

# 科学语言的认知神经加工机制研究： 来自 ERP 的证据\*

唐雪梅<sup>\*\*1,2</sup> 任 维<sup>1</sup> 胡卫平<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 陕西师范大学现代教育技术教育部重点实验室, 西安, 710062) (<sup>2</sup> 安徽工程大学外国语学院, 芜湖, 241000)

**摘 要** 本研究采用尾词范式, 使用 ERP 技术, 对比分析了科学语言(隐喻和直义)与日常语言诱发的 N400 和 LPC 平均波幅和激活脑区的异同, 从而探讨了科学语言认知加工机制的神经特异性。实验结果表明, 与日常语言相比, 在科学语言认知加工过程中, 语义检索和提取难度更大, 顶叶区尤其是右顶叶区的激活程度最为显著, 左右脑都发挥了重要作用。此外, 科学隐喻的相关研究发现支持隐喻加工的意义显性度假说, 科学语言特有的复杂性和抽象性降低了语言表达的显性度, 并且对后期的语义整合阶段产生影响。

**关键词** 科学语言 隐喻 ERP N400 LPC

## 1 问题提出

科学概念的认知加工机制与概念隐喻理论有着本质的理论联系。概念隐喻理论的核心是通过更加具体的知识结构对抽象概念的隐喻式理解(Lakoff & Johnson, 1980)。科学语言指对科学思想、理论、知识等进行表述、加工、交流、记录时, 所使用的手段、工具、载体的总称(殷杰, 2007)。自然科学的创新也体现在思考方式和表达方式在新的词语概念系统中的重新组织和构建。对客观事物的描述是科学的主要目的, 而很多客观事物超越于所有可能的观察, 因此科学家不得不依赖于科学隐喻发明出一些词语去描述那些无法被直接观察到的客观事物。可见, 隐喻认知加工机制研究手段完全可以为科学语言的认知加工机制提供有益的借鉴。但同日常隐喻和文学隐喻研究相比, 对科学隐喻和科学语言脑加工机制的研究还非常薄弱甚至几乎是空白。在当今科技发展日新月异、科学创新层出不穷的时代, 借鉴心理学、生物学、认知神经学等学科领域的研究工具和手段, 对科学语言特有的神经加工机制的深入探讨, 具有深远的方法论和认识论意义。

事件相关电位(ERP)凭借其极高的时间分辨率和丰富的成分维度, 越来越多地被用于隐喻认知

神经机制的研究中。隐喻 ERP 研究发现主要来自对隐喻语言与直义语言加工差异的分析。N400 被认为对语义违反非常敏感(Kutas & Hillyard, 1980), 是衡量检索头脑中储存信息难易程度的重要指标。多数实验结果表明, 新奇隐喻句和常规隐喻句都比直义句诱发了更负的 N400, 意味着隐喻理解比直义理解消耗了更多的认知资源(De Grauwe, Swain, Holcomb, Ditman, & Kuperberg, 2010; Goldstein, Arzouan, & Faust, 2012; Rutter et al., 2012)。LPC (late positive component) 是 N400 之后出现的一个晚正成分, 被认为反映了句子层面的融合或再加工(Kaan, Harris, Gibson, & Holcomb, 2000)。有的研究报道了隐喻句诱发的更大的 LPC 波幅值(De Grauwe et al., 2010), 这说明隐喻句的语义加工需要额外地从语义记忆中调用信息。相反, 其他的一些研究报道了隐喻句, 尤其是新奇隐喻句诱发了更小的 LPC 波幅值(Arzouan, Goldstein, & Faust, 2007a, 2007b; Zhao et al., 2011), 这可能是因为在 LPC 时间窗重叠了一个晚负成分, 反映了在比喻语境中被试对语义融合进一步尝试的二次加工过程, 是 N400 的延续, 表明融合源域和目标域中两个概念难度的持续(Goldstein et al., 2012; Rutter et al., 2012)。除了对平均波幅差异的讨论以外, 比喻语言认知加工过

\* 本研究得到国家自然科学基金(31470977)的资助。

\*\* 通讯作者: 唐雪梅。E-mail: tangxue mei@ahpu.edu.cn

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20160508

程中,右脑的激活程度一直是争论的焦点。虽然一些研究发现在N400和LPC时间窗内,隐喻语料对左右脑的激活是对称的(Coulson & Van Petten, 2007),但是也有研究报道了隐喻语料右偏激活头皮分布特点(Arzouan et al., 2007a, 2007b; Goldstein et al., 2012)。

科学思维的核心是通过某个具体概念去理解某个抽象概念,科学语言两个概念域之间的距离要长于日常直义句两个概念域的距离。这主要表现在以下两个方面:首先,科学语言(例如,电荷是水流)往往跨越科学(电荷)和日常(水流)两种语境,因此具有更加复杂的语境结构,ERP的N400成分对此非常敏感;其次,科学语言认知加工晚期必然涉及一个从具体到抽象的科学推理过程,从而达到其特有的知识顿悟的功能,ERP的晚期成分对此非常敏感。本研究借鉴以日常语言和文学语言为语料的隐喻ERP研究范式,探讨科学语言认知加工机制的神经特异性。本研究根据自然科学领域的基本科学术语或概念创建科学语言句作为ERP实验刺激语料,通过同感效能评估问卷,将所创建的科学语言语料根据比喻性测评等级划分为科学隐喻句和科学直义句,同时使用了日常直义句作为比较对象,以期从以下两个方面考察科学语言的认知神经加工机制:

