

题目：基于记忆的注意捕获和注意抑制效应：ERP 证据

作者：胡艳梅，张明

## 第一轮

### 审稿人 1 意见：

**意见 1：**在主要结论中，作者一方面强调工作记忆表征在早期阶段对视觉注意的捕获具有不随意性，但在阐述认知控制的作用的时候，又强调认知控制对早期注意捕获的调节作用。如讨论 P13，“综上，虽然信息加工早期（200~300ms 左右）基于记忆的注意捕获效应是不随意的，但其强度和持续时间可以受到认知控制作用的调节。”从理论上来说，不随意注意是自动化的，难以受到自上而下的认知控制调节的，所以作者在写作过程中注意两者表述的协调。

**回应：**此处作者在描述上却有不妥之处，容易给读者带来困惑。我们已对此处和文章其余涉及该问题的部分进行修改，使语言更为精确。如，此处调整为“综上，虽然信息加工早期（200~300ms 左右）客体工作记忆内容总是会捕获注意，但这种注意捕获效应的强度和持续时间可以受到认知控制作用的调节”。

**意见 2：**作者在对 ERP 数据进行叠加运算时，不同条件下试次的叠加数量是不一样的，例如 20%的条件下匹配条件下叠加试次为 80%条件下匹配条件下叠加试次的 4 倍，作者在数据处理过程和结果解释的过程中知有没有注意到这个问题。此外，注意引导效应在叠加试次较小时可能探测不出来？

**回应：**这的确是一个需要注意的问题。根据各条件的试次数量和概率设定可以计算出不同条件下的统计试次数量及其差异。统计分析具体如下：

#### 1、对 N2pc 成分的统计分析。

本研究采用平均振幅测量 N2pc 振幅，平均振幅不因试次数量大小而偏倚（Luck, 2005）。因此，虽然不同概率条件下叠加试次数量不同，但平均振幅仍具有可比性。此外，由于 N2pc 成分较小，为了提高信噪比获得更稳定的实验结果需叠加较多的实验试次。如，Woodman（2010）指出当以 N2pc 为指标时，单个条件叠加次数在 250 次左右或以上为宜。

Woodman, G. F. (2010). A brief introduction to the use of event-related potentials in studies of perception and attention. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72 (8), 2031~2046

#### 2、对 P3 成分的统计分析。

原文中对 P3 成分的统计采用了峰值波幅和峰值潜伏期。为进一步确认实验结果的可靠性，我们补充了对 P3 平均波幅及 50%面积潜伏期（将统计窗口内 ERP 波形面积分为 1/2 的时刻点）的统计分析。

总体上，300~550ms 内 P3 平均波幅的统计分析结果与峰值波幅的结果基本一致（尤其是概率条件和试次类型的交互作用方面）。概率条件主效应显著， $F(2, 28)=14.27$ ， $MSE=310.85$ ， $p<0.001$ ， $\eta^2=0.51$ 。20%条件下 P3 波幅小于 50%和 80%条件， $ps=0.001$ ；后两者差异不显著。试次类型主效应显著， $F(1, 14)=49.79$ ， $MSE=1138.86$ ， $p<0.001$ ， $\eta^2=0.78$ 。匹配试次 P3 波幅大于控制试次。电极点主效应显著， $F(9, 126)=9.03$ ， $MSE=125.24$ ， $p<0.001$ ， $\eta^2=0.39$ 。总体上，顶枕区激活大于枕区激活， $t(14)=5.09$ ， $p<0.001$ 。概率条件与试次类型交互作用显著， $F(2, 28)=14.09$ ， $MSE=109.86$ ， $p<0.001$ ， $\eta^2=0.50$ 。试次类型和电极点交互作

