

色-词 Stroop 任务中的冲突类型述评^{*}

唐丹丹 刘培朵 陈安涛

(认知与人格教育部重点实验室(西南大学), 西南大学心理学院, 重庆 400715)

摘要 在认知控制领域中, 色-词 Stroop 任务常被用于研究冲突加工的内在机制。本文首先简述色-词 Stroop 任务中的刺激冲突和反应冲突及研究这两类冲突常用的实验范式。然后介绍这两类冲突的神经动力学特征: 事件相关电位研究显示, N450 的波幅调整反映了大脑对冲突的监测, 持续电位(sustained potential, SP)的波幅调整反映了大脑对反应冲突的解决; 核磁共振成像研究显示, 前扣带回、背外侧前额叶分别在反应冲突的监测、认知控制的执行上扮演着重要的角色。文章最后针对目前研究范式存在的问题提出了改进方法和认知神经研究的新方向。

关键词 色-词 Stroop 任务; 刺激冲突; 反应冲突; 事件相关电位; 核磁共振成像

分类号 B842

1 引言

认知冲突是信息加工过程中任务无关信息对任务相关信息的干扰(Braver, Barch, Gray, Molfese, & Snyder, 2001; Melcher & Gruber, 2009)。在认知神经研究领域, Stroop 任务(Stroop, 1935)被广泛用于研究冲突加工的神经机制。在经典的 Stroop 实验中, 被试的任务是命名字的墨水颜色同时忽略字的意义。在一致条件下, 字的颜色和意义相同(如, 红色的“红”字); 在不一致条件下, 字的颜色和意义不同(如, 红色的“绿”字)。在中性条件下, 则呈现着色的字符串(如, 红色的“XXXXX”)或者着色的、不具有颜色意义的中性汉字(如, 红色的“格”字)。和一致条件、中性条件相比, 被试在不一致条件下的反应时更长、错误率更高, 此即 Stroop 干扰效应(MacLeod, 1991)。现有的研究认为, Stroop 干扰效应的产生是刺激冲突和反应冲突共同作用的结果(Szücs & Soltész, 2010)。

收稿日期: 2011-12-28

^{*} 国家自然科学基金项目(31170980), 全国博士学位论文作者专项资金资助项目(201107), 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-11-0698), 中央高校基本科研业务费专项资金(SWU1009001), 211 工程国家重点学科建设项目(NSKD11006)资助。

通讯作者: 陈安涛, E-mail: xscat@swu.edu.cn

2 色-词 Stroop 任务中的冲突类型

2.1 刺激冲突和反应冲突

在色-词 Stroop 任务中包含了两类冲突: 刺激冲突和反应冲突(Chen, Bailey, Tiernan, & West, 2011; De Houwer, 2003; Schmidt & Cheesman, 2005; van Veen & Carter, 2005)。Klopfer (1996)将色-词 Stroop 任务中刺激冲突定义为靶刺激引起的任务相关维度(颜色)和分心刺激引起的任务无关维度(字义)之间的干扰。所以, 颜色和语义的相似性决定了干扰效应的大小, 颜色和语义越相似, 干扰效应越小(Brown & Besner, 2001)。在一致条件下, 颜色和语义相同, 语义不会对被试的反应产生干扰; 在不一致条件下, 颜色和语义不同, 语义会干扰被试的反应。另外的研究显示, 当任务只要求被试判断字义和颜色是否相同, 如果颜色和字义相同, 则做肯定反应; 如果颜色和字义不同, 则做否定反应。结果显示, 在反应时上, 否定反应显著慢于肯定反应(Luo, 1999; Zysset, Müller, Lohmann, & Von Cramon, 2001), 这一结果即支持了 Klopfer (1996)的观点: 色-词 Stroop 干扰效应来源于刺激冲突。而 Schmidt 和 Cheesman (2005)用不同的颜色呈现和颜色相关的中性单词(如, 红色的“SKY”)来研究色-词 Stroop 任务中的冲突类型。他们认为虽然字义本身不包

含颜色信息,但与颜色信息相关(如,天空是蓝色的)。当要求被试对颜色做反应时(红色和蓝色映射到同一个反应键),虽然刺激激活的语义概念“天空”不会对颜色反应“红色”产生干扰,但被试会通过语义联想到“蓝色”,所以在这些试次中会产生刺激冲突。由上可知,色-词 Stroop 任务中刺激冲突即刺激本身的或隐含的颜色维度和字义维度之间的冲突。关于反应冲突,简言之即是执行反应之前,两种不相容的反应趋势之间的竞争(de Houwer, 2003)。这种竞争即产生反应冲突,进一步导致 Stroop 干扰效应。而 Milham 等(2001)、West, Bowry 和 McConville (2004) 采用不一致-重叠(incongruent-eligible)范式发现,当不一致的颜色词与反应集重叠时,语义将自动激活相应的反应趋势,从而与单词颜色所激活的反应趋势竞争,产生反应冲突,在这种条件下,被试的反应时比一致条件的更长;当不一致的颜色词不与反应集重叠时,产生刺激冲突,被试的反应时也比一致条件的更长。这说明刺激冲突和反应冲突都可以导致色-词 Stroop 干扰效应。

2.2 刺激冲突和反应冲突的比较

刺激冲突和反应冲突属于两种不同的冲突类型。在 Simon 任务(Simon, 1990)中主要表现为反应冲突,在 Flanker 任务(Eriksen & Eriksen, 1974)或 Stroop 任务中则既存在刺激冲突又存在反应冲突。除此之外,刺激冲突和反应冲突的差别还主要表现在以下三个方面:

(1) 产生的方式不同。在刺激加工阶段出现的干扰产生刺激冲突,在反应输出阶段出现的干扰产生反应冲突。并且,颜色和单词之间的语义差异诱发刺激冲突;在此基础上,不一致的单词意义激活的反应通道与颜色激活的反应通道竞争时,产生反应冲突。

(2) 产生的时间顺序不同。刺激冲突产生于冲突加工的早期阶段,主要涉及到语义或概念之间的竞争(Brown & Besner, 2001; Luo, 1999; Zhang & Kornblum, 1998);反应冲突产生于冲突加工的晚期阶段,主要涉及到反应加工或反应输出过程中的竞争。在不一致条件下,单词的语义首先自动激活相应的反应通道,而颜色随后激活另一个反应通道,当颜色和语义激活的两个不同的反应通道相互竞争时,即产生反应冲突。

(3) 练习对二者的影响不同。研究证实,刺激

冲突随练习的增加而减少,最后可能完全消失;而反应冲突随练习的增加,变化不大。由于刺激冲突和反应冲突共同决定了色-词 Stroop 干扰效应的大小,并且在练习的过程中,反应冲突始终存在,减少的主要是刺激冲突,这便可以解释为什么色-词 Stroop 干扰效应随着练习的增加有所减少但始终存在。另外的研究证实即使经过大量的训练(30~50 天)之后,干扰效应仍然存在(Davidson, Zacks, & Williams, 2003; Shor, Hatch, Hudson, Landrigan, & Shaffer, 1972)。也有研究证实,在训练的早期阶段,干扰效应急剧减少,晚期阶段减少的幅度逐渐放慢(Dulaney & Rogers, 1994; Macleod, 1998; Stroop, 1935),最后干扰效应几乎不变。由上可知,刺激冲突很容易受到练习的影响,而反应冲突则对练习不敏感。

3 刺激冲突和反应冲突的研究范式

现有研究通常采用 2-1 的反应映射范式(2-1 Mapping Paradigm) (De Houwer, 2003; Eriksen & Eriksen, 1974)和一致-重叠任务(Milham et al., 2001; West et al., 2004)来分离刺激冲突和反应冲突。

3.1 2-1 的反应映射范式

一些研究(Chen et al., 2011; van Veen & Carter, 2005)采用 2-1 的反应映射范式(De Houwer, 2003; Eriksen & Eriksen, 1974)来实现刺激冲突和反应冲突的分离。简言之,“2-1”即两种颜色映射到同一个反应键。如果字的颜色有红、绿、黄、蓝四种,字义也有“红”、“绿”、“黄”、“蓝”四种。当要求被试根据字的颜色做反应时(如,红色或绿色按左键,黄色或蓝色按右键),根据刺激和反应的相容性,将会产生三种条件:一致条件(CO, 字的颜色和意义一致,如红色的“红”字),刺激不一致条件(SI, 字的颜色和意义不一致,但反应键相同,如红色的“绿”字),反应不一致条件(RI, 字的颜色和意义不一致,反应键也不一致,如红色的“黄”字)。由于 CO 条件不包含冲突,SI 条件只包含刺激冲突,RI 条件既包含刺激冲突又包含反应冲突,那么在反应时上,CO 条件快于 SI 条件,并且 SI 条件快于 RI 条件。根据减法反应时原理,SI 条件与 CO 条件的反应时之差代表刺激冲突的大小,这类冲突发生在刺激加工的早期或中期阶段,涉及到刺激的评估或目标的监测(van Veen &

Carter, 2005)。RI 条件与 SI 条件的反应时之差代表反应冲突的大小, 这类冲突发生在较晚期的反应输出阶段, 涉及到分心物和目标反应之间的竞争。

3.2 不一致-重叠范式

不一致-重叠范式(Milham, et al., 2001; West, et al., 2004)常被用于考察色-词 Stroop 任务中的冲突类型。例如, 字义有“红”、“绿”、“黄”、“蓝”四种, 字的颜色只有红和绿两种。如果红和绿两种颜色分别对应左、右两种反应, 而黄和蓝不对应任何反应, 那么在一致条件(如, 红色的“红”字), 颜色和字义一致, 不产生冲突; 在不一致-不重叠(incongruent-ineligible, 红色的“蓝”字)条件, 虽然字义和颜色不同, 但字义不与反应集重叠, 所以只产生刺激冲突; 在不一致-重叠(incongruent-eligible, 红色的“绿”字)条件, 字义和颜色不同, 并且字义与反应集重叠, 所以同时包含了刺激冲突和反应冲突。在反应时上, 一致条件快于不一致-不重叠条件, 不一致-不重叠条件快于不一致-重叠条件。不一致-重叠条件与不一致-不重叠条件的反应时之差由反应冲突引起; 不一致-不重叠条件与一致条件的反应时之差由刺激冲突引起。

3.3 两种范式的比较分析

2-1 的反应映射范式和一致重叠范式之间并没有优劣之分, 采用这两类范式研究刺激冲突和反应冲突所得出的结果比较一致。这两种范式都依赖减法反应时原理, 对刺激冲突和反应冲突进行分离, 以单独考察色-词 Stroop 干扰效应的来源。但就两者的应用范围来看, 不一致-重叠范式的应用范围更广; 2-1 的反应映射范式不适用于只有两种反应的冲突任务, 如箭头 Flanker 任务和空间 Stroop 任务(都是左右反应或上下反应)。

