

Delta 图分析方法及其在冲突控制研究中的应用*

张德玄^{1,2} 周晓林²

(¹ 杭州师范学院基础医学部, 杭州 310036) (² 北京大学心理学系, 北京 100871)

摘要 近年来, 反应时分布分析方法被应用于冲突控制研究领域, 以弥补只计算平均反应时和错误率的不足。所谓 delta 指的是不一致条件与一致条件反应时之差, 即冲突效应量。冲突效应量随反应时间的变化图称为 delta 图。与该分析方法相应的理论模型包括双通路模型和激活 - 抑制模型。本文介绍了 delta 图分析的具体方法及其与冲突控制理论模型的关系, 然后列举了有关的研究例证, 并强调了其优缺点与适用范围。

关键词 冲突控制, delta 图, 双通路模型, 激活 - 抑制模型。

分类号 B841

为适应复杂而多变的环境, 灵活的行为反应需要认知控制系统来选择情境中的相关信息, 组织并优化信息处理通路。解决信息处理过程中相互冲突的反应倾向是认知控制系统的一项重要功能。对冲突控制的研究往往采用一些选择反应任务。在选择反应任务中, 一种刺激要求一种特定反应 (例如左手按键) 而另一种刺激则要求另一种反应 (例如右手按键)。带有冲突的选择反应任务常见的有 Stroop, Simon 和 Eriksen flanker 范式。在这些冲突任务中, 与任务相关的刺激带有与任务无关的信息 (如 Stroop 任务中的语义, Simon 任务中的目标位置, Eriksen flanker 任务中的边侧干扰项), 这些无关信息受到大脑的自动加工, 并产生一种反应倾向。当这种自动产生的反应倾向与任务要求的反应一致时, 反应就加快; 不一致 (冲突) 时, 反应就延缓, 同时错误率也增加。不一致情况下的反应时减去一致情况下的反应时称为效应量, 反映解决冲突所需要的额外的处理时间。

多数研究者在比较冲突效应时, 只计算各条件下的平均反应时和错误率, 而忽视了冲突效应量如何随着反应速度的变化而变化, 从而忽略了很多有用的信息。事实上, 反应时分布分析方法早已被证

明是一种研究信息处理机制的有力工具, 可以挖掘出很多关于信息处理机制的有用信息^[1,2]。近年来, 在认知控制的研究中, 也有一些研究者使用这种分析方法, 巧妙地检验其假设的模型, 从而揭示冲突控制的内在机制。本文的目的就是介绍这种反应时分布分析方法, 并追溯其用于冲突控制研究的发展历程。

1 Delta 图分析方法

1.1 反应时分布等分法 (Vincentizing)

多数研究都是通过由一定数量的个体组成的样本来估计总体。采用反应时分布分析方法, 首先要解决的问题是如何从多个个体的反应时分布形成反映群体的反应时分布。目前通常采用的解决方法是一种非参数计算方法, 由 Vincent 于 1912 年最先使用, 所以这种方法也常称为 Vincentizing。Ratcliff 对这一方法做出了里程碑式的贡献^[1]。通过 Monte Carlo 模拟研究, Ratcliff 声称这种方法得出的群体分布确实是个体分布的平均, 其变异反映着个体的变异, 分布的形状也是个体分布形状的平均。这种方法简便易行, 特别适合被试数较多, 但每个被试条件单元格只有 10~20 个反应时的情况。Vincentizing 的具体方法介绍如下。

首先把每个被试条件单元格的反应时按升序排列。这时假设有 n 个反应时数据 $T_1, T_2, \dots, T_n$, 要把它等分为 q (一般情况下 $q < n$) 组 (quantiles)。把每个反应时数据复制 q 份, 形成 $n \times q$ 个数据, 即 $T_{(1)}, T_{(1)}, \dots, T_{(1)}, T_{(2)}, T_{(2)}, \dots, T_{(2)}, T_{(3)}, \dots$ 在这个

