

# 左侧背外侧前额叶在汉语认知冲突加工中的作用

## ——一项经颅直流电刺激研究

舒雯欣, 易娜, 张茜\*

西南石油大学外国语学院, 四川 成都

收稿日期: 2025年7月27日; 录用日期: 2025年8月25日; 发布日期: 2025年9月11日

### 摘要

本研究采用经颅直流电刺激(tDCS)技术, 探讨左侧背外侧前额叶(DLPFC)对汉语认知冲突的调控作用。26名健康被试在阳极刺激与伪刺激条件下完成Flanker任务、语义冲突任务及情绪冲突任务。结果显示, 阳极刺激显著缩短不一致条件下的整体反应时, 其中语义冲突的效率提升最为显著, 情绪冲突任务中一致与不一致条件的加工均得到优化, 而Flanker任务的刺激敏感性较弱。进一步分析表明, DLPFC激活可能通过增强目标导向控制及认知-情绪交互, 显著提升情绪冲突任务的正确率; 神经机制上, DLPFC既参与额顶通路等通用认知控制网络, 又可能通过语言网络整合与情绪调控等任务特异性路径适应不同冲突需求。情绪一致条件下的促进效应提示, DLPFC可能通过隐性监控机制协调情绪与认知资源分配。本研究为DLPFC在语言与情绪冲突中的功能分化提供因果性证据, 并从行为层面为认知空间理论的表征重构机制补充实验依据。

### 关键词

左侧背外侧前额叶, 汉语, 认知冲突, 经颅直流电刺激

# The Role of the Left Dorsolateral Prefrontal Cortex in Chinese Cognitive Conflict Processing

## —A Transcranial Direct Current Stimulation Study

Wenxin Shu, Na Yi, Qian Zhang\*

School of Foreign Languages, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

\*通讯作者。

文章引用: 舒雯欣, 易娜, 张茜(2025). 左侧背外侧前额叶在汉语认知冲突加工中的作用. *心理学进展*, 15(9), 137-147.  
DOI: 10.12677/ap.2025.159502

## Abstract

This study employed transcranial direct current stimulation (tDCS) to investigate the regulatory role of the left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) in Chinese cognitive conflict processing. Twenty-six healthy participants completed the Flanker task, semantic conflict task, and emotional conflict task under anodal stimulation and sham stimulation conditions. Results showed that anodal stimulation significantly shortened overall reaction times under incongruent conditions, with the most pronounced efficiency improvement observed in the semantic conflict task. In the emotional conflict task, processing under both congruent and incongruent conditions was optimized, whereas the Flanker task showed weaker sensitivity to stimulation. Further analysis indicated that DLPFC activation may significantly enhance accuracy in the emotional conflict task by strengthening goal-directed control and cognitive-emotional interactions. At the neural mechanism level, the DLPFC not only participates in general cognitive control networks such as the fronto-parietal pathway but also adapts to different conflict demands through task-specific pathways, such as language network integration and emotional regulation. The facilitative effect under emotionally congruent conditions suggests that the DLPFC may coordinate the allocation of emotional and cognitive resources through implicit monitoring mechanisms. This study provides causal evidence for the functional differentiation of the DLPFC in linguistic and emotional conflicts and supplements experimental support for the representational reorganization mechanism of cognitive space theory at the behavioral level.

## Keywords

Left Dorsolateral Prefrontal Cortex, Chinese, Cognitive Conflict, Transcranial Direct Current Stimulation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

语言与认知的交互作用构成了人类高级思维活动的核心基础。冲突解决能力作为认知控制的关键维度,不仅体现为对一般认知冲突任务(如 Flanker 箭头方向冲突)的加工效率,更在语义歧义消解(如词汇意义冲突)和情绪信息干扰(如情绪词语义冲突)等复杂场景中展现出多维度的神经适应性。尽管已有研究证实背外侧前额叶(DLPFC)在非情绪性冲突中发挥核心调控作用,但其对不同冲突类型的领域特异性机制仍存在争议。值得注意的是,情绪冲突中语义与情绪信息的双重嵌入特性,使其成为解析认知-情绪交互作用的理想窗口。经颅直流电刺激(tDCS)技术作为一种非侵入性脑刺激方法,能够直接调制特定脑区的神经活动,为验证认知冲突调控的脑区提供有效手段,从而进一步揭示语言和认知的交互作用及其神经基础。本研究将 tDCS 技术与汉语认知冲突任务结合,比较三种冲突类型(Flanker 任务、语义冲突任务和情绪冲突任务)的神经调控机制,为揭示语言和认知的交互作用及其神经基础提供新的实证依据。

情绪信息与认知控制的交互作用是当前认知神经科学的核心议题之一。研究表明,情绪刺激(如负性面孔、情感词汇)的介入会改变认知冲突的加工模式。当负性情绪面孔与语义词语同时呈现时,大脑需要在有限的认知资源内协调情感效价与语义内容的双重加工需求,这种信息竞争可能导致神经机制的特异