用显著,  $F(9, 126)=16.93$ ,  $MSE=20.12$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.55$ 。概率和电极点交互作用显著,  $F(18, 252)=5.23$ ,  $MSE=27.25$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.27$ 。三阶交互作用边缘显著,  $F(18, 252)=2.29$ ,  $MSE=1.27$ ,  $p=0.05$ ,  $\eta^2=0.14$ 。20%、50%和80%概率条件下试次类型的差异均在顶枕区更为显著,  $t(14)=5.59$ 、4.71和4.10,  $p<0.001$ 、 $p<0.001$ 和 $p=0.001$ 。进一步分析不同概率条件下试次类型的差异。20%、50%和80%三种条件下, 匹配试次中P3波幅均大于控制试次,  $t(14)=4.10$ 、7.16和5.61,  $p=0.001$ 、 $p<0.001$ 和 $p<0.001$ 。该差异在20%条件下小于50%和80%条件,  $t(14)=5.38$ 和3.07,  $p<0.001$ 和 $p<0.01$ ; 后两者差异不显著。

50%面积潜伏期方面, 概率条件主效应显著,  $F(2, 28)=5.97$ ,  $MSE=18031.36$ ,  $p<0.01$ ,  $\eta^2=0.30$ 。20%条件下P3潜伏期短于50%和80%条件,  $p<0.05$ 和 $p<0.01$ ; 后两者差异不显著。试次类型主效应显著,  $F(1, 14)=12.01$ ,  $MSE=60516.28$ ,  $p<0.01$ ,  $\eta^2=0.46$ 。匹配试次P3潜伏期短于控制试次。电极点主效应显著,  $F(9, 126)=3.88$ ,  $MSE=4092.28$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.22$ 。顶枕区潜伏期短于枕区。其余主效应和交互作用不显著。

**意见 3:** 作者在 N2pc 分析时对潜伏期进行了统计, 不知 N2pc 的潜伏期是如何定义的? 是指差异波的峰值出现的时间点, 还是对/同侧 ERP 开始出现差异的时间点? 另外, 在讨论部分, 作者还对不同概率条件下的持续时间进行了比较, 如“80%条件下, 记忆匹配刺激对注意的捕获仅持续了 70ms 左右; 50%条件下, 持续了 120ms 左右; 20%条件下, 持续了 140ms 左右。”, 这个持续时间是如何计算出来的? 应该在数据分析部分有所交待。

**回应:** N2pc 潜伏期是指 50%面积潜伏期 (Hansen & Hillyard, 1980)。我们已在正文部分以于补充说明。

讨论部分各概率条件下的持续时间与统计部分各概率条件下 N2pc 成分的统计时间窗口 180~320ms (20%条件)、180~280ms (50%条件) 以及 180~250ms (80%条件) 一一对应 (这里讨论部分在计算 50%条件下持续时间时有误, 实际应为 100ms, 已在正文以于修正)。该统计时间窗口的选取是结合图 2 差异波波幅以及 250~320ms 时间窗口内的统计分析结果得以确定的。250~320ms 时间窗口内, 20%条件下记忆匹配刺激对侧脑区比同侧脑区诱发了更大的负电位, 并且差异波始终为负, 表明记忆匹配刺激在此时间窗口内持续捕获了注意。50%条件下, 记忆匹配刺激两侧脑区激活水平差异不显著, 且差异波在 280ms 左右由负转正, 表明记忆匹配刺激对注意的捕获作用在 280ms 左右结束了, 随后还受到了一定的抑制, 从而导致差异不显著结果。80%条件下, 记忆匹配刺激对侧脑区比同侧脑区诱发了更大的正电位, 且差异波在 250ms 由负转正, 表明记忆匹配刺激对注意的捕获作用在 250ms 左右结束, 随后还受到了有效的抑制, 从而导致对侧脑区出现更大的正电位。

“持续时间”的提法虽然在统计部分提及, 但未进行强调, 从而导致读者对讨论部分的疑惑。我们已在正文数据分析及结果部分对此问题进行重新修正和交待。

**意见 4:** 作者发现的抑制效应与返回抑制有什么区别?

**回应:** 首先, 两者所涉及的认知过程不同。“返回抑制 (inhibition of return, IOR) 是指对原先注意过的物体或位置进行反应时所表现出的滞后现象 (张明, 刘宁, 2007)”。是对注意内容的抑制, 主要涉及注意加工。而本研究中的“基于记忆的注意抑制过程”, 是对任务无关客体工作记忆内容的抑制, 既涉及注意加工, 更涉及工作记忆加工。范式方面, 返回抑制研究通过改变刺激明暗对等方式直接操纵注意指向。而本研究则不操纵任何会直接影响注意指向的因素 (如刺激凸显程度、对比度等), 仅是通过改变搜索项目 (以及线索项目) 与记忆项目的关系来影响注意选择过程。