1. 科学语言的角度:与日常直义句相比较,通过考察科学隐喻句和科学直义句两种科学语言句的共性,探讨科学语言特有的认知神经加工机制,具体研究假设如下:

(1) 在N400时间窗中,由于科学语言更远的语义域跨越和更低的熟悉度,科学语言句所诱发的N400平均波幅值应显著高于日常直义句的波幅值;

(2) 在LPC时间窗中,由于科学语言句在后期认知加工中涉及为了达到对科学知识的顿悟而进行的科学推理过程,科学语言句所诱发的LPC平均波幅应显著高于日常直义句的波幅,或者科学语言句所诱发的晚负成分平均波幅应显著高于日常直义句的波幅;

2. 科学隐喻的角度:科学思维与概念隐喻密不可分,通过考察科学隐喻句和直义句加工机制的不同,更深入地探讨科学语言特有的认知神经加工机制,具体研究假设如下:

(1) 在N400时间窗中,由于隐喻表达比直义表达更远的语义域跨越和更低的熟悉度,科学隐喻

句所诱发的N400平均波幅值应显著高于直义句的波幅值;

(2) 在LPC时间窗中,由于科学隐喻句在后期认知加工中既涉及科学推理过程又涉及隐喻表达所特有的语义融合再加工过程,科学隐喻句所诱发的LPC平均波幅应显著高于直义句的波幅,或者科学隐喻句所诱发的晚负成分平均波幅应显著高于直义句的波幅。

## 2 研究方法

### 2.1 被试

二十名母语为汉语的大学本科学生参加了本次实验。所有被试右利手,视力或矫正视力正常,身体健康,均无精神病史、神经失调疾病或严重脑损伤,全部来自理工科专业。所有被试在实验前都签署了同意和保密协议,并在实验后获得一定的报酬。其中三名被试的脑电数据由于没有能够达到足够数量的有效试次( $\geq$ 总试次的80%)而被淘汰,所以最后进入数据统计的人数为17人(其中女生9人,男生8人,平均年龄20.9岁)。

### 2.2 实验语料

实验语料包含三种类型(科学隐喻、科学直义、日常直义),句子结构采用多数隐喻ERP研究采用的“A是B”句型(王小璐,2007;吴念阳,陈俊卿,居银,白洁,马子凤,2012),句子的主语和宾语都控制在2-3个汉字,所选汉字都是常用字,容易理解。

本研究所使用的40句日常直义句选自王小璐(2007)研究中“A是B”句型的日常直义句,并稍稍进行了调整和编辑。ERP实验中采用的科学隐喻句和科学直义句材料选自中学阶段的自然科学领域(数学、物理、化学)基本概念和专业术语。研究者按照“A是B”的句型,创建科学语言句共120句(数学40句、物理40句、化学40句)。科学直义句的创建原则是准确易懂,主语和宾语的语义关系满足直义句的要求,即主语和宾语来自相同的语义域,后者是对前者的直接描述。例如,“原子是微粒”这个科学直义句创建自化学基本概念“原子”的定义,宾语“微粒”是对主语“原子”的直接描述。科学隐喻句的创建标准相比较而言较高,除了满足准确易懂这一基本原则以外,为了保证较高的比喻性,主语和宾语来自不同的语义域,宾语是对主语的间接描述,被试在理解句子意思时需要建立源域与目的域之间的语义联系。例如,“电荷

是水流”这个科学隐喻句来自物理基本术语“电流”，电荷的移动是肉眼看不见的，科学家通过将其想象成水流的流动而进行描述和解释。然后，研究者邀请数学、物理和化学专业老师对所创建原始语句（科学直义句 60 句、科学隐喻句 60 句）的恰当性和准确性进行评定和筛选。此外，研究者还邀请了认知语言学和修辞学方面的专家和教师对科学隐喻句表述的恰当性和比喻性进行了评定。在此基础上，共 100 句科学语言句（科学直义句 50 句、科学隐喻句 50 句）进入同感效能评估测试。

同感效能评估分两个阶段进行，参加同感效能评估的被试全部来自理工科专业，对中学的理科知识有着扎实的基础。首先，选取 60 名不参加脑电实验的大学生创建的 100 句科学语言原始语料进行了比喻度评定（1-无隐喻性，2-有一定程度的隐喻性，3-有很高的隐喻性）。在平均评定等级低于 1.5 的语料中选取了等级最低的 40 条语句作为实验的科学直义句，同时在平均评定等级高于 2.5 的语料中选取了等级最高的 40 条语句作为实验的科学隐喻句。然后，另外 60 名不参加脑电实验的大学生对最终选取的语料（科学隐喻句 40 条、科学直义句 40 条、日常直义句 40 条）（见表 1）进行了熟悉度评定（1-不熟悉，2-比较熟悉，3-非常熟悉）。重复测量方差结果表明，句子类型主效应非常显著， $F(2, 78) = 189.94, p < .001, \eta^2 = .83$ 。两种直义句的熟悉度显著高于科学隐喻句，日常直义句的熟悉度明显高于科学直义句。实验采用 E-prime 2.0 编辑和呈现刺激，语料刺激呈现在屏幕中央，背景为黑色，文字颜色白色，字号 60，字体为楷体。

### 2.3 实验程序

实验室隔音并且电磁屏蔽，被试座位距离显示屏 80cm。三种语句伪随机呈现，每个语句的主语、谓语和宾语依次单独呈现。如图 1 所示，每个 trial 语料刺激的具体呈现时间与进程如下：首先呈现注视点“+”800ms，随后空屏 200-500ms，接着呈现句子（主语 1000ms，谓语 600ms，空屏 200~500ms，宾语 1000ms），句子之后出现一个问号“?”3000ms。在问号出现的期间，被试通过按键判断刚刚读过的句子是否具有隐喻性，反应键在被试间进行平衡。整个实验由四个 block 组成，中间三次间隔供被试休息。正式实验之前有练习部分以便让被试熟悉实验流程和操作。在 ERP 实验开始前，被试首先阅读了一份科学术语和概念列表，该表格

