

综述 ·

# 中西文的事件相关电位 N400 研究现状

罗跃嘉 魏景汉

中国科学院心理研究所 (北京 100101)

[摘要] 本文从 N400 的研究方法、基本理论、影响因素、研究与争论的问题等方面,介绍了采用语言文字作为刺激材料的事件相关电位研究现状,并比较了中、西文的研究差距,供同行参考。

关键词 事件相关电位 (ERP), N400, 中文, 西文

分类号 59.811

## 1 西文的 ERP 研究

### 1.1 N400 的研究概况

N400 系 Kutas 等<sup>[1]</sup>于 1980 年首先报导,它的发现开创了语言文字 ERP 研究的新局面。N400 的研究方法有以下几类: 句尾歧义词 在计算机屏幕上呈现不同的 7 个单词组成的语句,当最后一词出现不可预料的歧义时(概率为 25%),产生一个潜伏期约 400ms 的负波 N400。歧义词与正常词相减的结果,得到一个顶部(Pz)分布的单相差异波 N400<sup>[1]</sup>。后来, McCallum 等<sup>[2]</sup>在听觉通路呈现相同模式的语句,也记录到了类似的听觉 N400。相关词与无关词 将英语按词性或语义分类,分设启动词和目标词。在语义上又可分为相关与无关<sup>[3,4]</sup>。也可按字形、字音的异同分为相关与无关<sup>[5]</sup>,结果均为无关词产生明显的 N400。

词与非词 刺激按规则的英语单词与拼写错误的非词或假词进行分类,要求被试辨认刺激物是词还是非词。结果非词产生一个显著的 N400 成分<sup>[4,6]</sup>。新词与旧词 首次出现的词为新词,重复出现的词为旧词,被试的任务是对每一个出现的词辨是旧词还是新词。主要目的是进行记忆与重复效应的研究<sup>[7]</sup>。旧词 N400 比新词的走向更加正向漂移,这就是所谓的“重复效应”。文字与非文字符号 Aaltonen 等<sup>[8]</sup>将元音“i”、“y”与短纯音混合排列成刺激序列,分别要求被试对元音或纯音计数。另一种模式包括两类刺激,一类是纯音,分为标准刺激和 2 种偏差刺激:高调与低调。另一类刺激为一篇小故事,其中的“and”为靶刺激。两类刺激分耳呈现,被试进行两轮实验,第一轮令其对一种偏差刺激反应而忽视语音,第二轮对短文中的靶刺激反应而忽视纯音<sup>[9]</sup>。图片命名 在屏幕上呈现一些有意义的图片,令被试命名,或比较图片的异同<sup>[10]</sup>。

上述各种方法具有某些共同的特点: 匹配与非匹配的关系 非匹配的刺激,例如歧义词、无关词、非词、新词,均产生一个明显的 N400,而匹配的刺激,例如适合词、相关词、规则词、旧词,则产生一个晚期正波 P600。多无大小概率之分 在起初的句尾歧义词实验中还分大小概率<sup>[1,2]</sup>。后来在语义分类、词与非词、新词与旧词等模式,甚至句尾歧义词实

验模式中<sup>[5,11,12]</sup>均无大小概率之分。

N400 波幅的头皮分布广泛, 视觉 N400 最大波峰在顶中央部<sup>[1]</sup>; 听觉 N400 最大峰在额中央部。这种分布上的差异, 可能与视听任务不同有关<sup>[2,3,13]</sup>。Connolly 等在实验模式相同, 分别呈现听觉<sup>[13]</sup>与视觉刺激<sup>[12]</sup>的实验证明, 听觉 N400 分布于额中央部而视觉 N400 分布于中央—顶部, 据此他们认为这可能反映了 N400 的通路间头皮分布差异。