其次, 两种抑制过程的产生机制也不同。返回抑制使人们的注意离开曾注意过的位置或客体, 指向新的位置或客体, 进而提高环境中的注意搜索效率。在实验过程中, 线索的有效

性通常为 50%，被试没有要主动抑制线索位置或线索特征的倾向。而本研究中，对记忆匹配刺激的抑制却是自上而下认知调控的结果。被试明确知晓“记忆项目永远不同于搜索目标”，因此产生了主动抑制记忆匹配项目的倾向。

再次，在 ERP 反应指标方面，两种抑制过程也存在差异。返回抑制研究发现，有效线索条件和无效线索条件的差异主要体现在 P1、N1 两种早期成分方面，反应了注意的早期选择过程。而本研究中，匹配试次和控制试次的加工差异则影响了 P3 成分。P3 成分与注意资源投入以及工作记忆过程密切相关。匹配试次中，对记忆匹配分心物的抑制会消耗大量注意控制资源，因此诱发了更大的 P3 成分。

**意见 5：**论文的语言建议作者加以精炼。

**回应：**我们对正文进行了仔细修改，使之更加精简。

**意见 6：**建议表 1 中加上标准差或标准误。

**回应：**我们已在表 1 中加上了标准误，敬请查阅。

---

**审稿人 2 意见：**

**意见 1：**结果部分对 N2pc 成分的分析比较繁琐。首先分别从 180~250ms 和 250~320ms 两个时间窗口分析了匹配刺激两侧脑区激活差异，然后又统计了 180~320ms 内各概率条件下 N2pc 成分的平均波幅差异以及潜伏期差异。两种统计分析虽然细致，但也细碎繁琐。尤其是它们所验证的实质上是同一内容，即 N2pc 成分的大小和持续时间受到匹配试次出现概率的影响。

**回应：**结果部分对 N2pc 成分的分析的确十分繁琐。其原因主要是三种概率条件下 N2pc 成分平均波幅和潜伏期的测量时间窗口存在差异，即 180~320ms（20%条件）、180~280ms（50%条件）以及 180~250ms（80%条件）。为了证实统计结果的可靠性，以及说明上述时间窗口选择的依据，我们首先分别对 180~250ms 和 250~320ms 时间窗口内所有概率条件中记忆匹配刺激两侧脑区激活水平进行了统计分析。180~250ms 时间窗口内，三种概率条件下记忆匹配刺激对侧脑区都出现了更大的负电位，且交互作用模式与 N2pc 成分结果一致。而 250~320ms 时间窗口内，概率条件与脑区的交互作用模式则为随后各概率条件下 N2pc 成分终止点的确定提供了依据。

但鉴于此部分的陈述却有冗长之处，不够简洁明了，给阅读造成了一定的负担。我们已对此部分文字进行了调整和精简。

**意见 2：**虽然表明研究发现的主要结果包括“……（3）记忆匹配刺激的出现会影响注意资源的投入量以及注意分配的速度，数据上表现为更大的 P3 平均波幅和更短的 P3 潜伏期。”，但在后续讨论过程中并没有专门分析 P3 平均波幅差异和潜伏期差异在本研究中的意义，仅在分析 20%条件结果时捎带提及。

