

# 句法加工的 ERP 研究综述\*

韩宗义<sup>1 2</sup>, 吕勇<sup>1 2</sup>, 白学军<sup>1 2</sup>

(1. 天津师范大学 心理与行为研究院, 天津 300074 2. 天津师范大学 教育学院, 天津 300387)

**摘 要:** 句法加工是语言理解中的重要环节。句法加工的脑机制问题是心理语言学和认知神经科学的重要研究内容。使用事件相关电位(ERP)技术对句法加工的脑机制的研究已经取得了一些重要的研究成果, 发现了句法加工的早成分(LAN)和晚成分(P600/SPS), 确立了一些句法加工的研究范式。在这个过程中, 也还有一些问题存在争论。该文将对句法加工的 ERP 研究的成果和问题分别进行介绍和讨论。

**关键词:** 句法加工, 事件相关电位(ERP), LAN, P600/SPS

**中图分类号:** B842.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-5184(2007)02-0050-04

## 1 引言

句子分析是语言理解的一个重要过程, 阅读者如何决定句子的句法结构, 即句子各部分如何组织, 是句子分析的核心问题, 这就是句法加工的过程。通过句法加工获得的信息, 就可以形成对句子的解释, 使个体完成对句子的理解。

句子加工是非常精细化和时间连续且短暂的认知加工过程, 传统的以行为反应为指标的研究方法和手段, 不能满足对句法加工的脑机制研究的需要。

事件相关电位(event related potentials, ERP)反映了与特定刺激呈现时间同步的脑电反应信号, 可从以下四个方面对其分析: 潜伏期、极性、波幅和头皮分布。一般认为, 潜伏期代表刺激出现后神经活动的速度和加工的时间进程, 波幅代表了加工的难易程度, 头皮分布是脑电活动的大脑皮层定位。在众多研究语言脑机制的方法中, ERP 方法的时间精度高(精确到毫秒), 可以不需要外显的行为反应, 而且随着设备和技术的改进, 空间精度也得到提高。ERP 一直都是语言理解脑机制研究的最主要的方法之一, 对于句法加工的研究更是如此。

ERP 应用于语言的研究, 主要是探讨语言理解的神经机制, 验证心理语言学家关于语言研究的理论和解决理论争论。

心理语言学对于句法加工主要有两种理论, 模块化结构(modular architecture)和交互式模型(interactive model)。前者认为语义、句法、语用是独立的(有各自的形式), 没有信息的交换。后者认为不存在这些独立的模块, 所有的信息在任何特定的时间都被使用<sup>[1]</sup>。已有的关于句法加工的 ERP 研究的

结果, 通常支持前者。

Friederick(2002)依据电生理学的实验研究和脑神经成像的实验研究, 提出了句子理解的认知神经模型。这个模型指出句子理解的脑机制包括三个阶段: 阶段 1(100—300ms), 句法加工的最初阶段, 主要任务是根据词的类型信息形成句法结构; 阶段 2(300—500ms), 主要任务是进行词的语义加工和句法形态的加工; 阶段 3(500—1000ms), 主要任务是整合各种信息<sup>[2]</sup>。这个模型的第一和第三阶段是句法加工过程, 第二阶段则包括语义加工和句法加工两种操作。

## 2 句法加工的 ERP 成分

### 2.1 早期句法加工成分

从 20 世纪 80 年代开始, 研究者在许多句法违反条件下的 ERP 研究中都发现了一种负波, 其潜伏期长短差异较大, 在 100—500ms 之间变化, 但头皮分布比较一致, 都出现在左半球的前部, 因此将其称为左前负成分(left anterior negativities, LAN)。后来, 把潜伏期较早的 LAN(潜伏期在 150—200ms 之间)称为 ELAN。研究者通常习惯把反映句法违反的 ELAN 和潜伏期较晚的 LAN 统称为 LAN。为了讨论的需要, 在这里把潜伏期较晚的 LAN 称为 LAN, 与 ELAN 有所区别。在对句法加工的 ERP 研究中, 句法违反的研究范式被广泛使用, 大量的研究成果都是基于这种研究范式的。

