

面孔识别的认知模型与电生理学证据

彭小虎 罗跃嘉 魏景汉 王国锋

(中国科学院心理研究所, 北京 100101)

摘要 近年来面孔识别的事件相关电位 (ERP) 研究发展迅速, 该文围绕 Bruce-Young 的面孔识别模型, 探讨模型中各认知单元的内涵、作用及相互之间的关系, 揭示了面孔识别的认知过程和神经机制。另外, 通过 ERP 研究结果, 指出了 Bruce-Young 的面孔识别模型中的不足之处, 由此提出了修正的面孔识别模型。

关键词 事件相关电位 (ERP), 面孔识别, 面孔识别模型。

分类号 B842.3

面孔识别是人们社会生活中的一项重要功能, 它使我们对面孔的熟悉度、情绪状态、社会地位、性别、年龄和种族等有一个正确的认识, 从而有助于人们的社会交往和环境适应。此外, 面孔识别在模式识别、计算科学、测谎等方面都有着非常重要的意义。近年来, 随着认知神经科学的发展以及无创性脑成像和电生理技术的进步, 面孔识别的研究有了很大的发展, 吸引了神经生理学、认知心理学、社会心理学和计算机科学等多学科科学家的关注与兴趣。国外已有的研究尚未证明面孔识别的神经机制。为此提出了面孔识别的认知模型, 这些模型都试图解释面孔是如何被识别的, 陌生的面孔是如何成为熟悉的面孔。到目前为止, 影响较大的模型是 Bruce-Young 基于大量的行为实验和日常观察以及临床结果, 于 1986 年提出来的认知模型^[1] (见图 1)。本文以此模型为基础, 结合近年来面孔识别的事件相关电位 (event-related potential, ERP) 研究, 阐述面孔识别的神经机制, 并提出修正的面孔识别认知模型。

根据 Bruce-Young 的模型 (图 1), 第一阶段为面孔结构编码阶段。在此阶段, 对面孔的结构特征进行编码。此阶段之后是两条独立的通道: 第一条通道是有关视觉处理的, 包含表情分析、面孔语言分析和直接视觉处理 3 个平行的处理单元; 第二条通道是有关面孔识别的, 包含面孔识别单元、个体特征单元和名字产生单元 3 个串行的处理过程。这种分离与神经心理学的发现是一致的^[2,3]。根据对面孔失认症病人的研究, 存在陌生和熟悉的面孔的分离^[4]、面孔识别与表情的分离^[5]、面孔识别与面孔语言的分离^[6]等。这两条分离通道的输出结果最后都进入认知系统, 以便对信息进行整合和作出决策。下面就此模型的各个功能单元来阐述面孔识别的神经机制。

