

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：目标匹配干扰物在视觉工作记忆中的加工：捕获注意与存储增益

作者：王焰翔，戴明夙，郭芮巧，刘强

第一轮

审稿人 1 意见：

这个研究采用 ERP 方法考察与目标特征匹配的干扰物在工作记忆中的加工及机制。研究所关注的问题是重要的和前沿的。所采用的研究范式是在前人研究（Feldmann-Wustefeld & Vogel, 2018）基础上改进的。作者试图根据本研究的结果提出，目标匹配干扰物能突破早期的过滤机制，稳定地捕获注意并被编码进入 VWM，而且表现为目标提供“增益”而非损害。作者认为，这不同于传统的“抑制干扰”过滤模型，提示 VWM 系统具有高度的灵活性，对潜在目标信息存在“兼容并蓄”的加工机制。总体上看，这篇研究是有一定的新意和潜在的学术价值的，但是我对文章的许多方面存在较大的疑问。部分主要的疑问可能与 Feldmann-Wustefeld & Vogel（2018）的论文分析和解释也有所关联，原因可能是对 ERP 实验结果的解读和意义理解上存在比较大的差异，例如对于早期 Pd/PPC，晚期的 CDA/SPCN 等成分的认定和解释上，我有较大的疑问；而这可能直接影响文章的观点和结论。而且本实验观察到的 ERP 成分，例如 CDA，也与原文有较大的潜伏期甚至方向上的区别，需要一些比较和解释。另一部分比较大的质疑是关于 EEG/ERP 记录方法和分析的，关乎实验结果的准确性和有效性。鉴于以上原因，不能直接推荐这篇论文在《心理学报》上发表，但是，如果作者愿意修改和回应，我愿意根据作者修改和回应情况再做一次判断，以避免评审人可能存在的偏差甚至误判。

回应：衷心感谢审稿专家对本文的细致审阅，您对本文提出了极具建设性和启发性的专业意见与建议。我们非常认同和理解您对本文的疑问。其中的多数源自我们文中描述或呈现规范性不足、解释不够明确，关于这些疑问，我们在文中进行了逐一修改与校对，力求呈现出有效、准确的结果。更重要的是，我们重点参考并仔细思考了审稿专家给出的 ERP 解读的建议，根据现有结果，结合专家建议，对结果的解释进行了全面完善。以下是对意见的逐条回应。正文修改稿的所有修改均使用蓝色字体标注，回复信中引用的修改内容作下划线处理。在修改过程中，我们也对全文表述进行了进一步润色与完善。

意见 1：前言第二段：“且这种干扰效应随干扰物数量的增加”，句子不完整。

回应：感谢审稿专家的仔细审阅，我们已经将该句补充完整，并仔细检查了全文，修改同类问题。修改后的具体表述如下：行为学证据表明，在编码阶段呈现干扰物会显著降低记忆成绩，且这种干扰效应随干扰物数量增加而增大。

意见 2：实验设计：有无可能被试一开始注意了全部 4 个彩色图形（因在 WM 容量范围之内）。假设目标和显著分心物都有 4 个（共 8 个，超出 WM 的 4 个容量），这样是否可以排除这种同时注意四个（目标加分心物）的策略？

回应：感谢审稿专家极具启发性的提问。在本文的两个实验中，4 项彩色图形确在视觉工作记忆的容量范围内。因此，被试在理论上可能采取了不加区分地注意所有彩色刺激（目标与干扰物）的策略，而非仅基于形状特征进行选择性的注意。若采用此种策略，确实也可能观察到匹配干扰物对行为结果的促进效应。然而，本研究采集的 ERP 数据为排除这一解释提供了神经生理证据。数据表明，干扰物位于偏侧时，仅存在匹配干扰物的条件（匹配条件和部分匹配条件）观察到显著的 N2pc；不匹配干扰物（不匹配条件）并未诱发显著的 N2pc。N2pc 是反映空间注意选择与捕获的经典指标，这一结果表明，不匹配干扰物并未受到注意加工。综上所述，结合神经生理证据可以推断，本实验中被试并非不加选择地注意全部 4 个彩色图形，而是特异性地对目标及与其特征匹配的干扰物进行了选择性注意加工。专家提出的“8 个刺激”的设计方案确实是排除该策略的有效路径之一，但基于当前的 ERP 证据，我们已能够基本排除这一解释。

意见 3：数据记录和分析：（1）因使用了 64 导联的电极帽，电极位点应该是“扩展的 10-20 系统”，未扩展的 10-20 系统大概只有 20 个电极左右。（2）水平眼动的记录不太规范，采用了单极导联，一般用双极导联记录；垂直眼动没有做记录，可能带来垂直眼动的干扰。这应该是 EEG 实验室的常规流程，但是本研究并没有遵循。（3）被试的剔除标准定义为叠加总试次数小于 590，似乎这个标准比较主观；如果是 3 种等概率的条件， $590/3$ ，大致有 190 次，应该说还是够用的。（4）ERP 的分析选取了 7 对电极，但是统计分析时进行了平均。常规的操作是保留电极信息，以便于和文献对比，具体可以参考 Picton et al. (2000), Psychophysiology 的文章；建议不做电极间的平均，可以在重要导联的 ERP 图形基础上加入地形图分析显示重要成分的分布情况。

回应：感谢您对数据记录和分析部分的审阅，数据记录与分析关乎全文结果与结论的准确性

和可靠性。我们根据您的建议进一步规范了 2.4 数据分析部分的内容。

(1) 感谢审稿专家的仔细审阅，根据扩展的国际 10-20 系统，使用 64 导联电极帽记录头皮电位。我们在正文修改稿中规范了这处描述。

(2) 非常感谢审稿专家指出的这一重要的方法学问题，我们完全认同您的观点。在 ERP 差异波的研究中，记录双侧水平眼电是分析差异波的规范操作。本研究最初仅采集了单侧的水平眼动信号。为最大限度弥补这一局限，我们采取了严格的控制与数据处理措施，且现有数据与文献显示此局限并未对核心结果产生系统性影响。

在实验阶段，我们为被试提供了足够的练习试次，要求其在完成任务时注视屏幕中心“十”字，避免眼球移动；主试在数据采集过程中实时监控，观察到明显的眼动波形便会提醒被试，要求被试严格控制眼动。在离线预处理阶段，利用水平眼动通道，通过阶跃函数检测并剔除振幅超过 $32\mu\text{V}$ 的试次，并在迭加平均时将这些试次排除在外，尽可能地排除水平眼动对 ERP 的影响。关于垂直眼动（眨眼），我们的研究使用前额电极（Fp1, Fp2）记录的信号作为眨眼伪迹的主要参考（现已补充在正文修改稿的数据分析部分）。在数据分段与基线校正后，我们将全脑所有电极的伪迹剔除阈值设定为 $100\mu\text{V}$ ，任何波幅超过此阈值的试次均被剔除，以去除眨眼及其他伪迹。

本研究结果的条件特异性本身为数据可靠性提供了证据。若水平眼动伪迹对数据造成了系统性污染，则预期在所有条件下均产生方向一致的侧化信号。然而，干扰偏侧时，本研究观察到 N2pc 成分仅在匹配条件和部分匹配条件下显著，在不匹配条件下未诱发显著的 N2pc（实验一不匹配条件： $p = 0.231$ ；实验二不匹配-高概率条件： $p = 0.697$ ，不匹配-低概率条件： $p = 0.126$ ）。这种随刺激类别而变化的条件特异性，与系统性水平眼电污染的 ERP 呈现的整体偏差不符，显示本研究 ERP 结果反映了认知加工过程，而非眼动伪迹带来的系统性偏差。

一项验证 CDA 可靠性的研究显示，通过自动的脑电预处理流程，即便未考虑眼动的影响，仍复现了 8 项研究的核心结果，显示 CDA 在不同任务、不同被试群体、不同记录设备中仍显示出十分稳健的效应，确认 CDA 可以稳健的追踪记忆负荷(Roy & Faubert, 2023)。此外，近年的多项研究同样采用单极导联检测水平眼电的研究，依然获得了稳健的偏侧化 ERP 结果，例如分析 EarlyPD（Ppc）与 N2pc（Hickey et al., 2019）、分析 N1pc 和 SPCN（Ro et al., 2025）、分析 N2pc（Arora et al., 2026）。

综上所述，我们深知无论多么严苛与规范的离线处理也无法媲美规范的在线记录。本研究依靠单极导联记录水平眼电，相较于标准的双极眼电记录方案灵敏度略有不足。但综合实

验控制、数据剔除标准、结果的特异性表现以及相关文献的支持，我们认为当前的 ERP 数据是稳健可靠的。

Roy, Y., & Faubert, J. (2023). Is the Contralateral Delay Activity (CDA) a robust neural correlate for Visual Working Memory (VWM) tasks? A reproducibility study. *Psychophysiology*, 60(2), e14180.

Hickey, C., Pollicino, D., Bertazzoli, G., & Barbaro, L. (2019). Ultrafast object detection in naturalistic vision relies on ultrafast distractor suppression. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 31(10), 1563-1572.

Ro, T., Pierce, A. M., Porubanova, M., & Lucas, M. S. (2025). Neural Correlates of Visual Feature Binding. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 37(1), 1-13.

Arora, K., Van der Stigchel, S., Kenemans, J. L., Chota, S., & Gayet, S. (2026). Independent Markers of Attentional Shifts. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1-15.