涵盖了所有科学隐喻和科学直义实验语料所涉及的专业知识。

表 1 实验语料例句

科学隐喻	科学直义	日常直义
电荷是水流。	原子是微粒。	教授是学者。
染色体是姐妹。	振幅是标量。	汉语是语言。
正弦是弓弦。	有理数是实数。	北京是首都。
原子是枣糕。	醋酸是乙酸。	跑步是运动。
声音是波浪。	抛物线是轨迹。	绘画是艺术。

### 2.4 ERP 数据采集和分析

脑电数据采集使用美国 NeuroScan 公司的 CURRY 7 系统，使用 64 导电极帽。左眼上下眼眶记录垂直眼电，双眼外侧记录水平眼电，参考电极至于左侧乳突。滤波带通为 0.01~100 Hz，采样频率为 1000Hz，头皮电阻小于 5 k $\Omega$ 。离线分析时，单侧乳突参考首先转换为双侧乳突平均参考，自动矫正眨眼伪迹，波幅在  $\pm 75 \mu V$  之外的记录被视为伪迹自动剔除，滤波低通为 30 Hz（24dB/octave）。分段选取宾语呈现前 200 ms 到呈现后 1000 ms 的脑电，按刺激类型进行叠加。

在仔细观察总平均波形的前提下，确定 N400 和 LPC 的时间窗，参照以往相关研究选取九个电极位置并分为不同脑区：前后位置（额叶区 F3、Fz、F4，中线位置 C3、Cz、C4，顶叶区 P3、Pz、P4）和左右位置（左脑区 F3、C3、P3，中线位置 Fz、Cz、Pz，右脑区 F4、C4、P4）。采用句子类型（3 水平：科学隐喻 / 科学直义 / 日常直义） $\times$  前后脑区位置（3 水平：额叶区 / 中线位置 / 顶叶区） $\times$  左右脑区位置（3 水平：左脑区 / 中线位置 / 右脑区）三因素重复测量方差分析 N400 和 LPC 时间窗内的平均波幅。采用 Greenhouse-Geisser 法矫正  $p$  值，使用 Bonferroni 进行事后检验。

## 3 实验结果

### 3.1 行为数据

反应时重复测量方差分析结果表明（图 2 左），句子类型主效应显著， $F(2, 32) = 7.27, p = .003, \eta^2 = .31$ 。成对比较分析显示，科学隐喻句的反应时显著长于日常直义句的反应时（ $p = .006$ ），也边缘显著地长于科学直义句的反应时（ $p = .091$ ）；两种直义句的反应时无明显差异（ $p = .469$ ）。判断准确率重复测量方差分析结果表明（图 2 右），句子类型主效应非常显著， $F(2, 32) = 31.12, p < .001, \eta^2 = .66$ 。成对比较分析显示，科学隐喻句的判断

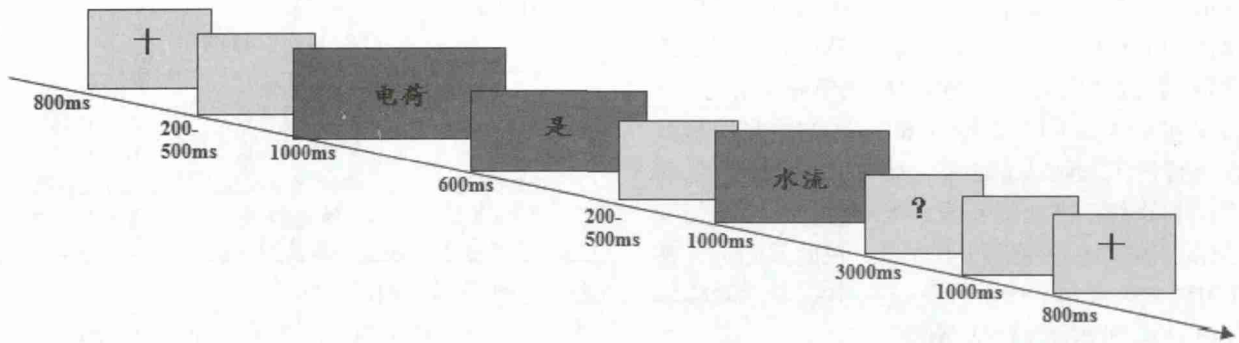


图1 实验流程图

准确率显著低于科学直义句 ( $p < .001$ ) 和日常直义句 ( $p < .001$ ) 的判断正确率; 两种直义句的判断正确率无明显差异 ( $p = .387$ )。此外, 科学直义句和日常直义句的判断虚报率都很低 ( $< .06$ ), 这说明被试在 ERP 实验中对实验语料进行了很好的语义加工, 而猜测的几率很低。

### 3.2 电生理数据

通过仔细观察所选取的九个电极点的总平均波形图 (见图 3) 可以看出, 在 300~500ms 时间窗内波形出现明显的负向偏转, 标记为 N400, 在 600~900ms 时间窗内波形出现明显的正向偏转, 标记为 LPC。