收稿日期: 2006-09-07

* 国家 '97' 攀登计划 (95 - 专 - 09), 中国自然科学基金 (30070260, 30470569, 60435010) 和中国总理教育基金 (01002, 02170) 资助。

通讯作者: 周晓林。E-mail: xz104@pku.edu.cn

数据序列中按顺序, 每 n 个数据求一个平均值, 这样就可以得出 q 个按升序排列的平均值。这时, 其中的第 j 个等分就是相当于累积概率表中的第 j 个上限值, 意即小于等于该值的反应时累积概率等于 $(j/q) \times 100\%$ 。把这 q 个数值放在以反应时间为横坐标, 以百分概率为纵坐标的图中, 就是该被试该条件下的反应时累积概率分布图 (如图 1 表示 (以 $q=10$ 为例))。

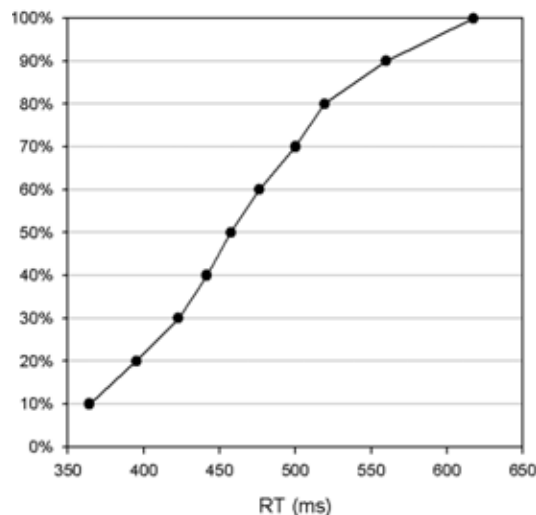


图 1 反应时累积概率分布示意图

为求得 S 个被试相同条件下的总体反应时分布, 只需从每个被试单元格的 q 个等分中, 按顺序每次取一个等分, 求 S 个等分的均数, 就可得出该群体的 q 个等分, 构成该条件下群体反应时累积分布。

1.2 delta 图的得出

Delta 图由 De Jong, Liang 和 Lauber 首先提出^[3]。所谓 delta 指的是不一致条件与一致条件反应时之差, 即冲突效应量。冲突效应量随反应时间的变化图称为 delta 图。Delta 图分析法的前提条件是, 冲突效应的绝对量与反应时的正常变异本身关系不大。反应时的这些变异可归因于与冲突效应无关的因素, 例如准备状态或知觉加工效率的随机波动。基于这一前提, delta 图分析方法可以揭示出冲突效应的时间进程, 即冲突效应如何随反应速度的变化而变化。其具体方法如下。

在冲突反应任务中, 分别求出一致和不一致条

件下的群体反应时累积分布。以 $q=10$ 为例, 如图 2 表示。一致条件下的反应时分布的第 j 个等分记为 $t_c^{(j)}$, 不一致条件下的反应时分布的第 j 个等分记为 $t_i^{(j)}$ 。这时, 第 j 等分的冲突效应量 (delta) 就是 $t_i^{(j)} - t_c^{(j)}$, 第 j 等分的平均反应时 (mean) 就是 $(t_i^{(j)} + t_c^{(j)})/2$ 。作图表示 delta 随 mean 而变化的趋势, 即是 delta 图, 如图 3 所示。Delta 图的斜率反映了无关信息的干扰程度随时间而变化的进程, 或者说对无关信息的抑制强度随时间而变化的进程。