（3）我们非常理解审稿专家对有效试次数的关注。原稿中以“总试次数小于 590”作为剔除标准确实略显主观，且不如按单条件设定阈值来得精确。事实上，在实验设计之初，我们充分权衡了试次总量与被试疲劳效应。在实验 1 中，每种条件设置了 384 个试次。相比之下，Feldmann-Wüstefeld 和 Vogel (2019) 的实验中每个条件设置了 200 个试次，有效试次低于 100 的被试被剔除。其三个实验有效试次率分别为（84.1%、85.1%、80.8%），即平均有效试次为 160~170。在本文的两个实验中，即使是数据有效率最低的被试，也仍然保留了约 160 个有效试次。正如您所言，有效试次数足以支持可靠的 ERP 成分提取与统计检验。根据您的建议，为了使数据剔除标准更加客观、规范，我们在正文修改稿中将剔除标准明确调整为“任一条件下有效试次不足 150 的被试将被排除”。

正文修改稿调整内容如下：实验一中，“任一条件有效试次不足 150 的被试数据被排除，最终纳入分析的 28 名被试，平均有效率 90.4% ($SD = 11.16\%$)。”

实验二中，“任一条件有效试次不足 150 的被试数据被排除，最终纳入分析的 24 名被试，平均有效率 86.0% ($SD = 10.74\%$)。”

（4）感谢审稿专家的宝贵建议。在仔细阅读相关经典文献后，我们在正文修改稿中补充了原始波形图（图 3，图 7；即偏侧呈现时的对侧与同侧波形）。

关于统计分析时的电极选择，我们非常认同专家提到的“保留电极信息以增强文献间可比性”的重要性。在 ERP 研究中，对感兴趣电极进行平均是提升信噪比的常用手段，有助于在空间维度上抵消局部噪声及个体解剖差异对统计灵敏度的影响。但正如您所担忧的，过宽的电极选择确实可能稀释效应或降低研究间的可比性。为平衡数据的可靠性与结果的推广性，我们放弃初稿中的 7 对电极方案，采用顶枕叶区域的 3 对电极（PO3/PO4, PO5/PO6,

PO7/PO8) 进行平均分析(McCollough, Machizawa & Vogel, 2007; Roy & Faubert, 2023)。为了确认“电极通道”本身是否会导致结果的系统性差异,我们将通道作为因素纳入了重复测量方差分析。结果证实,3对电极方案比7对电极方案更为稳健:实验一中,无论是7对还是3对电极方案,“通道与条件”的交互作用均不显著($p > 0.260$)。实验2中,采用7对电极,干扰偏侧时,Ppc ($p = 0.008$)和 N2pc ($p = 0.016$)的“概率 $\times$ 通道”交互作用显著,CDA呈边缘显著($p = 0.053$);目标偏侧时,N2pc的“概率 $\times$ 通道”交互作用也显著($p = 0.008$)。当减少为更为稳健的3对经典电极后,绝大多数交互作用消失(仅目标偏侧时Ppc交互作用显著 $p = 0.037$,干扰偏侧时Ppc边缘显著 $p = 0.059$,其余 $p > 0.171$)。

综上所述,采用顶枕区3对电极排除了过宽通道选择带来的多个交互作用,结果更为稳健。我们在正文修改稿中报告了基于这3对电极的统计结果。最后,为了进一步打消您对电极平均操作的疑虑,我们于本回复信的文末附上了3对电极平均前的单导联原始波形图(附图1-7),供您审阅。

McCollough, A. W., Machizawa, M. G., & Vogel, E. K. (2007). Electrophysiological measures of maintaining representations in visual working memory. *Cortex*, 43(1), 77-94.

Roy, Y., & Faubert, J. (2023). Is the Contralateral Delay Activity (CDA) a robust neural correlate for Visual Working Memory (VWM) tasks? A reproducibility study. *Psychophysiology*, 60(2), e14180.

意见4: 实验一行为结果:(1)实验的指导语是在正确的基础上尽快反应,但是文中只关注了正确率,没有分析RT数据,需要说明一下原因。(2)“探测匹配项”与“探测不匹配项”需要明确界定一下。探测匹配项比探测不匹配项的正确率更高,这个结果的解释是什么?应该在统计之后做一个说明,否则读者可能看不懂也记不住实验结果。全文都有这个情况,建议修改补充。(3)行为结果做了这两者的区分,但是ERP的结果并没有这样区分,为什么?

回应: (1)感谢审稿专家的宝贵建议。本研究着重于视觉工作记忆加工,其核心指标在于考察被试的记忆成绩(正确率),而非加工速度(反应时)。实验指导语中要求被试“在保证正确的前提下尽快反应”,主要目的是使被试在任务过程中保持高度专注,并避免因反应过度迟缓导致的记忆表征消退。

为保证数据呈现的完整性,我们已在正文修改稿中补充了两个实验的反应时(RT)分析结果。统计检验显示,各实验条件间的反应时差异均不显著,这进一步证实了本研究的实验效应主要体现在对记忆存储(正确率)的调控。反应时的描述统计与差异检验结果于正文修改稿中“2.5.1 行为结果”和“3.4.1 行为结果”呈现。

正文修改稿补充关于反应时数据处理细节补充至 2.4 数据分析部分：“反应时数据的分析仅保留正式实验中反应正确的试次。剔除反应时小于 200 ms 或大于 3000 ms 的极端试次，并进一步剔除超出各条件平均数正负 3 个标准差（ $M \pm 3SD$ ）的试次。”

（2）感谢审稿专家的宝贵建议，我们在正文修改稿 2.5.1 行为结果中补充了对探测匹配项的界定。

“在部分匹配条件下，探测阶段包含两种试次类型：“探测匹配项”与“探测不匹配项”，分别对应探测的目标项与干扰项颜色特征匹配或不匹配。”

在正文修改稿实验 1 的讨论部分，对该结果背后的认知机制补充了如下说明：“在部分匹配条件下，由于干扰项与目标项中仅有一项颜色相同，特征匹配使其捕获注意并被编码进入视觉工作记忆。在提取阶段，探测匹配项由于获得了来自干扰项的额外表征线索，产生了行为增益，表现为正确率的显著提升；而探测不匹配项时，目标由于缺乏匹配干扰项带来的增益，其表现与不匹配条件保持一致，无显著差异。”

（3）行为结果对探测匹配项与探测不匹配项的区分，行为结果与 ERP 结果在分类上的差异，主要是由两个指标涉及实验阶段不同性决定的。

行为学结果是对“探测阶段”的反应进行记录。在部分匹配条件下，由于每次只随机探测一个目标（即探测匹配项或探测不匹配项），因此我们可以准确记录并区分这两种情况下的记忆成绩差异。

ERP 结果是对“呈现和保持阶段”进行记录。在部分匹配条件的记忆阵列中，匹配目标与不匹配目标是同时、同侧呈现在屏幕上的。由于偏侧化 ERP 成分反映的是大脑对偏侧视野内所有刺激的整体加工过程，因此无法对 ERP 结果进一步区分。

最后，尽管无法在“部分匹配条件”内部剥离 ERP 信号，但本实验设计中已经包含了纯粹的“匹配条件”和“不匹配条件”。直接对比这两个独立条件下的 ERP 波形，已经能够非常清晰、纯粹地反映出匹配特征与不匹配特征在神经加工过程上的差异。

综上，我们在 ERP 结果中没有像行为结果那样进一步区分探测匹配项和不匹配项。

意见 5：实验一脑电结果：（1）目标项诱发的 ERP 成分分析，这是指偏侧化的目标吗？要明确。同样的，对于干扰物的分析也需要明确。（2）早期 Pd, N2pc, CDA，这些成分的时间窗口是如何确定的？如何避免主观性？可以参考一下已有文章的做法。CDA 的分析窗口为 600-1000ms，明显晚于常见的 CDA 窗口（可参考作者重点引用的 Feldmann-Wüstefeld & Vogel, 2018 文献，该文献中 CDA 的潜伏期明显更早）。（3）Pd 条件间不显著，是否可能是刺激显

著性所致的 PPC? 如何确认该成分是 Pd 而不是体现知觉能量对侧化差异的早期 PPC 成分 (Chen et al., 2023, Psychophysiology)? 而且, 目标在偏侧时无需抑制, 为什么会有 Pd 成分? 有没有可能这个早期 Pd 实际是 Ppc (反映更高的物理显著性或者知觉能量的对侧化差异, 相对于对侧的灰色刺激图形)? (4) N2pc 只有在匹配和部分匹配条件下出现, 是否说明目标相关特征得到了注意? (5) 目标“匹配条件 CDA 振幅小于不匹配条件, 差异边缘显著”, 这是否提示这是 SPCN (而不一定是 CDA)? 匹配时偏侧化目标受到的注意更少 (分配更多注意到颜色匹配的分心物上), 因而引发更小的 SPCN。(6) 对于干扰物而言, 只有匹配或部分匹配时才有 N2pc. 这似乎说明因颜色匹配而得到了注意。加上前面可能的 PPC 成分可能可以得到合理的解释。反过来, 如果 N2pc 之前是早期 Pd, 那么先抑制 (Pd) 再捕获注意 (N2pc) 的解释就变得困难和不合理。(7) 对于干扰项的 CDA: “不匹配条件的 CDA 振幅显著低于匹配条件”, 这个结果是否提示, 这不是 CDA 而是 SPCN? 如果是 CDA: 目标在中线, 不应该带来 CDA (对侧化) 的差异, 因任务是记忆目标而非干扰项; 似乎更像 SPCN: 尽管不需要注意干扰项的颜色, 但是匹配的时候仍然更多注意干扰项, 引起更大的 SPCN。