**回应：**文中对 P3 成分结果意义的分析确有不足之处。现基于对 P3 平均波幅和 50%面积潜伏期的统计分析（详见对审稿人 1 意见 2 的回应），对 P3 结果意义进行简单说明：

1、波幅方面。首先，50%和 80%条件下 P3 成分大于 20%条件。这表明，50%和 80%条件下被试对记忆匹配刺激进行抑制的动机更高，因而投入了更多注意控制资源。其次，匹配试次比控制试次诱发了更大的 P3 成分。这与 Kumar 等（2009）的发现一致。并且，该差异在 50%和 80%条件下大于 20%条件。20%条件中，被试虽然极少对记忆匹配刺激进行抑制，但记忆匹配刺激的出现仍然增大了注意分配的难度，因此匹配试次中 P3 更大。而 50%和 80%

条件下，被试还对记忆匹配刺激进行了有效的抑制，因此这两种条件下试次类型差异更大。

2、潜伏期方面。首先，20%条件下 P3 潜伏期短于 50%和 80%条件。表明，20%条件下注意分配速度最快。这是由于 20%条件下几乎不存在注意捕获后的抑制性注意转移过程。其次，匹配试次 P3 潜伏期短于控制试次。匹配试次中注意指向非常明确——远离记忆匹配刺激，指向目标位置。因此，注意分配速度快于控制条件。该结果与 P3 波幅结果一致，均表明高概率条件下被试更倾向于进行抑制性认知控制。

### 3、对 P3 成分相关结果的取舍。

总体上，本研究 P3 成分结果（1）证实了概率操纵的有效性。高概率条件下 P3 成分的增大印证了匹配试次出现概率变化对认知控制动机水平的影响。（2）支持了已有研究发现——记忆匹配刺激的出现将消耗更多注意资源。（3）证实了 N2pc 及其随后差异正波成分结果的可靠性。N2pc 相关结果表明：记忆匹配刺激捕获注意后，在 50%和 80%条件下受到了抑制，而 20%条件下却没有。50%和 80%条件下 P3 成分的增大支持了该发现。

鉴于本研究最重要的结果表现在 N2pc 及其随后的差异正波指标上，而 P3 方面的发现主要是（1）对已有研究发现的支撑和（2）对 N2pc 相关结果的佐证。因此，为了突出重点，精简篇幅，在修改稿中，我们删减了有关 P3 成分的结果分析。在对“基于记忆的注意引导过程”的研究中，以往也有研究主要以 N2pc 成分为指标，并不一定特别考察 P3 成分。如：Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2011b). When Memory Is Not Enough: Electrophysiological Evidence for Goal-dependent Use of Working Memory Representations in Guiding Visual Attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(10), 2650~2664.

此外，此处原文“P3 平均波幅”实际应为“P3 峰值波幅”。对于此笔误我们深感抱歉。

意见 3：研究结果在时程上的划分与 Carlisle 和 Woodman (2011) 的研究相似。但 Carlisle 和 Woodman (2011) 却发现刺激出现后 200~300ms 左右，与工作记忆内容匹配的刺激并没有诱发 N2pc 成分。这与本研究结果存在差异，如何解释。

回应：我们认为该差异主要源于实验所采用的刺激数量及大小不同。Carlisle 和 Woodman (2011) 的研究中，搜索刺激数量大（20 个左右），视角小（ $0.33^{\circ} \times 0.33^{\circ}$ ）。这些搜索刺激中仅有一个分心物与记忆项目匹配。这可能导致记忆匹配刺激在视野中不够突出，难以迅速吸引注意，因而没有诱发显著的 N2pc 成分。已有研究表明，当搜索刺激强度较弱时，记忆匹配分心物不会捕获注意（Olivers, 2009）。本研究中，搜索项目数量小（2 个），视角大（ $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ ），记忆匹配刺激的强度足够吸引被试注意，因而发现了显著的 N2pc 成分。Kumar 等（2009）的研究中刺激数量（4 个）和大小（最刺激小视角为  $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ ）与本研究更接近。其结果也与本研究结果更一致，表明记忆匹配刺激的出现会吸引注意。

我们已在正文相应部分对该问题进行了补充说明，敬请专家查阅。

---

### 审稿人 3 意见：

意见：本文采用工作记忆+视觉搜索的双任务范式，通过记录反映注意过程的 ERP 指标，直接考察了工作记忆内容影响知觉注意的时程特点，为基于工作记忆的注意捕获和注意抑制及它们受认知控制的影响提供了直接的神经生理证据。本研究实验设计合理、数据处理恰当、研究结果具有较高创新价值，建议发表。