性调整(郭婷婷, 2022; Li et al., 2018)。从神经基础看, 背侧前扣带皮层(dACC)与外侧前额叶皮层(DLPFC)构成的额顶控制网络被认为是支持各类冲突解决的通用神经基质——dACC 负责监测冲突信号, DLPFC 则通过自上而下的调控抑制干扰信息(Botvinick et al., 2001; Egner, 2007)。但情绪冲突的特殊性在于, 负性情绪刺激会优先激活杏仁核等边缘系统结构, 该区域通过增强与 dACC 的功能连接, 促使大脑对威胁性信息产生快速反应偏向(Vuilleumier, 2005)。这种跨系统的信息整合可能导致情绪冲突与非情绪冲突的脑机制出现分离, 例如情绪冲突中 DLPFC 的激活强度更高, 且与边缘系统的交互更频繁(Yang et al., 2024)。

现有研究已初步揭示情绪冲突与非情绪冲突的神经重叠与分离特征。杨国春等(2019)提出, 认知控制可能同时具备领域一般性与特异性, 额顶网络作为通用平台处理各类冲突, 而前岛叶、杏仁核等脑区则根据情绪属性进行特异性调控。一项功能性磁共振成像(fMRI)研究发现, 情绪冲突任务(词汇效价判断)与一般认知冲突任务(箭头 Flanker 任务)共享右背侧前扣带皮层、双侧背内侧前额叶皮层的激活, 这些脑区构成处理不同类型冲突的通用网络。但情绪冲突还特异性激活左外侧前额叶皮层(IPFC)、丘脑和苍白球等区域, 提示情绪加工需要额外调用与情感调节相关的神经通路。这一结果支持“通用网络+特异性通路”的双重机制理论——即不同类型的冲突依赖部分重叠的神经环路, 但情绪冲突需额外整合情感信息处理模块(Li et al., 2018)。然而, 这些结论主要基于观察性研究, 缺乏对脑区因果作用的直接验证。

值得注意的是, 汉语作为象形文字系统, 其语义-情绪冲突的神经机制可能与拼音文字存在本质差异。拼音文字的语义加工高度依赖左半球语言网络(如左额下回), 而汉语加工涉及更广泛的视觉-语义整合脑区, 如梭状回对汉字结构的特异性激活(Xue et al., 2006)。当情绪信息(如负性面孔)与汉语词汇叠加时, 多维度信息的冲突解决可能需要左侧 DLPFC 对视觉语义网络(如视觉词形区)与情感加工网络(如杏仁核)进行动态调控。经颅直流电刺激(tDCS)研究表明, 阳极刺激左侧 DLPFC 可增强该区域的兴奋性, 进而提升语义任务中的干扰抑制效率(Pereira et al., 2013)。但在汉语语境下, 这种调控是否通过调节 DLPFC 与梭状回的连接强度实现, 仍需进一步验证。此外, 汉语情感词汇的加工是否依赖与拼音文字相似的额顶控制网络, 也需要更多研究验证。

本研究旨在通过经颅直流电刺激(tDCS)技术, 探究左侧 DLPFC 在情绪冲突与非情绪冲突(语义冲突、一般认知冲突)中的调控作用。具体而言, 本文旨在探究以下问题: 1) 情绪冲突与非情绪冲突是否存在共享的左侧背外侧前额叶皮层(DLPFC)调控机制? 2) 左侧 DLPFC 在情绪冲突与非情绪冲突中的具体作用为何? 研究通过对比阳极 tDCS 刺激左侧 DLPFC 前后的行为数据(反应时、正确率), 为揭示情绪-认知交互作用的神经基础提供因果性证据, 也为汉语语境下情绪障碍的神经调控提供干预靶点。

## 2. 方法

### 2.1. 被试

本实验招募了来自西南地区一所院校的 26 名健康受试者, 包括 13 名男性和 13 名女性, 年龄在 18~26 岁, 平均年龄为 22.22 岁( $SD=2.043$ )。所有被试为汉语母语者, 右利手, 且具备以下条件: 1) 身体健康, 无头部外伤; 2) 无癫痫、脑部疾病和精神病史; 3) 视力正常或矫正至正常视力; 4) 无酗酒或药物滥用情况。本研究严格遵循《赫尔辛基宣言》(World Medical Association, 2013)中涉及人类受试者的伦理准则, 研究设计符合“最低风险”原则。通过严格的纳入、排除标准筛选被试, 所有被试在实验前签署知情同意书及风险筛查表, 明确了解实验流程、潜在风险及自愿退出权, 并在实验后获得适量报酬。

### 2.2. 实验材料

研究中采用的刺激材料为三种类型冲突图片: Flanker 刺激(一致、不一致)、语义刺激(一致、不一致)和情绪刺激(一致、不一致)。所有图片均通过 Adobe Photoshop (2019)软件处理为统一尺寸(800 × 800 像

素), 箭头符号或文字位置水平垂直居中(字体为微软雅黑, 大小 128 px)。

Flanker 任务使用了 Eriksen 的 Flanker 任务的改编版本(Eriksen, 1974), Flanker 任务一般运用于非语言抑制控制技能的监测, 中心箭头两侧有四个水平对齐的符号(每侧两个), 在一致试次中, 两侧的箭头与中心目标朝向相同; 在不一致试次中, 两侧箭头与目标箭头朝向相反。语义冲突任务借鉴 Noga Oren (2023) 实验范式, 从百度图库选取 55 张图片, 每张图片分别内嵌两类文字描述(与图片相符、与图片不相符)构成一致与不一致两种条件, 共 110 个语义刺激。两张情绪面孔图片(积极、消极)选取自中国化情绪面孔系统(CFAPS), 每个面孔分别内嵌两种效价情绪词汇(积极或消极), 其中积极词与消极词各 15 个, 构成 2 (积极面孔、消极面孔) × 2 (积极词、消极词) 共 60 个情绪刺激, 分为情绪一致与情绪不一致。将这些图片分配到 2 次实验中(阳极刺激、伪刺激), 每次实验共 288 个试次(三种刺激类型各 96 个试次)。实验分为两天进行(阳极刺激、伪刺激), 每次间隔时间七天及以上(见图 1)。