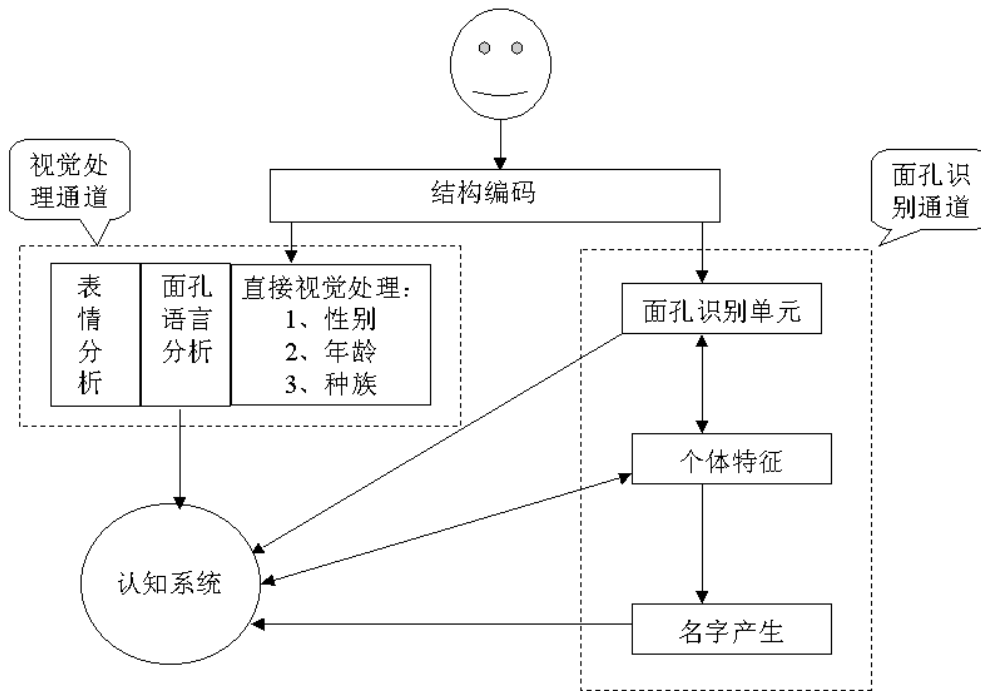


图1 Bruce和Young的面孔识别认知模型

1 结构编码阶段

在 Bruce-Young 的模型中，结构编码阶段包含两种编码方式：一种是静态的图形编码，即面孔的亮度、质地、斑点以及姿势和表情等；另一种是动态的结构编码，即更抽象的视觉表征（如头的角度、表情、年龄和发型等的改变等）。此阶段的主要作用是对面孔的结构进行编码，以便进行面孔识别、视觉处理、表情分析和面孔语言分析。它是我们见到一张面孔时的第一处理阶段，其输出结果再送入面孔识别单元或其他单元进行加工。近年来，在颞枕部(occipitotemporal)发现一个负波 N170，与面孔特征的结构分析有关，反应了面孔识别的特异性^[7,8]。Eimer^[9]的实验表明，相对于正面或侧面的面孔，脸颊和后脑勺的 N170 幅度被极大地削弱了，这表明 N170 不仅仅是被头的形状所引起。同样，缺乏内部特征（包括眼睛、鼻子、嘴、眉毛、下颌和脸颊等）的面孔也引起了削弱及延迟了的 N170，这表明 N170 对显著的内部特征敏感。Eimer 的整个实验表明，N170 反映了面孔的结构编码阶段，在此阶段产生整个面孔轮廓的表征。Cauquil 等^[10]的实验表明，N170 的幅度和潜伏期都不对靶刺激和非靶刺激敏感，且面孔识别的早期成分 N170 是自动的和未被选择性注意影响的。

2 视觉处理通道

2.1 直接视觉处理（性别、年龄和种族）

根据 Bruce-Young 的模型，在对面孔特征进行编码后，沿着第一条通道就进入了直接视觉处理单元。该单元的主要作用是对面孔的年龄、性别和种族等特征进行处理和编码。根

据神经心理学的研究,面孔失认症病人能够区分一张面孔的性别和种族,甚至能根据面孔来判断一个人的年龄,尽管他/她不认识这张面孔。这些发现支持了 Bruce-Young 所提出来的面孔识别与直接视觉处理的双分离。那么可以这样推测:假设 N170 成分与面孔的结构分析有关,它是不是对性别的判断也敏感呢?如果说直接视觉处理对性别处理来说是必须的,有着与结构编码相同的神经机制,我们就可以发现它会对 N170 产生作用。结构编码和性别处理双分离是否可能?是否不同的神经活动、不同的功能模块对应着面孔的结构编码和性别处理?如果性别处理的神经机制不同于结构编码的神经机制,那么在对两种任务条件下的 ERP 波形进行比较时,就可以揭示性别处理要么在 N170 前,要么在 N170 后。如果在 N170 前,则可以说直接视觉处理不是基于结构编码模块的输出。