#### 3.2.1 300~500 ms

N400 时间窗内 (300~500 ms) 重复测量方差分析结果表明, 句子类型主效应显著,  $F(2, 32) = 9.90$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .38$ , 科学隐喻句诱发的 N400 波幅最大; 句子类型与前后位置交互效应比较显著  $F(4, 64) = 3.84$ ,  $p = .057$ ,  $\eta^2 = .19$ , 成对比较分析表明,

与日常直义句相比, 科学隐喻句在中线位置和顶叶区诱发了更负的 N400 ( $ps < .05$ ), 科学直义句在顶叶区诱发了更负的 N400 ( $p = .048$ ); 与直义句相比, 无论是科学直义句还是日常直义句, 在中线位置和顶叶区, 科学隐喻都诱发了更负的 N400 ( $ps < .05$ )。

由于三种句子类型两两之间的差异在顶叶处最为显著 ( $ps < .05$ ), 因此, 为了更加清楚地体现顶叶处不同位置上句子类型之间差异的具体情况, 本研究进一步对顶叶区所选的三个电极点 (P3、Pz、P4) 分别进行了重复测量方差分析, 分析结果如下 (见图 4):

(1) P3 点 (左脑顶叶区)。重复测量方差分析结果表明: 句子类型主效应显著,  $F(2, 32) = 7.28$ ,  $p = .008$ ,  $\eta^2 = .31$ , 科学隐喻句的 N400 波幅显著高于科学直义句 ( $p = .02$ ) 和日常直义句的波幅 ( $p = .022$ ), 两种直义句间无显著差异 ( $p = .237$ )。

(2) Pz 点 (中线顶叶区)。重复测量方差

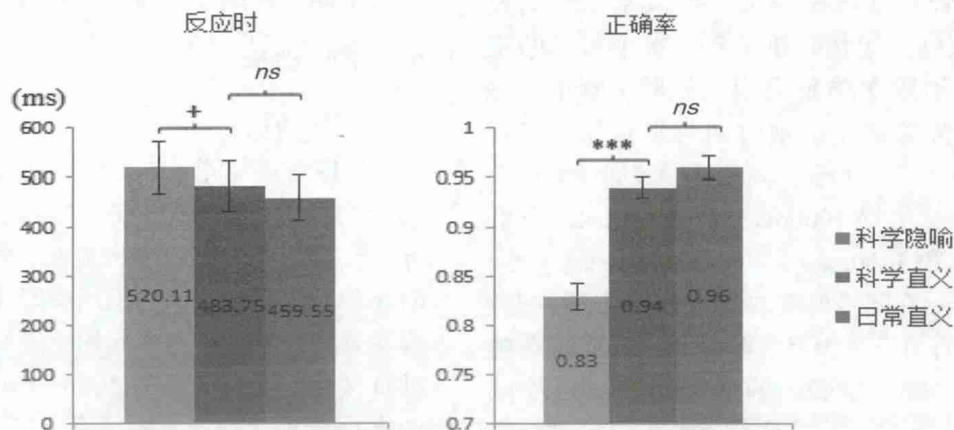


图2 ERP 实验行为数据统计图

(“\*\*\*”表示  $p < .001$ , “+”表示  $p < .1$ , “ns”表示没有显著差异, 误差线为标准误)

分析结果表明：句子类型主效应显著， $F(2, 32) = 10.61, p = .001, \eta^2 = .4$ ，科学隐喻句的 N400 波幅显著高于科学直义句 ( $p = .037$ ) 和日常直义句的波幅值 ( $p = .005$ )。科学直义句的 N400 波幅比日常直义句的波幅趋向更负（边缘显著）( $p = .064$ )。

(3) P4 点（右脑顶叶区）。重复测量方差分析结果表明：句子类型主效应显著， $F(2, 32) = 14.11, p < .001, \eta^2 = .47$ ，科学隐喻句和科学直义句的 N400

波幅都显著高于日常直义句的波幅 ( $ps < .05$ )，科学隐喻句和科学直义句之间无显著差异 ( $p = .116$ )。

### 3.2.2 600~900 ms

LPC 时间窗内（600~900 ms）重复测量方差分析结果表明，句子类型主效应比较显著， $F(2, 32) = 3.10, p = .065, \eta^2 = .16$ ，科学隐喻句的平均波幅最小；句子类型与前后位置交互效应显著  $F(4, 64) = 4.93, p = .01, \eta^2 = .24$ 。成对比较分析表明，