4 刺激冲突和反应冲突的神经动力学特征

4.1 事件相关电位(event-related potential, ERP)研究

为了考察刺激冲突和反应冲突的神经动力学特征, ERP 研究结果为分离这两类冲突提供了认知神经上的证据。虽然在行为数据上, 由刺激冲突或反应冲突所产生的干扰效应并无显著差异, 但大脑对这两类冲突的监测和解决涉及到不同的神经机制(Milham et al., 2001; van Veen & Carter,

2005; West et al., 2004)。

研究证实, 色-词 Stroop 任务中特定的脑电成分主要有两种(Chen et al., 2011; Clayson & Larson, 2011; Liotti, Woldorff, Perez III, & Mayberg, 2000; West, 2003; West & Alain, 2000; West, Choi, & Travers, 2010): 中前部/侧前额叶负波(N450)、持续电位(sustained potential, SP)。虽然与 N450 功能相似的 N2 成分在监测早期的知觉冲突上起重要作用, 但它通常在 Flanker 任务中出现。即当需要对刺激进行早期的区分和辨别时, 不一致条件诱发的 N2 波幅比一致条件的更大(Danielmeier, Wessel, Steinhauser, & Ullsperger, 2009; Forster, Carter, Cohen, & Cho, 2011; Kanske & Kotz, 2010)。由于色-词 Stroop 任务中的冲突出现在刺激加工的晚期阶段(Hanslmayr et al., 2008), 那么早期的脑电成分(如 P1, N1, P2, N2)在不一致条件和一致条件下应该无显著差异(Larson, Kaufman, & Perlstein, 2009; West et al., 2004), 因此大部分研究都考察较晚期的脑电成分。

色-词 Stroop 任务中, 由大脑皮层的中前部或外侧前额叶诱发的 N450 成分与大脑对冲突的监测有关(Coderre, Conklin, & van Heuven, 2011; Larson, Farrer, & Clayson, 2011; Larson et al., 2009; Liotti et al., 2000; Stekelenburg, Sugano, & Vroomen, 2011; West, 2003; West & Alain, 1999, 2000; West, Jakubek, Wymbs, Perry, & Moore, 2005), 其峰值大约出现在刺激呈现后 400 ~ 500 ms。在中前部, 不一致条件的波幅更负(Kadosh et al., 2007; Szűcs & Soltész, 2007, 2008; Szűcs, Soltész, & White, 2009); 但在侧前区(lateral frontal regions), N450 的极性发生倒转, 不一致条件的波幅更正。有研究证实, 反应冲突和非反应冲突都会诱发 N450 (West et al., 2004), 说明 N450 反映了广泛的冲突监测形式, 敏感于反应冲突和非反应冲突(Szűcs & Soltész, 2010)。

ERP 源定位显示, 前扣带回(anterior cingulate cortex, ACC) (Szűcs et al., 2009)和早期的前额叶皮质(anterior frontal cortex)可能是 N450 成分的神经发生源(Chen et al., 2011; Markela-Lerenc et al., 2004)。虽然这些证据可以说明 ACC 和早期的前额叶皮质的激活都与冲突监测有关, 但是它们监测的冲突类型可能不同。Markela-Lerenc 等(2004)的研究发现, 前额叶所诱发的 N450 产生于 350ms

到 450 ms 之间, (中前部)ACC 所诱发的 N450 产生于 450 ms 到 550 ms 之间。这说明前额叶诱发的 N450 可能反映早期的刺激冲突的监测, 而(中前部)ACC 诱发的 N450 可能反映晚期的反应冲突的监测。Chen 等(2011)发现, 对于头皮中前部的 N450 成分, RI 条件的波幅显著大于 SI 和 CO 条件的波幅, 说明头皮中前部的 N450 可能反映了反应冲突的监测。这和采用不同的研究范式所得的结果一致(Liotti et al., 2000; Milham et al., 2001; van Veen, Cohen, Botvinick, Stenger, & Carter, 2001), 也一致于冲突监测的假设(Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001): 在 RI 条件下, 靶刺激和分心刺激所激活的反应不同, 这将导致两个互相竞争的反应趋势。此时, (中前部)ACC 监测到反应冲突, 诱发波幅更大的 N450。但在 SI 或 CO 条件下, 靶刺激和分心刺激所激活的反应相同, 没有反应冲突产生, 所以 N450 的波幅更小。由于 Chen 等只考察了头皮中前部的 N450, 而没有直接考察前额叶的 N450, 这便不能探究前额叶的 N450 所监测的冲突类型。所以, 今后的研究可以考察不同脑区的 N450 所监测的冲突类型。