回应: (1) 感谢审稿专家关于脑电结果部分的仔细审阅, 初稿中我们对结果的呈现不够规范与清晰。我们在正文修改稿中对目标诱发的 ERP 和干扰物诱发的 ERP 在小标题处进行了明确描述: “目标偏侧呈现诱发的 ERP 成分分析”与“干扰偏侧呈现诱发的 ERP 成分分析”。帮助读者更加直观了解各部分呈现的 ERP 结果。

(2) 感谢审稿专家的建议。为进一步提高 ERP 数据分析的客观性、减少主观偏差, 我们在正文修改稿中对分析窗口及统计方法进行了重新厘定。

在正文修改稿中, 针对有明显波峰的 Ppc 与 N2pc 成分采用 Jackknife-based 法来计算 50% 最大波幅潜伏期 (Kiesel et al., 2008)。根据 Ulrich 和 Miller (2001) 提出的公式, 将 t 值除以 $(N-1)$ 进行校正, 并计算显著性水平。本文潜伏期检验结果显示各条件间均无显著差异。

在实验 2 中, 由于目标偏侧诱发的 N2pc 负波在 200-350 ms 区间内未见回落, 而是演变为持续性的后部对侧负波, 导致 50% 阈值的后边界在数学上无法收敛。Luck (2014) 指出, 对于此类不回落的持续性成分, 基于总平均波形进行目视检查并设定先验的固定宽时间窗, 是避免统计偏差且较为稳健的测量手段。因此, 目标偏侧诱发的 N2pc 采用 250-320 ms 作为平均波幅的分析窗口, 干扰偏侧则采用 240-320ms 作为分析时间窗。

关于 CDA 时间窗较晚的问题, 我们非常认同您的观察。CDA 作为一种持续性的对侧负慢波, 其时间窗通常结合不同加工任务与实际波形特征确定。本研究的核心目标是分析干扰物在 VWM 任务中的加工过程, 因此 CDA 窗口的设定主要参考干扰偏侧条件下的波形。

Feldmann 和 Vogel (2019) 的研究中，干扰物诱发的 CDAp 出现时间比目标的潜伏期晚了约 40~80ms。在本文的两项实验中，干扰偏侧时，其诱发的 CDA 也明显晚于目标（刺激呈现后约 600ms 出现持续的负波）。综上，结合两项实验的波形特征与探讨干扰物加工的研究目的，我们在正文修改稿中将干扰物诱发显著负波的时间窗（600 - 900 ms）定为统计分析窗口。同时，为了在同一加工时程下对比目标与干扰物的存储情况，目标偏侧诱发的 CDA 选取相同的时间窗口。

以上内容补充至正文修改稿 2.4 数据分析部分和 3.3 数据分析部分。

Ulrich, R., & Miller, J. (2001). Using the jackknife-based scoring method for measuring LRP onset effects in factorial designs. *Psychophysiology*, 38(5), 816-827.

Kiesel, A., Miller, J., Jolicœur, P., & Brisson, B. (2008). Measurement of ERP latency differences: A comparison of single-participant and jackknife-based scoring methods. *Psychophysiology*, 45(2), 250-274.

Jolicœur, P., Brisson, B., & Robitaille, N. (2008). Dissociation of the N2pc and sustained posterior contralateral negativity in a choice response task. *Brain Research*, 1215, 160-172.

Luck, S. J. (2014). *An introduction to the event-related potential technique* (2nd ed.). MIT press.

（3）感谢审稿专家提出这一极具启发性与见地的观点。经过仔细研读您推荐的文献并反思当前结果，我们完全认同您的判断。在初稿中将早期对侧阳性成分定义为“早期主动抑制（Early PD），将导致“目标偏侧同样诱发该成分”这一结果难以实现逻辑自治。正如您所建议的，将其解释为反映物理显著性的 Ppc（后部对侧正波，Positivity, Posterior Contralateral），能更加合理地解释现有结果。为此，修改稿中全面采纳您的建议，将早期对侧阳性成分界定为 Ppc，并据此重新梳理了全文的逻辑。以下是修改稿中界定 Ppc 的进一步说明：

从知觉加工的视角出发，Ppc 反映了视觉皮层对视野中物理凸显刺激自下而上的早期登记与响应。正如 Chen 等人 (2023) 和 Jannati 等人 (2013) 所指出的，Ppc 是“任务盲”的，它独立于刺激的任务属性，仅反映偏侧视野中显著刺激的相对感知强度(Chen et al., 2023; Jannati et al., 2013)。这一特性很好地解释了在本研究中，偏侧化的目标之所以诱发该正性成分，是因为它与干扰物一样，具有相对于对侧灰色图形更高的物理显著性。进一步而言，视觉工作记忆过滤机制的核心在于防止无关刺激进入记忆存储，而这种“过滤”在极早期的知觉登记阶段可能尚未发生。过滤选择发生于知觉系统自下而上地识别出刺激的属性（目标/干扰物）之后：此时自上而下的注意控制系统开始介入，将注意定向至目标项以进行视觉工作记忆编码，同时将干扰物阻挡在视觉工作记忆系统之外。

结合本研究的 ERP 数据，我们发现在“干扰物偏侧”条件下，无论干扰物是否具备目标

匹配属性，均稳定诱发了相似的 Ppc 成分，且条件间未见显著差异。这进一步说明，此时大脑仅在进行基于物理显著性的自下而上登记，自上而下的具体身份属性识别（匹配/不匹配）尚未发生。真正的视觉工作记忆“过滤机制”，是在此知觉登记之后才开始介入的。

此前，Feldmann-Wüstefeld 和 Vogel (2019) 的研究曾倾向于将类似成分解释为对干扰物的“早期主动抑制（Early PD）”。然而，这一理论框架在面对“目标偏侧亦诱发相同正波”的现象时确实存在局限。引入 Chen 等人 (2023) 关于 Ppc 的最新研究视角后，对当前的结果提供了更具说服力的解释。

专家的这一建议不仅修正了我们原有的理论偏差，更显著提升了本文讨论的深度与说服力。我们已在正文修改稿的“4.5 讨论”部分对 Ppc 进行了进一步讨论。请参阅正文修改稿 4.5。

Fortier-Gauthier, U., Moffat, N., Dell'Acqua, R., McDonald, J. J., & Jolicoeur, P. (2012). Contralateral cortical organisation of information in visual short-term memory: Evidence from lateralized brain activity during retrieval. *Neuropsychologia*, 50(8), 1748-1758.

Jannati, A., Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2013). Tracking target and distractor processing in fixed-feature visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(6), 1713-1730

Feldmann-Wüstefeld, T., & Vogel, E. K. (2019). Neural evidence for the contribution of active suppression during working memory filtering. *Cerebral Cortex*, 29(2), 529-543.

Chen, X., Xu, B., Chen, Y., Zeng, X., Zhang, Y., & Fu, S. (2023). Saliency affects attentional capture and suppression of abrupt-onset and color singleton distractors: Evidence from event-related potential studies. *Psychophysiology*, 60(4), e14290.

（4）感谢审稿专家的深刻提问，帮助进一步深化本文结果的解读逻辑。

正如您所言。作为反映空间注意转移与指向的经典 ERP 指标，N2pc 能够清晰地揭示偏侧呈现的项目是否受到注意加工。本研究结果显示，当干扰物位于偏侧视野时，仅在存在匹配干扰物的情况（即匹配条件和部分匹配条件）下诱发了显著的 N2pc 成分。这一结果表明，携带目标相关特征的匹配干扰物成功捕获了被试的注意。

值得注意的是，N2pc 被认为是反映空间注意转移与指向的 ERP 指标，既能表征基于任务目标的自上而下注意投入，也能表征受刺激驱动的自下而上注意捕获(Theeuwes, 2010)。实验 2 结果显示，在目标偏侧时，低概率-匹配条件诱发了比高概率-匹配条件振幅显著更高的 N2pc。这揭示了被试面临呈现更低概率匹配干扰物时，会策略性地向目标投入更多自上

而下的注意资源，以强化对目标的加工。然而，干扰偏侧诱发的 ERP 模式显示，这种为保护目标加工而增加的自上而下注意投入，并未削弱干扰物对注意的捕获。匹配干扰物仍然诱发了显著的 N2pc，且振幅未受呈现概率的显著调节。这一发现支持了两种机制共同影响注意选择：自上而下调节目标注意分配，自下而上驱动干扰物捕获注意。

综合上述分析，我们已将这部分关于注意捕获机制的解读整合至正文修改稿的“4.4 讨论”部分中。

Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135(2), 77-99.