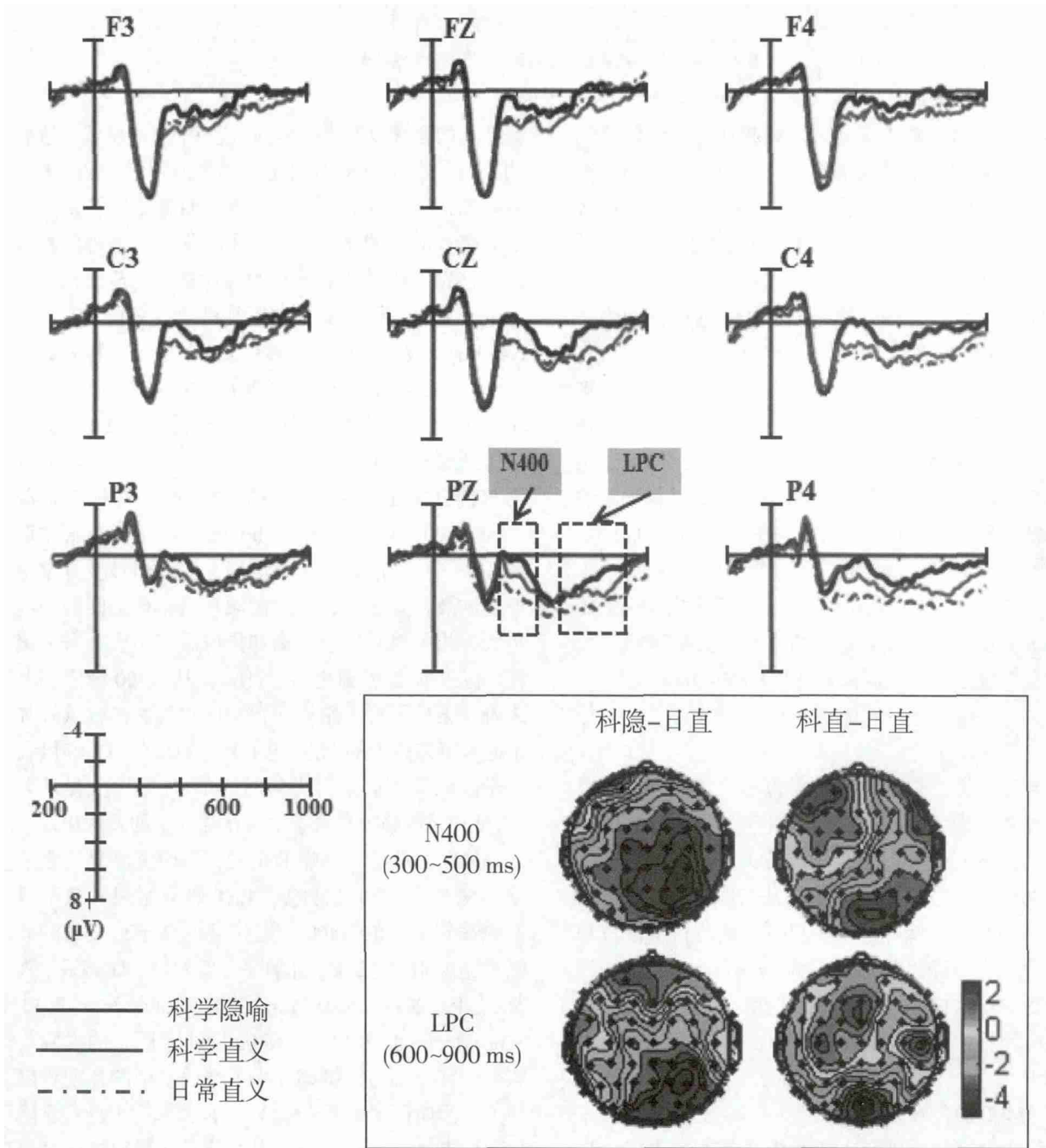


图3 九个电极点 ERP 总平均波形图和 N400/LPC 时间窗差异地形图

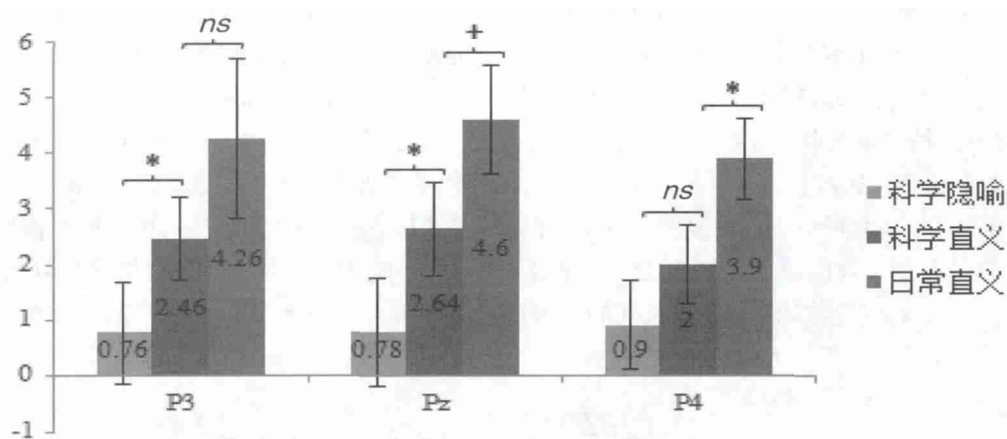


图4 顶叶区三个电极处三种刺激 N400 波幅值统计图

(“\*”表示 $p < .05$ ，“+”表示 $p < .1$ ，“ns”表示没有显著差异，误差线为标准误)

在顶叶处，与日常直义句的波幅相比，科学隐喻句诱发的 LPC 平均波幅显著更低 ( $p = .012$ )，科学直义句的平均波幅边缘显著更低 ( $p = .077$ )；在中线位置，科学隐喻句诱发的 LPC 平均波幅边缘显著低于日常直义句的平均波幅 ( $p = .084$ )。

此外，为了进一步了解 600~900 ms 时间窗内科学隐喻句和科学直义句诱发的 ERP 成分，研究者将日常直义句诱发的 LPC 平均波幅值分别从科学隐喻句和科学直义句的平均波幅值中减去，得到了两种科学语言句诱发的 ERP 差异波形图（见图 5）。图 6 清楚地显示，在显著的 N400 效应之后，科学隐喻句诱发了另外一个负成分，在 760 ms 左右达到峰值。重复测量方差显示差异波句子类型主效应显著， $F(1, 16) = 5.74$ ， $p = .029$ ， $\eta_p^2 = .26$ ，科学隐喻句诱发的晚负成分比科学直义句的更负。句子类型和前后位置与左右位置交互效应都不显著， $F_s < .03$ 。