Brown 在实验中让被试听动词和名词歧义词, 结果发现, 在左半球前部区域大约 150ms 左右出现了 ELAN<sup>[3]</sup>。Neville 采用一系列不同结构的句子以快速连续的视觉方式呈现给被试, 结果发现, 短语结

\* 基金项目: 国家社会科学基金“十一五”国家重点课题(ABA060004), 天津市教育科学规划“十一五”一般课题(G192)。

构违反条件下(Max's of proof the theorem)在违反词呈现后约125ms出现了ELAN,350—500ms之间出现了分布在左额叶的LAN<sup>[4]</sup>。Friederici等用听觉任务考察词类违反时(The friend was in visited),发现在呈现词180ms后出现了ELAN<sup>[5]</sup>。Friederici认为词类违反导致ELAN,并且在快速呈现方式下才会出现。Friederici等人在相对慢地呈现词类违反句子的实验中发现了LAN。因此Friederici认为ELAN与词类违反有关,是句子理解认知神经模型的第一阶段句法加工的标志成分<sup>[6]</sup>。还有人研究发现ELAN不受注意的影响,表现出自动化的特点,将ELAN作为句法结构早期自动化加工的ERP成分。

LAN在多种句法违反条件下出现。Kotz等人在包含名词单复数不一致(Some shells is even soft)的句法加工的ERP研究中,发现了潜伏期300—500ms的LAN<sup>[7]</sup>。Coulson等人在使用动词错误(Every Monday he mow the lawn)和代词错误(The plane took we to paradise an back.)两种句子材料的研究中,也发现了LAN的出现,而且动词错误和代词错误句子引起的LAN的最大波幅分别出现在中间顶叶稍微靠右半球的地方和左额叶<sup>[8]</sup>。此外在动词时态不一致(例如This allowed them to stayed under water for a long period.)和动词亚类违反条件(The teacher is being fallen)下也发现了LAN<sup>[9]</sup>。有研究者认为,句法错误引起的LAN反映了工作记忆在句子加工的作用。

以上研究说明,词类违反引发了早期的ELAN,而众多句法形态学(如单复数、时态)的违反引发了较晚的LAN,呈现模式的不同也是影响条件之一。研究还证明ELAN和LAN成分是独立于语义违反的N400成分,它们是句法加工的直接指标,这也为模块结构模型提供了证据。从ELAN和LAN的皮层定位来看,左额叶和左侧前部额叶是早期句法加工的主要功能区。

## 2.2 晚期句法加工成分

句法加工的ERP研究中发现了与句法加工有关的晚期成分,即在关键词之后400~500ms出现,持续几百毫秒的正成分P600,也被称作句法正漂移成分(syntactic positive shift, SPS),其头皮分布相对早成分要广泛,但很多的P600集中在中央顶区。Osterhout等人1992年在动词次范畴化限制违反(The broker persuaded to sell the stock)和名词短语—补语歧义(The broker hoped to sell the stock was sent to jail)两种条件下,在关键词(to和was)后600ms左右出现了正成分,他们称之为P600<sup>[10]</sup>。Hagoort等人1993年让被试阅读包含短语结构和一致性违反的

句子,也发现了类似P600的晚期正成分,同时证明了这种正成分与任务无关<sup>[11]</sup>。此后在短语结构违反、单复数一致性违反、格的一致性违反、性的一致性违反、动词时态违反、动词次范畴化限制违反和句子成分移动条件下都发现了类似P600/SPS效应<sup>[12]</sup>。在英语、德语、荷兰语、日语的句法加工的ERP研究中均发现了P600/SPS成分<sup>[13]</sup>,而且在视觉、听觉和阅读条件下都发现了P600/SPS。