回应：感谢评审专家对本研究的肯定！我们已对论文进行了更为细致的调整和修改，敬请专家审阅。

---



#### 审稿人 4 意见

**意见 1:** 线索的使用。论文未明确提及线索屏出现时被试如何知道目标的方位，而在实验中所有被试均被明确告知“记忆项目永远不同于搜索目标”，所以这实际是被试判断线索的依据。那么这里存在潜在的问题：理论上被试应该抑制或回避与工作记忆匹配的线索，但是真实实验可能存在两种情况：其一，被试直接抑制记忆匹配项而注意目标对应项（真正的线索）。在此抑制过程中需要消耗资源，而 N2pc 虽然反应注意选择，但也不排除反应注意抑制的可能；其二，被试先随机选择左右任一线索，一旦发现是记忆匹配项即刻试图抑制该项目，转移注意到目标对应项。此抑制过程发生在注意选择之后，不同于前一种情况，甚至抑制所消耗的资源也可能不同。做出这样的假设分析，不仅会对 ERP 波幅与潜伏期差异有更好的理解，理论讨论也更加有深度。

**回应：**首先，所有被试均被告知“记忆项目永远不同于搜索目标”以及“线索刺激的颜色和位置与搜索项目一一对应”。即与记忆颜色匹配的线索刺激永远不会对应于搜索目标。其次，专家所提及的两种假设虽然是本研究考察的主要内容，但原文却没有表述清楚。我们希望通过操纵认知控制动机水平并结合 ERP 技术，直观的检验记忆匹配刺激对注意的捕获作用是否可以真正被消除。如果可以，那么高概率条件下记忆匹配刺激将直接受到抑制，不诱发 N2pc 成分（即专家所提假设一）；如果不行，则记忆匹配刺激将先捕获注意（诱发 N2pc 成分），而后再被抑制（即专家所提假设二）。实验结果更支持后一种情况。

对于该问题，我们已在正文引言（研究假设部分）和讨论（理论分析部分）按照专家的意见进行调整和修改。敬请专家查阅。

**意见 2:** 按照假设，随着认知控制水平的提高，注意捕获效应会逐渐减弱，数据方面表现为 N2pc 成分逐渐变小。但实验结果显示，20%、80%均小于 50%，研究分析认为 20%条件下，记忆匹配刺激没有引起被试足够的注意，并且认为这一结果还排除了“刺激新异性”的干扰，这一推论最好能够提供更有力的证据支持。20%的条件下认知控制动机微弱，甚至可以假设无认知控制的动机，那么更加应该发生自动捕获注意的情况，N2pc 似乎也应该非常明显。

**回应：**首先，刺激新异性干扰问题方面，研究发现意外而不经常出现的刺激更容易吸引注意。即由刺激新异性引起的自下而上的注意捕获作用（Hillyard, 1975）。因此，如果刺激新异性影响了实验结果，那么 20%条件下记忆匹配刺激最为罕见，也最能捕获注意。但本研究结果却发现 20%条件下注意捕获效应更小。这表明，本研究中记忆匹配刺激对注意的捕获作用并没有受到刺激新异性的干扰，而是反映了客体工作记忆内容对注意选择的影响。