SP 也是色-词 Stroop 任务中特定的脑电成分(West, 2003), 它是出现在 N450 后面的持续性的中顶部正波/侧前部负波(Appelbaum, Meyerhoff, & Woldorff, 2009; Coderre et al., 2011; Donohue, Liotti, Perez, & Woldorff, 2011; Liotti et al., 2000; West, 2003; West & Alain, 2000)。在中顶部, 不一致条件比一致条件的波幅更正; 在侧前部, 不一致条件比一致条件的波幅更负。SP 的潜伏期的范围通常与平均反应时重叠, 大约出现在刺激呈现后 500 ms, 一直持续到 1200 ms。关于 SP 的神经功能, 研究之间还存在很多争议。有研究显示, 在正确的一致试次或错误试次中, SP 的波幅更负, 在正确的不一致试次中的波幅更正, 这可能说明 SP 与反应冲突的解决有关(Donohue et al., 2011; Liotti et al., 2000; West, 2003; West & Alain, 2000)。另外的研究显示(Chen et al., 2011), 在顶部和右侧前额叶, SI 和 RI 条件都诱发了明显的 SP 成分, 说明顶部和右侧前额叶的 SP 成分与刺激冲突和反应冲突的加工都有关(West et al., 2005); 而在左侧前区(left lateral frontal region), 只有 RI 条件诱发了更显著的 SP 成分, 这说明左侧前区的

激活只与反应冲突的解决有关(Milham et al., 2001; van Veen & Carter, 2005)。由此可见, 前额叶 SP 的神经功能可能存在半球差异: 左前额叶主要负责加工(解决)反应冲突, 而右前额叶对反应冲突和刺激冲突都较敏感。为了确定 SP 的神经触发源, 一些研究采用偶极子定位技术将 SP 定位于右顶叶皮层(Bunge, Hazeltine, Scanlon, Rosen, & Gabrieli, 2002)和侧前额叶(Liotti et al., 2000; West, 2003; West & Alain, 2000), 但 Hanslmayr 等(2008)将 SP 定位于 ACC。这可能是由 ERP 技术空间分辨率差或任务类型不同造成, 将来的研究可以联合运用多种冲突任务以及 ERP、核磁共振成像(fMRI)技术, 以进一步澄清这些争议。

综上所述, 在色-词 Stroop 任务中, 由于被试对刺激的早期知觉加工在一致和不一致条件下并无差异, 冲突主要出现在对字义的晚期加工上。所以今后的研究如果要进一步考察色-词 Stroop 任务中的冲突类型, 那么 N450 和 SP 都是很好的 ERP 指标。尽管现有研究对于 N450 所监测的冲突类型还有很多争议(Szűcs & Soltész, 2010), 但我们认为 N450 反映了大脑对反应冲突和非反应冲突的监测, SP 反映了大脑对反应冲突的解决。从偶极子定位结果来看, 虽然 N450 和 SP 的神经发生源仍存在很多争议, 但 N450 和 SP 的发生源是分离的, 这可能说明冲突监测和冲突解决需要不同脑区的相互作用。

4.2 fMRI 研究

fMRI 技术具有很高的空间分辨率, 这使得精确的定位与冲突监测和冲突解决相关的脑区成为可能。许多的神经成像研究证实, ACC、背外侧前额叶(dorsal lateral prefrontal cortex, DLPFC)在冲突监测、冲突解决上起到了重要作用, 后顶叶(posterior parietal cortex, PPC)也可能参与冲突的调整过程(Carter & Van Veen, 2007; Fan, Flombaum, McCandliss, Thomas, & Posner, 2003; Liston, Matalon, Hare, Davidson, & Casey, 2006; MacDonald, Cohen, Stenger, & Carter, 2000; Mansouri, Tanaka, & Buckley, 2009; Milham et al., 2001)。

ACC 负责监测任务中同时激活的反应冲突或信息加工过程中较后期阶段的冲突(Barch, Braver, Sabb, & Noll, 2000; Botvinick et al., 2001; Botvinick, Nystrom, Fissell, Carter, & Cohen, 1999; Carter et al.,

1998; Cohen, Botvinick, & Carter, 2000; Mitchell, 2006; van Veen et al., 2001)。当任务中需要反应抑制、选择性注意、目标选择或新颖的反应时, ACC 的激活会增加。DLPFC 则接收来自 ACC 的冲突监测信号, 调整认知资源, 使其重新被分配到与任务有关的加工上, 从而顺利执行自上而下的注意控制, 解决冲突(Blais & Bunge, 2010; Botvinick et al., 2001; Botvinick et al., 1999; Carter et al., 1998; Kerns et al., 2004; Smith & Jonides, 1999; Yeung, Botvinick, & Cohen, 2004)。PPC 的激活反映了大脑对反应冲突的调整或刺激-反应的转换和视觉空间的相关刺激的选择(Bunge et al., 2002; Iyer, Lindner, Kagan, & Andersen, 2010; Mansouri et al., 2009)。有研究发现, DLPFC 和 PPC 的激活都敏感于刺激冲突(Liston et al., 2006); Milham 等(2001)的结果显示, 非反应冲突激活了 PPC; 另外的研究(Milham et al., 2002)结果显示, 在一致的试次上也有 PPC 的激活。而 Kim 等(2010)的研究显示, 刺激冲突和反应冲突都激活了 PPC。这些结果说明 PPC 可能在冲突任务中扮演者多重角色, 或者它对任务中出现的冲突和非冲突都较敏感。

van Veen 和 Carter (2005)采用 2-1 的实验范式考察色-词 Stroop 任务中的冲突类型及相应的神经动力学特征。实验结果表明, 大脑有截然不同的但又相似的机制处理不同加工水平上的冲突, 以保证注意资源的合理分配, 从而解决冲突。ACC 既能监测刺激冲突又能监测反应冲突, 然后发出信号警示 DLPFC; 而 DLPFC 能解决语义冲突或信息加工过程中处于中间水平的冲突。也有研究采用 fMRI 技术考察色-词 Stroop 任务中与练习相关的神经激活的改变(Milham, Banich, Claus, & Cohen, 2003)。结果显示, 随练习的增加, ACC 的激活减少得更快更多, 而 DLPFC 则表现出持续的激活模式并且独立于 ACC 的激活。进一步地, ACC 的激活在练习的早期阶段便急剧减弱, 但 DLPFC 的激活逐渐减弱, 在练习的后期阶段几乎不再变化。这说明 ACC 的激活敏感于练习, 随着练习的增加, 由刺激冲突引起的 ACC 的激活减弱, 所以在行为上表现为刺激冲突急剧减少; 而 DLPFC 的激活对练习不敏感, 反映了自上而下的注意控制加工, 所以在行为上表现为反应冲突基本保持不变。