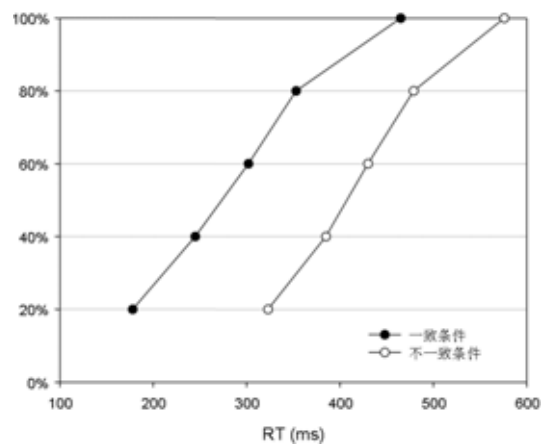


图 2 一致与不一致条件下的反应时分布示意图

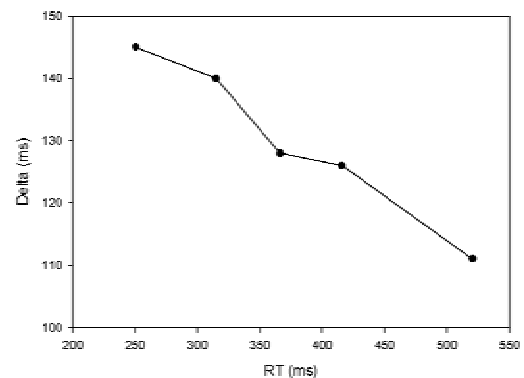


图 3 Delta 图示意

2 Delta 图分析方法相关的理论模型

2.1 双通路或双加工模型

在 Simon 任务的研究中, Simon 效应常由 Kornblum 等人的双通路假说来解释^[4]。双通路假说认为, 刺激的相关与无关属性由不同的通路平行加工。在 Simon 任务中, 一个通路加工与任务无关的

位置信息,而另一个通路加工与任务相关的属性(如颜色或字母)。对位置信息的加工是自动而快速的,直接激活同侧的反应(直接通路)。而颜色或字母与反应的关联是由实验指导语指定的,临时建立起来的,但这条通路决定了何者为正确的反应(控制通路)。当刺激-反应关联一致时,两条通路都激活同一侧的反应,反应既正确且快速。而当刺激-反应关联不一致时,直接通路激活与刺激位置同侧但错误的反应,控制通路激活对侧但正确的反应。这两条通路在不一致条件下的冲突造成了反应时延长和错误率增加,即 Simon 效应。

与此相似的是双加工模型,它认为刺激位置以两种方式影响绩效。一是刺激的出现完全自动化地启动空间上一致的反应。二是当实验任务所规定的刺激-反应对应关系应用于相关刺激属性时,它会产生空间刺激编码,启动空间上一致或不一致的反应。前者称为非条件成分,后者称为条件成分。De Jong 等人则进一步认为,非条件成分在刺激呈现后很快就激活但也很快衰减,这种衰减是反应速度的单调函数^[3]。即随着反应时间延长,非条件成分减弱。而且这种衰减与刺激-反应关系一致与否无关。另一方面,他们认为条件成分取决于刺激-反应关系,但与反应速度无关。这两种成分的时间进程叠加就形成了冲突效应的时间进程。也就是效应量随着反应速度变慢而减小,反映在 delta 图上,就表现为负的斜率。De Jong 等人的四个实验都显示了这种规律。第四个实验用事件相关电位进一步支持了以上的假说。

然而,Zhang 和 Kornblum 通过数学推导,得出结论:一致和不一致条件下的两个反应时分布,其平均值的差($\Delta\mu$)只和 delta 图的垂直截距有关,而与 delta 图的斜率无关;两个分布的变异之差($\Delta\sigma$)只和 delta 图的斜率 k 有关,而和垂直截距无关^[5]。即 $\Delta\sigma$ 和斜率 k 及两分布平均变异成比例关系。由此推论,如果 $k < 0$,则不一致条件的反应时分布标准差必定小于一致条件的标准差($\sigma_i < \sigma_c$);如果 $k > 0$,则反之($\sigma_i > \sigma_c$)。也就是说,delta 图的绝对斜率主要是由一致或不一致条件下,多个认知加工阶段中信息处理速度的变异造成的,不一定是负值。他们列举了以往研究中 $\sigma_i > \sigma_c$ 的实例以反驳 De Jong 等人关于 k 总小于 0 的断言,从而否定 De Jong 等人的双加工模型。