其次，20%条件下，记忆匹配刺激仅诱发了 N2pc 成分，而没有在随后诱发与抑制过程相关的差异正波。这表明，20%条件下记忆匹配刺激没有受到抑制，即确实可以推测该条件下“无认知控制的动机”。但“无认知控制的动机”仅能表明记忆匹配刺激对注意的捕获作用不会受到认知控制作用的调节。当我们进一步推测记忆匹配刺激的注意捕获效应量时，则需要更加谨慎。一方面，基于记忆的注意捕获作用受到刺激强度的影响（Olivers, 2009）。如果我们把所有试次看成一个整体，20%条件下记忆匹配刺激分散于大量非匹配刺激之中，更不容易被觉察，因此对注意的捕获作用也比较弱。另一方面，基于记忆的注意捕获作用也受到匹配刺激概率变化的影响。Carlisle 和 Woodman（2011）发现，记忆匹配刺激的注意捕获效应会随着有效匹配（即与目标匹配）刺激出现概率的增加而增大。表明，即便在有意注意的情况下低概率条件中记忆匹配刺激对注意的捕获作用也更低。本研究中，记忆项目永远不同于搜索项目，被试没有主动注意记忆匹配刺激的倾向。因此，20%条件下，即便记忆匹配刺激捕获了注意，其效应量也可能不大。

Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2011). Automatic and strategic effects in the guidance of

**意见 3:** 该研究结果显然是基于平均数, 但行为及 ERP 数据是否存在较大的个体差异? 尤其是匹配项目出现的先验概率的改变, 对不同被试的认知调控动机产生相同的影响吗? 被试在线索屏的注意过程完全一样吗? 暂时不得而知。如有必要, 建议可进行深入的个体分析, 可能会有新发现。

**回应:** 一方面, 虽然总体上认知控制的效力受到个体差异的影响 (Engle, 2002)。但本研究中, 对于每一个被试而言, 其认知控制动机水平的高低都受到相同的概率变化的影响。不同被试受概率变化影响的程度可能存在差异, 但总体上认知控制动机水平随概率变化的趋势却存在一致性。后者是本研究更关注的问题。此外, 在没有系统操纵个体差异的前提下, 为了谨慎起见, 我们更倾向于不在结果分析中引入个体差异因素。但专家所提问题也启示我们, 在后续研究中可以细致深入地考察个体差异对基于记忆的注意引导作用的影响。这将帮助我们进一步理解和明确客体工作记忆对注意选择的影响机制。

另一方面, 在对个体差异的初步探索中, 我们将被试随机分为两组进行统计分析, 没有发现任何与组别相关的主效应或交互作用。(1) 分别对 N2pc 平均波幅、潜伏期以及随后出现的“抑制性差异正波”平均波幅进行 2 (组别)  $\times$  3 (概率条件)  $\times$  4 (电极对) 重复测量方差分析。所有因变量指标上, 组别主效应, 以及所有与组别相关的交互作用均不显著,  $F_s < 2$ 。

(2) 分别对 P3 平均波幅和潜伏期进行 2 (组别)  $\times$  3 (概率条件)  $\times$  2 (试次类型)  $\times$  10 (电极点) 重复测量方差分析。P3 平均波幅和潜伏期上, 组别主效应, 以及所有与组别相关的交互作用均不显著,  $F_s \leq 1$ 。

**意见 4:** 不出声发音抑制对 ERP 数据有无影响? 即使对分析无影响, 研究者在事后是否有特殊处理或未进行任何的处理, 也应该简单交代两句。实验结果与之前研究结果有不完全相同的地方也应该简单交代。

**回应:** 由于被试的头动、眼动, 身体运动等会严重干扰 EEG 信号采集, 因此在本研究中要求被试进行不出声的发音抑制 (仅在心里默念, 不动嘴)。这样可以保证被试在实验过程中, 除按键反应外, 均保持静止不动的状态。而发音抑制过程可能诱发脑电反应, 在对不同实验条件进行比较时可以减去 (所有条件下被试均进行发音抑制)。因此, 不出声的发音抑制不会影响 ERP 数据收集。该处理同时也是参考前人研究的结果。如, Carlisle 和 Woodman (2011) 的 ERP 研究就采用了此方法。我们已在实验程序部分对该问题进行了补充说明, 敬请专家查阅。

