values, and Frames*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 673—692
- 37 Rustichini A. Emotion and reason in making decisions. *Science*, 2005, 310: 1624—1625
- 38 Greene J D, Sommerville R B, Nystrom L E, et al. An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science*, 2001, 293: 2105—2108
- 39 Huebner B, Dwyer S, Hauser M. The role of emotion in moral psychology. *Trends Cogn Sci*, 2009, 13: 1—6
- 40 Lazarus R S. Cognition and motivation in emotion. *Am Psychol*, 1991, 46: 352—67
- 41 Fenske M J, Raymond J E, Kunar M A. The affective consequences of visual attention in preview search. *Psychon Bull Rev*, 2004, 11: 1034—1040
- 42 Raymond J E, Fenske M J, Westoby N. Emotional devaluation of distracting patterns and faces: A consequences of attentional inhibition during visual search? *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 2005, 31: 1404—1415
- 43 Fenske M J, Raymond J E, Kessler K, et al. Attentional inhibition has social-emotional consequences for unfamiliar faces. *Psychol Sci*, 2005, 16: 753—758
- 44 Zhou H, Wan L, Fu X. Generalized " Stigma " : Evidence for devaluation-by-inhibition hypothesis from implicit learning. The Proceedings of 2nd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII2007). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. 690—697
- 45 Storbeck J, Clore G L. With sadness comes accuracy, with happiness, false memory: Mood and the false memory effect. *Psychol Sci*, 2005, 16: 785—791
- 46 Righart R, de Gelder B. Recognition of facial expressions is influenced by emotional scene gist. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 2008, 8: 264—272
- 47 Hansen T, Bartsch R A. Positive correlation between personal need for structure and the mere exposure effect. *Soc Behav Pers*, 2001, 29: 271—276
- 48 Witvliet C V O, Vrana S R. Play it again, Sam: Repeated exposure to emotionally evocative music polarizes liking and smiling responses, and influences other affective reports, facial EMG and heart rate. *Cogn Emot* 2007, 21: 3—25
- 49 Barrett L F, Lindquist K A, Gendron M. Language as context for the perception of emotion. *Trends Cogn Sci*, 2007, 11: 327—332
- 50 Ekman P. Strong evidence for universals in facial expressions: A reply to Russell ' s mistaken critique. *Psychol Bull*, 1994, 115: 268—287
- 51 Izard C E. Innate and universal facial expressions: Evidence from developmental and cross-cultural research. *Psychol Bull*, 1994, 115: 288—299
- 52 Barrett L F. Emotions as natural kinds? *Perspect Psychol Sci*, 2006, 1: 28—58
- 53 Lindquist K, Barrett L F, Bliss-Moreau E, et al. Language and the perception of emotion. *Emotion*, 2006, 6: 125—138
- 54 Calder A J, Young A W, Keane J, et al. Configural information in facial expression perception. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 2000, 26: 527—551

- 55 Ganel T, Goshen-Gottstein Y. Effects of familiarity on the perceptual integrality of the identity and expression of faces: The parallel-route hypothesis revisited. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 2004, 30: 583—597
- 56 Bruce V, Young A. Understanding face recognition. *Br J Psychol*, 1986, 77: 305—327
- 57 汪亚珉, 傅小兰. 面部表情识别与面孔身份识别的独立加工与交互作用机制. *心理科学进展*, 2005, 13: 497—516
- 58 Haxby J V, Hoffman E A, Gobbini M I. The distributed human neural system for face perception. *Trends Cogn Sci*, 2000, 4: 223—233
- 59 Wang Y M, Fu X. Effect of discriminability on interference between facial expression and facial identity recognition. *Acta Psychol Sin*, 2007, 39: 191—200
- 60 Zhang H, Xuan Y, Fu X. What expression could be found more quickly? It depends on facial identities. In: Tao J, Tan T, Picard R W, eds. *Affective Computing and Intelligent Interaction*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 195—201
- 61 Adams R B, Kleck R E Jr. Effects of direct and averted gaze on the perception of facially communicated emotion. *Emotion*, 2005, 5: 3—11
- 62 Graham R, LaBar K S. Garner interference reveals dependencies between emotional expression and gaze in face perception. *Emotion*, 2007, 7: 296—313
- 63 Shang J, Liu Y, Fu X. Dominance modulates the effects of eye gaze on the perception of threatening facial expressions. *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 2008
- 64 Gross J J. The emerging field of emotion regulation: An integrative review. *Rev Gen Psychol*, 1998, 2: 271—299
- 65 Ochsner K N, Gross J J. The cognitive control of emotion. *Trends Cogn Sci*, 2005, 9: 242—249
- 66 Gross J J. Emotion regulation: Affective, cognitive, and social consequences. *Psychophysiology*, 2002, 39: 281—291
- 67 Hariri A R, Bookheimer S Y, Mazziotta J C. Modulating emotional responses: Effects of a neocortical network on the limbic system. *Neuroreport*, 2000, 11: 43—48
- 68 Tamir M, Mitchell C, Gross J J. Hedonic and instrumental motives in anger regulation. *Psychol Sci*, 2008, 19: 324—328