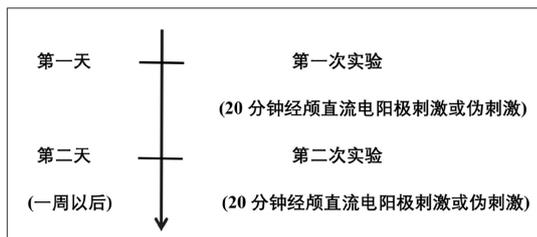


Figure 1. Experimental timeline  
图 1. 实验时间安排

### 2.3. 实验任务和流程

在正式实验之前, 被试接受会 Flanker 任务、语义冲突和情绪冲突任务练习(练习环节的内容与正式实验中不重复)。每位被试需要进行两次实验。在第一次实验中, 被试先接受 20 分钟的阳极刺激或伪刺激, 然后完成冲突任务(任务流程如图 2 所示)。一周后, 被试进行第二次实验, 接受与第一次不同的刺激, 再次执行冲突任务。所有被试的经颅直流电刺激顺序是平衡的。

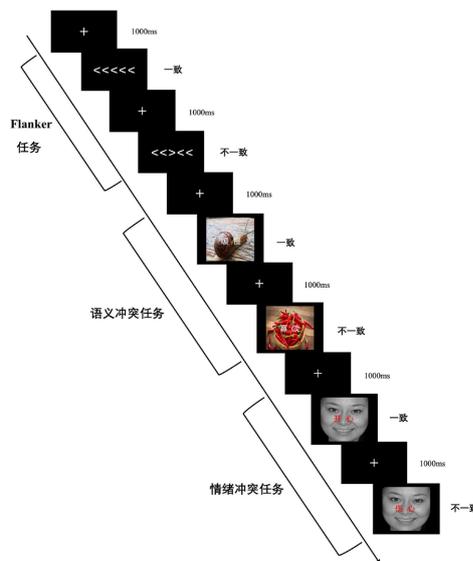


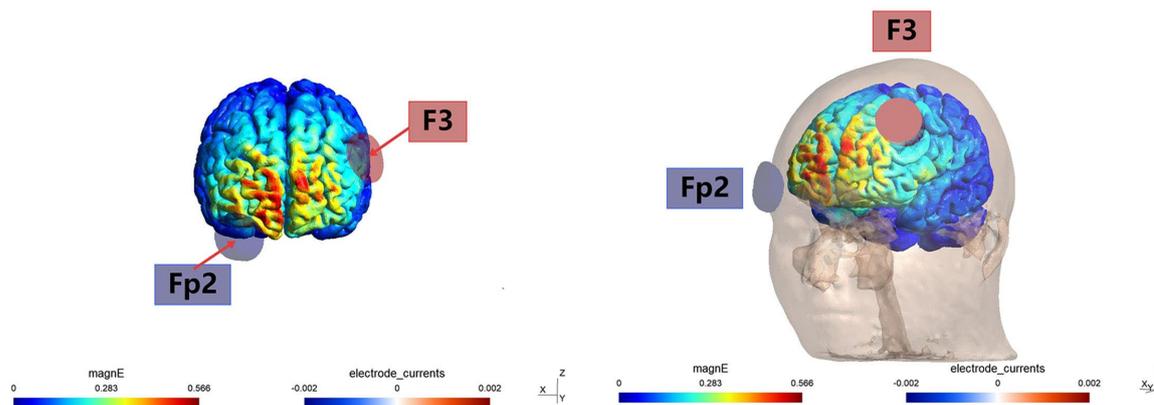
Figure 2. Schematic diagram of the task procedure  
图 2. 实验流程示意图

实验任务由一台装有 E-Prime 2.0 软件的电脑呈现。每次实验包含 3 个模块序列(blocks), 共包含 288 个试次(trials)。每个模块序列之间有一次休息时间。每个模块序列包含 96 个试次: 32 次 Flanker 任务, 32 次语义冲突任务, 32 次情绪冲突任务。三种冲突类型随机交替出现。

屏幕中间首先会出现一个十字架作为注视点(1000 ms), 然后出现刺激图片, 要求被试迅速准确判断随机出现的三种情况(Flanker 任务中心箭头方向与左右箭头方向是否一致, 语义图片和词语描述是否一致, 情绪面孔效价和情绪词语效价是否一致), 并尽可能快速地通过按键(F 一致, J 不一致)做出选择, 被试按键后自动进入下一个试次。如被试在 3000 ms 内未做出反应, 则自动进入下一个试次。每一试次间隔都出现 1000 ms 的注视点(见图 2)。