此外, 有关实验结果与前人研究的差异问题, 请详见对审稿人 2 意见 3 的回应。

**意见 5:** 为何分析 P3, 该领域前期研究 P3 成分的分析结果如何? 建议简单交代两句。

**回应:** P3 的波幅和潜伏期分别与注意资源投入量和分配速度成正相关 (Kok, 2001; Luck & Hillyard, 1994; Polich, 2007; Magliero, Bashore, Coles, Donchin, 1984; Verleger, Ja^kowskis, & Wascher, 2005)。Kumar, Soto 和 Humphreys (2009) 采用工作记忆与视觉搜索双任务范式探究基于记忆的注意引导过程。匹配条件下, 将有一个搜索分心物与记忆项目匹配; 控制条件下, 所有搜索项目均与记忆项目不同。结果发现, 与控制条件相比, 匹配条件诱发了更大的 P3 成分。他们认为, 记忆匹配刺激将与目标刺激一同竞争注意资源。因此, 与控制条件相比, 匹配条件下被试需要投入更多注意以搜寻目标刺激, 从而诱发了更大的 P3。

鉴于本研究最重要的结果表现在 N2pc 及其随后的差异正波指标上, 而 P3 方面的发现主要是对已有研究发现的支持和验证。因此, 为了精简篇幅, 突出重点, 在修改稿中, 我们

删减了有关 P3 成分的结果（参见对审稿人 2 意见 2 的回应）。

**意见 6：**其他小问题。N2pc 本身是差异波，但随后的“抑制性差异正波”的提法出处，英文表达？

**回应：**本研究中“抑制性差异正波”是指 N2pc 成分后出现的与抑制过程相关的差异正波。可供参考的英文文献中的确没有出现过与“抑制性差异正波”完全对应的表达，而是将该成分描述为“a contralateral positivity relative to the memory-matching item.....suggests that the focus of attention actively avoids the hemifield containing the memory-matching item or that this item is actively suppressed”。鉴于该提法可能给读者带来的困惑，我们已在正文部分对该提法进行了特别说明——本研究中“抑制性差异正波”的提法仅仅是为了便于表述，而非领域内公认的专有名词。

---

**编委复审意见：**本文试图考察工作记忆对注意的捕获/抑制作用，以解决胡艳梅等人（2013），Carlisle 和 Woodman（2011）的研究中的不足。然而本研究采用的实验范式与前人不同，在记忆序列和搜索序列中增加了空间线索屏，使得工作记忆信息先作用在空间线索上，再通过空间线索作用在视觉搜索任务上。因此，本研究实际考察的是空间线索的注意捕获效应。建议重新组织文章思路。

**回应：**感谢编委所提的宝贵意见。通过仔细思考，我们发现文章在该问题表达上的确有待进一步澄清，并已在正文引言末尾及其它相关部分进行了修改和补充。

首先，本研究中视觉搜索过程并非只发生在搜索序列。由于线索序列刺激的颜色和位置与搜索序列一一对应。因此，如果客体工作记忆内容的确会引导注意过程，那么该作用在线索序列就会开始体现，而非只在搜索序列进行。例如，记忆项目是“红色”。由于事先知晓“记忆项目永远不同于搜索目标”以及“线索刺激的颜色和位置与搜索项目一一对应”，因此可以知晓（匹配试次中）红色的线索刺激永远不会对应搜索目标。如此，注意转移过程在线索序列就可以开始，而不需等到搜索项目出现在进行搜寻。

其次，虽然本研究线索序列对搜索序列的影响发生在空间维度上，但记忆项目对线索序列的影响却是产生于客体维度。当线索序列记忆匹配刺激捕获注意后，该效应虽然表现为注意在空间上的转移，但该刺激之所以能捕获注意，依赖的却是记忆项目和线索项目在客体特征上的相似性，而与线索项目的空间位置无关。本研究实验程序中，记忆项目是呈现在屏幕中央的（且仅要求记忆项目颜色，与其空间位置无关），而线索项目分列屏幕两侧，且与记忆项目位置没有重叠（记忆项目直径 1.5°；线索项目视角为 1.5°×1.5°；线索项目中心点与屏幕中央点相距 3°）。匹配条件下，线索项目仅在客体特征上与记忆项目颜色相同，而在空间位置上与记忆项目位置无关。因此，如果与记忆项目颜色匹配的线索项目吸引了注意，那么这一注意引导过程是基于客体维度产生的，反映了客体工作记忆内容的注意引导过程。