在对没有句法错误但句法加工比较复杂句子的ERP研究中也发现了P600。Osterhout和Holcomb选用花园—路径句子(garden—path sentence)为实验材料,如The women persuaded to answer the door<sup>[14]</sup>。读者最初形成简单主—谓—宾结构的首选句法表征,但这种首选句法表征由于“to”的出现被证明是不适合句法规则的,这种不适合导致了“回退—再分析”,这就是所谓的“花园—路径效应”(garden—path effect)。在“to”出现后600ms左右在中央顶叶出现了P600。后来的研究似乎表明,P600是“花园—路径效应”的标志,当需要重新修正最初的句法结构时就会出现P600。

Coulson等人认为P600波幅决定于句法不一致的概率,因此他认为P600是P300家族复合体中的晚成分<sup>[8]</sup>。Osterhout等人则认为波幅是目标词与上下文材料句法一致性的反函数,P600的潜伏期的差异源自修正句法加工过程的难易程度<sup>[15]</sup>。P600的头皮分布的差异可能是几个神经源的同时激活造成的,在每个实验中都有其唯一的复合刺激、句法违反情况和任务要求等等,这些条件的不同可能使多个神经源在实验中出现不同程度的变化。

在研究中发现P600和N400是独立存在的,表明P600独立于语义信息,是句法加工的指标,这也支持了模块结构模型的观点。Friederici认为P600/SPS与句子的各种成分整合有关,是句子理解认知神经模型的第三阶段句法加工的标志成分<sup>[5]</sup>。

## 2.3 P600与LAN的关系

这里LAN泛指句法加工的早期负成分,即前面提到的ELAN和LAN。与句法违反有关的P600和LAN可以与句法加工的两阶段模型对应起来。该模型认为句法加工分为两个独立的阶段:第一阶段是结构分析阶段,在这个阶段根据词汇的类别信息(名词、动词等)分配一个最初的句法结构;第二阶段是主体角色分配阶段,在这个阶段根据最初句法结构的可能性、词汇的限制性信息(主动、被动等)和语境信息指派句法角色,其中主要是将局部名词短语赋予为动词一个主题角色<sup>[16]</sup>。

Friederici 认为第一阶段的句法结构在词类信息的基础上建立,LAN 与这一加工阶段有关<sup>[5]</sup>。这一阶段词类信息包括语义—选择性限制及额外的句法相关信息如动词的类别信息。语义—选择性限制的加工与 N400 有关,句法相关的词汇信息加工则与 LAN 有关,二者在头皮分布明显不同。

在主题角色分配阶段,进行句法和语义的相互匹配。当最初的分析与从词汇信息得到的主体信息不匹配时,就需要进行再分析,句法结构的再分析引起了 P600。词类违反、亚类违反以及一致性信息的违反既属于句法相关的词类信息分析也与主体角色分配有关,所以会引起 LAN 和 P600 同时出现。在花园一路径句子中,由于没有句法违反,阅读者只需要进行句法结构的再分析,所以只引起了 P600,而没有 LAN。在包含句法违反的条件下,在 P600 之前就会出现 ELAN。

### 3 问题与讨论

对于句法加工的 ERP 成分虽然已经开展了较多的研究,但目前还存在一些问题值得进一步研究和讨论,主要集中在以下几个方面。

第一,句法加工的特异性成分问题。目前基本认为 LAN 是句法不一致的直接指标,即只要存在句法不一致情况,就会出现 LAN。那么 LAN 是不是句法加工的特异性指标成分呢?下此结论还为时尚早。虽然有句法不一致就会引起 LAN,但句法加工是较为复杂的加工过程,单单这么一个早期成分不能代表句法加工的整个过程。因此 LAN 是句法不一致的直接指标,或者是句法加工某个阶段的指标性成分。已有研究发现 P600 除与句法加工有关,还与句子加工或词汇加工的完成程度有关,句法加工某种程度上依赖语义信息的加工。此外还有研究发现在算术任务和音乐节奏不一致条件下也可以引起 P600。因此 P600 也不是作为句法加工的特异性指标成分。