## 2.4. 经颅直流电刺激

实验采用国产苗安子品牌 tDCS 设备(型号 DRORIAN2019)对被试实施刺激。根据国际 10~20 系统(Kounios & Holcomb, 1994), 阳极电极被放置在 F3 位置(左侧背外侧前额叶), 而阴极电极则放置在 Fp2 位置(右眼眶上方, 见图 3)。基于前人的研究, tDCS 刺激时间一般在 15~20 分钟。(Homan et al., 1987; Nasseri et al., 2015; Huang et al., 2020)。为确保左侧背外侧前额叶得到充分激活, 本实验设置刺激时间为 20 分钟, 电流强度为 2 毫安。在阳极刺激条件下, 电流在刺激开始 1 分钟内缓缓上升到 2 毫安, 并持续 20 分钟, 在最后 1 分钟内缓缓回落到 0 (Holland et al., 2011; Cao et al., 2018)。伪刺激条件下, 电流将在 1 分钟内上升到 2 毫安后迅速降至 0, 之后每 10 秒出现一次脉宽为 0.5 秒的刺激, 总刺激量为 100 微安。在刺激最后 1 分钟, 电流将从 2 毫安缓缓回落到 0 (Rivera-Urbina et al., 2022)。



**Figure 3.** Stimulation of electrode placement and electric field intensity during transcranial direct current stimulation (produced by simNIBS software)

**图 3.** 经颅直流电刺激过程中电极放置位置及电场强度的模拟效果(由 simNIBS 软件制作)

## 2.5. 数据收集和分析

在实验过程中, E-Prime 2.0 软件根据按键结果测量并收集了被试的反应时间(Reaction Time, RT)和正确率(Accuracy, ACC)。使用 IBM SPSS Statistics 26 对收集到的反应时间和正确率进行了分析。采用重复测量方差分析(经 Bonferroni 校正), 以刺激类型(伪刺激和阳极刺激)、任务类型(Flanker、语义冲突和情绪冲突)以及一致性(一致和不一致)作为被试内变量。此外, 对方差分析结果中有显著交互效应的做进一步简单效应分析。

## 3. 结果

本研究采用 3 (冲突类型: Flanker、语义冲突、情绪冲突) × 2 (一致性: 一致、不一致) × 2 (tDCS 刺激

条件：阳极、伪刺激)的主体内重复测量设计，分析行为数据(反应时、正确率)的主效应及交互作用，结果如下：

### 3.1. 反应时

不同刺激条件下冲突任务的平均反应时与标准误具体数据如表 1 所示。主体内效应检验结果显示，冲突刺激类型的主效应显著( $F(2, 50) = 265.243, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.914$ )，表明三种刺激类型(Flanker、语义冲突、情绪冲突)对反应时的影响存在显著差异，不同类型的冲突刺激本身会导致反应时的变化。一致性条件的主效应显著( $F(1, 25) = 70.887, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.739$ )，不一致条件下的反应时显著高于一致条件，说明一致性效应对认知加工的影响具有普遍性。刺激条件的主效应显著( $F(1, 25) = 6.115, p = 0.021, \eta_p^2 = 0.196$ )，阳极 tDCS 刺激下反应时整体短于伪刺激，提示左侧 DLPFC 兴奋性增强对反应速度有普遍促进作用。

冲突刺激类型与一致性条件交互效应显著( $F(2, 50) = 11.240, p < 0.001$ )，表明不同冲突类型的“一致-不一致”反应时差存在差异，反映各类冲突的认知加工负荷异质性。一致性条件和刺激条件交互效应显著( $F(1, 25) = 12.852, p = 0.001$ )。进一步简单效应分析显示，在一致条件下，仅情绪冲突中，阳极刺激显著缩短反应时( $t(25) = -2.867, p = 0.008$ )；Flanker ( $t(25) = -1.550, p = 0.134$ )和语义冲突( $t(25) = -1.140, p = 0.265$ )的一致条件无显著效应(见图 4)。在不一致条件下，三种冲突的阳极刺激均显著缩短反应时(Flanker:  $t(25) = -2.394, p = 0.025$ ；语义冲突:  $t(25) = -3.151, p = 0.004$ ；情绪冲突:  $t(25) = -2.292, p = 0.031$ )，验证左侧 DLPFC 在显性冲突解决中的核心作用。冲突刺激类型与刺激条件交互效应显著( $F(2, 50) = 3.675, p = 0.032$ )，语义冲突的不一致条件对阳极刺激更敏感( $p = 0.004$ )，而情绪冲突的一致条件展现独特促进效应( $p = 0.008$ )，反映不同冲突的神经调控特异性。

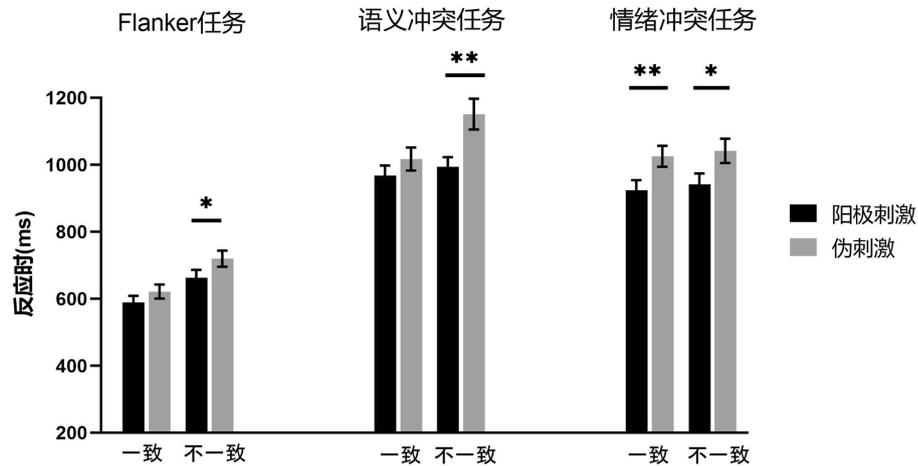
**Table 1.** Mean reaction times and standard errors of conflict tasks under different stimulation conditions