最近的研究发现背外侧前扣带回缘部

(rostral dorsal ACC, rdACC)在监测反应冲突的过程中出现显著激活, 而背外侧前扣带回尾部(caudal dorsal ACC, cdACC)的激活与刺激冲突的监测有关(Kim, Kroger, & Kim, 2011); 也有研究发现 DLPFC 能在反应冲突的调整中被激活(Roelofs et al., 2006)。这些结果与 Kim 等(2010)的研究结果一致, Kim 等也发现基于知觉的冲突和基于反应的冲突的监测—控制网络出现了分离: rdACC 能监测反应冲突, DLPFC 负责对反应冲突进行控制; 而 cdACC 能监测刺激冲突, 背外侧前运动皮层(dorsal portion of premotor cortex, pre-PMd)的一部分负责对刺激冲突进行控制。

综上所述, ACC 和 DLPFC 的不同区域可能负责监测和控制不同类型的冲突, ACC 和 DLPFC 对刺激冲突和反应冲突的监控都较敏感。不仅如此, ACC 和前额叶的共同激活可能还与符号提示的反应准备加工有关(Sohn, Albert, Jung, Carter, & Anderson, 2007), 而且独立于先前的反应冲突和错误(Aarts, Roelofs, & van Turennout, 2008)。另有研究认为, ACC 的激活强度随着任务中不一致试次比例的增加而增加, 而 DLPFC 的激活独立于不一致试次的比例(Mitchell, 2010), 说明 ACC 的激活更依赖于先前经历的冲突和任务环境。即当不一致试次的比例很大时(如, 一致和不一致试次的比例为 3:7), 任务中的冲突更大, 大脑必须调用更多的资源在当前试次上才能顺利执行冲突监测任务, 所以 ACC 的激活更强。但是, Mitchell 没有发现 DLPFC 的激活变化。所以今后的研究可以考察 DLPFC 的激活是否也随刺激比例的变化而变化以及大脑不同区域之间的功能连接, 以构建和认知控制有关的大脑网络。

5 小结和展望

色-词 Stroop 任务中的刺激冲突和反应冲突有各自的神经基础。围绕这两类冲突, 研究者们对色-词 Stroop 干扰效应的产生机制以及冲突的解决机制做了深入的探讨, 但在一些问题上还存在争论, 需要进一步研究证实。

首先, 在 2-1 的反应映射范式中, 以 CO 条件为基线可能不太合适。实验中假设 CO 条件不包含冲突, 通常被选为基线。再根据减法反应时原理, 在反应时或相应脑区的激活上, 用 SI-CO 得到刺激冲突, RI-SI 得到反应冲突。而 CO 条件本

身反映了分心刺激(字义)对靶刺激(颜色)加工的助长作用(Roelofs et al., 2006), 所以 CO 条件的反应时比中性条件的更短; 但是 SI 条件包含了刺激冲突, 所以反应时更长。用 SI-CO, 可能就因混淆了刺激的助长作用而放大了刺激冲突。为了解决这个问题, 可以再添加没有颜色意义的中性字(neutral, 简称 N, 颜色和字义加工既不互相干扰也不相互助长)和非词(non-word, 简称 NW, 只包含颜色加工)作为中性条件(Szűcs & Soltész, 2010)。以 N 试次为基线, 用 N-CO 得到刺激助长效应、SI-N 得到刺激冲突, RI-SI 得到反应冲突。再以 NW 条件为基线, 用 N-NW 得到刺激的语义加工。这样不仅可以考察分心刺激对靶刺激的干扰, 还可以考察分心刺激对靶刺激的助长作用以及色-词 Stroop 任务中的语义加工机制。而现有研究中考察冲突解决策略的很多, 很少同时考察刺激的助长作用及语义加工机制。加入这两类中性刺激后, 可能会在同一个任务中分离出冲突加工、冲突解决, 反应助长和语义加工的神经机制。

其次, 在研究手段上, 可以联合运用肌电(electro-myography, EMG)和 ERP (Szűcs & Soltész, 2010)技术考察色-词 Stroop 任务中的冲突类型。EMG 通过监测和记录正确的反应试次中不正确的反应手的激活来直接测量反应冲突。它的时间分辨率可以达到 1~2 ms, 所以采用 EMG 技术不仅可以分离出正确试次上的不正确的反应激活, 而且还可以直接考察刺激冲突和反应冲突的时间动态。因此, 联合 EMG 和 ERP 的结果, 可以提供关于冲突解决过程的直接证据。