目前,对性别的 ERP 研究较多,而关于年龄和种族的 ERP 研究未见报道。根据研究的结果^[11],性别既不影响 N170 的波幅也不影响其潜伏期。尽管性别辨别时的 ERP 波形在时间范围内与 N170 基本相同,但在头皮分布上却完全不同。这与 PET 的发现是一致的。根据 PET 的研究,性别识别的神经活动区域与面孔特征结构分析的区域是不同的。这种模式表明面孔的性别处理是与结构编码是平行的(至少部分),且有着各自的脑机制。性别的处理阶段甚至在结构编码之前就完成了。因此,这些研究结果给 Bruce-Young 的模型提供了电生理学的证据,即知觉分析与性别辨别是两个不同的功能模块——结构编码和直接视觉处理。然而,与该模型不同的是,面孔性别处理的 ERP 成分(145~185ms)的时间进程表明直接视觉处理不是结构编码的结果。

2.2 表情分析

根据 Bruce-Young 的模型,表情分析与视觉直接处理一样,属于第一通道,与面孔识别分离。确实,在进化过程中,对表情(特别是在危险情况下)快速、准确地处理有着重要的意义。行为实验已证明,对表情的处理能够在无意识状态下进行,不需要任何注意的干预,不需要任何努力,辨别和加工完全是自动的^[12~14]。Pizzagalli 等^[15]的实验表明了对于表情的处理确实是快速的。他们首先在被试观看一组带表情的面孔(无任务要求)过程中记录其脑电。然后让被试根据自己的喜恶来区分这些面孔。实验结果是,无论刺激呈现在哪一侧视野,被试的喜恶都显著地影响了 ERP 的早期成分:右半球是 80~116ms 的负波,左半球是 104~160ms 的负波。在 Bobes 等的实验中^[16],被试分为两组,一组对面孔熟悉,另一组对面孔不熟悉。被试的任务之一是辨别刺激面孔是否与靶面孔匹配,之二是辨别刺激面孔的表情是否与靶面孔的表情匹配。实验结果表明,对表情的匹配的准确率远远低于对面孔的匹配的准确率,从而表明了表情分析与面孔识别是双分离的。这些研究结果也部分支持 Bruce-Young 的模型,即结构编码与表情分析是两个不同的功能模块。然而不支持的是,面孔表情分析的 ERP 成分的时间进程表明,表情分析不是结构编码的结果,而是更早或与之平行的。

3 面孔识别通道

3.1 面孔识别单元

根据 Bruce-Young 的模型,第二条通道是有关面孔识别的。更确切地说,是有关熟悉面孔识别的。识别的过程是这样的:首先是对面孔的知觉(这是一张面孔),然后是识别(这

是某人的面孔)。在对面孔进行结构编码后,产生的输出信息,与面孔识别单元中存储的面孔记忆表征进行比较,再结合个体特征信息和名字信息(如果有的话),最后由认知系统整合第一通道和第二通道的信息,于是就将面孔识别出来了。根据神经心理学的研究,很多面孔失认症病人在看一张面孔时,也能区分眼睛和面孔的其他组成部分,但不能把这些部分“加起来”形成一张可识别的面孔,也就是说他们的面孔结构编码部分是完好的,但面孔识别单元部分有缺陷。Eimer^[17]采用熟悉面孔、陌生面孔和房子为刺激材料,发现 N170 出现在两侧颞叶部位,且不被面孔的熟悉与否影响;与不熟悉的面孔相比,熟悉面孔诱发出一个增强的 N300-N500,之后又有一个增强的 P600。该实验反映了继结构编码后随之而来的一个认知过程。