（5）感谢审稿专家的深刻提问，为本文深入的解读提供了新颖视角。关于将对侧持续负波界定为 CDA（对侧延迟活动）还是 SPCN（持续性后部对侧负波），实质上反映了视觉工作记忆（VWM）与视觉注意在神经机制层面的争论。经过慎重考量，修改稿中继续采用 CDA 对结果进行解读。主要基于以下三点原因：

1.实验范式与任务要求。视觉空间注意领域，通常要求对目标注意选择后进行持续的注意，以完成随后的任务。其诱发的持续负波通常被称为 SPCN(Jolicœur et al., 2006)。本文的视觉工作记忆范式中，刺激阵列短暂呈现 200 ms，随后是一段长达 1000 ms 的空白保持期。在这个阶段，屏幕上已无任何物理刺激，被试无法依赖外部注意来完成任务，需将目标颜色特征编码入工作记忆中进行短暂维持，以应对随后的变化觉察探测。此类明确的“无视觉输入设计”与“记忆存储需求”，更为契合 VWM 领域对 CDA 成分的界定。

2.底层机制的同一性。现有研究显示 CDA 与 SPCN 在发生源、时间窗及头皮分布上高度一致。在视觉工作记忆领域，刺激在短暂的呈现后，通常伴随一段保持期，由于刺激已经消失，因此刺激诱发的持续神经活动通常被视作与刺激编码入视觉工作记忆相关联。VWM 的维持，本质上依赖于持续指向内部记忆表征的空间注意(Awh, Vogel, & Oh, 2006)。在变化觉察任务及其变式中，使用 CDA 来标记这一反映内部记忆维持过程的 ERP 成分，是当前领域内常见做法(Luria et al., 2016)。

3.对存储资源分配的敏感性。CDA 的一个关键特性是其对 VWM 的存储数量与资源占用高度敏感(Vogel & Machizawa, 2004; Roy & Faubert, 2023)。在本文实验 1 中，我们观察到在目标偏侧时，匹配条件诱发的 CDA 振幅显著低于不匹配条件，这反映出匹配条件下的目标物所获得的 VWM 存储资源相对减少（即资源被匹配干扰物挤占）(Vogel & Machizawa, 2004)。值得注意的是，尽管目标的 CDA 振幅下降，但行为正确率并未随之降低。这支持了本研究的核心假设，即匹配干扰物进入 VWM 后，在提取阶段起到了目标增益的作用。采用 CDA 的框架，能够更好解释 ERP 结果（存储资源减少）与行为结果（记忆成绩不变）的关系。

Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428(6984), 748-751.

Awh, E., Vogel, E. K., & Oh, S. H. (2006). Interactions between attention and working memory. *Neuroscience*, 139(1), 201-208.

Jolicœur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006). On the control of visual spatial attention: evidence from human electrophysiology. *Psychological Research*, 70(6), 414-424.

Luria, R., Balaban, H., Awh, E., & Vogel, E. K. (2016). The contralateral delay activity as a neural measure of visual working memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 62, 100-108.

Roy, Y., & Faubert, J. (2023). Is the Contralateral Delay Activity (CDA) a robust neural correlate for Visual Working Memory (VWM) tasks? A reproducibility study. *Psychophysiology*, 60(2), e14180.

（6）感谢审稿专家非常宝贵的建议，基于您的宝贵建议，我们在修改稿中采用 **Ppc** 来解读实验结果。在问题 5（3）中对这一问题进行了详细讨论。

（7）感谢审稿专家的细致审阅和宝贵建议。您指出的“目标在中线，为何会出现记忆成分 **CDA**”的问题是本研究的核心结果。我们完全赞同您的前提：在干扰偏侧呈现时，目标位于中线，因此观察到的偏侧化负波是由偏侧呈现的干扰物所驱动的。面对这一现象，我们之所以坚持将其解读为与视觉工作记忆（**VWM**）存储相关的 **CDA**，而非仅仅是反映持续空间注意的 **SPCN**，主要基于以下两点核心考量：

结合本实验的范式，刺激阵列短暂呈现后伴随一段长达 **1000 ms** 的“空白保持期”。在这段没有任何外部视觉刺激输入的阶段，被试无法单纯依靠持续的“外部空间注意”来完成对匹配特征的加工；相反，认知系统需将其编码并维持在“视觉工作记忆”中，才可实现对其持续加工。因此，将这一无视觉输入维持期内诱发的持续性负波界定为 **CDA**，更能准确刻画被试内在的 **VWM** 存储与加工机制。

此外。如您所言，被试确实不需要（也不应该）记忆干扰项。然而，本研究的核心假设与发现正是：当干扰物携带与目标匹配的特征时，它不仅会在早期捕获注意，还会被编码并存储进 **VWM** 中。这与行为结果相匹配，匹配干扰物进入了记忆存储，为目标记忆表征提供“增益”，提升了目标记忆成绩。

关于 **CDA** 与 **SPCN** 在理论界定上的异同、两者与注意机制的深层关系，以及我们为何最终坚持采用 **CDA** 视角的讨论，我们在问题 5（5）的回复中也进行了详细介绍，敬请您参阅。

意见 6：实验一讨论。（1）第二段：“早期 PD（被视作反映反应抑制的 ERP 成分”，这个表述

不准确，一般早期 Pd 被认为是主动抑制的指标，反应抑制的指标为晚期 Pd。这里可能还是之前提到的问题：它可能是 PPC 而不是 Pd。（2）“然而，目标匹配干扰物（无论部分匹配还是匹配条件）诱发早期 PD 后，随即诱发显著的 N2pc 成分。N2pc 通常标志着注意的空间选择与捕获(Luck & Hillyard, 1994a, 1994b)。这一结果表明，尽管早期抑制机制试图发挥作用，由于干扰物携带目标的记忆特征（颜色），注意控制将其标记为潜在目标，导致其捕获注意(Folk et al., 1992)。”解释似乎有点问题。这里似乎就是任务相关的特征捕获了注意。问题：不应该有晚期 PD 对干扰物进行反应抑制吗？

回应：（1）感谢审稿专家的宝贵建议。在初稿中，我们对早期与晚期对侧阳性成分（Pd）的界定不够准确。当前的研究普遍认为早期 Pd 是主动抑制的指标，反应抑制的指标为晚期 Pd。针对本研究观察到的早期对侧阳性成分，结合专家的建议，我们在修改稿中采用了更具理论解释力的 Ppc（后部对侧正波）视角来解读实验结果。这一调整使本研究的逻辑更为自洽。关于 Ppc 的界定与功能的讨论，敬请参阅我们在问题 5（3）中的介绍。

（2）感谢审稿专家的提问，进一步完善了本文的逻辑架构。

在许多研究中观察到干扰物在诱发 N2pc 后，紧接着诱发 PD，对干扰物进行反应抑制。然而，我们的研究中并未观察到这一点。在匹配条件下，匹配干扰物由于携带了明确的目标相关特征（颜色），不仅在早期捕获了注意（N2pc），还进入了视觉工作记忆（CDA）。显示其被标记为目标相关特征，捕获注意后未被反应抑制而进入视觉工作记忆。矛盾之处在于，我们在不匹配条件下，干扰物同样未诱发抑制成分（Pd），我们仔细查阅相关文献后，认为可能存在以下几点原因：

1.干扰低负荷下 Pd 成分的不稳定性。在 Feldmann-Wüstefeld 和 Vogel (2018) 的研究中，当干扰物负荷较低(2 个)时,Pd 结果并不总是可靠。其实验 1 中未发现显著的 Pd($M = 0.11\mu V$, $p = 0.183$)，仅在实验 2 中观察到显著的 Pd ($M = 0.22\mu V$, $p = 0.019$)。

2.不匹配的干扰物降低了主动抑制需求。Gaspelin 和 Luck (2018) 认为，当干扰物与目标特征完全不同（如形状、颜色均不同）时，大脑中极少的认知资源就能识别目标和干扰物，无需调用更多资源对干扰物进行反应抑制。

3.相对显著性调节了加工优先级。Chen 等人(2023)发现，奇异项作为目标时并未诱发显著的 Ppc，作者推测可能与干扰项与目标项的相对显著性有关。在本研究中，由于存在携带目标颜色的“匹配干扰项”，使得不匹配干扰项处于更低的加工优先级，进而无需消耗更多的抑制资源进行反应抑制，表现为未诱发显著 Pd 成分。

综合以上论述，我们已将这部分内容在正文修改稿讨论 4.5 部分（第二段）进行简要介

绍，敬请参阅。

Gaspar, J. M., Christie, G. J., Prime, D. J., Jolicœur, P., & McDonald, J. J. (2016). Inability to suppress salient distractors predicts low visual working memory capacity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(13), 3693-3698.

Feldmann-Wüstefeld, T., & Vogel, E. K. (2019). Neural evidence for the contribution of active suppression during working memory filtering. *Cerebral Cortex*, 29(2), 529-543.

Gaspelin, N., & Luck, S. J. (2018). The role of inhibition in avoiding distraction by salient stimuli. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(1), 79-92.

Chen, X., Xu, B., Chen, Y., Zeng, X., Zhang, Y., & Fu, S. (2023). Saliency affects attentional capture and suppression of abrupt-onset and color singleton distractors: Evidence from event-related potential studies. *Psychophysiology*, 60(4), e14290.