再次, 尽管 fMRI 研究结果支持 ACC 和 DLPFC 的激活与提示相关的反应准备加工有关(Sohn et al., 2007), 但是 fMRI 技术的时间分辨率不高, 不能精确地考察反应准备与冲突解决的时间动力学特征。所以联合采用高时空分辨率的 ERP-fMRI 技术和提示-目标实验范式, 诱发与反应准备有关的 ERP 成分, 再对这些成分进行精确的大脑定位, 以探究反应准备与冲突解决的时空动力学特征。

最后, 可以更深入地考察冲突解决的神经成像机制。尽管很多研究结果都支持 ACC 监测冲突的发生, 然后 DLPFC 接收来自 ACC 的冲突监测信号, 调整认知资源以解决冲突。但除了 ACC-DLPFC 的冲突监控回路之外, 还有其他的

脑区参与冲突的解决过程。如, 中前部皮质(medial frontal cortex, MFC)到蓝斑(locus coeruleus, LC)回路。Verguts 和 Notebaert (2009)认为整个 MFC 扮演着行为监测的角色。MFC 能监测反应冲突, 然后将冲突信号发送到皮层下的 LC 区域, LC 再弥散性地向大脑皮质释放去甲肾上腺素(noradrenalin, NA)。NA 通过一种获得性机制增加与任务相关的神经元的活性, 同时抑制与任务无关的神经元的活性。那么任务相关的信息被增强, 任务无关的信息被抑制, 最终解决冲突, 优化有机体的行为(Rainer, 2007)。因此, 将来的研究可以采用 fMRI 技术扫描 LC, 考察 MFC-LC 回路的激活变化, 探讨冲突的解决机制以及刺激的助长作用。但是由于 LC 本身很小且位于脑干较深的区域, 通过标准的三维像素校正后, 在 fMRI 的结果中很难发现 LC 的激活, 因此即使在冲突任务中出现了 LC 的激活也很难被观察到(Verguts & Notebaert, 2009)。为了解决这一问题, 与其它的皮层下区域的扫描方法一样(D'Ardenne et al., 2008), 采用特定的 fMRI 扫描技术, 可能会观察到 LC 的激活。

参考文献

- Aarts, E., Roelofs, A., & van Turenout, M. (2008). Anticipatory activity in anterior cingulate cortex can be independent of conflict and error likelihood. *The Journal of Neuroscience*, 28(18), 4671-4678.
- Appelbaum, L., Meyerhoff, K., & Woldorff, M. (2009). Priming and backward influences in the human brain: Processing interactions during the Stroop interference effect. *Cerebral Cortex*, 19(11), 2508-2521.
- Barch, D. M., Braver, T. S., Sabb, F. W., & Noll, D. C. (2000). Anterior cingulate and the monitoring of response conflict: Evidence from an fMRI study of overt verb generation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(2), 298-309.
- Blais, C., & Bunge, S. (2010). Behavioral and neural evidence for item-specific performance monitoring. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(12), 2758-2767.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108(3), 624-652.
- Botvinick, M. M., Nystrom, L. E., Fissell, K., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, 402(6758), 179-180.

- Braver, T. S., Barch, D. M., Gray, J. R., Molfese, D. L., & Snyder, A. (2001). Anterior cingulate cortex and response conflict: Effects of frequency, inhibition and errors. *Cerebral Cortex*, 11(9), 825–836.
- Brown, M., & Besner, D. (2001). On a variant of Stroop's paradigm: Which cognitions press your buttons? *Memory & Cognition*, 29(6), 903–904.
- Bunge, S. A., Hazeltine, E., Scanlon, M. D., Rosen, A. C., & Gabrieli, J. D. E. (2002). Dissociable contributions of prefrontal and parietal cortices to response selection. *NeuroImage*, 17(3), 1562–1571.
- Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D., & Cohen, J. D. (1998). Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science*, 280(5364), 747–749.
- Carter, C. S., & van Veen, V. (2007). Anterior cingulate cortex and conflict detection: An update of theory and data. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7(4), 367–379.
- Chen, A., Bailey, K., Tiernan, B. N., & West, R. (2011). Neural correlates of stimulus and response interference in a 2-1 mapping stroop task. *International Journal of Psychophysiology*, 80, 129–138.
- Clayson, P. E., & Larson, M. J. (2011). Conflict adaptation and sequential trial effects: Support for the conflict monitoring theory. *Neuropsychologia*, 49(7), 1953–1961.
- Coderre, E., Conklin, K., & van Heuven, W. J. B. (2011). Electrophysiological measures of conflict detection and resolution in the Stroop task. *Brain Research*, 1413(21), 51–59.
- Cohen, J. D., Botvinick, M. M., & Carter, C. S. (2000). Anterior cingulate and prefrontal cortex: Who's in control? *Nature Neuroscience*, 3, 421–423.
- D'Ardenne, K., McClure, S. M., Nystrom, L. E., & Cohen, J. D. (2008). BOLD responses reflecting dopaminergic signals in the human ventral tegmental area. *Science*, 319(5867), 1264–1267.
- Danielmeier, C., Wessel, J. R., Steinhauser, M., & Ullsperger, M. (2009). Modulation of the error-related negativity by response conflict. *Psychophysiology*, 46(6), 1288–1298.
- Davidson, D. J., Zacks, R. T., & Williams, C. C. (2003). Stroop interference, practice, and aging. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 10(2), 85–98.
- De Houwer, J. (2003). On the role of stimulus-response and stimulus-stimulus compatibility in the Stroop effect. *Memory & Cognition*, 31(3), 353–359.
- Donohue, S. E., Liotti, M., Perez, R., & Woldorff, M. G. (2011). Is conflict monitoring supramodal? Spatiotemporal dynamics of cognitive control processes in an auditory Stroop task. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 12, 1–15.
- Dulaney, C. L., & Rogers, W. A. (1994). Mechanisms underlying reduction in Stroop interference with practice for young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(2), 470–484.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 16(1), 143–149.
- Fan, J., Flombaum, J. I., McCandliss, B. D., Thomas, K. M., & Posner, M. I. (2003). Cognitive and brain consequences of conflict. *NeuroImage*, 18(1), 42–57.
- Forster, S. E., Carter, C. S., Cohen, J. D., & Cho, R. Y. (2011). Parametric manipulation of the conflict signal and control-state adaptation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(4), 923–935.
- Hanslmayr, S., Pastötter, B., Bäuml, K. H., Gruber, S., Wimber, M., & Klimesch, W. (2008). The electrophysiological dynamics of interference during the Stroop task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(2), 215–225.
- Iyer, A., Lindner, A., Kagan, I., & Andersen, R. A. (2010). Motor preparatory activity in posterior parietal cortex is modulated by subjective absolute value. *PLoS Biology*, 8(8), e1000444.
- Kadosh, R. C., Kadosh, K. C., Linden, D. E. J., Gevers, W., Berger, A., & Henik, A. (2007). The brain locus of interaction between number and size: A combined functional magnetic resonance imaging and event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(6), 957–970.
- Kanske, P., & Kotz, S. A. (2010). Modulation of early conflict processing: N200 responses to emotional words in a flanker task. *Neuropsychologia*, 48, 3661–3664.
- Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald, A. W., Cho, R. Y., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2004). Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science*, 303(5660), 1023–1026.
- Kim, C., Chung, C., & Kim, J. (2010). Multiple cognitive control mechanisms associated with the nature of conflict. *Neuroscience Letters*, 476, 156–160.
- Kim, C., Kroger, J. K., & Kim, J. (2011). A functional dissociation of conflict processing within anterior cingulate cortex. *Hum Brain Mapp*, 32(2), 304–312.
- Klopfer, D. S. (1996). Stroop interference and color-word similarity. *Psychological Science*, 7(3), 150–157.
- Larson, M. J., Farrer, T. J., & Clayson, P. E. (2011). Cognitive control in mild traumatic brain injury: Conflict monitoring and conflict adaptation. *International Journal of*