**表 1.** 不同刺激条件下冲突任务的平均反应时与标准误

任务类型	一致性	刺激条件	平均反应时(ms)	标准误
Flanker 任务	一致	阳极刺激	589.005	19.555
		伪刺激	621.604	20.748
	不一致	阳极刺激	662.268	24.143
		伪刺激	719.791	24.006
语义冲突任务	一致	阳极刺激	967.919	29.865
		伪刺激	1017.321	34.383
	不一致	阳极刺激	993.404	20.379
		伪刺激	1151.257	45.637
情绪冲突任务	一致	阳极刺激	924.139	30.345
		伪刺激	1025.483	31.203
	不一致	阳极刺激	941.338	32.83
		伪刺激	1041.627	35.954

三因素交互作用显著( $F(2, 50) = 8.83, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.261$ )。简单效应分析显示，情绪冲突在阳极条件下的一致性效应最强( $p = 0.008$ )，而语义冲突在伪刺激条件下的不一致性效应最显著( $p = 0.265$ )。数据表明，冲突类型是影响认知加工的核心因素，其主效应显著且效应量最大( $\eta_p^2 > 0.9$ )。交互作用进一步揭示了不同实验条件的复杂调节机制。例如，情绪冲突一致条件的特殊性，仅该条件下，阳极刺激突破“无显性冲突”的限制，显著加速反应( $p = 0.008$ )暗示情绪刺激即使在效价匹配时，仍因“情绪显著性”引发

隐性加工竞争。



**Figure 4.** Reaction time results of conflict tasks under different stimulation conditions (ms); \*indicates  $p < 0.05$  after Bonferroni correction; \*\*indicates  $p < 0.01$  after Bonferroni correction; Error bars represent standard error (SE)

**图 4.** 不同刺激条件下冲突任务的反应时结果(ms); \*表示经过 Bonferroni 校正后  $p < 0.05$ , \*\*表示经过 Bonferroni 校正后  $p < 0.01$ , 误差线表示标准误(SE)

### 3.2. 正确率

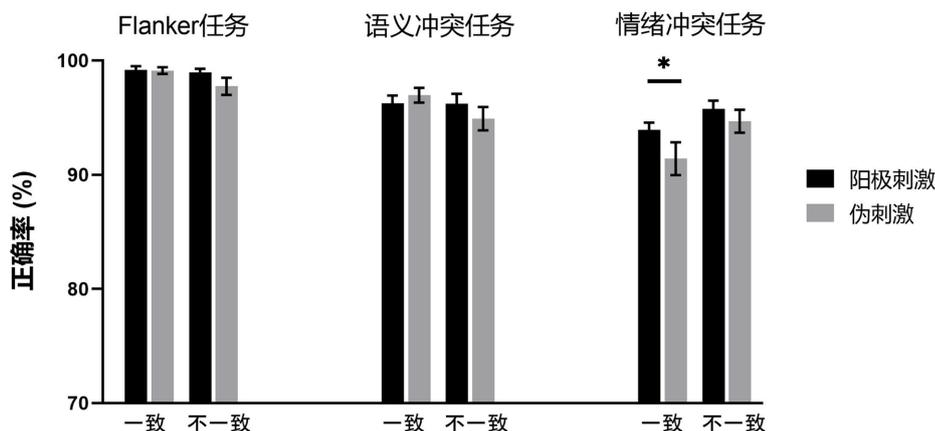
不同刺激条件下冲突任务的平均正确率与标准误具体数据如表 2 所示。主体内效应检验显示, 冲突刺激类型的主效应显著( $F(2, 50) = 43.87, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.636$ ), 表明三种冲突类型对正确率的影响存在显著差异。具体而言, Flanker 任务的平均正确率波动较小( $p = 0.837$ ), 而情绪冲突的差异更为显著( $p = 0.047$ ), 提示情绪冲突可能引发更强的认知调节需求。刺激条件的主效应显著( $F(1, 25) = 6.21, p = 0.020, \eta_p^2 = 0.199$ ), 阳极刺激与伪刺激的总体差异显著。一致性条件的主效应不显著( $F(1, 25) = 0.31, p = 0.585$ ), 表明一致与不一致条件对整体正确率的独立影响较弱。

**Table 2.** Mean accuracy rates and standard errors of conflict tasks under different stimulation conditions

**表 2.** 不同刺激条件下冲突任务的平均正确率与标准误

任务类型	一致性	刺激条件	平均正确率(%)	标准误
Flanker 任务	一致	阳极刺激	99.2	0.003
		伪刺激	99.1	0.003
	不一致	阳极刺激	98.0	0.003
		伪刺激	97.7	0.008
语义冲突任务	一致	阳极刺激	96.2	0.007
		伪刺激	97	0.006
	不一致	阳极刺激	96.2	0.009
		伪刺激	94.9	0.010
情绪冲突任务	一致	阳极刺激	93.9	0.006
		伪刺激	91.4	0.014
	不一致	阳极刺激	95.8	0.007
		伪刺激	94.7	0.01