3.2 个体特征单元与名字产生单元

在 Puce 等的实验中,采用颅内 ERP 得出了面孔特异性 ERP 成分 N200^[18]。他们认为 N200 是代表面孔识别特异性的一个可靠成分(类似头皮 ERP 的 N170),反映了结构编码阶段神经元的活动,而对随后的面孔识别不会敏感。为此,他们采用了一个三阶段的成对联合实验来验证这个假说。第一阶段让被试学习配有名字的 10 张陌生的面孔;第二阶段让被试对这 10 张面孔的性别作出按键反应;第三阶段让被试对这 10 张面孔的面孔与名字进行匹配(正确匹配的概率是 50%)。实验结果表明,在第一、二、三阶段 N200 的幅度和潜伏期无变化。相反,第一阶段的 P290 波幅明显大于其他两个阶段;第三阶段 N700 波幅显著大于第一阶段。表明 N200 与面孔的学习和辨认无关,而其他的晚期 ERP 成分(P290、N700)反应了模型中的面孔识别单元的处理过程,以及由此激活个体特征单元,个体特征单元再激活名字产生单元的处理过程。Paller 等的实验也证明了面孔识别单元、个体特征单元与名字产生单元的独立存在^[19]。他们首先让被试学习 40 张面孔,其中一半伴有声音信息(如“我是 Bruce”,“我是你大学一年级的同学”),另一半没有声音信息。然后让被试在新面孔中区分出这些学习过的面孔。他们发现,有名字提示的面孔的识别正确率为 87%,没有名字提示的面孔的识别正确率为 74%,新面孔的正确率为 91%;在 300 到 600ms,旧面孔的波形比新面孔的波形更为正向;对于有名字提示的面孔,ERP 的新旧效应体现在头皮的前后区域,对于没有名字提示的面孔,ERP 的新旧效应只体现在头皮的后面区域。因此认为后面区域的 ERP 体现了面孔记忆表征的提取,前面区域的 ERP 体现了个体特定信息的提取。

综上所述,面孔识别的 ERP 研究基本上支持 Bruce-Young 的模型,也提供了支持模型某些部分的电生理学证据,但在以下方面存在不符之处:直接视觉处理、表情分析等不是在结构编码输出后再进行的,而是更早或与之平行的;模型中未能体现出对熟悉和陌生面孔进行结构编码后就可以作出熟悉与否的决策,且对陌生的面孔经结构编码后应可以直接进入长时记忆;在直接视觉处理、结构编码、表情分析和面孔语言分析前应还有一个分类处理阶段。因此,我们提出了修正的面孔识别模型(见图 2)。在此模型中结构编码、直接视觉处理、表情分析和面孔语言分析之间相互独立和基本平行,且在它们的前面还有一个分类处