- of *Psychophysiology*, 82(1), 69–78.
- Larson, M. J., Kaufman, D. A. S., & Perlstein, W. M. (2009). Neural time course of conflict adaptation effects on the Stroop task. *Neuropsychologia*, 47(3), 663–670.
- Liotti, M., Woldorff, M. G., Perez III, R., & Mayberg, H. S. (2000). An ERP study of the temporal course of the Stroop color-word interference effect. *Neuropsychologia*, 38, 701–711.
- Liston, C., Matalon, S., Hare, T. A., Davidson, M. C., & Casey, B. (2006). Anterior cingulate and posterior parietal cortices are sensitive to dissociable forms of conflict in a task-switching paradigm. *Neuron*, 50(4), 643–653.
- Luo, C. R. (1999). Semantic competition as the basis of Stroop interference: Evidence from color-word matching tasks. *Psychological Science*, 10(1), 35–40.
- MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288(5472), 1835–1838.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163–203.
- MacLeod, C. M. (1998). Training on integrated versus separated Stroop tasks: The progression of interference and facilitation. *Memory & Cognition*, 26(2), 201–211.
- Mansouri, F. A., Tanaka, K., & Buckley, M. J. (2009). Conflict-induced behavioural adjustment: A clue to the executive functions of the prefrontal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(2), 141–152.
- Markela-Lerenc, J., Ille, N., Kaiser, S., Fiedler, P., Mundt, C., & Weisbrod, M. (2004). Prefrontal-cingulate activation during executive control: Which comes first? *Cognitive Brain Research*, 18(3), 278–287.
- Melcher, T., & Gruber, O. (2009). Decomposing interference during Stroop performance into different conflict factors: An event-related fMRI study. *Cortex*, 45(2), 189–200.
- Milham, M. P., Banich, M. T., Claus, E. D., & Cohen, N. J. (2003). Practice-related effects demonstrate complementary roles of anterior cingulate and prefrontal cortices in attentional control. *NeuroImage*, 18(2), 483–493.
- Milham, M. P., Banich, M. T., Webb, A., Barad, V., Cohen, N. J., Wszalek, T., et al. (2001). The relative involvement of anterior cingulate and prefrontal cortex in attentional control depends on nature of conflict. *Cognitive Brain Research*, 12(3), 467–473.
- Milham, M. P., Erickson, K. I., Banich, M. T., Kramer, A. F., Webb, A., Wszalek, T., et al. (2002). Attentional control in the aging brain: Insights from an fMRI study of the Stroop task. *Brain and Cognition*, 49(3), 277–296.
- Mitchell, R. L. C. (2006). Anterior cingulate activity and level of cognitive conflict: Explicit comparisons. *Behavioral Neuroscience*, 120(6), 1395–1401.
- Mitchell, R. L. C. (2010). Linear increases in BOLD response associated with increasing proportion of incongruent trials across time in a colour Stroop task. *Experimental Brain Research*, 203(1), 193–204.
- Rainer, G. (2007). Behavioral flexibility and the frontal lobe. *Neuron*, 53(3), 321–323.
- Roelofs, A., van Turenout, M., & Coles, M. G. (2006). Anterior cingulate cortex activity can be independent of response conflict in Stroop-like tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(37), 13884–13889.
- Schmidt, J. R., & Cheesman, J. (2005). Dissociating stimulus-stimulus and response-response effects in the Stroop task. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Exp (c) Rimentale*, 59(2), 132–138.
- Shor, R. E., Hatch, R. P., Hudson, L. J., Landrigan, D. T., & Shaffer, H. J. (1972). Effect of practice on a Stroop-like spatial directions task. *Journal of Experimental Psychology*, 94(2), 168–172.
- Simon, J. R. (1990). The effects of an irrelevant directional cue on human information processing. In R. W. Proctor & T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus-response compatibility*, (pp. 31–86). Amsterdam: Elsevier.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283(5408), 1657–1661.
- Sohn, M. H., Albert, M. V., Jung, K., Carter, C. S., & Anderson, J. R. (2007). Anticipation of conflict monitoring in the anterior cingulate cortex and the prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(25), 10330–10334.
- Stekelenburg, J. J., Sugano, Y., & Vroomen, J. (2011). Neural correlates of motor-sensory temporal recalibration. *Brain Research*, 1397, 46–54.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643–662.
- Szűcs, D., & Soltész, F. (2007). Event-related potentials dissociate facilitation and interference effects in the numerical Stroop paradigm. *Neuropsychologia*, 45(14), 3190–3202.
- Szűcs, D., & Soltész, F. (2008). The interaction of task-relevant and task-irrelevant stimulus features in the number/size congruency paradigm: An ERP study. *Brain Research*, 1190, 143–158.
- Szűcs, D., & Soltész, F. (2010). Stimulus and response