## 4 讨论

与日常语言相比，科学语言具有其特有的语境复杂性和知识顿悟功能，但是关于科学语言的认知神经加工机制研究在当今学界几乎还是空白。本研究尝试借鉴隐喻的 ERP 研究方法与实验范式探讨科学语言特有的认知神经加工机制。通过科学语言句（科学隐喻和科学直义）与日常语言句的对比分析，以及更深层次的隐喻句（科学隐喻）与直义句（科学直义和日常直义）的对比分析，本研究的主要发现如下：

### 4.1 N400 时间窗

科学语言是自然科学语境中所使用的语言，与来自日常生活语境的日常语言相比，科学语言具有

其特有的语境复杂性。N400 是一个对语境非常敏感的成分，本研究中不同句子类型激活的 N400 平均波幅和脑区差异表明科学语言与日常语言认知加工机制有着明显的不同，体现了科学语言的神经特异性。首先，从科学语言句的共性来看，与研究假设一致，无论是科学隐喻句还是科学直义句，它们的 N400 平均波幅都高于日常直义句的波幅。与 Barber, Otten, Kousta 和 Vigliocco (2013) 的研究发现相反，本研究中更加抽象的科学直义句诱发的 N400 波幅显著地高于更加具体的日常直义句的波幅。不同的语言信息加工策略消耗不同数量的认知加工资源 (Frank, Otten, Galli, & Vigliocco, 2015)，与日常语言相比，科学语言的使用语境往往不但涉及日常语境还涉及科学语境，因此源域和目标域之间的距离更大，相关语义信息检索和提取难度更大，需要消耗的认知加工资源更多。此外，从 N400 激活脑区来看，某种程度上来说，顶叶区对科学语言认知加工起着不容忽视的作用。更加具体地说，在右顶叶区，科学隐喻句和科学直义句的 N400 波幅已无显著差异，反映了该脑区在科学语言认知加工的特殊作用。

其次，从科学隐喻的角度，本研究结果与之前基于文学隐喻和日常隐喻 ERP 研究结果一致，科学隐喻句诱发的 N400 波幅显著地高于直义句的波幅 (吴念阳等, 2012; 钟毅平, 周海波, 周路平, 陈芸, 范伟, 2011; Lai & Curran, 2013; Rutter et al., 2012; Schneider et al., 2014)。N400 反映了语义的提取与整合，其波幅与关键词在上下文语境中的预期程度相关，预期程度越低，N400 波幅越大，可见科学隐喻句加工过程中对相关信息的检索和提取难度是最大的。此外，从 N400 激活脑区来看，中线位置和

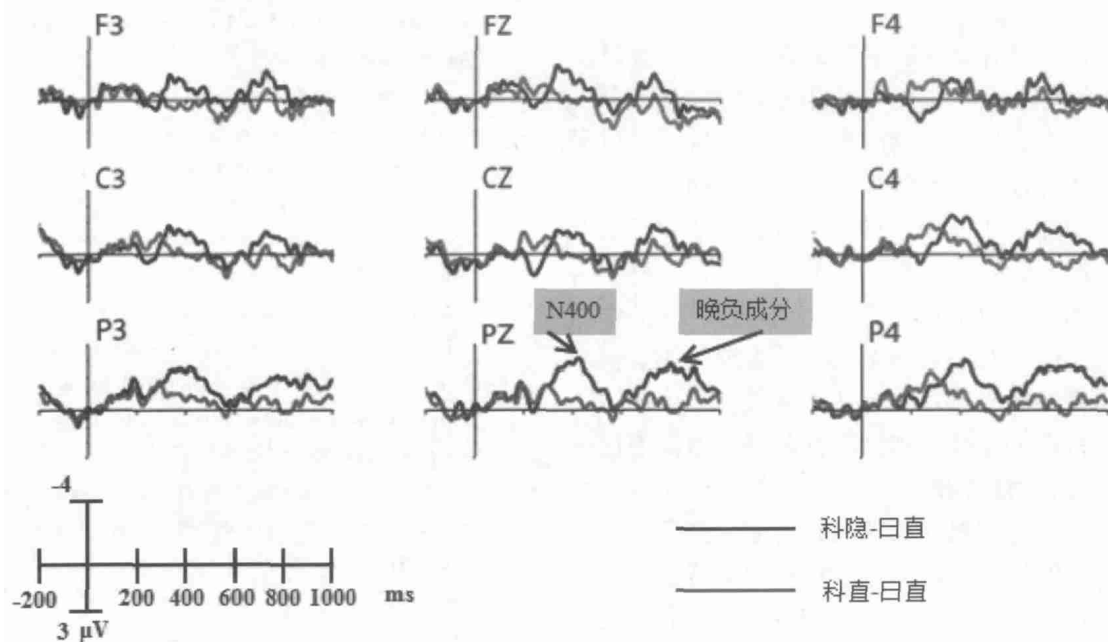


图5 差异波形图

顶叶区对科学隐喻认知加工起着不容忽视的作用。就左右脑区而言，科学隐喻激活脑区呈左右对称分布，左右脑在科学隐喻认知加工中都起到了重要作用。

此外，本研究结果支持隐喻加工的显性度假说。根据语义显性度假说（Giora, 1997），语义的显性度决定着语义加工的先后。也就是说，无论是字面意义还是隐喻意义，显性度越高，就越先得到加工。前测结果表明科学隐喻句熟悉度最低，字面意义比隐喻意义更加凸显，所以字面意义得以优先加工，而隐喻意义需要通过语境机制进行推理。科学直义句熟悉度低于日常直义句熟悉度，诱发了更负的N400，这很好地支持了显性度假说，因为科学直义句与日常直义句都属于直义表达，显性度的不同导致了它们N400波幅之间的差异。这一结果与本次实验的行为数据结果也基本一致。