但 Zhang 和 Kornblum 同时也肯定了 delta 图分析方法的價值,认为尤其当一致和不一致两个条件下的平均反应时和变异之差都较小但却是理论关注要点的时候,这种分析方法可以放大这些差异,以利于观察比较。

2.2 激活抑制模型

Ridderinkhof 认为,在评价 delta 图在冲突任务研究中的应用价值时,需要注意两个问题^[6]。首先我们必须能解释为什么冲突效应及其所包含的变异性会导致所观察到的 delta 图斜率,必须清楚地阐明关于实验条件如何造成 delta 图变化的预期假设。如果没有一个模型来推出这样一个先验假设,那么对于 delta 图的解释就只是事后说明,难以排除其他可能的解释,而且这种替代解释很可能在实验控制条件之外。其次,我们需要仔细考虑从 delta 图的斜率能(或不能)得出哪些有效的推论。正如 Zhang 和 Kornblum 所讨论过的,对于 delta 图斜率的绝对量作解释需要慎重考虑^[5]。但这并不妨碍我们根据 delta 图斜率的相对变化来作解释。比如通过比较两种条件或两组被试的 delta 图斜率差异,我们能找到很有意义的解释。或者,通过检验不同条件下 delta 图曲线分开或聚合的时间点,我们可以有效地探索认知加工过程中的动态变化。

Ridderinkhof 在双加工模型的基础上做了扩展和修改,提出了用激活-抑制假说来解释 delta 图的斜率变化。他强调用该模型来解释 delta 图的斜率时要着重比较 delta 图斜率的相对变化,而不是绝对的正值或负值。

激活-抑制假说认为双通路模型中的直接通路不仅是在时间上有衰减的趋势,更重要的是会受到来自前额叶的选择性抑制。位于前额叶的执行系统监视着下属系统的信息流,所有反应都要经过抑制控制机制的检查^[7]。反应抑制分为一般性抑制和选择性抑制。选择性抑制用来抑制其中一种反应,却不抑制另一种反应;一般性抑制则抑制所有的反应。激活-抑制模型的示意图见图 4。该模型中的中央反应抑制机制和双加工模型中的自动衰减有很大不同。后者是一个自动的过程,是反应编码活动的内在属性。而这里的中央抑制机制是非自动化的,由前额叶施加于运动皮层的主动控制过程。

图 4 激活 - 抑制模型示意图

无关维度的激活 - 抑制的具体过程是, 刺激的无关维度首先直接激活一种反应倾向, 接着这种反应倾向会激活选择性抑制机制。这种抑制机制需要一定的时间来建立。当反应时间因其他偶然因素变短时, 这种抑制机制没有足够的时间来完成, 正确的反应就因被无关维度所激活的反应倾向干扰而延迟, 从而效应量增大。而当反应时因其他偶然因素变长时, 这种抑制机制就能完成, 无关维度所激活的反应倾向可以完全被抑制, 从而效应量减小。当反应延迟一定时间以后, 无关维度所激活的反应被选择性抑制, 从而一致条件下因为正确反应被抑制而致使效应反转, 即一致条件相对于不一致条件, 反应时长, 错误率高^[8]。反映在 δ 图上, 斜率的变化代表了抑制机制的强度: 抑制越强, 斜率越早变为负值。在比较两种条件下的 δ 图时, 两条 δ 曲线的分歧点是考察的要点。Ridderinkhof 的实验通过操纵抑制要求的不同水平来验证这一预期^[6]。在实验中, 一种主要任务是常规的 Simon 任务, 随机混合了第二种任务来影响对刺激位置的抑制强度。这第二种任务的刺激位置在实验一中是任务无关的, 在实验二中是任务相关的。在实验一中刺激位置总是无关的, 总是作为无关维度受到抑制, 其结果显示, δ