- conflict in the color-word Stroop task: A combined electro-myography and event-related potential study. *Brain Research*, 1325, 63–76.
- Szűcs, D., Soltész, F., & White, S. (2009). Motor conflict in Stroop tasks: Direct evidence from single-trial electro-myography and electro-encephalography. *NeuroImage*, 47(4), 1960–1973.
- van Veen, V., & Carter, C. S. (2005). Separating semantic conflict and response conflict in the Stroop task: A functional MRI study. *NeuroImage*, 27(3), 497–504.
- van Veen, V., Cohen, J. D., Botvinick, M. M., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2001). Anterior cingulate cortex, conflict monitoring, and levels of processing. *NeuroImage*, 14(6), 1302–1308.
- Verguts, T., & Notebaert, W. (2009). Adaptation by binding: A learning account of cognitive control. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(6), 252–257.
- West, R. (2003). Neural correlates of cognitive control and conflict detection in the Stroop and digit-location tasks. *Neuropsychologia*, 41(8), 1122–1135.
- West, R., & Alain, C. (1999). Event-related neural activity associated with the Stroop task. *Cognitive Brain Research*, 8(2), 157–164.
- West, R., & Alain, C. (2000). Effects of task context and fluctuations of attention on neural activity supporting performance of the Stroop task. *Brain Research*, 873(1), 102–111.
- West, R., Bowry, R., & McConville, C. (2004). Sensitivity of medial frontal cortex to response and nonresponse conflict. *Psychophysiology*, 41, 739–748.
- West, R., Choi, P., & Travers, S. (2010). The influence of negative affect on the neural correlates of cognitive control. *International Journal of Psychophysiology*, 76(2), 107–117.
- West, R., Jakubek, K., Wymbs, N., Perry, M., & Moore, K. (2005). Neural correlates of conflict processing. *Experimental Brain Research*, 167(1), 38–48.
- Yeung, N., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review*, 111(4), 931–959.
- Zhang, H., & Kornblum, S. (1998). The effects of stimulus–response mapping and irrelevant stimulus–response and stimulus–stimulus overlap in four-choice Stroop tasks with single-carrier stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(1), 3–19.
- Zysset, S., Müller, K., Lohmann, G., & Von Cramon, D. Y. (2001). Color-word matching Stroop task: Separating interference and response conflict. *NeuroImage*, 13(1), 29–36.

A Profile of Conflict Types in the Color-Word Stroop Task

TANG Dan-Dan; LIU Pei-Duo; CHEN An-Tao

(Key Laboratory of Cognition and Personality of Ministry of Education, School of Psychology,
Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: In the field of cognitive control, the color-word Stroop task is widely utilized to investigate the internal neural bias of conflict processing. This paper first summarized the stimulus conflict and response conflict involved in the color-word Stroop task as well as two kinds of experiment paradigms usually used to investigate the Stroop interference. Afterward we introduced the neural dynamics of stimulus conflict and response conflict: The event-related potential (ERP) researches proved that the modulation of amplitude of N450 reflected conflict detection, the modulation of amplitude of conflict sustained potential (SP) reflected resolution of response conflict; the functional magnetic resonance imaging (fMRI) researches substantiated that anterior cingulate cortex (ACC) and dorsal lateral prefrontal cortex (DLPFC) played important roles in the processes of conflict detection and the implement of cognitive control, respectively. Lastly, in allusion to the issues resulting from the traditional experiment paradigm in the study of stimulus conflict and response conflict, improved methods and new trends of cognitive neurosciences were proposed.

Key words: color-word Stroop task; stimulus conflict; response conflict; ERP; fMRI