意见 7：实验二结果：（1）N2pc 的时间窗口，对于目标和干扰来说定义得不一样，似乎有点随意。建议明确选取的理由。CDA 的起始潜伏期一般约为 200~300ms，本研究明显更晚，为什么？（2）ERP 图缺少原始波形图，只有差异波，这不符合 ERP 呈现规范。目标和干扰的 ERP 纵轴尺度不一致，建议一致。实验一也有类似问题，建议统一修改。

回应：（1）感谢审稿人的宝贵意见。在修改稿中重新确定了 ERP 成分的时间窗，并介绍了如何确定各 ERP 成分的时间窗。详细内容请阅览回复 5（2）。

（2）感谢审稿专家帮助本文进一步提升规范性。在正文修改稿中我们增加了原始波形图的呈现，统一了 ERP 纵轴的标尺（图 5，图 9）。

意见 8：总讨论：（1）“目标匹配干扰物首先诱发了显著的早期 PD 成分，表明认知系统在最初的感知加工阶段试图进行抑制。”这里作者的意思是，早期 Pd 反映了类似于主动抑制的过程。单独看干扰物似乎这样解释没有问题；然而，偏侧化目标也诱发了相似的早期 Pd，这就不好用抑制进行解释了。因此，再次提示讨论过的观点，它可能不是反映抑制的 Pd 而是反映知觉能量的 PPC。（2）4.3 过滤机制的讨论。如何证明是过滤机制而不是知觉机制？如果把早期 Pd 认定为 PPC，那就是知觉加工引起注意增强的问题了，不是过滤（而且，目标诱发的 Pd 也无法用过滤来解释，而用凸显性知觉加工引起注意增强更合理）。Pd/PPC 的讨论和争议可以参考 Fourtier-Gauthier et al. (2012), *Psychophysiology*, 以及 Chen et al. (2023), *Psychophysiology* 的论文。（3）本实验采用的范式是单例搜索（目标的形状唯一）而非特征

搜索范式，单例搜索范式下，对显著干扰物的抑制是反应抑制而非主动抑制，由晚期 Pd 所表示(参见 Chen et al., 2023, Psychophysiology; 以及 Gaspar et al., 2016; Psychophysiology)。本实验中偏侧化干扰并没有诱发出晚期 Pd，这也与本研究所参考范式的原作者论文（Feldmann-Wüstefeld and Vogel, 2018, Cerebral Cortex）中偏侧化干扰诱发出晚期 Pd 的结果不同；干扰物诱发晚期 Pd 是个重要的预期，为什么没有诱发 Pd？需要进行明确的分析和解释。具体而言，那篇论文中，作者把偏侧化目标和偏侧化干扰诱发的早期差异也称为早期 Pd（90~190 ms）而不是 PPC，然而这个做法并不一定正确（见之前关于目标和干扰都诱发早期 Pd--提示主动抑制--的不自洽解释）。本文作者似乎是照搬了该种做法。而且，那篇论文中，2 个干扰物条件下，偏侧化干扰是诱发了晚期 Pd（244~344ms）的（而本实验并没有该成分）。（4）最后，关于 CDA 和 SPCN/Sustained Positivity：首先，在 Feldmann-Wustefeld & Vogel, 2018 论文中，作者区分了两种 CDA，记忆目标诱发的是传统的 CDA，而记忆干扰物诱发的是 CDAP，持续性正波，表示持续性抑制（Pd 表示短暂性抑制）。本文未对偏侧化目标和干扰的 CDA 做区分。其次，为什么 Feldmann 文中偏侧化匹配干扰诱发的是 Sustained positivity，而本文诱发的是持续性负波？第三，有无可能该成分是反应注意加工的 SPCN 成分？即，早期因格式塔知觉组织而对匹配干扰进行更多的注意加工（更大的 PPC 成分），匹配干扰也捕获了更多的注意（更大的 N2pc），并在加工后期得到了更多的注意或工作记忆资源（更大的 SPCN）？而且，这与本实验中匹配干扰促进行为表现的结果也不矛盾。

回应：（1）感谢审稿专家的宝贵建议。我们认同审稿专家的观点，重新梳理了全文逻辑，将早期 PD 界定为更合理的 Ppc。详细介绍敬请参阅回复 5（3）。

（2）感谢审稿专家的宝贵建议，帮助本文进一步澄清了 Early PD 和 Ppc 的界定。过滤机制与知觉机制的讨论详见 5（3）介绍。主要观点是：知觉机制并未根据任务需求完成对目标和干扰物的选择，视觉工作记忆对刺激的过滤选择发生在知觉之后。此时，干扰物的不同条件诱发的 ERP 成分出现差异性结果。

在审稿专家的建议下，本文在修改稿的全文中弱化了关于“过滤机制”的描述，采用更为贴切的“视觉工作记忆过滤选择机制”来描述对不同类型干扰物的过滤选择加工。

（3）感谢审稿专家的宝贵建议。您的批评十分中肯。在初稿中，我们在很大程度上沿用了 Feldmann-Wüstefeld 和 Vogel (2019)的解释框架。正如您敏锐指出的，“早期 Pd（主动抑制）”的界定在逻辑上并不自洽。在认真研读 Chen et al. (2023) 的研究后，我们完全认同 Ppc 的界定：无论刺激是否需要被抑制（无论它是目标还是干扰物），只要其具备物理显著性，均会诱发 Ppc。因此，这一成分反映了物理显著性和早期知觉加工，而非对偏侧干扰物的抑制。

综上，我们在修改稿中重新梳理了全文逻辑，采用了 Ppc 来解读现有结果，详细介绍敬请参见 5（3）。关于本文为什么没有发现 Pd，敬请参见 6（2）。

（4）感谢审稿专家的深度审阅与提问。关于 CDAp 的缺失以及 CDA/SPCN 的界定，我们结合相关文献与现有结果，从以下方面进行回应：

首先，为什么匹配干扰物诱发了 CDA 而非 CDAp？在 Feldmann-Wustefeld & Vogel(2019) 的研究中，由于其干扰物与任务完全无关，因此诱发了反映“持续抑制”的正性成分 CDAp。然而，在本研究中，匹配干扰物携带有与目标一致的颜色特征。匹配干扰物不仅未被“持续抑制”，反而经历了与目标极其相似的加工过程：它同样捕获了注意（N2pc），并诱发了与目标极性相同且显著的负性波（CDA）。这表明，匹配干扰物被视作与任务相关的刺激，不仅未被“持续抑制”，而是经历了与目标相似的认知加工，像“目标”一样进入视觉工作记忆存储。

其次，为什么不匹配干扰物没有诱发 CDAp？本文未观察到 CDAp 可能有以下几点原因：干扰物负荷较低（均为 2），可能未达持续抑制的阈值。Feldmann-Wustefeld 等人(2019)的研究中，当干扰物负荷为 2 时，同样未发现显著的 CDAp；仅在干扰物负荷增加至 4 或 6 项时，发现显著的 CDAp。加工优先级较低，匹配干扰物的存在，使得不匹配项被置于极低的加工优先级。它们可能在早期的知觉阶段就被舍弃，在进入视觉工作记忆编码前就已经消退，因此既没有诱发主动抑制（Pd），也没有诱发持续抑制（CDAp）。（关于 CDAp 的讨论，于正文修改稿讨论 4.5 部分进行了简要介绍）

最后，审稿专家关于本文结果的推演精准的概括了本文的核心结果。然而，修改稿中仍采用 CDA 而非 SPCN 来解读本研究结果，主要基于以下考量：

无外部输入的内部维持：刺激呈现仅 200 ms，随后的 1000 ms 保持期内无任何外部视觉输入。对刺激特征的持续关注，必须依赖于将其编码并巩固入内部工作记忆系统中。

内部注意与工作记忆的“同一性”：Kiyonaga 和 Egner (2013)指出，工作记忆的维持本质上就是“指向内部表征的持续注意”。Jolicoeur 等学者倾向用 SPCN 强调持续的空间注意；Vogel 和 Luck 等学者则用 CDA 强调工作记忆的存储属性。

基于本文在短暂呈现后明确要求被试对目标进行记忆维持，采用 VWM 领域的名称 CDA，可以较好体现实验设计考察的记忆维持核心内涵。

Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428(6984), 748-751

Jolicoeur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006). On the control of visual spatial attention: evidence

from human electrophysiology. *Psychological Research*, 70(6), 414-424.

Eimer, M., & Kiss, M. (2010). An electrophysiological measure of access to representations in visual working memory. *Psychophysiology*, 47(1), 197-200.

Kiyonaga, A., & Egner, T. (2013). Working memory as internal attention: Toward an integrative account of internal and external selection processes. *Psychological Bulletin*, 139(1), 228-243.

Feldmann-Wüstefeld, T., & Vogel, E. K. (2019). Neural evidence for the contribution of active suppression during working memory filtering. *Cerebral Cortex*, 29(2), 529-543.

.....