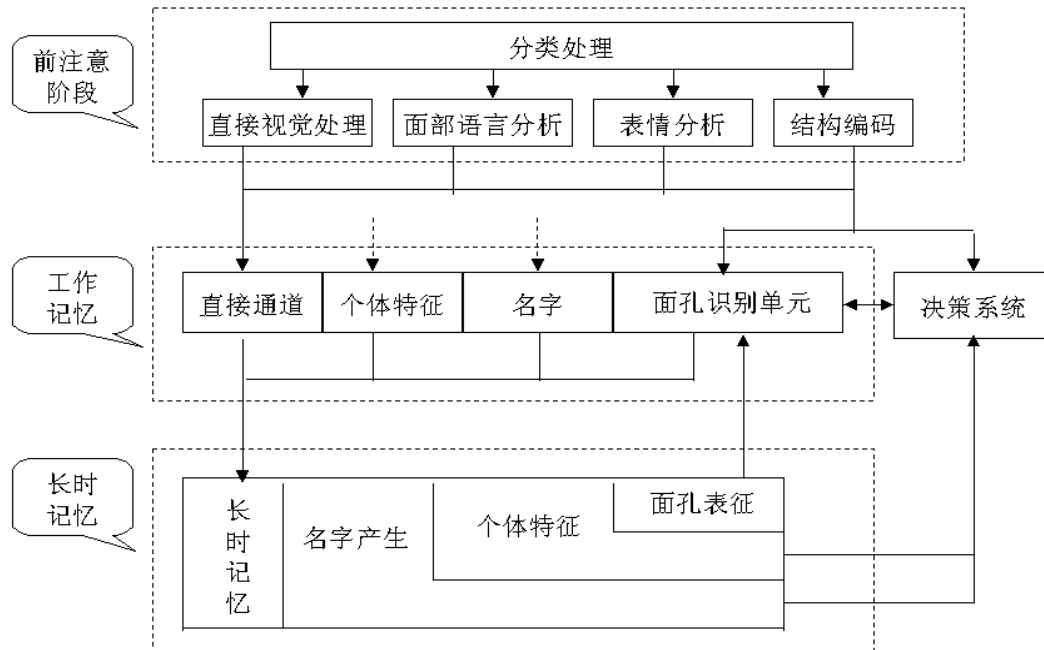


图2 修正的面孔识别模型

理阶段，此阶段的作用是完成性别、种族、面孔熟悉度等的早期分类。Mouchant-Rostaing 的实验表明^[20]：自动、快速而粗糙的分类能够在前注意阶段产生（刺激后 45~85ms），且这种分类是由于被试对不同面孔材料的有意识的期待所造成的。结构编码的输出结果又分为三种，一是作为面孔识别单元的输入，与长时记忆反馈的面孔表征进行比较，完成熟悉面孔的识别；二是作为决策系统的输入，完成熟悉与否的决策，三是作为陌生面孔进入长时记忆的输入。此外，个体信息和名字信息进入工作记忆后激活长时记忆中的表征，也可以作为决策系统的输入。最重要的是，此修正的模型完全摒弃了原模型中的认知系统。Bruce-Young 当初在提出模型时，也认为这个认知系统模棱两可，范畴不是很清楚，似乎可以包括所有的面孔识别单元，又觉得不应该包括所有单元。因此，在修正的模型中，包括前注意阶段、工作记忆、长时记忆和决策系统四大模块。前注意阶段包括分类处理和直接视觉处理、表情分析、面孔语言分析以及结构编码。工作记忆中包括面孔识别单元，它接受结构编码来的信息和长时记忆中反馈来的面孔表征信息，输出结果进入决策系统；另外，工作记忆中还包含可有可无的个体信息和名字信息，与结构编码信息一起进入长时记忆。长时记忆中包含面孔表征、个体信息和名字信息等，它们之间仍然是一种层次激活的关系，即面孔表征激活个体信息，个体信息反过来激活面孔表征和名字信息。决策系统既接受结构编码信息又接受长时记忆传来的信息，此外还接受面孔识别单元传来的信息且作出决策判断之后再反馈给面孔识别单元，完成面孔识别。当然以上只是一些初步的分析与推理，还需要进一步的实验证据。