#### 4.2 LPC 时间窗

与日常语言相比，科学语言具有其明显而特有的知识顿悟功能。也就是说，为了达到对某个抽象概念的理解，科学语言认知加工晚期会涉及一个从具体概念到抽象概念的推理过程。波形差异图清楚显示，本研究科学隐喻句和科学直义句继N400之后又激发了另一个晚负成分，进一步表明了科学语言的神经特异性。首先，从科学语言句的共性来看，科学隐喻句和科学直义句在LPC时间窗内都诱发了

一个晚负成分。与其它一些研究发现一致，该晚负成分的波幅与LPC的波幅相互抵消，这导致科学隐喻句的波幅最小，日常直义句的波幅最大（Arzouan et al., 2007a, 2007b; Zhao et al., 2011）。重叠在LPC时间窗的该晚负成分是N400的延续，反映了语义加工的二次融合过程，是第一次语义加工失败后的再加工过程（Jiang, Tan, & Zhou, 2009）。该晚负成分清楚地表明，与日常语言相比，科学语言有一个明显的语义再加工过程，也就是从具体到抽象的推理过程，反映了科学语言特有的脑加工机制。此外，从差异波形图上可以看出，该晚负成分激活脑区范围很大，这表明科学语言认知加工难度的持续。

其次，从科学隐喻的角度，本研究结果显示，科学隐喻句比科学直义句诱发了更负的晚负成分，这表明融合源域和目标域中两个概念难度的加大，以便融合字面意义和实际意义之间的冲突（De Grauwe et al., 2010）。与直义句相比，科学隐喻句两个概念域之间的距离更长，从具体概念到抽象概念进行推理的难度更大，行为数据中科学隐喻句更长的反应时也可以证明这一点。此外，科学语言和日常语言在顶叶区的LPC激活程度差异最为显著，这再一次表明了顶叶区在科学语言加工中的重要作用。在该晚成分时间窗内，科学语言激活脑区呈左右对称分布，左右脑在科学语言认知加工中都起到了重要作用。

## 5 结论

本研究通过对比分析科学语言和日常语言以及更深层次的科学隐喻和直义语料诱发的 ERP 成分,发现两种语言脑加工机制的显著差异,从而探讨了科学语言认知加工机制的神经特异性。同日常直义表达的认知加工相比较,科学语言的认知加工难度更大,消耗的认知资源更多。就脑区而言,科学语言的认知加工过程中顶叶区尤其是右顶叶区的作用不容忽视,但同时左右脑都起到了重要作用。科学隐喻的研究结果支持隐喻表达的意义显性度假说,科学语言特有的复杂性和抽象性降低了语言表达的显性度,并且对后期的语义整合阶段产生影响。科学语言的认知加工机制具有其自身的复杂性,相关研究有待不断深入,可以逐渐将更加丰富的语料类型(如日常隐喻)加入 ERP 实验语料中进行对比分析,从而不断验证和完善已有的研究发现。

### 参考文献

- 王小璐. (2007). 汉语隐喻认知的神经机制研究. 浙江大学博士学位论文.
- 吴念阳, 陈俊卿, 居银, 白洁, 马子凤. (2012). 汉语隐喻理解时程的 ERPs 研究. *心理科学*, 35(4), 811-816.
- 殷杰. (2007). 科学语言的形成、特征和意义. *自然辩证法研究*, 23(2), 13-17.
- 钟毅平, 周海波, 周路平, 陈芸, 范伟. (2011). 显性度对隐喻加工的影响: 事件相关电位研究. *心理科学*, 34(3), 527-531.
- Arzouan, Y., Goldstein, A., & Faust, M. (2007a). Brainwaves are stethoscopes: ERP correlates of novel metaphor comprehension. *Brain Research*, 1160, 69-81.
- Arzouan, Y., Goldstein, A., & Faust, M. (2007b). Dynamics of hemispheric activity during metaphor comprehension: Electrophysiological measures. *NeuroImage*, 36(1), 222-231.
- Barber, H. A., Otten, L. J., Kousta, S. T., & Vigliocco, G. (2013). Concreteness in word processing: ERP and behavioral effects in a lexical decision task. *Brain and Language*, 125(1), 47-53.
- Coulson, S., & Van Petten, C. (2007). A special role for the right hemisphere in metaphor comprehension? ERP evidence from hemifield presentation. *Brain Research*, 1146, 128-145.
- De Grauwe, S., Swain, A., Holcomb, P. J., Ditman, T., & Kuperberg, G. R. (2010). Electrophysiological insights into the processing of nominal metaphors. *Neuropsychologia*, 48(7), 1965-1984.
- Frank, S. L., Otten, L. J., Galli, G., & Vigliocco, G. (2015). The ERP response to the amount of information conveyed by words in sentences. *Brain and Language*, 140, 1-11.
- Giora, R. (1997). Understanding figurative and literal language: The graded salience hypothesis. *Cognitive Linguistics*, 8(3), 183-206.
- Goldstein, A., Arzouan, Y., & Faust, M. (2012). Killing a novel metaphor and reviving a dead one: ERP correlates of metaphor conventionalization. *Brain and Language*, 123(2), 137-142.
- Jiang, X. M., Tan, Y. Y., & Zhou, X. L. (2009). Processing the universal quantifier during sentence comprehension: ERP evidence. *Neuropsychologia*, 47(8-9), 1799-1815.
- Kaan, E., Harris, A., Gibson, E., & Holcomb, P. J. (2000). The P600 as an index of syntactic integration difficulty. *Language and Cognitive Processes*, 15(2), 159-201.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207(4427), 203-205.
- Lai, V. T., & Curran, T. (2013). ERP evidence for conceptual mappings and comparison processes during the comprehension of conventional and novel metaphors. *Brain and Language*, 127(3), 484-496.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press.
- Rutter, B., Krüger, S., Hill, H., Windmann, S., Hermann, C., & Abraham, A. (2012). Can clouds dance? Part 2: An ERP investigation of passive conceptual expansion. *Brain and Cognition*, 80(3), 301-310.
- Schneider, S., Rapp, A. M., Haeußinger, F. B., Ernst, L. H., Hamm, F., Fallgatter, A. J., & Ehlis, A. C. (2014). Beyond the N400: Complementary access to early neural correlates of novel metaphor comprehension using combined electrophysiological and haemodynamic measurements. *Cortex*, 53, 45-59.
- Zhao, M., Meng, H. S., Xu, Z. Y., Du, F. L., Liu, T., Li, Y. X., & Chen, F. Y. (2011). The neuromechanism underlying verbal analogical reasoning of metaphorical relations: An event-related potentials study. *Brain Research*, 1425, 62-74.