左右半球之间的研究表明 N400 头皮分布具有明显的不对称性, 但各个实验室的结果有所不同: 右半球大于左半球<sup>[1,14]</sup>、左半球大于右半球<sup>[3,13,15]</sup>或者没有半球差异<sup>[11]</sup>。其原因迄今尚无令人信服的解释, 有的推测可能与右半球的 CNV 负漂移有关<sup>[16]</sup>, 有的认为可能与左半球 P300 波幅较大有关<sup>[10]</sup>, 也有人认为与大脑半球的特异性有关或者与被试的左利家族史有关<sup>[14]</sup>。也可能包括以下三方面的原因: 感觉通路在视觉通路, 大多数实验结果为右半球 N400 大于左半球<sup>[14]</sup>。但有的报告称视觉 N400 没有半球差异<sup>[11]</sup>, 甚至视觉通路的 N400 具有左半球优势<sup>[16]</sup>。在听觉通路, N400 却表现为左半球优势<sup>[3,13]</sup>。通路差异造成 N400 头皮分布半球优势的解釋尚缺乏理论根据。刺激间隔 Boddy<sup>[16]</sup>在以不同的 ISI 呈现相关词、无关词和非词的实验中, 观察到一个峰潜伏期为 340ms 的 N2, 具有左大于右的半球优势, 并且随着启动词-目标词的间隔缩短, 这个优势增大。因此他认为当以自然速度阅读时, 语言加工是左半球优势。而在 Kutas 等<sup>[1]</sup>采用 1000ms、Kutas 等<sup>[14]</sup>与 Bentin 等<sup>[3]</sup>采用 2500ms 时都观察到右半球 N400 大于左半球。但是在 Anderson 等<sup>[11]</sup>的实验中, 分别设置 0、200、800ms 的刺激间隔 (stimulus onset asynchrony, SOA), 却未能在 N400 的时间窗口 (300-550ms) 发现上述状态下电极点在半球之间的波幅差异。表音文字与表意文字与上述表音文字的西文不同, 汉字为表意文字, 其 N400 的头皮分布与西文不同。Koyama 等人<sup>[15]</sup>用日本汉字诱发的 N370 波幅为左半球大于右半球, 差异波则为右半球大于左半球, 但对此不同现象未能作出应有的解释。楼良岗等人<sup>[18]</sup>用四字成语作为刺激物, 部分成语的最后一字歧变, 在刺激后 260 - 570ms 记录到一负走向、但数值为正的 ERP 成分。它们在左、右半球之间的差异未达到显著性水平, 但有左大右小的趋势, 作者认为这可能是语音因素起到了某种调制 N400 的作用。罗跃嘉等<sup>[19]</sup>的研究结果提示表意文字确有左半球 PSW 的显著性增大, 同时 N400 也为左半球大于右半球, 表明大脑对表音文字与表意文字加工的优势半球可能不同。但是, 相减后的 N480 波幅并无大脑半球之间显著性差异。相减之前是形音义加工的综合结果, 相减之后只是语义相关成分, 因此, 相减后没有半球差别, 表明这种表音、表意文字之间的差别只是形、音加工造成的, 不一定是语义内容加工造成的。综上所述, 引起 N400 的头皮分布的真正原因尚未肯定, 有待进一步研究。

## 1.2 形、音、义对 N200 与 N400 的影响

早期的西文形、音、义之间的 ERP 比较研究采用简单实验模式, 令被试对高频词进行形、音、义相同与不同的辨认, 其研究对象主要是晚正复合波 (late positive component, LPC), 结果为不同比相同的 LPC 潜伏期延长, 但差异未达到显著水平。字形、字音 LPC 潜伏期非常接近, 二者均短于语义 LPC。表明形、音的加工相似, 并早于语义加工。

在语义加工产生的负波中, 除了 N400, 还有一个清楚的 N200。N400 是否为一个延迟的 N200, 尚存在争论。由于语言加工作业的复杂性, Polich<sup>[20]</sup>、Ritter 等<sup>[21]</sup>、Rugg 等<sup>[6]</sup>提出, 当某一刺激不是被试所期望的分类时, N400 可能是延迟的 N200。其证据为听觉 ERP