- 69 Gross J J. Emotion regulation. In: Lewis M, Haviland-Jones J M, Barrett L F, eds. *Handbook of Emotions* (3rd ed). New York: Guilford Press, 2008. 497—512
- 70 Wolfe C D, Bell M A. The integration of cognition and emotion during infancy and early childhood: Regulatory processes associated with the development of working memory. *Brain Cogn*, 2007, 65: 3—13
- 71 Gallagher M, Holland P C. The amygdala complex: Multiple roles in associative learning and attention. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1994, 91: 11771—11776
- 72 Lim S L, Pessoa L. Affective learning increases sensitivity to graded emotional faces. *Emotion*, 2008, 8: 96—103
- 73 Adolphs R. Perception and emotion: How we recognize facial expressions. *Curr Direct Psychol Sci*, 2006, 15: 222—226
- 74 Barot S K, Kyono Y, Clark E W, et al. Visualizing stimulus convergence in amygdala neurons during associative learning. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2008, 105: 20959—20963
- 75 Phelps E A. Human emotion and memory: interactions of the amygdala and hippocampal complex. *Curr Opin Neurobiol*, 2004, 14: 198—202
- 76 Papez J W. A proposed mechanism of emotion. *Arch Neurol Psychiatry*, 1937, 38: 725—744
- 77 Broadbent N J, Squire L R, Clark R E. Spatial memory, recognition memory, and the hippocampus. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2004, 101: 14515—14520
- 78 LaBar K S, Cabeza R. Cognitive neuroscience of emotional memory. *Nat Rev Neurosci*, 2006, 7: 54—64
- 79 Richardson M P, Strange B A, Dolan R J. Encoding of emotional memories depends on amygdala and hippocampus and their interactions. *Nature Neuroscience*, 2004, 7: 278—285
- 80 Gray J R, Braver T S, Raichle M E. Integration of cognition and emotion in the lateral prefrontal cortex. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2002, 99: 4115—4120
- 81 Rushworth M F S, Behrens T E J, Rudebeck P H, et al. Contrasting roles for cingulate and orbitofrontal cortex in decisions and social behaviour. *Trends Cogn Sci*, 2007, 11: 168—176
- 82 Wallis J D. Orbitofrontal cortex and its contribution to decision-making. *Annu Rev Neurosci*, 2007, 30: 31—56
- 83 Schoenbaum G, Roesch M R, Stalnaker T A. Orbitofrontal cortex, decision-making and drug addiction. *Trends Neurosci*, 2006, 29: 116—124
- 84 Beer J S, Knight R T, D'Esposito M. Controlling the integration of cognition and emotion: The role of frontal cortex in distin-

- guishing helpful from hurtful emotional information. *Psychol Sci*, 2006, 17: 448—453
- 85 Bush G, Luu P, Posner M I. Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cogn Sci*, 2000, 4: 215—222
- 86 Gotlib I H, Sivers H, Gabrieli J D, et al. Subgenual anterior cingulate activation to valenced emotional stimuli in major depression. *Neuroreport*, 2005, 16: 1731—1734
- 87 Davidson R J, Pizzagalli D, Nitschke J B. The representation and regulation of emotion in depression: Perspectives from affective neuroscience. In: Gotlib I, Hammen C, eds. *Handbook of Depression*. 2nd Ed. New York: Guilford Press, 2009
- 88 Olsson A, Ochsner K N. The role of social cognition in emotion. *Trends Cogn Sci*, 2008, 12: 65—71
- 89 Etkin A, Egner T, Peraza D M, et al. Resolving emotional conflict: A role for the rostral anterior cingulate cortex in modulating activity in the amygdala. *Neuron*, 2006, 51: 871—882
- 90 Schmahmann J D, Caplan D. Cognition, emotion and the cerebellum. *Brain*, 2006, 129: 288—292
- 91 Turner B M, Paradiso S, Marvel C L, et al. The cerebellum and emotional experience. *Neuropsychologia*, 2007, 45: 1331—1341
- 92 Schutter D J, van Honk J. The cerebellum on the rise in human emotion. *Cerebellum*, 2005, 4: 290—294
- 93 Sacchetti M, Saltin B, Olsen D B, van Hall G. High triacylglycerol turnover rate in human skeletal muscle. *J Physiol*, 2004, 561: 883—891
- 94 Schutter D, van Honk J. The cerebellum in emotion regulation: A repetitive transcranial magnetic stimulation study. *Cerebellum*, 2009, 8: 28—34
- 95 Pauly K, Seifert N Y, Kellermann T, et al. Cerebral dysfunctions of emotion-cognition interactions in adolescent-onset schizophrenia. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 2008, 47: 1299—1310
- 96 Minsky M. *The Society of Mind*. New York: Simon & Schuster, 1985
- 97 Picard R W. Affective medicine: Technology with emotional intelligence. In: Bushko R G, ed. *Future of Health Technology*. Cambridge: OIS Press, 2001. 1—15
- 98 Picard R W. *Affective Computing*. London: MIT Press, 1997
- 99 Norman D A. *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*. New York: Basic Books, 2004
- 100 Tao L, Liu Y, Fu X, et al. A computational study on PAD based emotional state model. *Proceedings of the 26th Computer-Human Interaction Conference*, 2008
- 101 Niedenthal P M. Embodying emotion. *Science*, 2007, 316: 1002—1005