# An ERP Study on the Cognitive Neural Mechanism of Scientific Language

Tang Xuemei<sup>1,2</sup>, Ren Wei<sup>1</sup>, Hu Weiping<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Key Laboratory of Modern Teaching Technology, Ministry of Education, Shaanxi Normal University, Xi'an, 710062)

(<sup>2</sup>Foreign Languages College, Anhui Polytechnic University, Wuhu, 241000)

**Abstract** With the rapid development of scientific technology, the study on the neural mechanisms of scientific metaphoric language is methodologically and epistemologically significant. However, as an important part of conceptual metaphors, scientific metaphors have been overlooked by the previous electrophysiological studies of metaphors. This study is the first to use ERP to compare the cognitive neural mechanisms of literal and metaphoric expressions from scientific and daily contexts. The aim of the present study is to investigate the neural mechanism of scientific language by observing the differences between scientific language (metaphoric and literal) and daily expressions as well as between scientific metaphors and literal expressions (scientific and daily). A list of 120 Chinese sentences was formed consisting of three categories: scientific metaphoric, scientific literal, and, daily literal with 40 sentences in each sentence type. The scientific sentences were created based on the basic scientific terms and concepts at the level of middle school covering mathematics, physics and chemistry. All the 17 participants were from the natural scientific majors in order to avoid the possible difficulties in understanding those scientific sentences during the experiment. In the experiment, ERPs were time-locked to the onset of the last word of the sentence and were obtained by stimulus-locked averaging of the EEG recorded in each condition. The resulting amplitudes of N400 or LPC were entered into 3 condition  $\times$  3 region (frontal F3, Fz, F4, central C3, Cz, C4, parietal P3, Pz, P4)  $\times$  3 hemisphere (left F3, C3, P3, midline Fz, Cz, Pz, right F4, C4, P4) ANOVAs for repeated measures. In the time window of N400 (300~500ms), there were significant main effects of condition  $F(2, 32) = 9.90, p < .001, \eta_p^2 = .38$ . Scientific metaphors elicited the most negative N400. Significant condition  $\times$  region interactions were found,  $F(4, 64) = 3.84, p = .057, \eta_p^2 = .19$ . Post-hoc tests showed that scientific language (metaphoric and literal) elicited more negative N400 than daily literal sentences in the parietal regions ( $ps < .05$ ). Scientific metaphors elicited more negative N400 than literal expressions (scientific and daily) in the central and parietal regions ( $ps < .05$ ). In the time window of LPC (600~900ms), there were significant main effects of condition  $F(2, 32) = 3.10, p = .065, \eta_p^2 = .16$ . Scientific metaphors elicited the least positive LPC. Significant condition  $\times$  region interactions were found,  $F(4, 64) = 4.93, p = .01, \eta_p^2 = .24$ . Post-hoc tests showed that in the parietal region relative to daily literals, scientific metaphors elicited less positive LPC ( $p = .012$ ) and scientific literals elicited marginally less positive LPC ( $p = .077$ ). Besides, the subtraction waveforms were obtained by subtracting the amplitude of daily literals from that of scientific metaphors and scientific literals respectively. The subtraction waveforms clearly show that scientific metaphors elicited another late negativity peaking around 800ms following the N400. ANOVAs for repeated measures produced significant main effect of condition,  $F(1, 16) = 5.74, p = .029, \eta_p^2 = .26$ . Scientific metaphors elicited more negative late negativity than scientific literals. There are two main findings in the present study. Firstly from the perspective of scientific language, the distance between the two semantic domains of scientific language is larger than that of daily language, thus requiring more cognitive resources to process the meaning. Both the right and left hemispheres are important in processing scientific language, but the parietal region, especially the right part, is vital. Secondly, from the perspective of scientific metaphors, our findings replicate previous studies, namely, the increased N400 amplitude to scientific metaphors could be reflecting the initial anomaly in literal meaning, while the late negativity could be the manifestation of a further attempt to gain meaning, this time using a non-literal route as predicted by the sequential view. Both the right and left hemispheres show their involvement in understanding metaphors. Besides, our findings support the graded salience hypothesis. The complexity and abstractness of scientific expressions reduced dramatically their familiarity compared to literal expressions. So, the meaning of a scientific expression is inferred by contextual mechanisms after the more salient daily meaning is processed.

**Key words** scientific language, metaphor, Even-related Potential (ERP), N400, LPC