成分中只有 N400 而欠缺 N200。Bentin 等<sup>[3]</sup>也在颞部与枕部观察到一个 400ms 的负走向, 其头皮分布与视觉 N200 相同。持相反意见者主要以 Connolly 等人为代表, 他们进行了一系列研究。在形、音、义的识别实验中以听觉通路呈现刺激<sup>[12]</sup>, 呈现的句子中一半为高限定句, 即句末词在语义上是符合逻辑的, 可预期的; 另一半为低限定句, 即句末词是歧义的, 难以预料的。结果发现, 原始 N200 具有传统的非语言刺激产生的 N200 额中央部分布, 而 N400 为顶部分布。根据此分布, Connolly 认为 N400 可能不是 N200 的延迟, 并提出 N200 是对句尾词中首音节的听觉识别, 而 N400 是对句尾词的语义分析。但是, 这个实验结果不能解释为什么 N200 与 N400 都与语境限定的程度有关, 也不能证明这里的 N200 就是传统的 N200。因此他们改进了实验模式<sup>[11]</sup>, 在刺激序列中加入重叠于语句呈现时的语音校正屏蔽以提高对语义加工的负荷, 从而增加 N200 与 N400 之间的功能性分隔。结果, 这个语音屏蔽延迟了 N400 的发生, 但是对 N200 潜伏期没有明显的作用。为了将这个波峰约 200 ms, 可能反映语音加工的负波与传统的 N200 加以区别, Connolly<sup>[13]</sup>称之为语音失匹配负波 (phonological mismatch negativity, 简称 PMN)。为了更直接地证明 N200 与 N400 的区别, 他们设计了 4 种作业, 证明了 PMN 与 N400 在语境的语言加工上的功能性分离。他们还采用相同的实验模式, 在视觉通路呈现刺激, 认为 PMN 只是听觉通路所特有的现象<sup>[11]</sup>。Niznikiewicz 等<sup>[5]</sup>用成对字与语句作为刺激物。无论在其词、句状态, 同音词诱发的 N200 波幅最大, 而同形词、语义相关或无关词产生的 N200 较小且相等。提示 N200 波幅是反映阅读中语音加工的指标, 并且不受记忆负荷的影响。在同音、同形和语义无关时均记录到一个较大的 N400, 表明 N400 不能反映字音与字形之间的差异, 而仍是一个语义启动的指标。由此看来, N200 与 N400 应该分属不同的来源, 反映两个独立而相互影响的过程, N200 反映对文字的听觉-语音加工, N400 反映词汇后认知的调节, 即对语句的语境-语义加工。

### 1.3 跨感觉通路的 N400 研究

上述分别来自不同通路的 ERP 研究结果显示出不同的特点, 在各自的通路可能有各自的通路特异性加工, 因此有必要采用跨通路模式同时比较不同通路的特点。感觉通路间语义加工机制存在两种假说: 转换假说 (conversion hypotheses) 与共同语义系统假说 (common semantic system hypothesis)。前者指在看或听的过程中, 文字从一个通路转换到另一个通路; 后者指文字在它们各自的知觉通路与词汇系统进行加工, 激活一个共同的语义或概念系统<sup>[4]</sup>。跨通路语义的 ERP 研究迄今仅见少数文献报告, 远未达到统一的观点。Holcomb 等<sup>[4]</sup>的实验分为两轮。实验 1, 启动词以视觉呈现英文单词, 目标词以听觉呈现语义相关词、无关词和假词, 启动词与目标词的 SOA 分 0、200、800ms 三类; 实验 2, 只是启动词与目标词的通道互换, 启动词在听觉通路、目标词在视觉通路呈现。结果表明, 在实验 1, 所有 3 个 SOA 条件都观察到了 ERP 启动效应, 即无关词的负波大于相关词, 作者称其为 N400 效应。这种结果支持共同语义系统假说。但是, 上述结论未能得到实验 2 的充分支持。在实验 2, N400 效应在 SOA 为 0ms 时没有发生, 在 SOA 为 200ms 时很小, 只是在 SOA 为 800ms 时才明显。特别是短 SOA 缺乏 N400 效应, 似乎又支持转换假说。因为通路间的转换需要一定的时间。转换假说得到另一个跨通路 ERP 研究的支持<sup>[22]</sup>, 他们使用一个通路间重复启动任务的实验模式, 第一次呈现于听觉或视觉通路, 第二次呈现于相同或不同的通路。无论听觉或视觉启动, 听觉重复的 ERP 启动效应非常相同; 而听觉启动比视觉启动的视觉