trial 之间。

最近 Burle 等人还结合考察了线索 - 启动 (cue-priming) 范式和 Simon 效应, 结果提示这两种效应统一于激活 - 抑制机制^[10]。所谓线索 - 启动范式是指在目标出现之前先呈现一个和目标反应无关的线索, 其中有两种条件, 一种是线索提供与目标一致的信息, 另一种是线索提供与目标不一致的信息。其效应量就是一致与不一致条件下的反应时差异。通过系统性地改变线索和目标之间的时间间隔 (SOA) 来观察线索对效应量的影响。典型的线索 - 启动范式例子就是 IOR^[11]和 Eimer 等人^[8,12,13]的掩蔽的启动 (masked priming)。IOR 和掩蔽的启动范式区别在于线索。IOR 的线索总是明显可见的, 而在掩蔽的启动范式中, 线索可能是阈下刺激 (subliminal), 但它们效应量随 SOA 变化的规律是相似的, 即在短 SOA 下一致条件的线索起促进作用, 而在长 SOA 下一致条件反而比不一致条件需要更长的反应时间。这种规律和经典的 Simon 效应在短反应时情况下效应量较大而在长反应时情况下效应量减小甚至逆转的变化规律很相近。通过 Burle 等人融合的线索 - 启动和 Simon 范式, 他们观察到 delta 图斜率随 SOA 的变化与线索启动效应量随 SOA 的变化是同步的, 二者有显著的相关关系。

3 应用实例

正如 Ridderinkhof 等所揭示的, 反应时分布分析方法可以应用于所有冲突效应的研究中, 以反映执行控制功能的变化。尤其是, 通过不同的斜率变化, delta 图分析可以鉴别直接激活和选择性抑制所造成的不同效应。

例如, 在 Eriksen flanker 效应的研究中, 为了检验边侧信息是否在呈现之后立即传递到反应水平, Mattler 采用单侧化准备电位 (LRP) 测量目标和边侧干扰项呈现不同 SOA (0, 100, 400ms) 的 flanker 任务, 并且 SOA 的变化分两组被试, 一组是随机变化, 另一组是呈组块化设计^[14]。结果观察到, 只有当 SOA 为 400ms 时, 组块化条件下的 flanker 效应相对于随机化条件减弱。这可能有两种解释, 一是边侧信息直接激活的反应倾向被延迟, 但也可能是边侧信息没有被延迟但其反应倾向被特异性地抑制。LRP 无法鉴别这二者, 但 delta 图分析显示两种条件下的斜率没有显著差异, 也就是选择性抑制水平没有差异, 是组块化条件下的边侧

信息传递的延迟造成的 flanker 效应减弱。

Ridderinkhof 利用激活 - 抑制模型和 delta 图分析方法, 考察了冲突任务中的宏观调节 (Macro-adjustment) 和微观调节 (Micro-adjustment) 的交互作用^[15]。这里的宏观调节指的是某种因素保持较长时间, 导致被试在较长时程内保持某种程度的谨慎度 (cautiousness) 策略。比如在冲突任务中, 一致和不一致 trial 的比例改变时, 冲突效应发生的变化就是宏观调节。而微观调节是指在事件 - 事件 (trial-trial) 之间变化的谨慎度策略。比如在错误反应发生之后紧接着的试次内被试会更加谨慎地反应, 这就是微观调节。通过 delta 图分析, 作者观察到, 当不一致的比例较高 (75%) 时, 由于无关刺激受到很强的选择性抑制, 微观调节的作用不再显现。这个结果如果只用总体的反应时或错误率是无法得出的。

在有关执行功能的临床研究中, delta 图也可以作为有力的工具反应执行功能的变化。例如, AD/HD 是儿童常见的神经疾病之一。关于 AD/HD 的主要理论都认为 AD/HD 和反应抑制缺陷有关, 如文献[16, 17]。用 flanker 任务进行测试, 也常发现 AD/HD 儿童在冲突控制方面的缺陷, 如文献[18~20]。因此 Ridderinkhof 等人^[21]用 delta 图分析方法重新分析了 Scheres 等人^[22]所测量的 AD/HD 儿童与匹配控制组的 flanker 任务反应时数据, 结果显示两组的 delta 图斜率区别明显, 尤其在反应时区段, AD/HD 组为正值, 而控制组则趋于平坦。这说明 AD/HD 儿童的反应抑制功能确实比正常儿童低。另外, Ridderinkhof 等人^[21]还用 delta 图分析方法考察了哌醋甲酯 (methylphenidate) 的疗效, 证实哌醋甲酯可以消解反应抑制缺陷, 但疗效和剂量有关。通过校正个体对药物剂量敏感性的差异, 哌醋甲酯的治疗效果得到了进一步澄清。Ridderinkhof 等人^[23]在研究酒精对执行功能的损害时也利用 delta 图斜率, 尤其是最后两个等分点之间连线的斜率变化, 作为反映冲突任务中反应抑制功能的可靠指标。同样地, 这种分析方法也将可以用于其他和反应抑制功能降低的研究中, 例如精神分裂症、老年化等等。