审稿人 2 意见：

该文章采用偏侧化视觉工作记忆过滤范式，巧妙地分离了目标与干扰物的神经活动（N2pc、CDA、PD），挑战了传统的“干扰物必然导致资源竞争并削弱表现”的观点。文章脑电数据预处理流程规范，结合行为结果与脑电指标的解释比较有潜力，但在核心逻辑的自洽性、概念界定及概念间关系，以及部分结果的解释上，还有进一步打磨的空间。以下是针对文章内容的几点修改建议：

衷心感谢审稿专家对本文的细致审阅。您对本文提出核心逻辑、概念界定和结果解释上的专业意见与建议，对提升本文的理论深度与严谨性具有重要的指导意义。以下是对审稿意见的逐条回应，为方便审阅，正文修改稿中的所有变动均已使用蓝色字体标出，本回复信中涉及修改稿的具体改动则采用下划线标注。

意见 1：在前言中，文章提到视觉搜索领域中“目标匹配干扰物具有更强注意捕获能力”的结论，又提到“视觉搜索任务与视觉工作记忆任务在加工机制上存在本质差异”，来引出其在视觉工作记忆中目标匹配干扰物的表现。然而，视觉搜索任务主要依赖感知层面的加工（寻找目标），而视觉工作记忆更强调维持表征。如何理解这两种加工机制在本文视觉工作记忆任务中的关系？

回应：感谢审稿人专业的提问，帮助我们进一步完善本文的逻辑链。视觉搜索涉及感知层面加工，而视觉工作记忆侧重于自上而下的内部表征维持。然而，这两种机制并非割裂，Desimone & Duncan 的偏向竞争模型，以及 Soto 等人的工作记忆引导注意理论显示，注意与视觉工作记忆在“注意模板”的激活与维持上共享神经机制。

结合本文的视觉工作记忆任务，被试的认知加工实际上包含了一个连续动态过程：

感知与搜索：由于在刺激呈现前并未预先指定目标颜色，在刺激呈现的瞬间，被试首先需要完成感知层面的“视觉搜索”（基于给定形状寻找目标）。

编码与维持：将目标颜色编码进入 **VWM**，并进行持续的“记忆维持”。在此过程，被试对目标颜色的编码与维持，将强化对该颜色特征的感知权重。因此，视野中与目标颜色匹配的干扰物，作为自下而上的物理输入与 **VWM** 中自上而下的加工产生交互，使匹配特征捕获注意。更重要的是，这些匹配干扰物捕获注意后被进一步编码进入 **VWM**。它们所携带的匹配颜色特征，强化了目标记忆的表征存储。在 **VWM** 存储资源充足时，匹配特征不仅没有损害目标记忆，反而为目标成绩提供增益，最终提升目标记忆成绩。

Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18(1), 193-222.

Soto, D., Hodsoll, J., Rotshtein, P., & Humphreys, G. W. (2008). Automatic guidance of attention from working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(9), 342-348.

Olivers, C. N., Peters, J. C., Houtkamp, R., & Roelfsema, P. R. (2011). Different states in visual working memory: When it guides attention and when it does not. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(7), 327-334.

意见 2：在实验 1 中，匹配干扰物在行为结果的提升主要源自“部分匹配条件”，匹配条件和不匹配条件在正确率上没有显著差异。然而，在实验 2 中，却直接移除了“部分匹配条件”，仅保留了匹配和不匹配条件。这一设计调整的内在逻辑是什么？换言之，既然实验 1 的“提升”主要由部分匹配条件驱动，为何在实验 2 中移除这一条件，却保留并未发现显著提升的匹配条件？

回应：感谢审稿人的提问，我们完全理解您的疑虑。根据您的建议，我们在实验 1 的讨论部分，进一步优化了实验 2 的设计说明（位于正文修改稿 2.6 最后一段）。主要是基于以下考虑：

直接比较匹配干扰物和不匹配干扰物的加工过程：在部分匹配条件中，当干扰物位于偏侧视野时，实际上是“匹配干扰物”与“不匹配干扰物”的混合呈现。虽然这种混合在实验 1 的行为结果发现了显著提升。但在观测脑电 ERP 成分时（如 N2pc 和 CDA），这种混合会互相干扰，削弱并混淆对不同干扰物加工机制的直接比较。相比之下，纯粹的“匹配条件”和“不匹配条件”在刺激构成上更为单一，是直接观测和比较匹配干扰物对目标加工影响的稳健方案。

排除策略性预期，控制实验设计的复杂度：实验二的核心目的是考察“呈现概率（70%

vs 30%)”对加工机制的调节作用。实验 1 中，包含匹配特征的试次（匹配+部分匹配）占据了总试次的 2/3。这种高概率可能会促使被试建立一种“自上而下”的策略性预期（有意识地去寻找匹配项）。实验二通过操纵概率来验证这种加工优势是否源自“自下而上”的刺激驱动。此外，在概率操纵的基础上保留三种水平（3 种匹配类型×2 种概率），不仅会引发潜在的疲劳效应，也会导致复杂的交互作用变得难以解释。

综上所述，为了在控制概率的调框架下直接验证实验目的，并避免过于复杂的实验设计，实验 2 中移除了“部分匹配条件”。感谢您的提问促使我们进一步阐明这一深层逻辑，进一步提升了两个实验连贯性。

意见 3: 实验 1 与实验 2 行为结果差异的解释不够充分。实验 1 中，匹配条件与不匹配条件的正确率并无显著差异（0.87 vs. 0.86, $p = 0.97$ ），行为提升主要体现在“部分匹配”条件。但在实验 2 中，匹配条件的正确率却显著高于不匹配条件。文章在讨论中将其归因于实验 1 中“工作记忆负荷接近容量上限”以及“移除部分匹配条件最大化了差异”。这种解释略显薄弱。实验 2 同样是“2 项目标+2 项干扰物”，负荷并没有改变，为何观察到目标匹配干扰物对目标正确率的提升？

回应: 感谢审稿专家的深刻提问。您批评得非常中肯，由于两个实验在物理负荷上完全一致，仅用“容量上限”来解释这一结果略显薄弱。实际上，综合两个实验的行为与脑电结果，其差异反映了“资源损耗”与“目标增益”的权衡。

实验 1 的脑电结果显示，匹配条件下，目标诱发的 CDA 振幅显著下降。这表明匹配干扰物在捕获注意后进入了 VWM，挤占了原本属于目标的存储资源(Vogel et al., 2005)。按照常理，目标资源的减少将导致正确率下降。然而，由于该干扰物携带目标颜色特征，它在记忆编码与存储阶段提供了“表征增益”。最终“资源损耗”与“表征增益”相互抵消，在行为上显示为正确率与不匹配条件无显著差异。

实验 2 的脑电结果显示，匹配条件下的目标 CDA 振幅与不匹配条件无显著差异（ $p = 0.86$ ）。这意味着在实验二中，匹配干扰物的进入并未对目标产生显著的资源竞争与损耗。“资源损耗”的消失，导致“表征增益”的显现，在行为结果上表现为目标正确率的显著提升。此外，实验 2 未观察到目标“资源损耗”（CDA 下降）可能源自移除了“部分匹配”条件。这种设计上降低了任务情境的不确定性，使得被试能够更为稳健的维持目标表征，促使行为结果观察到匹配条件目标成绩的显著提升。

综上所述，结合 ERP 结果，两个实验的结果的矛盾之处是“资源损耗”与“目标增益”

的权衡所导致的。这部分的核心内容已经融入正文修改稿的讨论部分。

Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, 438(7067), 500 – 503.

意见 4：文章提出目标匹配干扰物对目标记忆成绩提供“增益”。如果目标匹配干扰物成功进入视觉工作记忆并占据了存储资源（诱发CDA），那么在提取阶段，对于相同的颜色，认知系统是否区分“干扰物颜色”和“目标物颜色”？如果无法区分，为什么这种混淆表现为了“增益”？

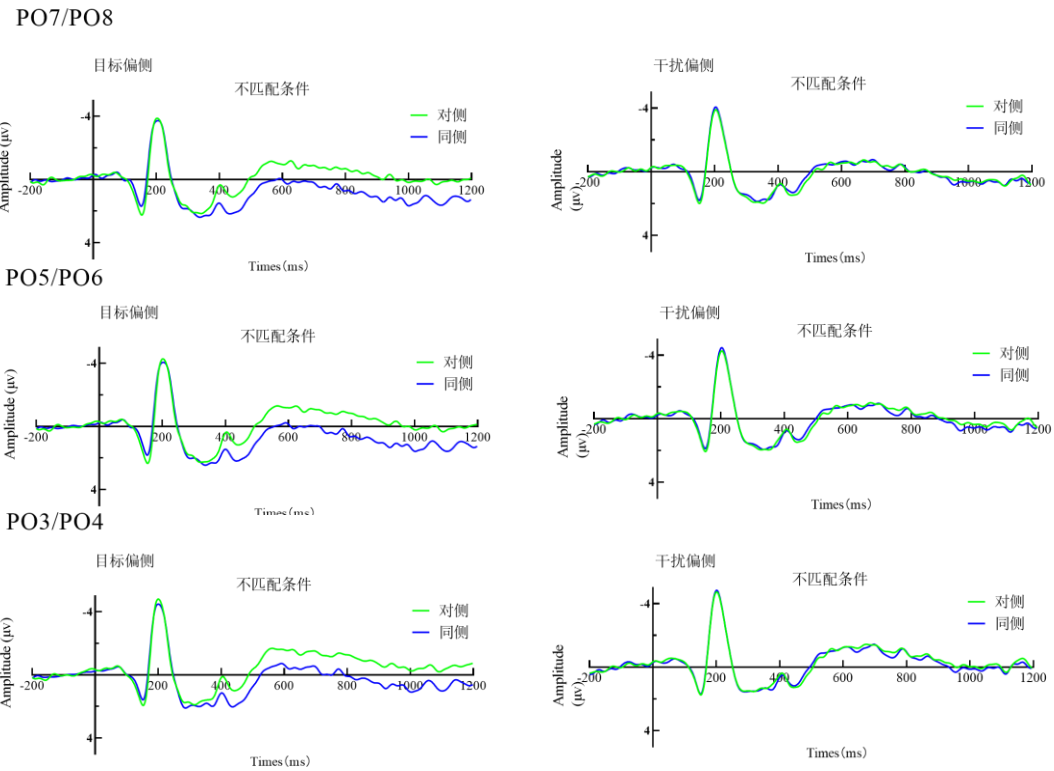
回应：感谢审稿专家的深刻提问。您的提问促使我们进一步解读“增益”的认知机制。结合变化觉察任务的提取特性与视觉工作记忆（VWM）的加工机制，我们从以下几个方面进行剖析：