重复效应延后。这就是呈现在该视觉通路的词自动转换为听觉编码；但呈现在听觉通路的词不能自动转换为视觉编码，即需要额外的时间将视觉目标词转换为视觉表象（转换假说）。

后来，Anderson 等<sup>[17]</sup>采用相同的刺激，但启动词与目标词不更换呈现通路，对一组被试均以视觉呈现，对另一组则以听觉呈现，仍然设置 3 种不同的刺激间隔，SOA 分别为 0、200、800ms。结果与前述的跨通路研究不尽一致。在听觉通路，启动效应只发生在 SOA 为 200 和 400ms 时；而在视觉通路，语义启动效应发生在所有 3 个 SOA 状态。从差异波（无关减相关）更为清楚地看到了 SOA 之间的启动效应：在视觉通路，3 个 SOA 的启动效应开始于同一时间，SOA 为 0 时的效应持续较长；在听觉通路，SOA 为 800 的启动效应较大，在 SOA 为 0 时可见一个早期差异成分，而在其它 SOA，则有一晚期效应。

## 2 汉字的 ERP 研究

### 2.1 汉字的 N400 研究

关于汉字的 N400 研究尚不多见，未成系统。张武田等<sup>[23]</sup>采用形、音异同字分视野呈现。楼良岗等<sup>[18]</sup>用四字成语作为刺激物，部分成语的最后一字歧变，其实验模式类似于上述的句末字歧变。Koyama 等<sup>[15]</sup>利用相关与无关词、词与非词的日本汉字双字词对一组正常人与精神分裂症患者进行对比研究。

### 2.2 汉字形音义的 ERP 研究

魏景汉等人对汉字形音义进行了全视野<sup>[24]</sup>和半视野的系统研究，采用汉字形音义正启动和词义联想方法。主要观察到，汉字认知约始于 100 至 160ms 之间，大脑两半球在汉字认知过程中存在着差异，在约 200 至 270ms 之间左脑加工占优势，左脑可能需要右脑传来必要的信息后才开始加工；不认识字联想可导致 PSW 波幅极显著地增大和潜伏期极显著地延长，并通过不认识的操作字产生的 ERP 减认识字的 ERP，从 PSW 中提取出了反映汉字是否认识的纯心理成分 P800；当汉字认识时，具体字联想引起的 PSW 波幅和 P800 潜伏期分别大于抽象字联想引起的 PSW 波幅和 P800 潜伏期，提示具体字与抽象字联想的脑机制有所不同。PSW 除具有信息加工完成的认知含义外，尚与汉字形音、联想等多重信息加工相关，很可能是复合波；汉字的形音义加工之间存在着加工与再加工的反复过程，其关系错综复杂，难以分割；在该实验条件下，PSW 或 P800 可作为甄别汉字是否认识的客观结果。罗跃嘉等<sup>[19]</sup>以 20ms 语义启动法观察反义字与无关字辨认时的 ERP，无关字的 N400 波幅较大，最大峰位于枕部，峰潜伏期延迟；反义字的 N400 很小，但 PSW 明显。当用无关字 ERP 减去反义字 ERP 时，一系列 ERP 成分皆消失，仅剩一单相负波 N480。从反义字 N400 潜伏期（约 450ms）非常显著地短于无关字 N400（约 350ms），有理由认为适当的语境可缩短汉字加工，特别是辨认加工的过程。另外，张武田等<sup>[23]</sup>报告，以汉字形、音的异同，分左右视野呈现。结果观察到了 P3 的变化：当字音匹配时，左视野右半球的 P3 波幅大于右视野左半球；字形匹配时无半球间的差异。包括 N2 的其它 ERP 成分均未见变化。