交互效应虽未达传统显著性( $F(2, 50)=2.155, p=0.127$ ), 但配对样本检验揭示局部特异性, 情绪冲突在一致条件下, 阳极刺激显著提升正确率( $t(25)=2.089, p=0.047$ ), 是唯一在一致条件下刺激效应显著的冲突类型(如图 5 所示), 呼应反应时结果中“情绪一致条件的特殊性”, 暗示 DLPFC 调控同时优化该条件的反应速度与准确性。其他冲突(Flanker 不一致:  $t(25)=1.783, p=0.087$ , 边缘显著; 语义冲突:  $p>0.1$ ) 的刺激效应均未达显著性, 进一步凸显情绪冲突的调控特异性。



**Figure 5.** Accuracy results of conflict tasks under different stimulation conditions (%); \*indicates  $p < 0.05$  after Bonferroni correction, Error bars represent standard error (SE)

**图 5.** 不同刺激条件下冲突任务的正确率结果(%); \*表示经过 Bonferroni 校正后  $p < 0.05$ , 误差线表示标准误(SE)

三因素交互作用未达显著性( $F(2, 50) = 1.904, p = 0.160$ ), 但情绪冲突一致条件呈现独特的“速度 - 准确率协同优化”特征, 阳极 tDCS 既加速该条件的反应( $p = 0.008$ ), 又提高正确率( $p = 0.047$ ), 可见左侧 DLPFC 兴奋性增强时, 情绪冲突一致条件的反应速度与准确性同步改善, 提示左侧 DLPFC 对情绪冲突一致条件的加工调控, 在行为输出层面具有独特的双向优化趋势。

#### 4. 讨论

本研究通过  $3 \times 2 \times 2$  设计, 展现了三种冲突类型在神经机制上的重合与分离, 为“通用认知控制网络与领域特异性通路”的理论争议提供了新证据。

三种冲突类型的脑机制重合, 额顶网络的通用控制与任务特异性分化。三种冲突类型在不一致条件下均通过阳极 tDCS 加快了反应速度, 即可能激活了以 DLPFC 为核心的额顶网络, 体现了认知控制的普遍性。背侧前扣带回皮层(dACC)的冲突监测, 作为冲突检测的核心节点, dACC 在不一致条件下的激活增强, 一种可能的解释是其参与了冲突信号的早期识别(Botvinick et al., 2001)。阳极刺激可能通过增强 DLPFC-dACC 的连接, 加速冲突信号的整合与处理(Egner, 2007)。背内侧前额叶(dmPFC)的目标维持, dmPFC 表现出与 DLPFC 的协同激活, 这可能支持任务目标的持续激活(Miller & Cohen, 2001)。例如, Flanker 任务中维持“判断中心箭头”的目标, 语义冲突任务中维持“词图一致性判断”的规则, 均依赖 dmPFC 的工作记忆功能。任务特异性的神经分离, Flanker 任务效应较弱, 仅在不一致条件下边缘显著, 可能因空间注意控制更多依赖顶叶皮层(如右顶下小叶)而非 DLPFC (Corbetta & Shulman, 2002)。空间冲突的解决依赖自下而上的注意定向, 而 DLPFC 的自上而下控制对语言或情绪冲突更为关键(Xu et al., 2016)。语义冲突中不一致条件下, 反应时改善最显著( $p < 0.001$ ), 可能与左侧颞中回、梭状回的语义表征网络紧密相关(Bedny et al., 2008)。汉语作为非拼音文字, 语义加工更依赖视觉字形与语义网络的整合, DLPFC 的激活可能增强了左半球语言区的功能耦合, 加速语义歧义的消解(Yang et al., 2017)。情绪冲突

中,一致与不一致条件均受益于阳极刺激,可能反映了其双重加工需求——既需抑制情绪干扰(如负性词汇对积极面孔的影响),又需维持效价判断的目标。这一过程可能激活了 DLPFC 与杏仁核、岛叶的连接,从而体现了情绪冲突中认知-边缘系统的交互调控(Phan et al., 2002; Guo et al., 2022)。

本研究最值得关注的发现是,阳极 tDCS 刺激左侧 DLPFC 不仅优化了不一致条件下的冲突解决,还意外提升了情绪冲突一致条件(如消极面孔与消极词汇匹配)的反应效率。这一现象无法用传统的“冲突监测-解决”理论完全解释,而认知空间理论为其提供了新的阐释视角——左侧 DLPFC 可能通过重构情绪-语义信息在认知空间中的表征距离,降低隐性加工竞争,从而实现反应效率的提升(Bellmund et al., 2018; Yang et al., 2024)。