表征增强与整合：本文的变化觉察任务中，被试需要在注意选择阶段依据“形状”选择目标，对其“颜色”进行编码和存储。当匹配干扰物的匹配颜色被编码入 VWM，由于其颜色与目标颜色完全一致，在存储时无需对“目标物颜色”与“干扰物颜色”进行区分。匹配的颜色特征在 VWM 中完成整合，增强了目标颜色的表征强度。表现为更优的目标颜色判断成绩。

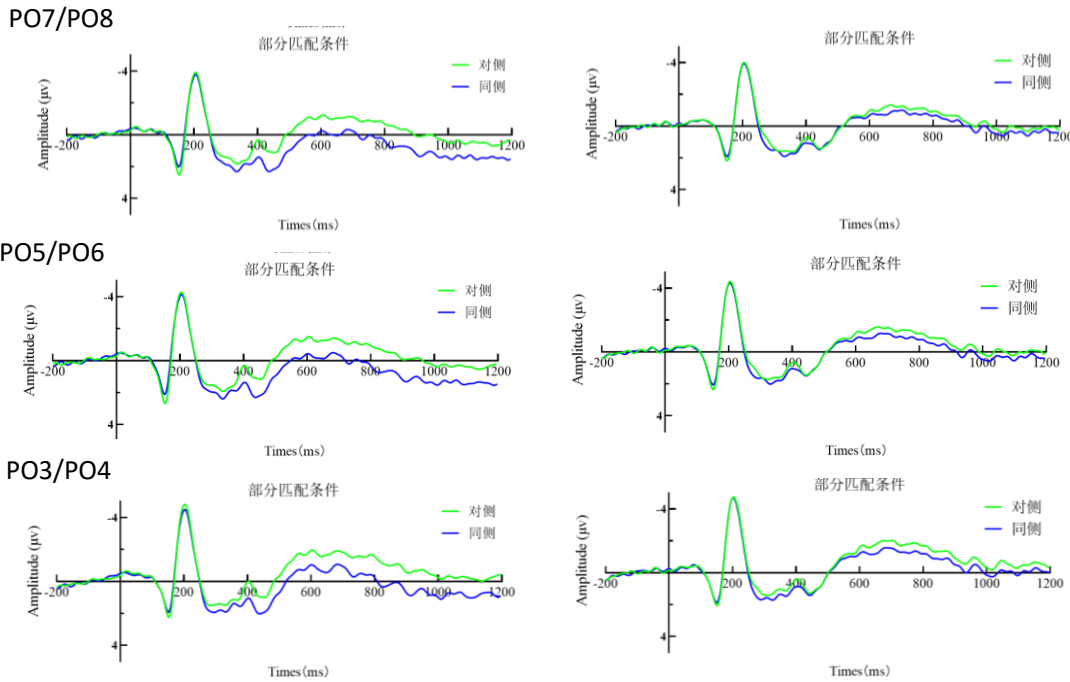
身份混淆转化为提取线索：在经典的 VWM 理论中，无关干扰物进入记忆通常会导致特征与位置的“错误绑定”，然而，在本文的实验设计中，探测项只出现在目标曾出现的位置上，且目标与干扰物位置具有显著区分（位于屏幕的不同方向）。这意味着，在匹配条件下，即便被试将误记的“干扰的颜色”错认为“目标的颜色”，由于两者的颜色一致，反而表现为行为上的“增益”。以往的 VWM 研究聚焦于不匹配的干扰物，因此错误编码带来的“特征混淆”和“资源挤占”总是表现为对目标记忆的削弱，干扰物也一直被视为导致成绩下降的单一负面因素。本研究的结果通过“匹配干扰物”揭示了这一机制的潜在价值：当干扰物与目标关键特征匹配时，“资源挤占”转化为对目标特征的“表征增强”，“特征混淆”则转化为“提取线索”。显示这些“干扰机制”在特定条件下，构成了匹配干扰物促进目标加工的潜在机制。这些结果进一步揭示了 VWM 加工的灵活性。

我们已将上述关于“目标增益”的认知机制讨论进一步丰富了本文的理论贡献。再次感谢您的提问！

附录:

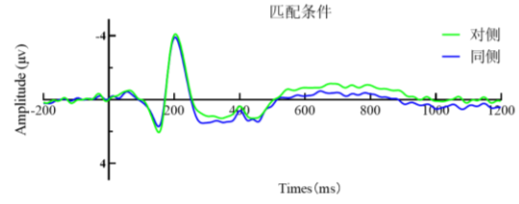
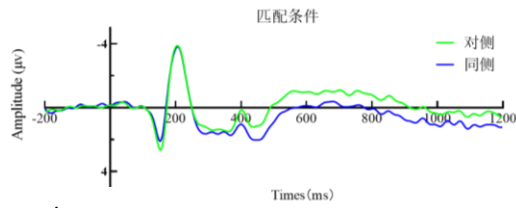


附图 1 实验 1 不匹配条件各电极原始波形图（左侧为目标偏侧，右侧为干扰偏侧）

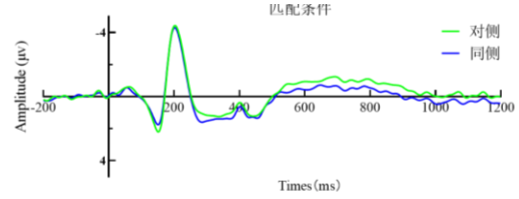
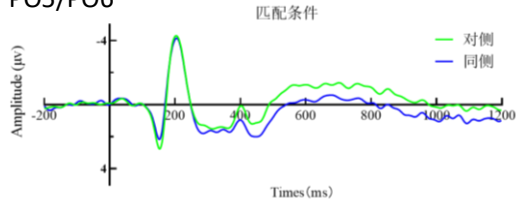


附图 2 实验 1 部分匹配条件各电极原始波形图（左侧为目标偏侧，右侧为干扰偏侧）

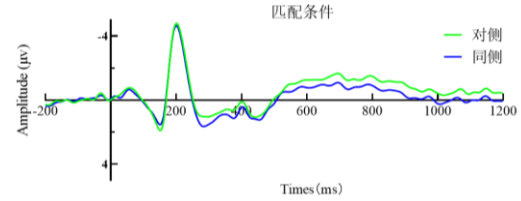
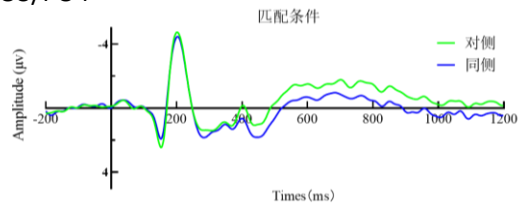
P07/P08



P05/P06

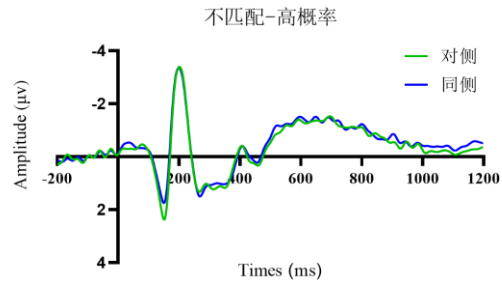
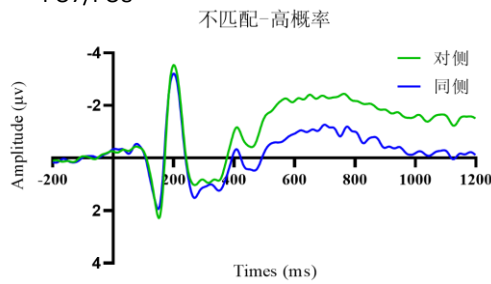


P03/P04

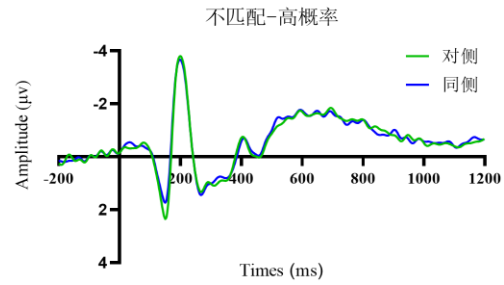
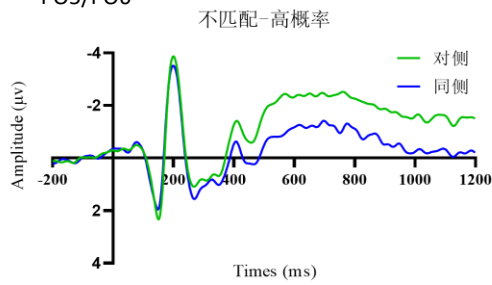


附图 3 实验 1 匹配条件各电极原始波形图（左侧为目标偏侧，右侧为干扰偏侧）

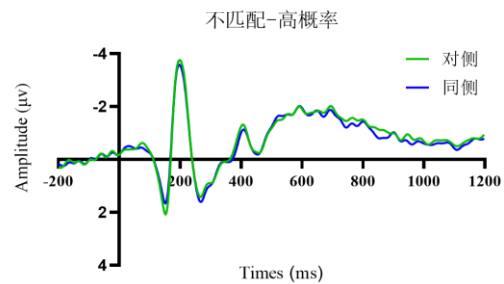
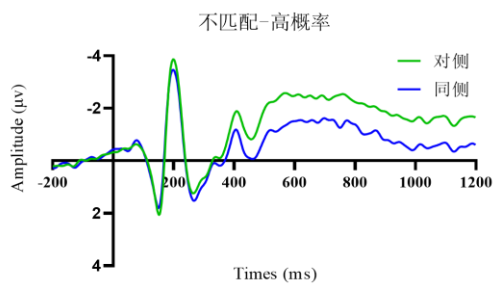
P07/P08