由此看来，汉字的认知加工一般会影响 ERP 的晚成分，不同认知加工对各个 ERP 晚成分的影响是不同的。ERP 是探索汉字认知加工规律和机理的有效工具，汉字 ERP 研究也将丰富 ERP 成分的心理意义。

## 参考文献

- [1] Kutas M, Hillyard S A. Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 1980, 207: 203-205.
- [2] McCallum W C, Farmer S F, Pockic P V. The effects of physical and semantic incongruities on auditory event-related potentials. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 1984, 59: 477-488.
- [3] Bentin S, Kutas M, Hillyard S A. Electrophysiological evidence for task effects on semantic priming in auditory word processing. *Psychophysiology*, 1993, 30: 161-169.
- [4] Holcomb P J, Anderson J E. Cross-modal semantic priming: A time-course analysis using event-related potentials. *Lang. Cogn. Processes*, 1993, 8: 379-411.
- [5] Niznikiewicz M, Squires N K. Phonological processing and the role of strategy in silent reading: Behavioral and electrophysiological evidence. *Brain Lang.*, 1996, 52: 342-364.
- [6] Rugg M D, Doyle M C, Wells T. Word and nonword repetition within and across-modality: An event-related potential study. *J. Cogn. Neurosci.*, 1995, 7: 209-227.
- [7] Bentin S, Kutas M, Hillyard S A. Semantic processing and memory for attended and unattended words in dichotic listening: Behavioral and electrophysiological evidence. *J. Exp. Psychol.: Human Perception and Performance*. 1995, 24: 54-67.
- [8] Aaltonen O, Paavilainen P, Sams M Naatanen R. Event-related brain potentials and discrimination of steady-state vowels within and between phoneme categories: A preliminary study. *Scand. J. Log. Phon.*, 1992, 17: 107-112.
- [9] Trejo L J, Ryan-Jones D L, Kramer A F. Attentional modulation of the mismatch negativity elicited by frequency differences between binaurally presented tone bursts. *Psychophysiology*, 1995, 32: 319-328.
- [10] Stuss D T, Picton T W, Cerri A M. Searching for the names of pictures: An event-related potential study. *Psychophysiology*, 1986, 23: 215-223.
- [11] Connolly J F, Phillips N A, Forbes K A K. The effects of phonological and semantic features of sentence-ending words on visual event-related brain potentials. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 1995, 94: 276-287.
- [12] Connolly J F, Phillips N A, Stewart S H, Brake W G. Event-related potential sensitivity to acoustic and semantic properties of terminal words in sentences. *Brain Lang.*, 1992, 43: 1-18.
- [13] Connolly J F, Phillips N A. Event-related potential components reflect phonological and semantic processing of the terminal word of spoken sentences. *J. Cogn. Neurosci*, 1994, 6: 256-266.
- [14] Kutas M, Petten CV, Besson M. Event-related potential asymmetries during the reading of sentences. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 1988, 69: 218-233.
- [15] Koyama S, Nageishi Y, Shimokochi M, et al. The N400 component of event-related potentials in schizophrenic patients: a preliminary study. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 1991, 78:124-132.
- [16] Boddy J. Event-related potentials in Chronometric analysis of primed word recognition with different stimulus onset asynchronies. *Psychophysiology*, 1986, 23: 232-245.
- [17] Anderson J E, Holcomb P J. Auditory and visual semantic priming using different stimulus onset asynchronies: An event-related brain potential study. *Psychophysiology*, 1995, 32: 177-190.
- [18] 楼良岗, 范思陆, 匡培梓. 事件相关电位 (ERPs) 反映汉字与其心理模板的失匹配. *心理学报*, 1989, 21(3): 321-327.
- [19] 罗跃嘉, 魏景汉. 正常青年人汉字语义识别的 ERP 特征性成分, *中国科学院心理研究所年报*, 1997, 42-43.
- [20] Polich J. Semantic categorization and event-related potentials. *Brain Lang.*, 1985, 26: 304-321.

(下转第9页)