第二,P600 与 P300 关系的问题。上面曾提到 Coulson 等人认为 P600 波幅决定于句法不一致的概率,因此 P600 是 P300 家族中的晚成分。一般非预期的事件会引起 P300,句法不一致对于阅读者的确是一种没有预期概率性事件,从这个意义上 Coulson 等人的观点似乎是正确的。Osterhout 等人则反对这种观点,他在实验的基础上指出,P300 和 P600 在头皮分布上和功能上(对刺激和任务操作的敏感性)都不同,最关键的是通过可加性实验证明 P300 和 P600 有不同的神经源。他的可加性实验以包含大小写错误和主谓一致性违反的句子(如 The doctors

BELIEVE the operation was success.)为实验材料,发现大写字母引起典型的 P300(P3a 和 P3b),主谓一致性违反引起了 P600,并且这两种成分在形状、时间进程、波幅和头皮分布上均不相同<sup>[17]</sup>。此后双方围绕这个问题提出互相的质疑与争论。笔者还是倾向 Osterhout 等人的观点,P600 不是 P300 家族中的晚成分,因为可加性实验是一个证据。当然也许真的象 Coulson 等人指出的那样句法违反的实验设计存在问题,那也需要新的实验证明。

第三,LAN 和 P600 与语言特点关系的问题。已有的在对于英语、德语、荷兰语和日语的研究中都发现了 LAN 和 P600,包括听觉呈现和视觉呈现句子材料两种情况。2006 年,Zheng Ye 等人对汉语句法加工进行了 ERP 研究,他们以听觉方式呈现介宾短语不一致的句子,例如正确句子是“邻居换掉工作,把家搬了”,句法违反的句子是“邻居换掉工作,把撒了<sup>[18]</sup>”。结果没有发现 P600 和 LAN,这两种句法加工的成分没有产生是不是与汉语本身特点有关呢,或是与汉语的听觉呈现有关呢?这都是需要进一步研究和证实的。

句法加工的 ERP 研究的证据支持心理语言学关于句法加工的模块结构模型,具体表现为句法加工和语义加工任务激活不同的脑区,引起不同的脑电波,并且在潜伏期上也不同。但有人认为这些差别通常出现在语义和句法违反的研究范式中,在自然条件下,句子理解中的句法和语义因素还是以相互作用的方式进行的,句子的复杂程度、被试面临的不同任务等都会影响句子是模块化还是交互式理解。因此句法加工与语义加工的分离问题,仍是今后句法加工 ERP 研究应该进一步探讨的问题。

持工作记忆观的学者认为句法加工完全可以用语言工作记忆来解释,不存在任何模块。他们认为语言工作记忆容量对句法分析、语义理解和句子阅读起主要的影响作用,语言工作记忆容量差异造成了句子理解中的个体差异<sup>[16]</sup>。因此句法加工和工作记忆的关系也是需要进一步研究的问题。

### 4 小节与展望

采用 ERP 技术研究语言的句法加工脑机制已经取得了一些成果,但也存在一些问题和争论。目前 ERP 技术设备精度很高,脑电数据的采集与记录不是问题,需要研究者进一步深入现有的研究,探讨更为科学和精确的研究范式。

汉语缺乏形态标志,句法上主要靠语序和虚词表达句子中各成分的关系,在句法上具有“稳定性”的一方面。与之相对的是,句法上同时存在省略、位

移等‘灵活性’的另一方面。汉语句法的上述特点及汉字表意的特点,在不同的汉语句句中表现也不一样。开展汉语句法加工的 ERP 研究有利于探讨和验证目前已有的研究成果和存在争论,更可以促进汉语语言脑机制研究的进展。

在研究中要充分考虑工作记忆与句法加工的关系,控制语义加工对句法加工的影响,并充分考虑语言的特点,才能取得更大的研究成果。

参考文献

1 余林,舒华.句子理解加工的新进展.心理学动态,1999,7(4):7-13.

2 高兵,曹晖,曹聘.句法加工的脑机制研究.心理科学进展,2006,14(1):32-39.

3 Brown W S ,Lehmann D ,Marsh J T. Linguistic meaning – related differences in evoked potential topography : English , Swiss – German and imagined. Brain and Language ,1980 ,11 :340 – 353.