参考文献

- [1] Bruce V, and Young A W. Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 1986, 77: 305~327
- [2] Sergent J, Signoret J L. Varieties of Functional Deficits in Prosopagnosia. *Cerebral Cortex*, 1992, 2: 375~388
- [3] Schweich M, Bruyer R. Heterogeneity in the cognitive manifestations of prosopagnosia: The study of a group of single cases. *Cognitive Neuropsychology*, 1993, 10: 529~547
- [4] Rossion B, Ccapanella S, Gomez C M. Task modulation of brain activity related to familiar and unfamiliar face processing: an ERP study. *Clinical Neurophysiology*, 1999, 110(3): 449~462
- [5] Young A W, Newcombe F, de Haan E H, et al. Face perception after brain injury. *Brain*, 1993, 116: 941~959
- [6] Campbell R, Landis T, Regard M. Face recognition and lipreading. *Brain*, 1986, 109: 509~521
- [7] Botzel K, Schulze S, Stodieck S R G. Scalp topography and analysis of intracranial sources of face-evoked potentials. *Experimental Brain Research*, 1995, 104: 134~143
- [8] George N, Evans J, Fiori N, et al. Brain events related to normal and moderately scrambled faces. *Cognitive Brain Research*, 1996, 4: 65~76
- [9] Eimer M. The face-specific N170 component reflects late stages in the structural encoding of faces. *Neuroreport*, 2000, 11: 2319
- [10] Cauquil A S, Edmonds G E, T aylor M J. Is the face-sensitive N170 the only ERP not affected by selective attention? *Neuroreport*, 2000, 11: 2167~2171
- [11] Mouchetant-Rostaing Y, Giard M H, Aguera P E, et al. Neurophysiological correlates of face gender processing in humans. *European Journal of Neuroscience*, 2000, 12: 303~310
- [12] Kunst-Wilson W R, Zajonc R B. Affective discrimination of stimuli that cannot be recognized. *Science*, 1980, 207: 557~558
- [13] Ohman A, Soares J J F. "Unconscious anxiety": phobic responses to masked stimuli. *J. Abnormal Psychology*, 1994, 103: 231~240
- [14] Pratto F, John O P. Automatic vigilance: the attention-grabbing power of negative social information. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1991, 61: 380~391
- [15] Pizzagalli D, Regard M, Lehmann D. Rapid emotional face processing in the human right and left brain hemispheres: an ERP study. *Cognitive Neuroscience*, 1999, 10: 2691~2698
- [16] Bobes M.A, Martin M, Olivares E, et al. Different scalp topography of brain potentials related to expression and identity matching of faces. *Cognitive Brain Research*, 2000, 9: 249~60
- [17] Eimer M. Event-related brain potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition. *Clinical Neurophysiology*, 2000, 111: 694~705
- [18] Puce A, Allison T, McCarthy G. Electrophysiological studies of human face perception, : Effects of top-down processing on face-specific potentials. *Cerebral Cortex*, 1999, 9: 445~458
- [19] Paller K, Gonsalves B, Grabowecky M, et al. Electrophysiological correlates of recollecting faces of known and unknown individuals. *Neuroimage*, 2000, 11(2): 98~110
- [20] Mouchetant-Rostaing Y, Giard M H, Aguera P E, et al. Early signs of visual categorization for biological and non-biological stimuli in humans. *Neuroreport*, 2000, 11: 2521~2525

COGNITIVE MODEL AND ELECTROPHYSIOLOGIC EVIDENCE OF FACE RECOGNITION

Peng Xiaohu, Luo Yuejia, Wei Jinghan, Wang Guofeng

(Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract: Research of ERP on face recognition has developed rapidly in recent years. According to the face recognition model of Bruce and Young, we discussed the meaning, effect, and relationship of each other among all the units. Results revealed the processing process and neural mechanism of face recognition. Furthermore, we pointed out some faults of Bruce and Young's face recognition model from a lot of results of ERP study, and tried to provide a modified face recognition model.

Key words: Event related potentials (ERP), face recognition, the model of face recognition

书讯——《认知事件相关脑电位教程》出版

魏景汉、罗跃嘉主编的《认知事件相关脑电位教程》于 2002 年 5 月由经济日报出版社出版, 全书 45 万字、插图 186 幅, 定价 60 元。该书深入浅出地论述了 ERP 的原理、技术与方法、在视知觉、注意、记忆、语言等认知神经科学与临床应用方面的科学成就及其研究进展, 也反映了作者多年的研究成果。全书的论述兼顾基本原理的系统性、学术研究的创新性、科学问题的前沿性, 参考文献详实, 并对国内外认知神经科学研究和发展的现状与趋势作了介绍, 是一部可供心理学、生理学、认知科学、神经科学、临床精神神经疾病、康复医学, 及其他生命科学相关领域的高年级本科学士、硕士研究生、博士研究生、博士后与科研人员、教师、技术人员阅读和参考的高级教程。

欲购此书, 请将书费 60 元和邮寄费 5 元/本通过邮局汇至北京市朝阳区中国科学院心理研究所卫星收, 邮政编码 100101, 电话 (010) 64870650, 传真: (010) 64872070。款到发书, 需要发票请申明。3 本以上免收邮费, 10 本以上 8 折优惠。