在基础研究领域中, 自从 De Jong 等人^[3]将 Delta 图分析方法引入 Simon 效应研究以后, 这一领域的研究者经常用此方法来考察 Simon 效应的内在机制。例如 Wascher 等人通过反应时分布的变化

趋势和 LRP 比较了正常手位和交叉手位情况下的 Simon 效应,发现二者机制不同^[24]。类似的,Vallesi 等人^[25]及 Wiegand 和 Wascher^[26]比较了水平方向和垂直方向的 Simon 效应,通过反应时分布的变化趋势,结合 LRP,反映出这两种 Simon 效应可能基于不同的神经机制。最近有人发现口头报告也能观察到类似按键反应的 Simon 效应^[27],Wuhr^[28]在此基础上系统比较了口头报告和手动反应在垂直和水平方向上的 Simon 效应,结果与前述研究相似,即,口头报告的 Simon 效应量,在水平方向上随反应时延长而减小,在垂直方向上随反应时延长而增大。

4 小结

以上的研究实例说明了 delta 图分析方法及其激活-抑制模型在冲突控制研究中可以发挥其独到的优势。关于是否在脑中存在抑制机制,Burle 等人^[29]总结了选择反应时任务中反应抑制的生理学证据,包括来自肌电、脑电和经颅磁刺激(TMS)的研究结果。尽管如此,到目前为止,delta 图斜率变化及其激活抑制解释还没有得到直接的神经成像证据。进一步的研究也许可以设置不同的条件以调节不同的抑制水平,利用 delta 图作为行为指标区分不同的选择抑制水平,观察前额叶的脑血流变化。如果 delta 图更负的斜率对应着前额叶抑制区更多的活动,则该结果可以成为更加可信的证据支持这一假说。另外,在冲突控制研究中,激活-抑制模型还不可能完全取代其他的假说。至少在 Simon 效应中,维度重叠^[4,30]、反应编码^[31]、注意转移^[32]等等各种理论模型都有它们各自的适用范围。在现实生活或冲突任务实验中,激活-抑制模型中的直接激活和选择性抑制也不一定都会出现。例如在一种实验范式中,所有可能出现的字母数字随机地对应于左手或右手,这时刺激-反应联结可能就不足以产生直接激活的效应。另外,直接通路的激活也不是冲突效应的必要条件,知觉因素也可能导致 flanker 效应^[33]和 Simon 效应^[34]。所以在应用激活-抑制模型解释 delta 图分析结果时,要审慎考虑具体的适用范围。