4 Neville H J ,Nicol J ,Barss A ,et al. . Syntactically based sentence processing classes : Evidience from event – related brain potentials. Journal of Cognitive Neuroscience ,1991 ( 3 ) :151 – 165.

5 Friederici A D ,Pfeifer E ,Halne A. Event – related brain potential during natural speech processing : effects of semantic morphological and syntactic violations. Cognitive Brain Research , 1993 ,1 :183 – 192.

6 Friederici A D. Towards a neural basis of auditory sentence processing. Trends in Cognitive Sciences 2002 4( 2 ) :78 – 84.

7 Kotz S A ,Friederici A D. Electrophysiology of normal and pathological language processing. Journal of Neurolinguistics ,2003 , ( 16 ) 43 – 58.

8 Coulson S ,King J ,Kutas M. Expect the unexpected :event – re-

lated brain response of morphosyntatic violations. Language and Cognitive Process ,1998 ( 13 ) 21 – 58.

9 Osterhout L ,McLayghlin J ,Bersick M. Event – related brain potentials and human language. Trends in Cognitive Science ,1997 , 1( 6 ) 203 – 209.

10 Osterhou L ,Holcomb P J. Event – related Brain Potential Elicited by Syntactic Anomaly. Journal of Memory and Language , 1992 ,31 :785 – 806.

11 Hagoort P ,Brown C ,Groothusen J. The syntactic positive shift ( SPS ) as an ERP measure of syntactic processing. Language , Memory and Cognition ,1993 ( 8 ) 439 – 484.

12 王穗萍,黄时华,杨绵绵. 语言理解的 ERP 研究. 华南师范大学学报( 社会科学版 ) 2004 ,6 :107 – 113.

13 刘燕妮,舒华. ERP 与语言研究. 心理科学进展 ,2003 ,11 ( 3 ) 296 – 302.

14 Osterhout L ,Holcomb P J. Brain potential elicited by garden – path sentence :Evidence of the application of verb information during parsing. Journal of Experimental Psychology :learning , Memory and cognition. 1994 ( 20 ) :786 – 803.

15 Osterhout L ,Hagoort P. A Superficial Resemblance Does Not Necessarily Mean You Are Part of The Family : Counterarguments to Coulson , King and Kutas( 1998 ) in the P600/SPS – P300 Debate. Language and Cognitive Processes ,1999 ,14 ( 1 ) :1 – 14.

16 王永德. 汉语句子理解进程中句法整合与语义解释. 安徽大学学报( 哲学社会科学版 ) 2000 24( 6 ) 91 – 95.

17 Osterhout L ,McKinnon R ,Bersick M ,et al. . On the language – specificity of the brain response to syntactic anomalies : Is the syntactic positive shift a member of the P300family ? Journal of Cognitive Neuroscience ,1996 ( 8 ) 507 – 526.

18 Zheng Ye ,Yuejia Luo ,Angela D ,et al. . Semantic and syntactic processing in Chinese sentence comprehension : Evidence from event – related potential. Brain Research ,2006 ,107( 1 ) : 186 – 196.

Overview on ERP Research of Syntactic Processing

Han Zongyi<sup>1 2</sup> ,Lu Yong<sup>1 2</sup> ,Bai Xuejun<sup>1 2</sup>

( 1. Academy of Psychology and Behavior ,Tianjin Normal university , Tianjin 300074 ;  
2. College of Education , Tianjin Normal university , Tianjin 300387 )

**Abstract** Syntactic processing is very important in language comprehension. The brain mechanism of syntactic processing is a main research issue in the study of psycholinguistics and cognitive neuroscience. Some important research results on the brain mechanism of syntactic processing have been obtained by means of event – related potential( ERP ). The earlier component( LAN ) and later componen( P600/SPS ) related with syntactic processing have been found. Some research paradigms have been established. There are some debate to be explored. This paper aims at giving introduction and discuss on the results and issues of syntactic processing research.

**Key words** syntactic Processing ;event – related potentials( ERP ) ;LAN ;P600/SPS