本研究在对 ERP 数据进行分析时，采用的是线索序列数据。如上所述，该序列数据反映的是客体工作记忆内容（颜色）对注意选择过程的影响。因此，ERP 结果体现了客体工作记忆对注意的引导过程。行为数据方面，虽然线索序列对搜索序列的促进作用是空间维度上的，但如果没有记忆项目与线索序列在客体维度上的一致性，那么线索序列就不会出现任何指向明确的注意转移（线索序列没有目标特征），随后的搜索任务也不会得到促进。因此，我们认为本研究确实考察了客体工作记忆内容对注意选择过程的影响。

---

## 第二轮

审稿人 1 意见：

意见 1：作者已经修改了相关问题，建议发表。

回应：我们已对论文进行了更为细致的调整和修改，敬请专家评阅。

审稿人 2 意见：

意见：鉴于编委复审意见提及“本研究采用的实验范式与前人不同，在记忆序列和搜索序列中增加了空间线索屏，使得工作记忆信息先作用在空间线索上，再通过空间线索作用在视觉搜索任务上。因此，本研究实际考察的是空间线索的注意捕获效应”，经认真思考，本人认为实验范式的确存在一定问题。虽然可以视作将搜索任务拆解为两步完成：先空间定位，再搜索目标。但是，本文仍需要重新组织文章思路，回答相关质疑：研究得到的效应并非空间线索的注意捕获，而是工作记忆内容导致的。因为左右空间位置出现与工作记忆匹配的内容是完全随机的（或理论上平衡的），空间线索无法解释实验与控制条件下行为与 ERP 的结果。另外解释为什么不考虑去掉线索屏而直接呈现搜索屏，理论上讲应该得到一样或近似的结果，更加能够说明是工作记忆内容导致的注意捕获。

回应：首先，关于编委复审意见所提及问题，我们在原文中的确存在表述不清的问题。正如专家所言：“左右空间位置出现与工作记忆匹配的内容是完全随机的（或理论上平衡的），空间线索无法解释实验与控制条件下行为与 ERP 的结果”。虽然我们已在对编委意见的回应中进行了澄清和重述，但在正文中对此问题的说明还是不够充分。因此，我们重新整理了思路，在正文中对该问题进行了补充说明。

其次，本研究在记忆序列和搜索序列中加入线索序列的原因主要是：1）预实验结果显示当搜索项目仅有两个时，被试完成任务的速度很快（500ms 左右）。在此情况下，如果直接呈现搜索屏并让被试按键反应，那么与目标辨别相关的知觉反应（判断开口“向上”还是“向下”）以及按键反应所诱发的脑电激活可能影响被试注意捕获后的抑制性效应，即“抑制性差异正波”（产生于刺激呈现后 320~550ms）。2）本研究中线索序列的注意转移与传统范式中搜索序列的注意转移过程一致。本研究中，注意转移过程主要出现在线索序列，搜索序列中被试的任务更倾向于对目标特征进行简单的知觉判断。线索序列中，与记忆项目特征匹配的线索刺激会引导注意。这与传统范式搜索序列加工过程一致：与记忆项目特征匹配的搜索分心物会引导注意。综上，两种范式中，注意转移的产生都是基于后续刺激与记忆项目在客体特征上的相似性（而与空间位置无关）；理论上，两种范式中的注意引导效应具有一致性。

---

## 第三轮

审稿人 1 意见：

意见：论文基本解决了之前提出的问题，建议发表。

第四轮 编委复审意见

意见：接受

第五轮 主编终审意见



**意见 1：**每个关键词后用分号隔开。

**回应：**我们已在正文中英文摘要处按主编意见对文章格式进行修改。

**意见 2：**表 1 中的标题“实验 4 中被试的平均任务表现”，并没有没有明确说明均数后面的数据是标准差还是标准误，应在标题中说明。

**回应：**我们已在表 1 表头中注明了所呈现的结果数据为：“平均值和标准误”。