从认知空间理论来看,情绪刺激与语义任务目标在认知空间中构成两个正交维度:情绪效价维度(正性/负性)与语义内容维度(概念意义)。在一致条件下,尽管情绪效价与语义内容匹配(如“快乐”词汇搭配笑脸),但情绪信息的高显著性可能会在认知空间中形成独立于语义目标的表征点,两者之间的“心理距离”可能引发隐性加工竞争(Kanske & Kotz, 2011)。左侧 DLPFC 的兴奋性增强可能通过两种途径调节这一过程:其一,通过增强背内侧前额叶皮层(dmPFC)与顶下小叶的功能连接,将情绪-语义信息的表征点在认知空间中“拉近”,使一致条件下的刺激组合更接近任务目标的表征中心,从而减少认知资源的冗余消耗(Guo et al., 2022);其二,DLPFC 可能下调杏仁核与默认网络的连接强度,压缩情绪维度的表征空间,使情绪刺激的加工更趋近于语义任务的目标模式(Yang et al., 2024)。这种动态调节机制可进一步通过“认知空间压缩”模型解释——左侧 DLPFC 作为认知空间的“调控枢纽”,通过增强任务相关维度(语义内容)的神经表征强度,同时抑制非任务维度(情绪效价)的干扰权重,使一致条件下的刺激组合在认知空间中形成更紧凑的表征簇,从而加速决策进程(Badre et al., 2021)。从神经影像学证据看,这一过程可能伴随左侧 DLPFC 与额顶控制网络的功能连接增强,郭婷婷等(2022)发现,情绪冲突一致条件下,左侧 DLPFC 与背内侧前额叶皮层(dmPFC)的功能连接强度提升,该连接可能支持任务目标的工作记忆维持;同时,DLPFC 与右顶下小叶的连接增强,可能促进情绪-语义信息的空间整合。这种网络重构与认知空间理论的预测一致——即通过增强跨脑区的信息交互,将分散的情绪与语义表征压缩为统一的任务相关单元,从而减少隐性加工竞争(Bellmund et al., 2018)。

这一机制在汉语情绪词加工中表现得更为特殊。汉语作为象形文字,其语义-情绪整合可能涉及左梭状回与额下回的特异性激活(Xue et al., 2006)。当左侧 DLPFC 被激活时,可能通过增强额顶网络(如 DLPFC→左梭状回→角回)的功能连接,将情绪词的视觉形式、语义内容与效价信息在认知空间中编码为统一的表征单元,这种多维整合机制可能使汉语使用者在情绪一致条件下,能更高效地将视觉符号、语义内容与情绪效价编码为统一的认知空间表征,从而解释了 tDCS 刺激后的反应时缩短效应(Pereira et al., 2013)。该解释与“认知空间理论”一致,即通过调节关键脑区的兴奋性,可动态调整不同认知维度的表征权重,使任务相关信息在认知空间中占据优势位置(Bellmund et al., 2018; Yang et al., 2024)。

这一发现为认知空间理论的动态编码提供了新证据。传统冲突理论多关注显性冲突的解决机制,而本研究表明,左侧 DLPFC 可能通过认知空间的表征重构,对隐性情绪-语义竞争也具有关键调控作用。这一机制不仅适用于冲突条件,还能解释情绪一致任务中的效率提升,提示认知控制可能通过持续调节心理表征的空间组织,实现对复杂信息加工的优化(Yang et al., 2024)。未来研究可结合高分辨率脑成像技术,进一步探究 DLPFC 如何动态调节认知空间的神经表征维度,这将为理解情绪障碍中的认知功能异常提供新的干预靶点。

尽管本研究提供了一些行为层面的依据,仍存在以下局限性:1) 样本量较小( $n=26$ ),未来研究需扩大样本量以验证发现的稳健性。2) 在统计分析中,部分交互效应未达到显著水平时仍进行了后续简单效应检验,这一分析思路虽有助于探索潜在规律,但需在解读时保持谨慎,后续研究可通过优化实验设计

减少此类情况的影响。3) 神经机制的多模态验证, 仅行为数据无法揭示 DLPFC 刺激对脑电活动或功能连接的实时影响, 未来可结合 ERP/fMRI 解析刺激前后前额叶-顶叶/边缘系统的功能动态。4) 任务设计的精细化, 情绪一致条件可能包含“情绪启动效应”, 可进一步通过中性刺激对照分离纯目标维持效应; 语义冲突可区分具体/抽象词汇, 探索 DLPFC 对不同语义类型的调控差异。5) 个体差异与临床应用: 样本量较小( $n=26$ ), 且未纳入情绪特质(如焦虑水平)作为协变量, 未来可探索 DLPFC 刺激对高焦虑个体的情绪冲突调节效应, 为焦虑障碍的神经调控提供靶点。

## 5. 结论

本研究通过 tDCS 技术初步揭示了左侧 DLPFC 对汉语认知冲突的因果调控效应, 发现其作用可能不仅限于冲突检测, 更可能通过强化目标维持与额顶网络整合, 优化了语义、情绪冲突(包括一致条件)的解决效率。三种冲突类型在神经机制上可能既依赖共享的额顶控制网络, 又因任务需求分化出特异性通路: 语义冲突可能依赖语言网络耦合, 情绪冲突可能涉及认知-边缘交互, 而 Flanker 空间冲突对 DLPFC 的依赖性较低。情绪一致条件下的促进效应, 可能凸显了 DLPFC 在隐性情绪监控与目标维持中的关键作用, 为理解复杂认知-情绪交互提供了新视角。未来研究需结合更大样本量和多模态神经影像技术, 进一步解析 DLPFC 在不同冲突类型中的功能连接差异, 推动认知神经调控技术的精准化发展。

## 基金项目

本研究得到西南石油大学外国语学院国际油气资源区语言文化研究中心研究生创新项目资助(项目编号: YQCX2024006)。本研究为四川应用心理学研究中心资助项目(编号: CSXL-25223)。