参考文献

- [1] Ratcliff R. Group reaction time distributions and an analysis of distribution statistics. *Psychological Bulletin*, 1979, 86(3): 446~461
- [2] Rouder J N, Speckman P L. An evaluation of the Vincenzizing method of forming group-level response time distributions. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2004, 11(3): 419~427
- [3] De Jong R, Liang C-C, Lauber E. Conditional and unconditional automaticity: A dual-process model of effects of spatial stimulus-response correspondence. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 1994, 20(4): 731~750
- [4] Kornblum S, Hasbroucq T, Osman A. Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility - A model and taxonomy. *Psychological Review*, 1990, 97: 253~270
- [5] Zhang J, Kornblum S. Distributional analysis and De Jong, Liang, and Lauber's (1994) dual-process model of the Simon effect. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 1997, 23(5): 1543~1551
- [6] Ridderinkhof K R. Activation and suppression in conflict tasks: empirical clarification through distributional analyses. In: *Common Mechanisms in Perception and Action*. Oxford: Oxford University Press, 2002. 494~519
- [7] Band G P H, van Boxtel G J M. Inhibitory motor control in stop paradigms: review and reinterpretation of neural mechanisms. *Acta Psychologica*, 1999 101(2-3): 179~211
- [8] Eimer M. Facilitatory and inhibitory effects of masked prime stimuli on motor activation and behavioural performance. *Acta Psychologica*, 1999, 101(2-3): 293~313
- [9] Burle B, Possamai C A, Vidal F, et al. Executive control in the Simon effect: an electromyographic and distributional analysis. *Psychological Research-Psychologische Forschung*, 2002, 66(4): 324~336
- [10] Burle B, van den Wildenberg W P M, Ridderinkhof K R. Dynamics of facilitation and interference in cue-priming and Simon tasks. *European Journal of Cognitive Psychology*, 2005, 17(5): 619~641
- [11] Klein R M. Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences*, 2000, 4(4): 138~147
- [12] Eimer M, Schlaghecken F. Response facilitation and inhibition in subliminal priming. *Biological Psychology*, 2003, 64(1-2): 7~26
- [13] Eimer M, Schlaghecken F. Links between conscious awareness and response inhibition: Evidence from masked priming. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2002, 9(3): 514~520
- [14] Mattler U. Delayed flanker effects on lateralized readiness potentials. *Experimental Brain Research*, 2003, 151(2): 272~288
- [15] Ridderinkhof K R. Micro- and macro-adjustments of task set: activation and suppression in conflict tasks. *Psychological Research-Psychologische Forschung*, 2002, 66(4): 312~323
- [16] Barkley R A. Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 1997, 121(1): 65~94

- [17] Nigg J T. Is ADHD a disinhibitory disorder? *Psychological Bulletin*, 2001, 127(5): 571~598
- [18] Carter C S, Krenner P, Chaderjian M, et al. Abnormal Processing of Irrelevant Information in Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. *Psychiatry Research*, 1995, 56(1): 59~70
- [19] Jonkman L M, Kemner C, Verbaten M N, et al. Perceptual and response interference in children with attention-deficit hyperactivity disorder, and the effects of methylphenidate. *Psychophysiology*, 1999, 36(4): 419~429
- [20] Crone E A, Jennings J R, van der Molen M W. Sensitivity to interference and response contingencies in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 2003, 44(2): 214~226
- [21] Ridderinkhof K R, Scheres A, Oosterlaan J, et al. Delta plots in the study of individual differences: New tools reveal response inhibition deficits in AD/HD that are eliminated by methylphenidate treatment. *Journal of Abnormal Psychology*, 2005, 114(2): 197~215
- [22] Scheres A, Oosterlaan J, Geurts H, et al. Executive functioning in boys with ADHD: primarily an inhibition deficit? *Archives of Clinical Neuropsychology*, 2004, 19(4): 569~594
- [23] Ridderinkhof K R, de Vlugt Y, Bramlage A, et al. Alcohol consumption impairs detection of performance errors in mediofrontal cortex. *Science*, 2002, 298(5601): 2209~2211
- [24] Wascher E, Schatz U, Kuder T, et al. Validity and boundary conditions of automatic response activation in the Simon task. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 2001, 27: 731~75
- [25] Vallesi A, Mapelli D, Schiff S, et al. Horizontal and vertical Simon effect: different underlying mechanisms? *Cognition*, 2005, 96: B33~B43
- [26] Wiegand K, Wascher E. Dynamic aspects of stimulus-response correspondence: Evidence for two mechanisms involved in the Simon effect. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 2005, 31: 453~464
- [27] Proctor R W, Vu K P L. Mixing location-irrelevant and location-relevant trials: Influence of stimulus mode on spatial compatibility effects. *Memory & Cognition*, 2002, 30(2): 281~293