P05/P06



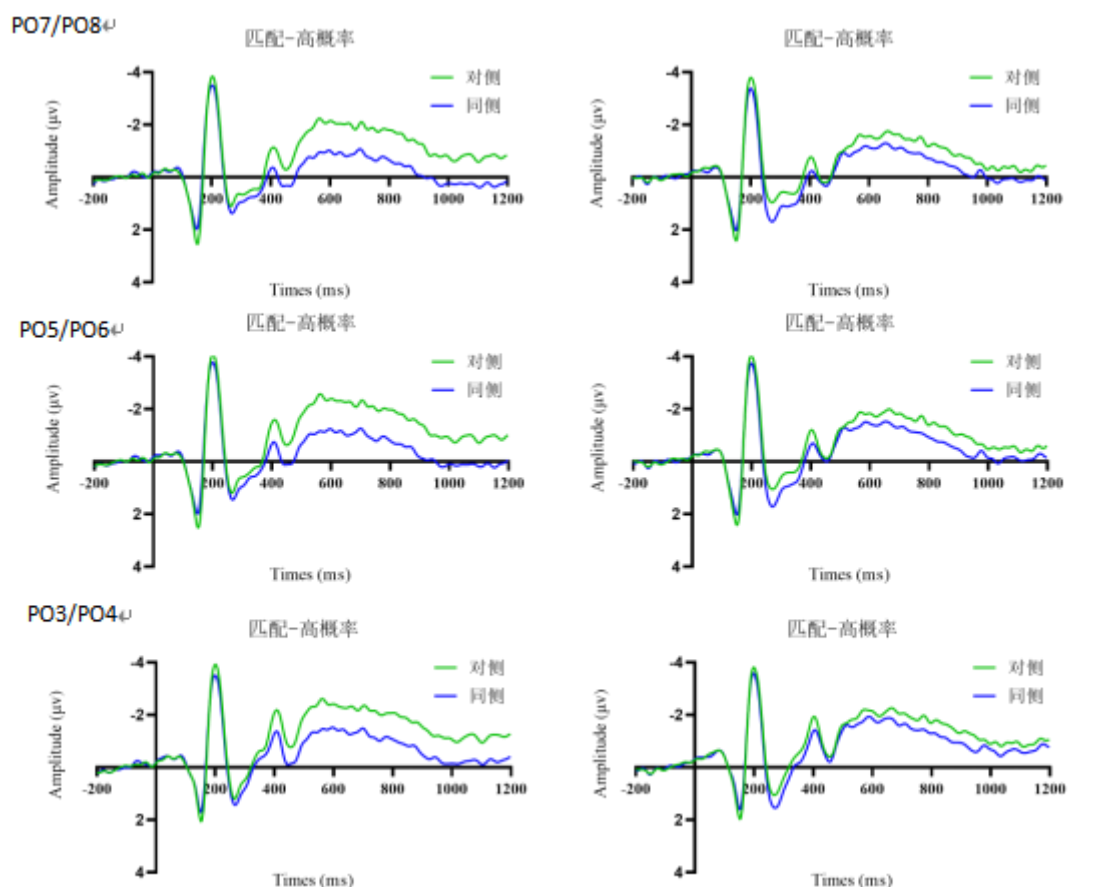
P03/P04



附图 4 实验 2 不匹配-高概率条件各电极原始波形图（左侧为目标偏侧，右侧为干扰偏侧）

Figure 3 displays grand average ERP waveforms for three electrode pairs: PO7/PO8, PO5/PO6, and PO3/PO4. Each pair is shown in two conditions: 'Mismatch-Low Probability' (不匹配-低概率) and 'Mismatch-High Probability' (不匹配-高概率). The y-axis represents Amplitude (μV) from -4 to 4, and the x-axis represents Time (ms) from -200 to 1200. Green lines represent the contralateral side (对侧) and blue lines represent the ipsilateral side (同侧). The waveforms show a characteristic negative peak around 200ms, which is more pronounced on the contralateral side.

附图 6 实验 2 不匹配-低概率条件各电极原始波形图(左侧为目标偏侧,右侧为干扰偏侧)



附图 7·实验 2·匹配-高概率条件各电极原始波形图（左侧为目标偏侧，右侧为干扰偏侧）

第二轮

审稿人 1 意见：

作者的这轮修改和回应总体上看是很不错的，对于我提出的大部分问题，都做了相应的讨论和修改，回应都比较到位。特别是作者把原先的早期 Pd 的解释用早期 Ppc 进行重新解读，我认为是很必要的，也是很有有效的，它很好地解决了原先实验结果之间解释上不自洽的问题，也消除了我对本研究结果解释的一个非常大的疑惑。脑电记录的问题上，特别是眼动的记录和分析上，尽管作者无法更改记录方法，但是提出了一些有道理的解释和证据，特别是提供了一些采用类似记录和分析方法的已发表文献，有一定的说服力。我虽然并不能完全

认同该研究这种不太符合常规的眼动记录方法，也不认同只要有类似文献就似乎有了依据（已发表的论文也可能是错的），但也勉强同意不把这条作为死的标准来退稿。但是，鉴于《心理学报》的权威性、广泛的影响力以及审稿意见的公开性，这里我还是做一个强调：EEG/ERP 的记录和分析等还是要遵守常规，避免引起不必要的对于数据质量和结果有效性的质疑；或者说，换作别的审稿人可能就可以依据这些标准来退稿。另外，作者在回复信中回应之后决定保留的 CDA 成分及讨论框架，在我看来还是可以用 SPCN 来进行解读的（作者的回复信里也认可这一点），然而该成分究竟是 CDA 还是 SPCN 这本身就是学界的一个争议性问题，因此我也不把这一条当作必须的标准进行要求，而是作为一种讨论，可能作者在讨论中或者局限性中予以明确说明和提醒还是有必要的。总体上，该研究本身具有一定的创新性和学术价值，我同意接受发表这篇研究。

回应：本轮修改的回复与涉及正文的修改均用紫色字标注，回复信中引用正文的修改内容作下划线处理。在修改过程中，我们也对全文表述进行了再次完善，这些修改是对本文内容的进一步澄清，并不影响原文逻辑。

感谢审稿人专业且细致的审阅，我们十分认可您对本文的评判。我们在上一轮回复中列出了一些当前数据结果未受单水平眼电记录明显限制的证据，同时完全同意规范的数据记录流程是一切数据分析的基础。关于 CDA 与 SPCN 的界定，我们在第一轮回复的 5（5）、5（7）、8（4）进行了回应。核心观点是：本文涉及明确的记忆加工，最终将 CDA 界定为反映 VWM 表征数量的电生理指标；即便当前一些研究者认为 CDA 与 SPCN 其本质是同一种成分在不同任务下的不同名称；但不可否认的是，CDA/SPCN 反映何种认知过程仍存争议。我们结合此前回复，在总讨论的文末进一步补充了关于 CDA/SPCN 解读的理论争议，以及基于空间注意视角对本文结果的潜在解释。

补充至正文的讨论内容如下：

最后，本文所分析的 CDA 成分，在一些研究中称为持续后部对侧负波（SPCN, Sustained Posterior Contralateral Negativity）(Jolicoeur et al., 2008; Jolicoeur et al., 2006; Luria et al., 2016)。一些研究将 SPCN 视作持续空间注意分配的电生理指标(Gibb et al., 2016; Holmes et al., 2014)。基于此，本研究从持续注意角度出发，也存在潜在解释：匹配干扰物因携带目标颜色特征，在早期获得知觉加工和空间注意选择，表现为 Ppc 与 N2pc；随后，其表征受到维持性注意分配，表现为持续后部对侧负波；由于匹配干扰物与目标共享关键特征，这种持续注意分配并非单纯竞争目标资源，而是通过特征的共同激活，对目标表征提供增益。

综上，当前实验支持匹配干扰物能够促进目标加工，但在解离工作记忆维持与内部持续

注意上存在局限，未来研究可采用更为精巧的实验设计，以进一步澄清匹配干扰物促进目标加工的认知过程。亦可操纵特征相似度的连续变化，探索干扰物从为目标提供“增益”转向“损耗”的边界。

Jolicoeur, P., Brisson, B., & Robitaille, N. (2008). Dissociation of the N2pc and sustained posterior contralateral negativity in a choice response task. *Brain Research*, 1215, 160–172.

Jolicoeur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006). On the control of visual spatial attention: Evidence from human electrophysiology. *Psychological Research*, 70(6), 414–424.

Gibb, B. E., Pollak, S. D., Hajcak, G., & Owens, M. (2016). Attentional biases in children of depressed mothers: An event-related potential (ERP) study. *Journal of Abnormal Psychology*, 125(8), 1166–1178.

Holmes, A., Mogg, K., de Fockert, J., Nielsen, M. K., & Bradley, B. P. (2014). Electrophysiological evidence for greater attention to threat when cognitive control resources are depleted. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 14(2), 827–835.

审稿人 2 意见：

作者很好地回应了本人上一轮提出的问题，本轮没有意见，建议发表。

编委意见：

请按审稿人 1 的意见对讨论最后修改完善。

主编意见：

同意发表