## 参考文献

- 郭婷婷(2022). *情绪冲突和一般认知冲突脑机制的重合与分离*. 硕士学位论文, 大连: 辽宁师范大学.
- 杨国春, 李政汉, 伍海燕, 刘勋(2019). 认知控制的一般性/特异性机制: 研究逻辑和争论. *生理学报*, *71*(1), 140-148.
- Badre, D., Bhandari, A., Keglovits, H., & Kikumoto, A. (2021). The Dimensionality of Neural Representations for Control. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *38*, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2020.07.002>
- Bedny, M., Caramazza, A., Grossman, E., Pascual-Leone, A., & Saxe, R. (2008). Concepts Are More than Percepts: The Case of Action Verbs. *The Journal of Neuroscience*, *28*, 11347-11353. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.3039-08.2008>
- Bellmund, J. L. S., Gärdenfors, P., Moser, E. I., & Doeller, C. F. (2018). Navigating Cognition: Spatial Codes for Human Thinking. *Science*, *362*, eaat6766. <https://doi.org/10.1126/science.aat6766>
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict Monitoring and Cognitive Control. *Psychological Review*, *108*, 624-652. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.108.3.624>
- Cao, J., Wang, X., Liu, H., & Alexandrakis, G. (2018). Directional Changes in Information Flow between Human Brain Cortical Regions after Application of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) over Broca's Area. *Biomedical Optics Express*, *9*, 5296-5317. <https://doi.org/10.1364/boe.9.005296>
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of Goal-Directed and Stimulus-Driven Attention in the Brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*, 201-215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
- Egner, T. (2007). A Functional Neuroanatomy of Conflict and Control: Recent Advances and Unanswered Questions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *31*, 945-958.
- Guo, T., Wang, F., Cao, N., & Liu, H. (2022). Conflicts Influence Affects: An FMRI Study of Emotional Effects in a Conflict Task. *Cognitive Neurodynamics*, *16*, 1261-1271. <https://doi.org/10.1007/s11571-022-09790-6>
- Holland, R., Leff, A. P., Josephs O., et al. (2011). Speech Facilitation by Left Inferior Frontal Cortex Stimulation. *Current Biology*, *21*, 1403-1407. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.07.021>
- Homan, R. W., Herman, J., & Purdy, P. (1987). Cerebral Location of International 10-20 System Electrode Placement. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *66*, 376-382. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(87\)90206-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(87)90206-9)
- Huang, Y., Zhang, B., Cao, J., Yu, S., Wilson, G., Park, J. et al. (2020). Potential Locations for Noninvasive Brain Stimulation in Treating Autism Spectrum Disorders—A Functional Connectivity Study. *Frontiers in Psychiatry*, *11*, Article No. 388.

<https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00388>

- Kanske, P., & Kotz, S. A. (2011). Emotion Triggers Executive Attention: Anterior Cingulate Cortex and Amygdala Responses to Emotional Words in a Conflict Task. *Human Brain Mapping, 32*, 198-208. <https://doi.org/10.1002/hbm.21012>
- Kounios, J., & Holcomb, P. J. (1994). Concreteness Effects in Semantic Processing: ERP Evidence Supporting Dual-Coding Theory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 20*, 804-823. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.20.4.804>
- Li, Z. et al. (2018). Attentional Regulation Mechanisms of Cognitive Control in Conflict Resolution. *Advances in Psychological Science, 26*, 966-974.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An Integrative Theory of Prefrontal Cortex Function. *Annual Review of Neuroscience, 24*, 167-202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Nasseri, P., Nitsche, M. A., & Ekhtiari, H. (2015). A Framework for Categorizing Electrode Montages in Transcranial Direct Current Stimulation. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 54. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00054>
- Pereira, C. S. et al. (2013). The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Language Functions: A Systematic Review. *Brain Stimulation, 6*, 232-241.
- Phan, K. L., Wager, T., Taylor, S. F., & Liberzon, I. (2002). Functional Neuroanatomy of Emotion: A Meta-Analysis of Emotion Activation Studies in PET and fMRI. *NeuroImage, 16*, 331-348. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1087>
- Rivera-Urbina, G. N., Martínez-Castañeda, M. F., Núñez-Gómez, A. M., Molero-Chamizo, A., Nitsche, M. A., & Alameda-Bailén, J. R. (2022). Effects of tDCS Applied over the Left IFG and pSTG Language Areas on Verb Recognition Task Performance. *Psychophysiology, 59*, e14134. <https://doi.org/10.1111/psyp.14134>
- Vuilleumier, P. (2005). How Brains Beware: Neural Mechanisms of Emotional Attention. *Trends in Cognitive Sciences, 9*, 585-594. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.10.011>
- Xu, M., Xu, G., & Yang, Y. (2016). Neural Systems Underlying Emotional and Non-Emotional Interference Processing: An ALE Meta-Analysis of Functional Neuroimaging Studies. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 10*, Article No. 220. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00220>
- Xue, G. et al. (2006). Brain Mechanisms of Semantic Processing: an fMRI Study of Chinese Characters and English Words. *Human Brain Mapping, 27*, 57-67.
- Yang, G., Wu, H., Li, Q., Liu, X., Fu, Z., & Jiang, J. (2024). Dorsolateral Prefrontal Activity Supports a Cognitive Space Organization of Cognitive Control. *eLife, 12*, e87126. <https://doi.org/10.7554/elife.87126>
- Yang, H., Lin, Q., Han, Z., Li, H., Song, L., Chen, L. et al. (2017). Dissociable Intrinsic Functional Networks Support Noun-Object and Verb-Action Processing. *Brain and Language, 175*, 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2017.08.009>